

# **Vulnerabilidad sísmica de hospitales**

**Fundamentos para ingenieros y arquitectos**

O.D. Cardona

**Monografías de Ingeniería Sísmica**

Editor A. H. Barbat

# **Vulnerabilidad sísmica de hospitales**

**Fundamentos para ingenieros y arquitectos**

O.D. Cardona  
Universidad de los Andes  
Colombia

CENTRO INTERNACIONAL DE MÉTODOS NUMÉRICOS EN INGENIERÍA  
Edificio C1, Campus Norte UPC  
C/ Gran Capitán, s/n  
08034 Barcelona, España.

MONOGRAFÍAS DE INGENIERÍA SÍSMICA  
Editor A.H. Barbat

ISSN: 1134-3249

VULNERABILIDAD SÍSMICA DE HOSPITALES.  
FUNDAMENTOS PARA INGENIEROS Y ARQUITECTOS  
Monografía CIMNE IS-32  
© El autor

ISBN: 84-89925-33-X  
Depósito Legal: B-4675-99

IMPRESO EN ESPAÑA - PRINTED IN SPAIN

## PREFACIO

Este documento ha sido preparado para la Organización Panamericana de la Salud, OPS, Organización Mundial de la Salud, OMS, con el fin de divulgar e ilustrar a autoridades nacionales, provinciales o municipales; propietarios de edificaciones, personal relacionado con servicios de salud; ingenieros y arquitectos diseñadores, constructores y docentes, acerca de la vulnerabilidad sísmica de las instalaciones hospitalarias y la manera de intervenirla con fines de reducción del riesgo.

Su propósito es informar a las personas involucradas en la planeación, operación, manejo y diseño de servicios de salud acerca de los efectos que pueden sufrir los hospitales por la ocurrencia de movimientos sísmicos, con el fin de suministrar una herramienta útil que les permita incorporar los procedimientos de mitigación del riesgo, tanto en la inspección de las instalaciones existentes como en el diseño y construcción de nuevas edificaciones y servicios.

El documento trata temas específicos relacionados con los problemas potenciales que se pueden generar en el caso de la ocurrencia de un sismo e, igualmente, hace referencia a las medidas que se deben tomar para la mitigación, haciendo especial énfasis en los requisitos necesarios para que las instalaciones puedan mantener su función durante e inmediatamente después de un evento intenso.

No obstante que las instalaciones de la salud pueden ser afectadas por un amplio espectro de fenómenos naturales como sismos, huracanes, deslizamientos, erupciones volcánicas, inundaciones, etc., o de origen antrópico, como incendios, explosiones, escapes de gas, entre otros, este documento hace énfasis en el problema sísmico, dado que es el fenómeno natural que más ha afectado las instalaciones de la salud y debido a que si se logra reducir sus efectos directos e indirectos, prácticamente se está reduciendo el riesgo que pueden causar otros fenómenos, cuya acción es normalmente menor que la de los sismos.

La Organización Panamericana de la Salud, OPS, Organización Mundial de la Salud, OMS, han querido promover la elaboración y publicación de este documento, como una contribución a los propósitos del "Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales - DIRDN", declarado por la Asamblea General de Naciones Unidas para el decenio de los años 90. De igual manera, la Universidad Politécnica de Cataluña se une a este esfuerzo y agradece la oportunidad de publicar este documento como una monografía del CIMNE.



# TABLA DE CONTENIDO

	<i>Pág.</i>
<b>PREFACIO</b>	
<b>TABLA DE CONTENIDO</b>	
<b>INTRODUCCION .....</b>	1
<b>RESUMEN .....</b>	3
<b>1. DESASTRES Y HOSPITALES</b>	
DAÑOS OCURRIDOS EN HOSPITALES .....	9
EL HOSPITAL EN SITUACIÓN DE DESASTRE.....	13
Complejidad y características de ocupación .....	14
La instalación en situaciones de desastre .....	15
Estimación de los daños en hospitales .....	17
REDUCCIÓN DEL RIESGO EN HOSPITALES .....	19
Análisis de la demanda hospitalaria.....	19
Evaluación y reducción de la vulnerabilidad.....	20
Planificación y financiación.....	21
Gestión internacional .....	23
<b>2. VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL</b>	
DAÑOS ESTRUCTURALES.....	26
ANÁLISIS ESTRUCTURAL.....	29
Análisis estático .....	29
Análisis espacial .....	30
Análisis espacial estático .....	30
Análisis dinámico .....	32
DISEÑO SISMORRESISTENTE.....	37
Espectro de diseño .....	38
Comportamiento no lineal .....	38
Disposición de la ductilidad .....	40
Derivas y estabilidad.....	42
PROBLEMAS DE CONFIGURACION ARQUITECTÓNICA.....	43
Configuración geométrica .....	43
Configuración estructural .....	47
ANALISIS DE VULNERABILIDAD .....	52
Método japonés.....	54
Métodos norteamericanos.....	57
Métodos de energía.....	62
INTERVENCIÓN ESTRUCTURAL .....	67
Reestructuración o rehabilitación.....	69
Diseño del refuerzo .....	70
Aislamiento y control de vibraciones.....	77
Coordinación de la reestructuración.....	78
Costos de intervención.....	79
Optimización de seguridad y economía .....	80
<b>3. VUNERABILIDAD NO-ESTRUCTURAL</b>	
ELEMENTOS NO-ESTRUCTURALES .....	83
INVENTARIO, INSPECCIÓN Y EVALUACIÓN.....	84
Metodología de evaluación .....	87

REDUCCIÓN DE LA VULNERABILIDAD .....	99
Mitigación de daños en las instalaciones .....	101
Influencia de los acabados arquitectónicos .....	105
Mitigación de daños en equipos .....	108
Costos de intervención.....	112
<b>4. VUNERABILIDAD FUNCIONAL</b>	
ASPECTOS DE PLANIFICACIÓN.....	114
Localización del hospital .....	114
Dimensiones del terreno .....	114
Red vial urbana .....	115
Servicios públicos .....	115
ASPECTOS DE ZONIFICACIÓN EXTERNA .....	115
Accesos alternativos .....	115
Areas de parqueo .....	116
Suministro de energía .....	117
Suministro de agua .....	117
Suministro de gas.....	118
ASPECTOS DE ZONIFICACIÓN INTERNA .....	118
Administración.....	119
Servicios ambulatorios .....	120
Servicios intermedios .....	122
Hospitalización .....	124
Servicios generales .....	125
OTROS ASPECTOS DE FUNCIONALIDAD.....	126
<b>5. RESPUESTA EN CASO DE EMERGENCIA</b>	
EMERGENCIAS EXTERNAS AL HOSPITAL .....	129
Componentes del plan de emergencias .....	131
Comité de emergencias hospitalario .....	132
Areas habitables.....	137
Hospitales de referencia y de apoyo.....	138
Grupo de apoyo del hospital.....	138
Fuentes de aprovisionamiento .....	139
EMERGENCIAS INTERNAS DEL HOSPITAL.....	140
EVALUACIÓN DEL PLAN DE EMERGENCIAS.....	143
<b>6. DISEÑO DE HOSPITALES EN ZONAS SISMICAS</b>	
DISEÑO DE NUEVOS HOSPITALES .....	146
Consideraciones arquitectónicas .....	148
Requisitos de diseño en ingeniería .....	149
Definición de equipamiento .....	151
FORMACIÓN UNIVERSITARIA Y CAPACITACIÓN PROFESIONAL.....	151
Profesionales de la salud.....	151
Profesionales de la arquitectura.....	152
Profesionales de la ingeniería.....	154
Educación continua.....	155
<b>REFERENCIAS .....</b>	157

## INTRODUCCION

La planeación, el diseño y la construcción de hospitales en zonas de riesgo sísmico ofrece múltiples desafíos a los diferentes profesionales involucrados, debido a la importancia que tienen dichas construcciones en la vida usual de una ciudad y, en mayor medida, a la que adquieren en caso de que sea necesario atender las víctimas de un desastre. Dada esta relevancia de los hospitales para la recuperación de una comunidad afectada, por ejemplo en caso de un sismo fuerte, puede decirse que en su diseño deben considerarse con cuidado múltiples aspectos, que van desde la planeación del mismo para casos de atención de desastres, hasta la instalación de equipos y elementos no-estructurales diversos; además de los requisitos de diseño arquitectónico y resistencia y seguridad estructural.

A pesar de lo anterior, múltiples hospitales han sufrido daños graves o han llegado al colapso funcional o estructural como consecuencia de desastres, en particular en el caso de sismos intensos, privando a las comunidades respectivas de una adecuada atención a las víctimas.

En este contexto se ve la necesidad de organizar las normas existentes para el diseño y construcción de hospitales, dándoles una orientación tendiente a mitigar desastres, ofreciendo una serie de posibilidades que conlleven a promover cambios en la infraestructura hospitalaria, desde el nacimiento de la idea hasta la realización y puesta en marcha de la edificación.

El sistema hospitalario constituye uno de los componentes fundamentales del sector salud. Si bien el nivel básico de salud ha recibido en los últimos años especial atención, en este documento se hace referencia esencialmente a la infraestructura de mayor nivel de complejidad.

Este documento, el cual es un compendio y resumen de los documentos hasta ahora publicados por la OPS sobre el tema, pretende realizar una serie de reflexiones acerca de los criterios de diseño y construcción que rigen la infraestructura de la salud y plantea recomendaciones orientadas a ofrecer soluciones de mitigación de riesgo, con el fin de proteger a la población y las inversiones que se realicen en materia de construcción de infraestructura de la salud. Su objetivo es divulgar las técnicas de identificación, evaluación e intervención de la vulnerabilidad hospitalaria, no obstante su alcance no intenta cubrir de manera detallada aspectos técnicos que son el objeto de otras publicaciones de carácter académico y docente, a las cuales se hace referencia con el fin que sean debidamente consultadas en caso que el lector quiera profundizar y adquirir una habilidad específica en el tema.

El capítulo 1 ilustra estadísticas y experiencias de afectación de hospitales en las Américas. Describe algunos casos ocurridos, el tipo de daños y las pérdidas en general que se han causado por sismos en hospitales en los últimos años. Versa acerca de la importancia y la función de los hospitales en situaciones de desastre, acerca de los costos sociales y económicos que significa la pérdida de este servicio vital, sobre la demanda que tiene el servicio en caso de desastre y presenta una caracterización de los tipos de vulnerabilidad física que se pueden presentar en las instalaciones.

En el capítulo 2 se describe la vulnerabilidad estructural, la cual puede comprometer la vida de los ocupantes de la instalación y significar la pérdida total de los elementos que contiene la edificación. Hace referencia a los criterios de análisis y diseño estructural sismorresistente de acuerdo con el estado actual arte. Indica los aspectos de configuración arquitectónica que aumentan la vulnerabilidad estructural. Orienta cómo puede evaluarse la

vulnerabilidad y los métodos más ampliamente conocidos en el ámbito de la ingeniería y cómo puede llevarse a cabo su intervención mediante la reestructuración o rehabilitación de la estructura de la edificación. Finalmente, hace referencia a los aspectos económicos relacionados con la reestructuración o refuerzo y al beneficio económico y social que representa el diseño sismorresistente de hospitales.

En el capítulo 3 se desarrolla la descripción de la vulnerabilidad de los elementos no-estructurales, teniendo en cuenta el comportamiento de los acabados arquitectónicos, de instalaciones y equipos. Se indica la manera de inventariar, diagnosticar y evaluar la vulnerabilidad no-estructural y de llevar a cabo su intervención con fines de mitigación del riesgo.

En el capítulo 4 se tratan los problemas de vulnerabilidad funcional que pueden llevar al colapso el servicio hospitalario después de un evento intenso. Se indica la manera como pueden analizarse los diferentes aspectos funcionales en el diseño arquitectónico que facilitan este tipo de vulnerabilidad y presenta recomendaciones de la manera como puede evitarse o intervenirse.

El capítulo 5 hace una amplia descripción de los aspectos de preparación para emergencias y su relación con aspectos funcionales y no-estructurales. Describe el plan de emergencias hospitalario, sus componentes y los aspectos relativos a considerar en caso que la emergencia sea externa y/o interna que comprometa al hospital.

Por último, el capítulo 6 versa sobre el diseño de hospitales en zonas sísmicas, enfatizando la necesidad de llevar a cabo un trabajo multidisciplinario que permita la consideración de medidas de mitigación en las diferentes fases del diseño hospitalario. Hace referencia a la capacitación profesional en el área de las ciencias de la salud, la ingeniería y la arquitectura, se sugieren adecuaciones curriculares y la programación de cursos de educación continua, con el fin de promover estos aspectos no convencionales en la formación de los profesionales involucrados.

El autor agradece a la OPS por su confianza y apoyo brindado para la realización de este documento, el cual es un compendio y resumen actualizado y complementado de otros trabajos publicados por la OPS bajo el nombre de Guías para la Mitigación de Riesgos Naturales en las Instalaciones de la Salud de los Países de América Latina y Mitigación de Desastres en las Instalaciones de la Salud. Evaluación y Reducción de la Vulnerabilidad Física y Funcional (cuatro volúmenes), en los cuales el autor contó con el apoyo y la asesoría de otros profesionales. El autor agradece muy especialmente la colaboración de la Arquitecta L.Teresa Guevara P. y los aportes de los Ingenieros Jorge Eduardo Hurtado G., José Grases G. y Vanessa Rosales, de los Arquitectos Humberto Fonseca G. y Julieta del Pilar Giraldo, del Médico Juan Pablo Sarmiento P. y en general de todos los especialistas que han realizado trabajos para la OPS, relativos a la evaluación de la vulnerabilidad de hospitales en América Latina y el Caribe, sin los cuales no se hubiera podido describir algunas de las experiencias en el tema.

De igual manera, el autor agradece al Profesor Alex H. Barbat del Programa de Ingeniería Sísmica y Dinámica Estructural, por su interés y disposición de publicar este trabajo dentro de la serie de monografías de I Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería de la Universidad Politécnica de Cataluña.

*Omar Dario Cardona A.  
Barcelona, Enero de 1999*

## RESUMEN

Los hospitales y en general las instalaciones de la salud son elementos expuestos que pueden sufrir graves daños como consecuencia de la ocurrencia de fenómenos naturales intensos. En otras palabras, el riesgo de las instalaciones de la salud puede llegar a ser muy alto, razón por la cual es necesario construir las nuevas edificaciones con requisitos adecuados de acuerdo con las amenazas naturales de cada zona y también es necesario evaluar la vulnerabilidad de las edificaciones existentes, con el fin de identificar sus debilidades y diseñar y construir las intervenciones físicas o reestructuraciones que sean necesarias.

En América Latina y el Caribe, en los últimos 15 años, un total de 93 hospitales y 538 unidades de salud han sido dañadas sensiblemente a consecuencia de desastres naturales, ya sea por haberse colapsado o haber quedado en condiciones vulnerables que exigieron su desalojo. Si se considera una media de 200 camas de capacidad instalada por hospital y 10 camas por unidades de salud, resulta que 24,000 camas han quedado inhabilitadas durante dicho lapso. De considerarse un costo promedio regional de 130,000 dólares por cama de hospital, las pérdidas directas acumuladas por este concepto en la región habrían ascendido a 3,120 millones de dólares. Lo anterior revela la necesidad de revisar la estrategia de diseño y los criterios para la construcción de instalaciones hospitalarias en zonas propensas.

Los hospitales requieren consideraciones especiales en relación con la mitigación de riesgos debido a sus características de ocupación y a su papel durante situaciones de desastre, en relación con la preservación de la vida y la buena salud, especialmente en el diagnóstico y tratamiento de heridas y enfermedades. Los hospitales pueden tener en cualquier momento una alta población de pacientes residentes, pacientes transitorios, funcionarios, empleados y visitantes. En caso de desastre, un hospital debe continuar con el tratamiento de los pacientes alojados en sus instalaciones y debe atender a las personas lesionadas por el evento. Para realizar esto el personal debe estar en el sitio y conocer cómo responder ante la situación. También, el edificio y su dotación deben permanecer en condiciones de servicio.

La mayoría de las autoridades de los hospitales reconocen estos hechos, razón por la cual han elaborado planes formales para la mitigación de desastres. Sin embargo, todos estos planes son deficientes en proveer alternativas de organización en caso de daños severos e inmovilización de las instalaciones. A esto se le ha prestado poca atención, lo cual resulta preocupante debido a que en muchos lugares la atención médica depende de sólo un hospital. Daños a un hospital de este tipo podrían causar una enorme crisis debido a la falta de alternativas en la zona.

Un ordenamiento sistemático y una fácil movilización del personal, de equipos y suministros dentro de un ambiente seguro es fundamental para ofrecer una respuesta efectiva al desastre. Esto enfatiza la naturaleza crítica y la interdependencia de procesos, edificaciones y equipamiento. Deficiencias en cualquiera de uno de estos elementos del sistema funcional de un hospital podría inducir una crisis en la institución.

De otra parte, debido a la importancia y alto costo de las instalaciones hospitalarias, un daño severo a las mismas no sólo afectaría la capacidad productiva del país sino, también, las finanzas públicas debido al costo de la rehabilitación y reconstrucción.

Un edificio para hospital lo componen cinco áreas básicas, las cuales tienen funciones muy determinadas y propias, pero a su vez unas con otras deben cumplir interrelaciones vitales para su buen funcionamiento. La relación entre dichas áreas o sectores: Administración, Servicios Intermedios o Ambulatorios, Servicios Generales, Consulta Externa y Urgencias y Hospitalización, puede resultar crítica si en el diseño no se considera su funcionamiento y distribución en el caso de atención masiva de pacientes. Un hospital puede ser víctima de un "colapso funcional" como consecuencia de esta situación, la cual es sólo detectada en el momento en que ocurre una emergencia. A las áreas antes mencionadas es importante adicionarle un área de especial utilidad en casos de desastre: el área de los exteriores, la cual juega un rol de particular importancia para la atención de desastres.

Un edificio puede quedar en pie luego de un desastre y quedar inhabilitado debido a daños no-estructurales. El costo de las partes no-estructurales en la mayoría de los edificios es considerablemente mayor que el de las estructurales. Esto se cumple especialmente en hospitales donde el 85 a 90% del valor de la instalación no está en las columnas de soporte, pisos y vigas, sino en los acabados arquitectónicos, sistemas mecánicos y eléctricos y en el equipo allí contenido. Un movimiento sísmico de menor intensidad puede causar daños no-estructurales mayores que los que resultarían de daños a componentes estructurales. Por lo tanto, los aspectos más vitales de un hospital, aquellos que se relacionan más 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 afectación.

Muchos de los problemas mencionados anteriormente se originan en deficiencias de la seguridad estructural y no-estructural del edificio. El componente estructural debe ser considerado durante la etapa de diseño y construcción, cuando se trata de un nuevo edificio, o durante una etapa de reparación, remodelación o mantenimiento, cuando se trata de un edificio ya construido. Un buen diseño estructural es la clave para que la integridad del edificio sobreviva, aun en un sismo severo. Posiblemente pueden presentarse daños, pero seguramente no entrará en colapso. Si un hospital se desploma, aun parcialmente, será un pasivo para la comunidad luego del desastre y no el activo que debe ser.

Infortunadamente, en muchos países la aplicación de las normas de construcción sismorresistente no han sido efectivamente aplicadas y en otros dichas normas no han considerado especificaciones especiales para las estructuras de edificaciones hospitalarias. Por esta razón, no es extraño que cada vez que ocurre un sismo en ciertas zonas las edificaciones más afectadas son precisamente los hospitales, que deberían ser las últimas en ser afectadas. En otras palabras, la vulnerabilidad en general de los hospitales es alta, situación que debe ser corregida total o parcialmente con el fin de evitar enormes pérdidas económicas y sociales.

Un análisis de vulnerabilidad podría comenzar con una inspección visual de las instalaciones y con la preparación de un reporte preliminar de evaluación. Esta inspección permite identificar áreas que requieren atención. El reporte puede ser discutido con los consultores y las autoridades de la instalación con miras a definir las prioridades y los cronogramas para llevar a cabo el trabajo. Una vez que el programa de refuerzo ha sido diseñado, otras revisiones y análisis deben desarrollarse en áreas específicas identificadas para ser intervenidas.

La mitigación de los efectos producidos por desastres mediante la adopción de medidas preventivas es una actividad altamente rentable en zonas donde se experimentan eventos recurrentemente. Por cada peso que se gaste adecuadamente en mitigación antes que ocurra un desastre, se ahorrarán enormes costos representados en pérdidas que no se sucedieron. La mitigación no tiene costo. A largo plazo, se paga en dinero real, y en vidas salvadas.

Por lo anterior el desarrollo de una intervención funcional, no-estructural y estructural debe obedecer a un programa de trabajo muy detallado que involucre aspectos relativos a la función de los servicios en cada etapa del proceso. De la misma manera debe definirse una

debida coordinación con el personal administrativo, de atención médica y de mantenimiento del hospital.

El costo de una intervención de la vulnerabilidad de un hospital no es posible conocerlo si no se realiza un diseño detallado de la solución y de sus implicaciones. Sin embargo, esta situación no debe impedir la formulación de un plan de avance con algún grado de precisión que se ajuste lo menos posible en el proceso. Usualmente los costos de la mitigación son relativamente altos si se ejecutan en un corto plazo. No obstante, si el trabajo se realiza por etapas permite que la aplicación de los recursos sea más pausada y factible dentro de los márgenes de los gastos relacionados con el mantenimiento del hospital.

En todos los casos se ha demostrado la alta rentabilidad económica y social de mejorar el comportamiento no-estructural y estructural de las edificaciones hospitalarias vulnerables. El costo de una reestructuración, aunque puede considerarse alto en algunas ocasiones, siempre será un valor poco significativo en relación con el presupuesto del servicio o en relación con el costo de su reparación o reposición física. Unas buenas preguntas figurativas que podrían formularse en cada caso podrían ser, por ejemplo: el costo de llevar a cabo la reestructuración sería equivalente a cuántos escanógrafos? y cuántos escanógrafos tiene el hospital? Las respuestas podrían dar resultados sorprendentes, sin tener en cuenta todos los demás elementos, equipos y bienes que en general aloja la edificación; esto por supuesto sin tener en cuenta las vidas humanas involucradas directa o indirectamente y en general el costo social que significa la pérdida del servicio.

El diseño hospitalario teniendo en cuenta el riesgo es una responsabilidad compartida de la arquitectura y la ingeniería. Muy particularmente, es necesario enfatizar lo que se comparte en cuanto a las relaciones físicas entre las formas arquitectónicas y los sistemas estructurales resistentes, y sería ideal que la comprensión de estas relaciones estuviera presente en cada diseñador que trabaja en zonas de riesgo. Infortunadamente, a nivel internacional, los métodos educativos y de la práctica han tendido a reducir la oportunidad de fomentar este entendimiento en la manera de pensar del diseñador, ya que se separa la instrucción de los nuevos arquitectos de la de los nuevos ingenieros y, también en muchos casos, quedan separados en la práctica. De hecho, algunos arquitectos, por intuición o por un patrón conceptual tienen un excelente sentido de la estructura, pero son muy pocos, y esta comprensión afortunada tiende a ocurrir a pesar de su educación y práctica, y no a causa de éstas.

La pérdida de vidas y de propiedades causadas por sismos se puede evitar con la aplicación de tecnologías existentes y sin realizar enormes esfuerzos financieros. Lo único que se requiere es la voluntad de hacerlo. Debido a que se necesitan no menos de dos generaciones para reemplazar el actual inventario de edificaciones en la mayoría de comunidades, se debe prestar bastante atención a la intervención estructural de las edificaciones existentes tanto como la atención que se le otorga al diseño y construcción de nuevas edificaciones. En este momento existen muy pocas limitaciones técnicas que gobiernan el diseño y la construcción de la mayoría de edificaciones a prueba de huracanes, sismos u otras amenazas naturales, lo que significa que es posible reducir al mínimo los riesgos y los daños si se tienen en cuenta las medidas preventivas correspondientes en el diseño, construcción y mantenimiento de las nuevas instalaciones de la salud.

A manera de conclusión se pueden resumir las siguientes recomendaciones:

1. En todas las instalaciones donde operan servicios de salud deben realizarse análisis de vulnerabilidad y riesgo de las edificaciones y de sus equipos hospitalarios esenciales.
2. El cumplimiento de especificaciones para la reducción de riesgos debe ser un requisito de los procedimientos de adquisición de equipos hospitalarios.
3. Los planes hospitalarios de preparativos para desastres deben ser revisados con el fin de incluir, dentro de sus procedimientos, análisis de vulnerabilidad y medidas de intervención

- para el mejoramiento de las instalaciones existentes.
4. Los códigos de construcción deben ser una reglamentación obligatoria para el diseño y la construcción de las edificaciones de la salud.
  5. Los administradores, constructores y personal de mantenimiento de los servicios de salud deben tener un conocimiento básico de los requisitos de arquitectura e ingeniería que deben cumplir sus instalaciones para soportar la acción de posibles amenazas naturales.
  6. Los hospitales deben mantener en un lugar seguro información y planos actualizados de arquitectura e ingeniería de sus edificaciones y sistemas tecnológicos.

Este documento ha sido preparado para la Organización Panamericana de la Salud, OPS, Organización Mundial de la Salud, OMS, para ilustrar autoridades nacionales, regionales o municipales, propietarios de edificaciones, administradores, funcionarios, ingenieros, arquitectos y personal en general relacionado con las instalaciones de la salud. Su propósito es informar a las personas involucradas en la planeación, operación y manejo de los servicios el tipo de afectación que pueden sufrir los hospitales por la ocurrencia de sismos y suministrar una herramienta útil que les permita incorporar los procedimientos de mitigación del riesgo sísmico, tanto en la inspección de las instalaciones existentes como en el diseño y construcción de nuevas edificaciones y servicios.

## CAPITULO 1

### DESASTRES Y HOSPITALES

Un desastre puede definirse como una situación causada por la ocurrencia de un evento o suceso que, en la mayoría de los casos, se presenta en forma repentina e inesperada, causando alteraciones intensas sobre los elementos expuestos, representadas en la pérdida de vida y salud de la población, la destrucción o pérdida de los bienes de una colectividad y/o daños severos sobre el medio ambiente. Esta situación significa la desorganización de los patrones normales de vida generando adversidad, desamparo y sufrimiento en las personas, efectos sobre la estructura socioeconómica de una región o de un país y/o la modificación del medio ambiente, lo cual determina la necesidad de asistencia y de intervención inmediata.

Los desastres pueden ser originados por la manifestación de un fenómeno natural, provocados por el hombre o como consecuencia de una falla de carácter técnico en sistemas industriales o bélicos. Algunos desastres de origen natural son el resultado de la manifestación de amenazas que no pueden ser neutralizadas debido a que difícilmente su mecanismo de origen puede ser intervenido, aunque en algunos casos puede controlarse parcialmente. Sismos, erupciones volcánicas, tsunamis (maremotos) y huracanes son ejemplos de amenaza que aún no pueden ser intervenidas en la práctica, mientras que inundaciones, sequías y deslizamientos pueden llegar a controlarse o atenuarse con obras civiles de canalización y estabilización de suelos.

Los efectos en un desastre varían dependiendo de las características propias de los elementos expuestos y de la naturaleza del evento mismo. El impacto puede causar diferentes tipos de alteraciones. En general pueden considerarse como elementos bajo riesgo la población, el medio ambiente y la estructura física representada por la vivienda, la industria, el comercio y los servicios públicos.

Los efectos suelen clasificarse en directos e indirectos. Los efectos directos se relacionan con el daño físico, expresado en víctimas, en daños a la infraestructura de servicios públicos, daños en las edificaciones, el espacio urbano, la industria, el comercio y el deterioro del medio ambiente, es decir, la alteración física del hábitat.

Los efectos indirectos generalmente se subdividen en efectos sociales, tales como la interrupción del transporte, de los servicios públicos, de los medios de información y la desfavorable imagen que puede tomar una región con respecto a otras; y en efectos económicos que representan la alteración del comercio y la industria como consecuencia de la baja en la producción, la desmotivación de la inversión y la generación de gastos de rehabilitación y reconstrucción. Sin embargo, este tipo de clasificación no significa que los efectos sociales y económicos sean de menor importancia, dado que sin duda, en la práctica, son efectos relacionados directamente con el evento.

En un amplio número de países en desarrollo, se han presentado desastres en los cuales han muerto miles de personas y se han perdido cientos de millones de dólares en veinte o treinta segundos. Cifras en muchos casos incalculables en eventos cuyos costos económicos pueden llegar a un significativo porcentaje de su Producto Interno Bruto. Debido a la recurrencia de diferentes tipos de desastres en varios países, se puede llegar a tener un importante porcentaje promedio anual de pérdidas por desastres naturales con respecto a su Producto Nacional Bruto. Situación que, como es obvio, se traduce en empobrecimiento de la población y estancamiento, puesto que implica llevar a cabo gastos no previstos que afectan la balanza de pagos y en general el desarrollo económico de los mismos.

Las medidas de prevención contra los desastres deben considerarse como parte fundamental de los procesos de desarrollo integral a nivel regional y urbano, con el fin de reducir el nivel de riesgo existente. Dado que eventos de estas características pueden causar un grave impacto en el desarrollo de las comunidades expuestas, es necesario enfrentar la ejecución de medidas preventivas versus la recuperación posterior a los desastres, e incorporar los análisis de riesgo a los aspectos sociales y económicos de cada región o país.

El impacto de los desastres en las actividades humanas ha sido un tema tratado en los últimos años en un amplio número de publicaciones desarrolladas por diversas disciplinas que han conceptualizado sus componentes en forma diferente, aunque en la mayoría de los casos de una manera similar. La Oficina del Coordinador de las Naciones Unidas para Casos de Desastres (UNDRO actualmente Oficina de las Naciones Unidas para Asuntos Humanitarios ONU/DHA) en conjunto con la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) promovió una reunión de expertos con el fin de proponer una unificación de definiciones que ha sido ampliamente aceptada en los últimos años. Entre otros conceptos, el reporte de dicha reunión "Desastres Naturales y Análisis de Vulnerabilidad" incluyó los siguientes:

**Amenaza o peligro** (*Hazard - H*), definida como la probabilidad de ocurrencia de un evento potencialmente desastroso durante cierto período de tiempo en un sitio dado.

**Vulnerabilidad** (*V*), como el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo resultado de la probable ocurrencia de un evento desastroso, expresada en una escala desde 0 o sin daño a 1 o pérdida total.

**Riesgo Específico** (*Specific Risk - R<sub>s</sub>*), como el grado de pérdidas esperadas debido a la ocurrencia de un evento particular y como una función de la amenaza y la vulnerabilidad.

**Elementos Bajo Riesgo** (*E*), como la población, las edificaciones y obras civiles, las actividades económicas, los servicios públicos, las utilidades y la infraestructura expuesta en un área determinada.

**Riesgo Total** (*Total Risk - R<sub>t</sub>*), como el número de pérdidas humanas, heridos, daños a las propiedades y efectos sobre la actividad económica debido a la ocurrencia de un evento desastroso, es decir, el producto del Riesgo Específico *R<sub>s</sub>* y los elementos bajo riesgo *E*.

En otras palabras la evaluación del riesgo puede llevarse a cabo mediante la siguiente formulación general:

$$R_t = E \cdot R_s = E(HV)$$

Considerando la Exposición *E* implícita en la vulnerabilidad *V*, sin que esto modifique la concepción original, podría plantearse que:

Una vez conocida la amenaza o peligro *A<sub>i</sub>*, entendida como la probabilidad de que se presente un evento con una intensidad mayor o igual a *i* durante un período de exposición *t*, y conocida la vulnerabilidad *V<sub>e</sub>*, entendida como la predisposición intrínseca de un elemento expuesto *e* a ser afectado o de ser susceptible a sufrir una pérdida ante la ocurrencia de un evento con una intensidad *i*, el riesgo *R<sub>te</sub>* puede entenderse como la probabilidad de que se presente una pérdida sobre el elemento *e*, como consecuencia de la ocurrencia de un evento

con una intensidad mayor o igual a  $i$ ,

$$R_{ie} = (A_i, V_e)$$

es decir, la probabilidad de exceder unas consecuencias sociales y económicas durante un período de tiempo  $t$  dado (Ref. 34).

De una manera más exacta, entonces, pueden distinguirse dos conceptos que en ocasiones han sido equivocadamente considerados como sinónimos pero que son definitivamente diferentes tanto desde el punto de vista cualitativo como cuantitativo:

La *amenaza o peligro*, o factor de riesgo externo de un sujeto o sistema, representado por un peligro latente asociado con un fenómeno físico de origen natural o tecnológico que puede presentarse en un sitio específico y en un tiempo determinado produciendo efectos adversos en las personas, los bienes y/o el medio ambiente, matemáticamente expresado como la probabilidad de exceder un nivel de ocurrencia de un evento con una cierta intensidad en un cierto sitio y en cierto período de tiempo.

El *riesgo*, o daño, destrucción o pérdida esperada obtenida de la convolución de la probabilidad de ocurrencia de eventos peligrosos y de la vulnerabilidad de los elementos expuestos a tales amenazas, matemáticamente expresado como la probabilidad de exceder un nivel de consecuencias económicas, sociales o ambientales en un cierto sitio y en un cierto período de tiempo.

En términos generales, la *vulnerabilidad* puede entenderse, entonces, como la predisposición intrínseca de un sujeto o elemento a sufrir daño debido a posibles acciones externas, y por lo tanto su evaluación contribuye en forma fundamental al conocimiento del riesgo mediante interacciones del elemento susceptible con el ambiente peligroso.

La diferencia fundamental entre la amenaza y el riesgo está en que la amenaza está relacionada con la probabilidad de que se manifieste un evento natural o un evento provocado, mientras que el riesgo está relacionado con la probabilidad que se manifiesten ciertas consecuencias, las cuales están íntimamente relacionadas no sólo con el grado de exposición de los elementos sometidos sino con la vulnerabilidad que tienen dichos elementos a ser afectados por el evento.

## DAÑOS OCURRIDOS EN HOSPITALES

La necesidad de que los servicios de salud estén preparados y en capacidad para actuar en caso de situaciones de emergencia es un aspecto de especial importancia ampliamente reconocido en América Latina. En el pasado el impacto de sismos y huracanes, entre otras amenazas naturales, ha demostrado que los hospitales y las instalaciones de la salud pueden ser vulnerables a dichos eventos, razón por la cual no siempre están en capacidad para responder adecuadamente.

La planeación, el diseño y la construcción de hospitales en zonas de alta actividad sísmica, por ejemplo, exigen una amplia gama de aspectos de seguridad a los diferentes profesionales involucrados en ellos, debido a la importancia que tienen dichas construcciones en la vida usual de una ciudad y, en mayor medida, a la que adquieren en un evento sísmico para fines de atención de las víctimas. Dada esta relevancia de los hospitales para la recuperación de una comunidad golpeada por un sismo fuerte, puede decirse que en su diseño deben considerarse con cuidado múltiples aspectos, que van desde la planeación del mismo para casos de atención de desastres, hasta la instalación de equipos y elementos no-estructurales diversos, pasando por los requisitos de resistencia estructural.

A pesar de lo anterior, un amplio número de hospitales ha sufrido daños graves o ha llegado al colapso funcional o estructural como consecuencia de eventos naturales intensos, privando a las comunidades respectivas de una adecuada atención a las víctimas.

Es de anotar que muchos de los hospitales afectados han sido diseñados de acuerdo a

normas de construcción sismorresistente. Esto lleva a pensar que el diseño estructural de hospitales debe realizarse con un cuidado mucho mayor del empleado para diseños más convencionales, y que puede no ser suficiente el realizar el proyecto estructural para fuerzas mayores de las usadas para edificios de vivienda u oficinas, simplemente. Al hacer el diseño arquitectónico y estructural se deben tomar las decisiones sobre seguridad, no sólo en relación con los aspectos puramente físicos del fenómeno que le puede afectar sino también en relación con los criterios sociales, económicos y humanos que pesan sobre la planeación del hospital.

El Cuadro 1 presenta una lista de algunos hospitales que han tenido fallas estructurales muy graves o colapso, o fallas en su operación por daños no-estructurales y problemas funcionales.

HOSPITAL	PAÍS	SISMO
Hospital de Kern	EEUU	Kern County, 1952
Hospital Traumatológico	Chile	Chile, 1960
Hospital de Valdivia	Chile	Chile, 1960
Hospital Elmendorf	EEUU	Alaska, 1964
Hospital Santa Cruz	EEUU	San Fernando, 1971
Hospital Olive View	EEUU	San Fernando, 1971
Hospital Veterans Administ.	EEUU	San Fernando, 1971
Seguro Social	Nicaragua	Managua, 1972
Hospital Escalante Padilla	Costa Rica	San Isidro, 1983
Hospital Benito Juárez	México	México, 1985
Centro Médico	México	México, 1985
Hospital Benjamín Bloom	El Salvador	San Salvador, 1986
Hospital San Rafael	Costa Rica	Piedras Negras, 1990
Hospital Olive View	EEUU	Northridge, 1994
Hospital Antonio P. de Alcalá	Venezuela	Cumaná, 1997

**CUADRO 1: HOSPITALES AFECTADOS POR SISMOS EN LAS AMERICAS**

Durante las últimas tres décadas, a consecuencia de sismos, más de cien hospitales en las Américas han sido afectados reportando daños severos e inclusive colapso total. Por ejemplo, durante el sismo de San Fernando, California, el 9 de febrero de 1971, cuatro hospitales sufrieron daños tan severos que no pudieron operar normalmente cuando más se les necesitaba. Aún más, la mayoría de las víctimas se presentaron en dos de los hospitales que se derrumbaron. Irónicamente, los lugares más peligrosos en San Fernando durante el sismo fueron los hospitales. El Hospital Olive View, uno de los más gravemente afectados en 1971, fue reforzado y no presentó daños estructurales durante el terremoto de Northridge de 1994, sin embargo presentó pérdidas de operación debido a daños no-estructurales en equipos, como el colapso del tanque de oxígeno líquido (Ref. 9).

Durante los sismos del 19 de septiembre de 1985 en Ciudad de México tres de las más grandes instituciones de la salud de la ciudad fueron seriamente afectadas: El Centro Médico Nacional del IMSS, el Hospital General y el Hospital Benito Juárez. Entre camas destruidas y las que fue necesario evacuar los sismos produjeron un déficit súbito de 5.829 camas; en el Hospital General murieron 295 personas y en el Juárez 561, entre las cuales se encontraban pacientes, médicos, enfermeras, personal administrativo, visitantes y recién nacidos.

En América Latina y el Caribe, en los últimos 15 años, un total de 93 hospitales y 538 unidades de salud han sido dañados sensiblemente a consecuencia de desastres naturales, ya sea por haberse colapsado o haber quedado en condiciones vulnerables que exigieron su desalojo. Si se considera una media de 200 camas de capacidad instalada por hospital y 10 camas por unidades de salud, resulta que 24,000 camas han quedado



FOTOGRAFIA 1. COLAPSO DEL HOSPITAL BENITO JUAREZ, MEXICO 1985



FOTOGRAFIA 2. COLAPSO DEL HOSPITAL BENJAMIN BLOOM, SAN SALVADOR 1987



FOTOGRAFIA 3. COLAPSO DEL QUINTO PISO, HOSPITAL MUNICIPAL DE KOBE 1995

inhabilitadas durante dicho lapso. De considerarse un costo promedio regional de 130,000

dólares por cama de hospital (en el Caribe Ingles dicho costo es de aproximadamente 220,000 dólares, en cambio para Latinoamérica dicho valor es de 100,000 dólares), las pérdidas directas acumuladas por este concepto en la región habrían ascendido a 3,120 millones de dólares (Ref. 43). Lo anterior revela la necesidad de revisar la estrategia de diseño y los criterios para la construcción de instalaciones hospitalarias en zonas propensas.

El Cuadro 2 ilustra algunas estadísticas acerca de los efectos generales pos-sismo sobre hospitales en América Latina.

Identificación y Año	Magnitud	Efectos Generales
Managua, Nicaragua, 1972	5.6	El Hospital General fue severamente dañado, evacuado y posteriormente demolido.
Guatemala, Guatemala, 1976	7.5	Varios hospitales fueron evacuados.
Popayán, Colombia, 1983	5.5	Daños e interrupción de servicios en el Hospital Universitario San José.
Mendoza, Argentina, 1985	6.2	Se perdieron algo más del 10% del total de camas (estatales + privadas = 3.350). De 10 instalaciones afectadas, 2 fueron demolidas y una desalojada.
México, D.F., México, 1985	8.1	Se derrumbaron 5 instalaciones médicas y otras 22 sufrieron daños mayores; por lo menos 11 instalaciones fueron evacuadas. Se estiman pérdidas directas por US\$ 640 millones.
San Salvador, El Salvador, 1986	5.4	Algo más de 2.000 camas perdidas, más de 11 instalaciones hospitalarias afectadas, 10 fueron desalojadas y 1 se perdió totalmente. Se estiman daños por US\$ 97 millones.

CUADRO 2. ESTADISTICAS SOBRE EFECTOS POS-SISMO EN HOSPITALES

#### TENA : CAPITALIZANDO UNA EXPERIENCIA

El 2 de octubre de 1995 un sismo de magnitud Richter  $Ms = 6.9$  y epicentro en la cordillera sur-oriental del Cutucú sacudió el territorio continental del Ecuador, el cual se sintió con mayor intensidad en la ciudad de Macas y en las comunidades indígenas shuaras que habitan la zona epicentral. En esta región se registraron los mayores daños, como el colapso del puente sobre el río Upano.

La población indígena amazónica y un alto porcentaje de colonos habitan viviendas de madera poco vulnerables a sismos, lo cual mitigó los efectos del sismo. Sin embargo, se vivieron momentos de temor y angustia por la severidad del sismo y porque la mayoría de los daños se concentró en edificios públicos y obras de infraestructura, algunos de los cuales colapsaron provocando inseguridad y malestar en la población.

En Tena, ciudad situada a 200 kilómetros del epicentro, el hospital Velasco Ibarra (120 camas) sufrió daños no-estructurales moderados: el agrietamiento de varias paredes, la ruptura de vidrios, caída de tumbados, un desperfecto en el sistema de ascensores y daños en algunas tuberías para conducción de oxígeno y de agua, lo que obligó a la suspensión de sus servicios y a la evacuación de las instalaciones. Una vez que se constató que la estructura no sufrió daño alguno, en pocas horas los servicios se podrían haber restituido, devolviendo al hospital sus condiciones normales de funcionamiento.

Pero, debido a que la magnitud de los daños resultó superior a los reportados en la mayoría de las edificaciones de Tena, las autoridades provinciales y nacionales de salud se preocuparon por esta situación y tomaron acciones al respecto. El personal hospitalario por su parte, cuestionó la seguridad del hospital frente a sismos de mayor intensidad y se resistió durante meses a ocupar sus dependencias, un colapso funcional de orden sicológico muy justificado.

El Ministerio de Salud Pública del Ecuador (MSP) solicitó al Gobierno de Bélgica (GB) una ayuda de emergencia para la ejecución de los trabajos de reparación del hospital. El MSP y la GB pidieron al Programa de Preparativos para Situaciones de Emergencia y Desastres de la Organización Panamericana de la Salud (OPS) la asesoría técnica

para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica y la definición de las medidas de mitigación o tipo de intervención necesaria para dotar de una mayor seguridad sismorresistente al hospital.

El Instituto de Investigación y Desarrollo de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Guayaquil (IIFPIC) fue encomendado para ejecutar el diagnóstico cualitativo de la vulnerabilidad sísmica del hospital, estudio que estableció la necesidad de reforzar el hospital para reducir el nivel de daño no-estructural frente a solicitudes sísmicas moderadas y la posibilidad de su colapso frente a solicitudes sísmicas severas.

El Gobierno de Bélgica aprobó favorablemente la solicitud del gobierno ecuatoriano, y otorgó una significativa ayuda económica para la ejecución de los estudios cuantitativos y de los trabajos de refuerzo. Para el efecto se constituyó el Comité Especial de Contratación y de Gestión del Convenio de Cooperación Belga, integrado por los delegados del MSP, OPS y la Embajada de Bélgica.

En el mes de abril de 1996, el Comité contrató los estudios técnicos para la ejecución del "Análisis Cuantitativo de la Vulnerabilidad Sísmica y Diseño Definitivo del Hospital Velasco Ibarra", y se procedió a la contratación de los trabajos de refuerzo.

## EL HOSPITAL EN SITUACION DE DESASTRE

La salud es generalmente entendida como un derecho individual y de toda la comunidad. Por esta razón, en muchos países las instalaciones de salud son de propiedad del estado y la operación la lleva a cabo el gobierno. En la mayoría de los casos la salud es financiada por rentas generadas principalmente de impuestos, razón por la cual los servicios de salud pública se suministran a bajo costo o sin costo y dependen de la capacidad económica de los gobiernos. En otras palabras, debido a que las instituciones de salud son creadas con inversión gubernamental, su supervivencia depende del estado de la economía y desarrollo de los gobiernos.

Cualquier impacto adverso a la economía del país afectará su capacidad para ofrecer servicios de salud. De otra parte, debido a la importancia y alto costo de las instalaciones hospitalarias, un daño severo a las mismas no sólo afectará la capacidad productiva del país, sino también, las finanzas públicas debido al costo de la rehabilitación y reconstrucción.

En los últimos años, muchos recursos de capital han sido invertidos en expansión de hospitales y en intervención de la vulnerabilidad; no obstante que este capital no es generador de renta y puede crear una carga adicional al gobierno al tener que encontrar recurrentemente los recursos que le permitan el manejo de las instalaciones en forma adecuada. Esto hace que sea muy importante asegurar que todas las inversiones en programas sociales, particularmente en tiempos de dificultad económica estén aseguradas y no sujetas al azar de las amenazas naturales.

La mayoría de los servicios de salud están representados por hospitales, clínicas y puestos de salud, los cuales son manejados por el gobierno y por el sector privado. Los hospitales normalmente ofrecen servicios de atención médica de emergencia, atención secundaria y terciaria, mientras que los puestos de salud ofrecen atención primaria y algunos cuidados básicos o de primeros auxilios.

Las instalaciones de la salud juegan un papel muy importante y significativo en la mitigación de desastres debido a su particular función en el tratamiento de heridos y enfermedades.

Los hospitales geriátricos y psiquiátricos son relativamente de menos importancia excepto cuando ocurren daños en sus instalaciones o cuando hay un gran impacto psicológico sobre los individuos de la población afectada.

El papel fundamental de los puestos de salud es la vigilancia. Evidencias históricas han demostrado que la aparición descontrolada de enfermedades transmisibles después de un desastre natural ha sido la excepción y no la regla.

Algunos puestos de salud están equipados para tratar personas con heridas leves, lo cual es extremadamente útil para reducir la congestión y remisión hacia los hospitales e instalaciones de mayor complejidad.

Los hospitales requieren consideraciones especiales en relación con la mitigación de riesgos debido a los siguientes factores: a) su complejidad y sus características de ocupación; b) su papel durante situaciones de desastre, en relación con la preservación de la vida y la buena salud, especialmente en el diagnóstico y tratamiento de heridas y enfermedades;

### **Complejidad y características de ocupación**

Los hospitales son instalaciones esenciales para enfrentar un desastre, pero usualmente son altamente vulnerables. Quizás se tengan otros edificios e instalaciones de igual tamaño y construcción en una ciudad, pero ninguno tan complejo desde el punto de vista funcional, tecnológico y administrativo. Entre las características que los hacen especialmente vulnerables se pueden mencionar:

**Complejidad.** Los centros de salud son edificios muy complejos que suplen las funciones de hotel, oficinas, laboratorio y bodega. El solo aspecto de hotel es supremamente complejo ya que involucra no sólo alojamiento, sino provisiones alimenticias para un amplio número de personas, incluyendo pacientes, empleados y visitantes. Estos centros por lo general contienen numerosas habitaciones pequeñas y un gran número de largos corredores. Después de un desastre, los pacientes y visitantes estarán muy confundidos. Tal vez no haya fluido eléctrico. Los corredores y las salidas de las habitaciones pueden estar bloqueadas por muebles caídos o escombros. Los ascensores no funcionarán y las escaleras pueden haberse caído o estar en condiciones de difícil uso.

**Ocupación.** Los hospitales son edificios con un alto índice de ocupación. Alojan pacientes, empleados, personal médico y visitantes. Están ocupados 24 horas al día. Muchos pacientes requerirán ayuda y cuidado especializado continuamente. Pueden estar rodeados de equipo especial y tal vez utilicen gases potencialmente peligrosos como el oxígeno. Igualmente, pueden estar conectados a equipos que mantienen la vida los cuales exigen fluido eléctrico permanentemente.

**Suministros críticos.** La mayoría de los suministros que requieren las instalaciones hospitalarias (farmacéuticos, tablillas, vendajes, etc.) son esenciales para la sobrevivencia del paciente y son cruciales para el tratamiento de víctimas de sismos. Las historias de los pacientes son vitales para el tratamiento adecuado, especialmente en caso de evacuación a otros centros. El daño a las zonas de almacenamiento y archivo hará imposible la obtención de estos elementos en el momento en que más se necesitan.

**Servicios públicos.** Ninguna institución depende más de los servicios públicos o líneas vitales que los hospitales. Sin electricidad, agua, combustibles, recolección de basuras, comunicaciones, vías, no podrían funcionar. Los equipos de radiología, monitoreo, soporte de vida, esterilización y demás requieren energía. La compleja organización de las instalaciones para el cuidado de la salud hace que los sistemas de comunicación interna y externa sean críticos. Las instalaciones más grandes dependen de los ascensores para movilizar gente y suministros. Aun en un sismo moderado, por ejemplo, los ascensores estarán fuera de servicio hasta que puedan ser inspeccionados para detectar posibles daños.

**Materiales peligrosos.** Varios productos de un hospital serán peligrosos si se derraman o liberan. Los estantes que se voltean con medicamentos o químicos pueden constituir amenazas por toxicidad tanto en forma líquida como gaseosa. Los incendios pueden iniciarse por acción de químicos; cilindros de gas volteados o la ruptura en líneas de oxígeno pueden plantear serios peligros. Además algunas drogas pueden convertirse en objetos de abuso al romperse las normas de seguridad.

**Artículos pesados.** Muchos hospitales tienen equipo o televisores en estantes altos encima o cerca a las camas de los pacientes; éstos pueden caer y causar serios accidentes. Otras piezas de equipo especializado tales como máquinas de rayos X, generadores alternos, son pesados y susceptibles de ser derribados o lanzados por la habitación durante el sismo.

**Problemas externos.** Además de los problemas internos enumerados anteriormente causados

por daños a la instalación hospitalaria misma, el daño sufrido por la comunidad impedirá el acceso de los bomberos, de la policía, y tal vez, del servicio telefónico, mientras que habrá una entrada sin precedentes de heridos. Igualmente, habrá muchedumbres buscando información sobre pacientes en el hospital. En el momento que más se requiera, el edificio puede dejar de ser funcional y el personal médico puede haber muerto o encontrarse herido. Los hospitales pueden ser descritos como un sistema, compuesto a su vez de subsistemas: hospitalización, consulta externa o ambulatorios, ayudas diagnósticas y apoyo, y oficinas administrativas. El subsistema de hospitalización y ambulatorios se asemeja a las funciones de un hotel, ya que requiere de habitaciones, quirófanos, servicio de alimentación, lavandería, etc. El subsistema de ayudas diagnósticas y apoyo está compuesto por pequeñas unidades de alto costo, gran complejidad tecnológica y de características funcionales diversas. El subsistema administrativo soporta el desarrollo asistencial y de apoyo, mediante complicados procesos. Esta compleja instalación requiere en forma permanente de suministro de electricidad, agua potable, de servicios de eliminación de deshechos líquidos y sólidos, de servicios de comunicación. Necesita de productos farmacéuticos, insumos médico-quirúrgicos, gases, químicos, y combustibles vitales para el correcto funcionamiento. Sin embargo, todos ellos constituyen a la vez amenazas, ante la eventualidad de presentar fallas en su almacenamiento, manipulación, utilización, mantenimiento de equipo o por situación de movimientos sísmicos, incendios, explosiones u otros, que podrían afectar al personal, la dotación y los equipos así como al edificio mismo en un momento dado.

### **La instalación en situaciones de desastre**

Nadie cuestiona la importancia que tienen los centros asistenciales en condiciones normales; si a ello adicionamos una situación de emergencia o desastre donde la demanda de servicios generada exige una respuesta mayor en un corto período de tiempo, es evidente que se requiere entonces de un análisis profundo de aquellos considerandos que determinan condiciones especiales de las instituciones de salud: complejidad, ocupación y dependencia a los servicios públicos y a suministros críticos, razones que exigen y que le dan prioridad a la intervención de la vulnerabilidad. Los hospitales pueden tener en cualquier momento una alta población de pacientes internos, pacientes transitorios, funcionarios, empleados y visitantes. Por esta razón, hay tres motivos principales para la planeación de preparativos para desastres:

1. El tratamiento de los pacientes debe continuar durante la ocurrencia de un evento peligroso: provisiones deben ser realizadas por el personal y los servicios de soporte deben estar realmente disponibles en todo momento.
2. La protección de todos los ocupantes debe estar asegurada. Se debe hacer un análisis de vulnerabilidad de las instalaciones y, si es necesario, la instalación debe ser reforzada de acuerdo con los requisitos actuales de diseño y construcción. Hay métodos rentables para hacer esto; en este documento se presentan técnicas apropiadas para realizar este tipo de análisis e intervenciones.
3. Puede ser necesario, en algún momento durante el evento peligroso, evacuar pacientes ambulatorios y no ambulatorios. Este problema puede ser grave si el desastre se presenta súbitamente y ocurre al mismo tiempo que el hospital está lleno de visitantes quienes, en la mayoría de los casos, no están familiarizados con los procedimientos de evacuación. Los visitantes en este caso agravan el problema, debido a que la visita a los pacientes es una práctica popular. En toda la América Latina el número de visitantes en períodos picos, como los fines de semana, puede llegar a duplicar el de pacientes hospitalizados. La mayoría de hospitales tienen una cama de acompañante, lo que significa que un buen porcentaje de los pacientes hospitalizados pueden estar acompañados en las noches. Por esta razón, los planes de evacuación deben realizarse teniendo en cuenta situaciones reales como las antes mencionadas.

En caso de desastre, un hospital debe continuar no sólo con el tratamiento de los pacientes alojados en sus instalaciones sino que debe atender las personas lesionadas por el evento. Para realizar esto el personal debe estar en el sitio y conocer cómo responder ante la situación. También, el edificio y su dotación deben permanecer en condiciones de servicio. La mayoría de las autoridades de los hospitales reconocen estos hechos, razón por la cual han elaborado planes formales para la mitigación de desastres. Sin embargo, todos estos planes son deficientes en proveer alternativas de organización en caso de daños severos e inmovilización de las instalaciones. A esto se le ha prestado poca atención, lo cual resulta preocupante debido a que en muchos lugares la atención médica depende de sólo un hospital. Daños a un hospital de este tipo podrían causar una enorme crisis debido a la falta de alternativas en la zona.

Un ordenamiento sistemático y una fácil movilización del personal, de equipos y suministros dentro de un ambiente seguro es fundamental para ofrecer una respuesta efectiva al desastre. Esto enfatiza la naturaleza crítica y la interdependencia de procesos, edificaciones y equipamiento. Deficiencias en cualquiera de estos elementos del sistema funcional de un hospital podría inducir una crisis en la institución.

**Procesos:** Tienen que ver especialmente con la movilización de gente, equipos y suministros. La organización de estos procesos incluye el establecimiento de un comité dedicado a formular las medidas para la mitigación de desastres. Los términos de referencia del comité de preparativos para desastres incluyen invariablemente la formulación de un plan formal de preparativos para la atención, su difusión entre el personal con el fin de crear conciencia y conocimiento del mismo, entrenamiento para su ejecución, y pruebas y ejercicios para evaluar la efectividad del plan teniendo en cuenta diferentes tipos de amenaza. Los planes deben ser revisados y actualizados en forma frecuente.

**Edificaciones:** Los planes deben incluir alternativas de organización en caso de presentarse serios daños en las instalaciones hospitalarias. Eventos pasados han demostrado que ésta es una clara deficiencia de los planes existentes. La experiencia indica que se deben hacer consideraciones en el diseño y construcción de las edificaciones, con el fin de proveer seguridad y preservar ciertas áreas críticas del hospital, tales como el departamento de emergencias, las instalaciones de diagnóstico, salas de operación, la farmacia, las áreas de almacenamiento de alimentos y medicinas, y los servicios de registro y reserva.

En el pasado, el énfasis en el diseño de los hospitales estuvo en la óptima asignación del espacio y la configuración de los servicios de tal forma que se pudiese contar con la mejor interrelación de las funciones y las actividades de los diferentes departamentos. El desarrollo de nuevos hospitales con modernas técnicas en diseño y construcción también han mostrado ser vulnerables debido a defectos en la distribución funcional de sectores para el caso de atención masiva de heridos y en sus componentes no-estructurales. Muchas instalaciones fallan debido a simples omisiones en el diseño, las cuales podrían haberse corregido o considerado con un costo marginal durante la construcción o la intervención de su sistema estructural existente.

**Equipamiento:** El contenido de las edificaciones causa más problemas cuando ocurren sismos que cuando ocurren huracanes. Muchos daños pueden ser evitados aplicando medidas sencillas y poco costosas, como asegurar los estantes a las paredes y colocar las plantas y equipos en posiciones estratégicas y seguras. Inspecciones regulares y mantenimiento apropiado de estos elementos podrían también asegurar que siempre estarán en servicio y en buen estado; lo cual puede lograrse considerando este tipo de aspectos en el mantenimiento que periódicamente debe realizarse de la edificación, sus instalaciones y componentes.



FOTOGRAFIA 4. FALLA DE COLUMNAS POR FALTA DE SISMORRESISTENCIA



FOTOGRAFIA 5. COLAPSO DE ESCALERA POR FALTA DE SISMORRESISTENCIA

### Estimación de los daños en hospitales

Las experiencias registradas en el proceso de evaluación de daños a instalaciones médicas sugieren que el equipo encargado de realizar este trabajo debe establecer una estrategia efectiva que permita desarrollar sus actividades a pesar de los trastornos acarreados por el evento. Dicha estrategia de evaluación guardará relación con el tipo de desastre de que se trate. En el caso de sismos puede ser más frecuente el colapso total de las instalaciones, lo que exigiría una labor de recopilación de información en instancias superiores o aledañas a las instalaciones dañadas, ya que es posible que hayan desaparecido expedientes sobre la infraestructura del inmueble, la capacidad de servicio y el número de personas que lo ocupaban en el momento del desastre.

En el caso de inundaciones, maremotos, erupciones volcánicas o sismos de baja intensidad, los casos reportados revelan la frecuencia de perjuicios parciales, que permiten la identificación clara de los daños materiales en las instalaciones. Al inicio del proceso de evaluación es necesario identificar cabalmente el tipo de instalación dañada puesto que, dependiendo del nivel de complejidad de la atención de salud que se estuviera prestando a la población, se tendrá que definir la estrategia de compilación de datos sobre el tipo y la magnitud de los daños causados.

En la mayoría de los países se utilizan tres niveles de complejidad para identificar los sistemas de atención médica. El nivel I se refiere a instalaciones médicas para atención de poca complejidad, que cubren el 70% de los problemas de salud en una comunidad (Centro de Salud, Clínica Rural o Suburbana, Unidad de Medicina Familiar); el nivel II corresponde a la atención de problemas transferidos del nivel I y capacidad para resolver el 12% de los problemas quirúrgicos, el control y vigilancia de problemas ambientales y epidemiológicos, y una operación administrativa de tipo regional (Hospitales Generales, Regionales, Centro de Administración de Salud); en el nivel III se resuelve el 8% restante de la demanda total de consulta y la hospitalización de alta especialidad que se presenta en la población, y que requiere de servicios muy complejos para un área de influencia amplia (Hospital de Especialidades, Universitario, Instituto de Especialidades).

En inmuebles del primer nivel de complejidad es posible identificar instalaciones para urgencias, salas de operaciones y divisiones de especialidades básicas: consultorio dental, otorrinolaringología, oftalmología y dermatología. Adicionalmente, se encuentran servicios de apoyo como lavandería, cocinas, farmacias, almacén de medicamentos, almacén de materiales y equipos básicos, equipo de transporte y áreas de estacionamiento y oficinas. Este inventario de recursos materiales corresponde aproximadamente a núcleos demográficos no mayores de 50,000 usuarios. Es posible encontrarse con unidades médicas regionales más pequeñas para población dispersa, que se apoyen en otra unidad más amplia de primer o segundo nivel.

Los inmuebles de segundo nivel de atención cuentan con instalaciones de mayor complejidad (Hospitales Generales), que agregan a los de primer nivel áreas de especialidad en atención de personas como la medicina interna, gineco-obstetricia, pediatría, cirugía y traumatología, laboratorio clínico, hematología, bacteriología, serología, química clínica, anatomía patológica, laboratorio de control sanitario, banco de sangre, radiología clínica, electro-cardiografía y prevención de incapacidades. Asimismo, es probable que cuenten con áreas de servicios especiales para control sanitario, control ambiental, capacitación, investigación epidemiológica, clínica y de servicios de salud.

La capacidad de hospitalización es habitualmente de un mínimo de 30 camas censables para atención médica, para una población usuaria de 30,000 a 60,000 habitantes. El tercer nivel de atención se identifica por el alto grado de complejidad técnica (Hospital de Especialidades), para problemas de salud que ofrecen mayor dificultad de tratamiento. En estos inmuebles se dispone de áreas para vigilancia epidemiológica, laboratorios de alta especialización, áreas de gastroenterología, cardiología, neumología, psiquiatría, genética, oncología, nutrición, nefrología, endocrinología, alergología, infectología, cirugía especializada, neonatología, o perinatología, además de los mencionados para el segundo nivel. Asimismo, se puede contar con áreas para rehabilitación física y social, enseñanza, investigación médica, y control ambiental.

Así, dependiendo del nivel de atención, las unidades de salud que pudieran ser afectadas en cuanto a daños directos, son: Centros de Salud, Consultorios, Dispensarios, Puestos de Salud, Hospitales Generales y Hospitales de Especialidades. Por su ubicación se clasifican en rurales y urbanos, y por el tipo de propiedad pertenecientes al sistema nacional de salud, o al sector privado. Los rubros susceptibles de sufrir daños en estas unidades comprenden edificios; instalaciones administrativas, médicas y sanitarias; equipo médico o auxiliar e instrumental médico; mobiliario y equipo de oficina; medios de transporte; almacenes y existencias. Otros costos en que se incurre, y que pueden ser considerados como daños directos, comprenden el traslado, tratamiento y recuperación de víctimas traumáticas, cuando esta situación se prolonga más allá del período de emergencia.

Para el análisis de los daños, es importante considerar que la valuación refleje el valor de los activos destruidos en el momento del desastre. En su reposición influirán factores tales como las características de los hospitales que se habrán de reconstruir, los recursos con que cuente el país, el desarrollo institucional del sector, las políticas

gubernamentales en relación con la prioridad de atención del desastre, y la subsecuente asignación presupuestaria. El valor de reposición se estimará en relación con equipos nuevos, lo que frecuentemente estará implicando una mejoría tecnológica de las instalaciones. En el caso de reparaciones, el criterio de valoración a seguir será el precio que rija en el mercado de los activos inventariados.

Cabe indicar que en la valuación se analizarán los daños causados a la infraestructura hospitalaria y no a lo que se conoce como el "sector salud", en la que se incluye la infraestructura y el equipamiento urbanos aledaños a los inmuebles. En el período previo a la visita de la zona de desastre, se debe realizar un primer recuento de información relevante del sector salud, preparando listados sobre las instituciones públicas y privadas a contactar, para recabar la información general sobre efectos directos e indirectos en el sector.

De manera adicional a la pérdida por destrucción de los inmuebles, se deben estimar los efectos indirectos que se derivan de la caída en el volumen de los servicios prestados normalmente, más el costo por la atención de los damnificados en instalaciones provisionales mientras dura el proceso de reconstrucción, o son trasladados éstos a otras instalaciones.

La naturaleza de los daños indirectos puede ser muy variada, si bien destacan los siguientes:

1. Mayor riesgo de propagación de enfermedades infecto-contagiosas y de efectos nocivos para la salud.
2. Mayores costos -públicos y privados- por la atención hospitalaria, ambulatoria y asistencia de salud.
3. Disminución del bienestar de los niveles de vida de la población afectada por la no disponibilidad o racionamiento de agua potable y de agua para otros usos.

Los efectos secundarios son los que ocurren sobre las condiciones económicas y sociales de la población, y del país afectado a raíz del desastre. Su contabilización deberá ser complementaria a la de los efectos directos e indirectos.

Una de las características singulares de los desastres naturales es la grave afectación al patrimonio social, especialmente el de servicios generales a la población de escasos recursos. Los daños a instalaciones hospitalarias pueden llegar a recrudecer las carencias de un sistema de salud nacional, alterando o postergando la atención básica a la población.

Las medidas de mitigación de los efectos que puedan causar los desastres naturales a la infraestructura de salud de los países de América Latina y el Caribe, independientemente de su costo, -inferior en todos los casos al de reconstrucción- serán de suma importancia en la preservación de esta infraestructura.

## **REDUCCION DEL RIESGO EN HOSPITALES**

La administración de salud en general en América Latina se ha preocupado por promover y orientar un proceso de cambio institucional con el fin de mejorar la asignación y utilización de recursos, influyendo positivamente en el estado de salud de la población. Su papel en la gestión hospitalaria se ha encaminado a lograr un desarrollo armónico de la infraestructura en relación con las necesidades de las comunidades, en donde algunos aspectos han tenido relación con la reducción del riesgo por desastres naturales: a) el análisis de la demanda hospitalaria y b) la evaluación y reducción de la vulnerabilidad.

### **Análisis de la demanda hospitalaria**

El crecimiento en la demanda asistencial y la limitación en la oferta de servicios han generado

un proceso de racionalización de recursos, traducido en conceptos de planificación, organización y estructura como:

1. La red hospitalaria, entendida como un sistema compuesto por centros asistenciales de diferente nivel de complejidad de atención, con mecanismos de interacción definidos, donde el principio de complementariedad regula las relaciones.
2. La clasificación por niveles de atención, la cual constituye una herramienta fundamental para la conformación de la Red Hospitalaria, emplea criterios como las características de la población usuaria, áreas de cobertura, morbilidad, tipo de servicios y recurso humano disponible.
3. La categorización o calificación, dentro de la conceptualización de la red hospitalaria y la clasificación por niveles de atención, en donde surge la necesidad de evaluar individualmente los recursos institucionales en cuanto a planta física, instrumental y equipo, tipo y nivel de formación del personal vinculado, uso de tecnología y otros parámetros que facilitan la caracterización de cada centro asistencial.
4. Los sistemas de referencia y contra-referencia, entendidos como el conjunto de normas, protocolos y procedimientos ordenados a fin de orientar la atención y remisión de pacientes de los niveles inferiores de la organización de los servicios de salud hacia los niveles superiores y de los superiores a los inferiores respectivamente. Este aspecto pretende racionalizar al máximo los recursos disponibles bajo parámetros de eficiencia, efectividad y oportunidad en la atención en salud.

La demanda potencial por desastres de origen natural o antrópico puede generar frecuentemente modificaciones en el funcionamiento de los sistemas de salud. Estos cambios deben ser específicos para cada evento (tipo, magnitud, intensidad y duración), lugar, población e infraestructura expuesta; aspectos que indudablemente deben relacionarse con la información epidemiológica, morbilidad, mortalidad y en general con el diagnóstico de salud de la región. Esta sobreposición de información debe confrontarse con la capacidad de ofrecer servicios de salud obteniendo una relación demanda/oferta potencial en el caso de ocurrencia de un desastre. Este análisis es de gran importancia para identificar las variables que influyen negativamente, a fin de intervenirlas.

### Evaluación y reducción de la vulnerabilidad

Teniendo en cuenta la importancia de contar con la infraestructura hospitalaria después de un desastre y con el fin de dar una eficiente respuesta del sector de la salud para atender la emergencia es necesario que la administración realice o promueva un análisis de la vulnerabilidad estructural, no-estructural y funcional de los servicios:

Un análisis de vulnerabilidad podría comenzar con una inspección visual de las instalaciones y con la preparación de un reporte preliminar de evaluación. Esta inspección permite identificar áreas que requieran atención. El reporte puede ser discutido con los consultores y las autoridades de la instalación con miras a definir las prioridades y los cronogramas para llevar a cabo el trabajo. Una vez el programa de refuerzo ha sido diseñado, otras revisiones y análisis deben desarrollarse en áreas específicas identificadas para ser intervenidas.

**Vulnerabilidad estructural** El término estructural se refiere a aquellas partes de un edificio que lo mantienen en pie. Esto incluye cimientos, columnas, muros portantes, vigas y diafragmas (entendidos estos como los pisos y techos diseñados para transmitir fuerzas horizontales, como las de sismos, a través de las vigas y columnas hacia los cimientos).

Las instalaciones para la prestación de servicios de salud en proyecto o ya existentes, que estén situadas en zonas expuestas a movimientos sísmicos deben contemplar normas de

sismorresistencia encaminadas a ofrecer seguridad a las personas que allí se encuentran y en segunda instancia a proteger los equipos vitales del hospital. Construir un edificio "totalmente antisísmico" no es posible o sería demasiado costoso, sin embargo la sismorresistencia es un criterio constructivo que tiene como objeto evitar que el edificio colapse. Ante eventos de intensidad baja o moderada la estructura de la edificación y su contenido no debe sufrir daños y ante sismos muy intensos podría sufrir deformaciones y deterioro en forma permanente sin que se derrumbe, soportando el peso de la construcción y su contenido sin causar víctimas, aun cuando se requiera que sea finalmente demolida o luego reparada o reconstruida.

**Vulnerabilidad no-estructural.** El término no-estructural se refiere a aquellos componentes de un edificio que están incorporados a las partes estructurales (tabiques, ventanas, techos, puertas, cerramientos, etc.), que cumplen funciones esenciales en el edificio (plomería, calefacción, aire acondicionado, conexiones eléctricas, etc.), o que simplemente están dentro de las instalaciones (equipos); pudiendo así agruparlos en tres categorías: arquitectónicos, instalaciones y equipos. En el caso de los centros asistenciales los componentes no-estructurales significan un valor económico superior al costo de la estructura. Conforme a análisis efectuados el valor del componente estructural no constituye más del 15% en promedio del costo total del hospital.

Pueden presentarse situaciones en donde componentes no-estructurales inciden en la ocurrencia de fallas estructurales. Equipo pesado como sistemas centrales de aire acondicionado, equipos de rayos x, escanógrafos, generadores eléctricos, calderas, piscinas de hidroterapia y otros que pueden modificar significativamente la respuesta dinámica calculada para el diseño y construcción de un edificio, desplazándose o volteándose ante la ausencia de anclajes y generando finalmente colapsos parciales o totales del edificio. Elementos arquitectónicos de mampostería de relleno no reforzada y pesados revestimientos, pueden alterar dinámicamente la rigidez del edificio mientras está vibrando. Adicionalmente la pérdida parcial de esta pesada mampostería ocasiona excentricidades y torsiones del edificio pudiendo dar como resultado un colapso parcial.

En cuanto a la operación, el daño o pérdida de algunos elementos podría dar como resultado un serio trastorno en la prestación del servicio. Aun cuando no exista un riesgo directo para las personas, si lo habría en forma indirecta a través de la pérdida de la operación del equipo o sistema. Como ejemplo se puede citar el daño de un generador eléctrico cuyo fluido alimenta sistemas básicos de soporte de vida como ventiladores en una unidad de cuidado intensivo.

**Vulnerabilidad funcional.** La funcionalidad se refiere a la distribución y relación entre los espacios arquitectónicos y los servicios al interior de los hospitales. Una adecuada zonificación y relación entre las cinco áreas que componen la instalación pueden garantizar no solamente un adecuado funcionamiento en condiciones de normalidad sino, también, en casos de atención masiva de pacientes. La relación y habilitación de las áreas de consulta externa, exteriores y urgencias, como la concepción de un área de servicios generales con condiciones especiales de operación y protección pueden garantizar una adecuada atención y evitar una interrupción funcional, que se puede presentar aun en casos en que la edificación no haya sufrido daños severos.

Es responsabilidad del administrador de salud considerar los aspectos anteriores, con el fin de reducir las pérdidas potenciales de los servicios y el impacto social de los desastres cuando en el momento en que más se necesitan este tipo de servicios no pueden ofrecer la atención que requiere la población.

### Planificación y financiación

El administrador de salud debe identificar oportunidades que le permitan involucrar los

conceptos de mitigación y preparación dentro de los temas referentes a la infraestructura y funcionamiento hospitalario. La coordinación con los entes gubernamentales y privados que tienen a su cargo el estudio de condiciones geológicas, sismológicas, hidrometeorológicas, le permitirá conocer las diferentes amenazas a las cuales estarán sometidas las instalaciones de salud existentes o que están en fase de proyecto, de forma que permitan tomar las medidas de mitigación pertinentes para disminuir la vulnerabilidad general de la infraestructura hospitalaria. Para ello es necesario definir un riesgo aceptable, es decir que con base en el análisis descrito se establezca un balance entre el costo de la inversión y el beneficio esperado en términos de pérdidas económicas y sociales dentro de un marco de factibilidad, que permita por último definir un nivel admisible de riesgo, al cual se llegará una vez se hayan aplicado las medidas correspondientes.

La actividad de planificación es permanente, alimentada por los conocimientos antes descritos y enmarcados explícitamente en una expresión de la política institucional, la cual en su desarrollo debe formular los objetivos, estrategias y actividades para lograrlos. Igualmente, se deben desarrollar los aspectos de planificación referidos a la mitigación de riesgos y posteriormente a la preparación para la atención de emergencias, no sin antes aclarar que éstas no son actividades independientes sino que se encuentran íntimamente ligadas, actuando en forma complementaria e interdependiente.

**Estrategias de promoción y financiación.** Una de las mayores dificultades consiste en demostrar la necesidad de la inversión y las bondades de la misma en términos de costo-beneficio. Se pueden citar como factores negativos que pueden en un momento dado pesar en contra: las limitaciones para predecir cierto tipo de eventos naturales, los relativamente prolongados períodos de recurrencia de los mismos, y las crisis económicas casi permanentes de muchos centros asistenciales y del sector salud en la mayoría de los países en desarrollo. Situación, esta última, que ha limitado los recursos disponibles para inversión. No obstante lo anterior, se puede argumentar en forma contundente que la decisión de intervenir la vulnerabilidad de los servicios de salud, a fin de garantizar la seguridad de las personas, los equipos y el servicio en los momentos en que más se requiere, es una decisión con una alta rentabilidad económica y social.

Se pueden citar varias formas de promoción y financiamiento, sin embargo las que se citan a continuación pueden ser asumidas con facilidad, exigiendo obviamente del desarrollo previo o simultáneo de un programa articulado de mitigación y preparación de desastres para instalaciones de la salud, que incluya formación de recursos humanos, desarrollo tecnológico, normatización y asesoría.

**Aprobación de licencias de funcionamiento** La aprobación o renovación de la licencia de funcionamiento de un centro asistencial constituye un excelente medio para exigir que todo centro asistencial contemple técnicas de construcción sismorresistente y medidas de preparación ante emergencias externas e internas.

**Aprobación de presupuestos de inversión** Es de común conocimiento que los aportes presupuestales representan uno de los principales instrumentos para impulsar procesos de inversión y desarrollo con enfoques específicos y, para este caso el incluir acciones de mitigación y preparación en los planes de desarrollo institucional. Así, para el financiamiento del mantenimiento o de obras de construcción (remodelaciones, ampliaciones, etc.), se puede exigir como requisito para su estudio el incluir los criterios de mitigación antes mencionados en el diseño. Es considerablemente más económico construir un centro asistencial con técnicas sismo-resistentes o efectuar un refuerzo de un edificio construido sin estas técnicas, que la pérdida económica resultante del colapso del edificio hospitalario con la consecuente morbi-mortalidad, la pérdida de equipos y la interrupción de la prestación de servicios de salud.

*Aprobación de partidas de apoyo* Dentro de las acciones de estímulo y promoción de la adopción de medidas de mitigación y preparación a nivel hospitalario podría citarse también el apoyo económico con partidas que incentiven y faciliten su adopción, bien sea mediante la cofinanciación de los estudios, consultorías, diseños respectivos o la ejecución de algunas de las obras.

### Gestión internacional

El tema de la reducción del riesgo en hospitales y en general en las instalaciones de la salud ha sido promovido de manera insistente en los últimos años en la región de América Latina y el Caribe, debido a la importancia de elevar el nivel de seguridad de la infraestructura de salud en los países. La Organización Panamericana de la Salud (OPS) ha realizado esfuerzos para lograr la voluntad política de las autoridades de salud y ha promovido la divulgación y capacitación técnica de los profesionales involucrados, impulsando el trabajo multidisciplinario. Este documento es resultado de la programación de actividades cuyo objetivo es la mitigación del riesgo en las instalaciones de la salud.

En 1996, la Organización Panamericana de la Salud/ Organización Mundial de la Salud, bajo el auspicio del Gobierno de México y con el apoyo de la Secretaría del Decenio Internacional para la Reducción de Desastres Naturales (DIRDN), el Departamento de Asuntos Humanitarios de Naciones Unidas (DHA), la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), la Organización de Estados Americanos (OEA) y el Banco Mundial, convocó a la Conferencia Internacional sobre Mitigación de Desastres en Instalaciones de Salud.

En esta conferencia las autoridades de salud de los países de la región adoptaron, por primera vez, compromisos calendarizados durante el período 1996-2001, para reducir los desastres naturales en algunas instalaciones sanitarias consideradas prioritarias, en función de su vulnerabilidad y de las posibilidades políticas, económicas, organizativas y logísticas de cada uno de los países.

Así mismo, en esta Conferencia se definieron los lineamientos estratégicos, planes y programas integrados de mitigación de desastres en instalaciones de salud, que tuvo éxito en ciertos países como Chile, Colombia, México y Perú, quienes han elaborado proyectos nacionales para cumplir parcial o totalmente las recomendaciones de esta Conferencia.

Los acuerdos adoptados, si bien distan aún de haber sido cumplidos a cabalidad, dejan en claro que existe voluntad política en el sector salud para llevarlos a cabo, una vez que se superen ciertos problemas fuera de dicho sector que inhiben su instrumentación. Este documento compromete la acción internacional que contribuya a superarlos y es un exhorto a los países para que adopten las medidas adicionales que hagan viables tales acuerdos (Ref. 27).

Posteriormente y como resultado de la Conferencia, la Organización Panamericana de la Salud (OPS) creó la Comisión de Expertos para la Mitigación de Desastres en Hospitales, la cual ha permitido discutir las estrategias y políticas para el impulso de la mitigación y aspectos técnicos y de divulgación. Uno de los aportes más importantes de la Comisión de Expertos son los términos de referencia para la acreditación de hospitales para afrontar situaciones de desastre, procedimiento que se perfila como un instrumento de especial efectividad para la reducción del riesgo en hospitales en el mediano plazo en la región.

### UN CONVENIO Y UN COMPROMISO

Dentro de las experiencias más notables de desastres en América Latina, puede mencionarse el sismo de México de 1985, el cual ocasionó aproximadamente 10.000 muertos, daños de diversa cuantía en casi 5.000 edificios, y un impacto especialmente fuerte en la infraestructura del Sector de la Salud, con 49 centros hospitalarios afectados y pérdida de alrededor de 6.000 camas hospitalarias a un costo calculado en más de 300 millones de dólares. Sin embargo, la reposición de los servicios de salud dañados en 1985 propició la creación del Sistema Nacional de Protección Civil, para el diagnóstico de los riesgos previsibles y el diseño y ejecución de planes y programas específicos de seguridad civil.

Como respuesta a la preocupación de la Secretaría de Salud, se diseñó un ambicioso proyecto de certificación de la seguridad de los hospitales del país, compromiso que se consolidó con la firma de un Convenio de Cooperación entre la Secretaría y la OPS, con el apoyo del Instituto Mexicano de Seguridad Social y otros organismos del Sector, en febrero de 1996.

El Convenio, en términos generales, establece el marco de referencia para la cooperación entre el gobierno mexicano y la OPS, con el fin de apoyar un programa de certificación de aquellos hospitales que se encuentren en condiciones óptimas para afrontar situaciones de desastre. Para ello, la Secretaría de Salud convoca a un comité de expertos nacionales que evalúen cada caso propuesto y otorguen una certificación que reconozca que el hospital cumple con las pautas vigentes de seguridad y de preparación para continuar en funcionamiento después de ocurrido un desastre. La OPS, por su parte, brinda asesoramiento técnico al comité de expertos, suministra capacitación en los temas relevantes, y remite las certificaciones otorgadas a nivel nacional a un comité internacional, que verifica que la misma haya sido emitida de conformidad con las pautas establecidas, y a su vez otorga un reconocimiento avalando dicha certificación (Ref. 121).

El comité, a nivel nacional, estará conformado por un equipo multidisciplinario de especialistas en ciencias de la salud, ingeniería, arquitectura, administración y mantenimiento de hospitales, con experiencia en el tema de desastres. La Secretaría de Salud elaborará un censo general de los inmuebles que sean relevantes para el cumplimiento del Convenio.

## CAPITULO 2

### VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL

Es fácil concluir que los hospitales tienen problemas para prepararse para un desastre, más que ningún otro servicio. Muchos de los problemas mencionados anteriormente se originan en deficiencias de la seguridad estructural y no-estructural del edificio. El componente estructural debe ser considerado durante la etapa de diseño y construcción, cuando se trata de un nuevo edificio, o durante una etapa de reparación, remodelación o mantenimiento, cuando se trata de un edificio ya construido. Un buen diseño estructural es la clave para que la integridad del edificio sobreviva, aun en un sismo severo. Posiblemente pueden presentarse daños, pero seguramente no entrará en colapso. Si un hospital se desploma, aun parcialmente, será un pasivo para la comunidad después del desastre y no el activo que debe ser.

Por otra parte, en la planeación de un hospital es necesario tener en cuenta que una de las mayores causas de daños en edificaciones ha residido en esquemas de configuración arquitectónico estructural nocivos. Puede decirse de manera general que el alejamiento de formas y esquemas estructurales simples es castigado fuertemente por los sismos. Y además que, desgraciadamente, los métodos de análisis sísmico usuales no logran cuantificar adecuadamente la mayoría de estos problemas. De cualquier forma, dada la naturaleza errática de los sismos, así como la posibilidad de que se exceda el nivel de diseño, es aconsejable evitar el planteamiento de configuraciones riesgosas, independientemente del grado de sofisticación que sea posible lograr en el análisis de cada caso.

Infortunadamente, en muchos países de América Latina la aplicación de las normas de construcción sismorresistente no han sido efectivamente aplicadas y en otros dichas normas no han considerado especificaciones especiales para las estructuras de edificaciones hospitalarias. Por esta razón, no es extraño que cada vez que ocurre un sismo en la región las edificaciones más afectadas son precisamente los hospitales, que deberían ser las últimas en ser afectadas. En otras palabras, la vulnerabilidad estructural en general de los hospitales es alta, situación que debe ser corregida total o parcialmente con el fin de evitar enormes pérdidas económicas y sociales, en particular en los países en desarrollo.

Debido a que muchas edificaciones hospitalarias fueron construidas hace mucho tiempo y otras no han sido diseñadas ni construidas con normas sismorresistentes, surgen dudas con respecto a la seguridad que dichas edificaciones ofrecen para cumplir adecuadamente su función en caso de un sismo, principalmente cuando éstos son necesarios para la atención de una emergencia sísmica y han sido diseñados solamente para atender las cargas de su peso propio. En estos casos se hace imperativa una revisión lo más detallada posible de la capacidad de la estructura de soportar sismos moderados y fuertes. Debe tenerse presente que la dificultad de construir nuevas instalaciones hospitalarias en zonas sísmicas, debido a su alto costo, hace imperativo el reforzar las existentes. El diseño del refuerzo debe pasar necesariamente por un análisis de la capacidad disponible de resistencia y ductilidad

ante sismos, así como de la vulnerabilidad funcional, organizativa y administrativa del hospital, antes de realizar su mejoramiento.

## DAÑOS ESTRUCTURALES

En general, las enseñanzas que han dejado los movimientos sísmicos en el mundo indican que en los sitios donde se diseña de acuerdo con una buena normativa sismorresistente, donde la construcción es sometida a una supervisión estricta y donde el sismo de diseño es representativo de la amenaza sísmica real de la zona, el daño es marginal en comparación con el observado en sitios donde no se han dado estas circunstancias.

No obstante, es importante resaltar que diseñar de acuerdo con un código no siempre salvaguarda contra el daño excesivo producido por terremotos severos. Desde una perspectiva histórica, un código por si sólo no puede garantizar la seguridad contra el daño excesivo, puesto que los códigos son reglamentos que experimentan actualizaciones continuas de acuerdo con los avances tecnológicos y las enseñanzas que dejan las investigaciones y estudios de los efectos causados por terremotos, que no son más que pruebas de laboratorio a escala completa. La ductilidad y redundancia estructural han probado ser, una y otra vez, los medios más efectivos para proporcionar seguridad contra el colapso, especialmente si los movimientos resultan más severos que los anticipados por el diseño. La capacidad de soportar daños significativos permaneciendo estable se puede atribuir por lo general a la tenacidad, ductilidad y redundancia. El daño severo o colapso de muchas estructuras durante sismos importantes es, por lo general, consecuencia directa de la falla de un sólo elemento o serie de elementos con ductilidad o resistencia insuficiente.

A causa de sismos muy fuertes es común que se presenten daños estructurales en columnas tales como grietas diagonales, causadas por cortante y/o torsión, o grietas verticales, desprendimiento del recubrimiento, aplastamiento del concreto y pandeo de las barras longitudinales por exceso de esfuerzos de flexocompresión. En vigas se presentan grietas diagonales y rotura de estribos a causa de cortante y/o torsión, y grietas verticales, rotura del refuerzo longitudinal y aplastamiento del concreto por la flexión que impone el sismo arriba y abajo de la sección como resultado de las cargas alternadas. Las conexiones o uniones entre elementos estructurales son por lo general, los puntos más críticos. En las uniones viga-columna (nudos) el cortante produce grietas diagonales y es común ver fallas por adherencia y anclaje del refuerzo longitudinal de las vigas a causa del poco desarrollo del mismo y/o a consecuencia de esfuerzos excesivos de flexión. En las losas se pueden presentar grietas por punzonamiento alrededor de las columnas y grietas longitudinales a lo largo de la placa debido a la excesiva demanda por flexión que en ciertas circunstancias puede imponer el sismo. Este tipo de daños se han visto reiterativamente en muchas edificaciones hospitalarias sometidas a movimientos sísmicos fuertes y moderados.

Las observaciones realizadas en los últimos años, indican que las construcciones rígidas se desempeñan, en general, mejor que las flexibles; particularmente en lo relativo a la protección de los componentes no-estructurales que sufren menor daño al limitarse la deriva o la deflexión excesiva entre pisos. Irregularidades en altura traducidas en cambios repentinos de rigidez entre pisos adyacentes, hacen que la absorción y disipación de energía en el momento del sismo se concentren en los pisos flexibles, donde los elementos estructurales se ven sobre solicitados, e irregularidades en planta de masa, rigidez y resistencia pueden originar vibraciones torsionales que generan concentraciones de esfuerzos difíciles de evaluar, razón por la cual una mayor exigencia en este tipo de aspectos debe tenerse en cuenta a la hora de diseñar arquitectónicamente las edificaciones.

Pocos edificios se diseñan para resistir sismos severos en el rango elástico, por lo cual es necesario proporcionarle a la estructura capacidad de disipación de energía mediante tenacidad y ductilidad en los lugares que se espera que la resistencia elástica puede ser excedida. Esto se aplica a los elementos y a las conexiones de los elementos, puntos que

usualmente son los más débiles.

El ATC-33 (Ref. 10) define varios niveles de seguridad para una edificación en caso de que se presente un evento sísmico importante. El Cuadro 3 presenta las recomendaciones de los requisitos del IBC Visión 2000.

Nivel de Diseño Sísmico	Comportamiento Requerido			
	Operación Permanente	Ocupación Inmediata	Protección de la Vida	Prevención del Colapso
Frecuente (50%/30 años)	✗			Comportamiento Inaceptable (para edificios nuevos)
Ocasional (50%/50 años)	◆	✗		
Raro (10%/50 años)	○	◆	✗	
Muy raro (10%/100 años)		○	◆	✗

○ = Seguridad crítica, como hospitales, departamentos de bomberos

◆ = Instalación esencial o peligrosa, como centrales telefónicas, edificio con químicos tóxicos

✗ = Instalación básica o convencional, como edificios de oficinas y de residencias

**CUADRO 3. OBJETIVOS DE COMPORTAMIENTO SÍSMICO RECOMENDADOS VISIÓN 2000**

**Nivel de prevención de colapso:** el daño posterior al sismo es tal que la edificación puede sufrir un colapso parcial o total como consecuencia de la degradación de la rigidez o de la resistencia del sistema portante ante las fuerzas laterales, la deformación lateral permanente de la estructura y la limitada disminución de su capacidad para soportar cargas verticales. No obstante, todos los componentes básicos del sistema resistente a cargas gravitacionales puede llegar a continuar funcionando y, aunque el edificio puede mantener su estabilidad, existe un riesgo grave de heridos debido a la caída de objetos. Es probable que no sea práctico reforzar la estructura, y el edificio no es seguro para su ocupación inmediata, puesto que las actividades consecuentes pueden inducir su colapso.

**Nivel de protección de la vida:** es el estado posterior al sismo en el cual se presenta daño significativo en la estructura, aunque se cuenta con un cierto rango de protección contra el colapso parcial o total. El daño es menor que en el caso anterior. La mayoría de los componentes estructurales y no-estructurales no han caído, y por lo tanto no constituyen una amenaza dentro o fuera del edificio. Las rutas de evacuación permanecen operacionales, aunque limitadas por acumulaciones de escombros no significativas. Se pueden presentar heridos durante el sismo, pero se espera que las lesiones no sean de magnitud tal que puedan cobrar la vida de los afectados. Es posible reparar la estructura, aunque en algunos casos esto podría resultar impráctico desde el punto de vista económico.

**Nivel de ocupación inmediata:** en este caso, únicamente se presentan daños muy limitados en la estructura y en los componentes no-estructurales. Los sistemas resistentes a cargas laterales y verticales conservan casi toda la capacidad que tenían antes del evento. El daño no-estructural es mínimo, de modo que los accesos básicos y los sistemas de protección tales como puertas, escaleras, ascensores, luces de emergencia, alarmas contra incendio, etc., permanecen operacionales, siempre que se garantice el suministro de electricidad. Podría presentarse la ruptura de vidrios y pequeños daños en conexiones o lámparas. Se espera que los ocupantes puedan permanecer dentro del edificio, aunque el uso normal de las instalaciones podría estar limitado y se hace necesaria la limpieza e inspección. En general, los componentes electromecánicos están estructuralmente seguros y deberían operar si se requiere. Algunos de estos componentes podrían quedar descalibrados o sufrir desalineamientos o daños internos que imposibilitan su uso. Podría haber falta de

electricidad, de agua, problemas con las líneas de comunicación y tuberías de gas. El riesgo de heridas severas es bajo y el edificio puede ser ocupado; sin embargo, es posible que no sea apto para su funcionamiento normal hasta que se hayan efectuado reparaciones.

**Nivel operación permanente:** en este caso, el edificio permanece en condiciones aptas para su uso normal, aunque tal vez con algunas limitaciones. Todos los sistemas de abastecimiento y líneas vitales deben quedar operando. Para cumplir con este nivel, es necesario contar con sistemas redundantes o equipos de emergencia, y se requiere una inspección rigurosa de los sistemas eléctricos y mecánicos para garantizar su correcto funcionamiento después de que han sido fuertemente sacudidos.

**Nivel de seguridad limitada:** es el rango de daños que ocurre en niveles de respuesta mayores que los de protección a la vida, pero menores a los de protección ante colapso. Es indispensable, en el caso de los hospitales, partir del hecho de que el estado de la estructura será tal que se pueda garantizar el nivel de seguridad de operación permanente. En otras palabras, no es posible efectuar una intervención eficiente y efectiva de la vulnerabilidad no-estructural y funcional si no se adelanta de manera simultánea o previa la intervención de la vulnerabilidad estructural. De nada serviría intervenir la vulnerabilidad no-estructural y funcional si la edificación presenta graves deficiencias estructurales que facilitarían la ocurrencia de daños en forma extensiva en los elementos no-estructurales o incluso la estabilidad de la edificación.

En el caso de edificios esenciales para la recuperación pos-sísmica, es necesaria la realización de un análisis juicioso. Para ello se dispone de métodos analíticos y experimentales, como se detallará más adelante. En América Latina las edificaciones usualmente son de concreto reforzado, mampostería de ladrillo y edificaciones de madera con techos livianos. La evaluación de la vulnerabilidad estructural de este tipo de edificaciones debe realizarla ingenieros especializados.

De acuerdo con lo examinado anteriormente, la evaluación del estado de una construcción existente puede hacer surgir serias dudas sobre la capacidad de la misma para soportar eventos sísmicos. En algunos países se han desarrollado campañas de refuerzo de edificios existentes para efectos de reducir la vulnerabilidad de los mismos. En principio, puede pensarse que el refuerzo debería ser obligatorio para edificios esenciales para la atención de emergencias derivadas de desastres, y que resulten inadecuados luego de las evaluaciones de vulnerabilidad estructural.

#### **EVALUACIÓN Y REFUERZO OBLIGATORIO DE HOSPITALES**

La nueva Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-98 (Ley 400 de 1997, Decreto-Ley 33 de 1998) (Ref. 19) establece que los hospitales existentes de mayor nivel de complejidad localizados en las zonas de más alta amenaza sísmica deben ser evaluados en su vulnerabilidad e intervenidos o reforzados en un lapso de tres y seis años respectivamente, lo que significa que tanto el Gobierno Nacional como los gobiernos departamentales y municipales deben incluir partidas presupuestales en los próximos años con ese fin y tener en cuenta este tipo de inversiones en los futuros planes de desarrollo en todos los niveles territoriales.

**GRUPO DE USO IV - Edificaciones Indispensables:** Son aquellas edificaciones de atención a la comunidad que deben funcionar durante y después de un sismo, cuya operación no puede ser trasladada rápidamente a un lugar alterno, tales como, hospitales de niveles de complejidad 2 y 3 y centrales de operación y control de líneas vitales.

**ART. 54: ACTUALIZACION DE LAS EDIFICACIONES INDISPENSABLES.** A las construcciones existentes cuyo uso las clasifique como edificaciones indispensables, localizadas en zonas de amenaza sísmica alta e intermedia, se les debe evaluar su vulnerabilidad sísmica, de acuerdo con los procedimientos para el efecto establecidos en esta reglamentación, en un lapso no mayor de tres (3) años contados a partir de la vigencia de la presente ley.

Estas edificaciones deben ser intervenidas o reforzadas para llevarlas a un nivel de seguridad sísmica equivalente al de una edificación nueva diseñada y

*construida de acuerdo con los requisitos de la presente ley y sus reglamentos, en un lapso no mayor de seis (6) años contados a partir de la vigencia de la presente ley.*

El Ministerio de Salud y la Dirección Nacional para la Prevención y Atención de Desastres de Colombia, con este instrumento jurídico podrán fortalecer en todo el país su programa de promoción de estudios de vulnerabilidad sísmica de los hospitales existentes y de su debido refuerzo, en caso de que así se determine. Este trabajo podrá impulsarse concertando los esfuerzos nacionales, departamentales y en algunos casos municipales, mediante procesos de cofinanciación y contrapartidas establecidos por el Ministerio de Salud, el Fondo de Inversión Social y el Fondo Nacional de Calamidades, a luz de los principios constitucionales de concurrencia, complementariedad y descentralización. En consecuencia, aunque en el tiempo previsto de los tres y seis años indicados por la ley no se logren cubrir todas las edificaciones hospitalarias de nivel de complejidad 2 y 3 en las zonas de amenaza sísmica alta e intermedia, indudablemente la norma ayudará a avanzar en el tema y a estimular la voluntad política de los niveles regionales y locales, quienes en el caso colombiano también son responsables de la aplicación de una ley como la descrita. Seguramente que, si aun no contando con la normativa ya se habían registrado algunos casos de voluntad política regional y local para continuar con la fase de diseño del refuerzo de varias hospitales importantes, con la normativa ya vigente y una debida promoción y divulgación de la misma se logrará un mayor cubrimiento y resultados, que se traducirán en un aumento de la seguridad y la protección de la infraestructura de salud del país (Ref. 36).

## ANALISIS ESTRUCTURAL

El análisis estructural de construcciones hospitalarias no difiere en sus aspectos teóricos del correspondiente a una estructura corriente de edificios, puesto que son construidas con idénticos materiales y sometidas a cargas semejantes. Las diferencias pueden hallarse, más bien, en los criterios y requisitos de diseño específicos para hospitales, con respecto a los cuales no hay consenso en la comunidad internacional, tal como se expondrá más adelante. A continuación se presenta en forma resumida los principios básicos de análisis estructural para edificios.

### Análisis estático

Las estructuras sometidas a cargas estáticas, tales como las representadas por el peso propio de la estructura y las cargas de uso, suelen modelarse como estructuras hiperestáticas linealmente elásticas, para las cuales es válido el principio de superposición. Esto permite relacionar las fuerzas y las deformaciones a través de la fórmula simple:

$$\mathbf{f} = \mathbf{k} \mathbf{u}$$

donde  $\mathbf{f}$  es el vector de fuerzas externas aplicadas a la estructura,  $\mathbf{u}$  es el vector de deformaciones de los puntos de aplicación de dichas fuerzas (grados de libertad), y  $\mathbf{k}$  es la matriz de rigidez definida como:

$$\mathbf{k} = [k_{i,j}]$$

en la cual los elementos denotan la fuerza en  $i$  cuando en  $j$  se da un desplazamiento unitario.

El análisis usual para cargas de gravedad, así como para cargas derivadas de empuje de tierras y agua y asentamientos diferenciales, recurre a la ecuación antes expresada, bajo la suposición de linealidad en el comportamiento esfuerzo-deformación de los materiales. Esta suposición es adecuada en materiales como el acero y el aluminio a niveles moderados de esfuerzo, por debajo del nivel de cedencia, ya que el módulo de elasticidad del material es constante hasta dicho nivel. Para el concreto y la mampostería, la suposición es menos adecuada, puesto que la pendiente de la curva esfuerzo-deformación varía con el nivel de esfuerzo, pero el uso de la ecuación es de todas maneras admisible.

Los términos elementales de rigidez utilizados hasta aquí son usualmente modificados para tener en cuenta los siguientes hechos:

- a) La influencia de las deformaciones por cortante, la cual es mayor a medida que aumenta la relación entre la altura de la sección y su longitud.
- b) La gran rigidez de cada elemento en el sector del nudo, la cual puede considerarse como infinita.

La matriz de rigidez de una barra prismática obtenida al tener en cuenta estas dos modificaciones es la que usualmente se configura en los programas de computador para el análisis de estructuras reticulares. J. Meek (Ref. 79) describe en detalle el análisis estructural por métodos matriciales, así como los sistemas de cálculo electrónico.

### Análisis espacial

La naturaleza tridimensional de las estructuras de los edificios, así como de las cargas de origen sísmico, ha creado la necesidad de realizar análisis en tres dimensiones que reflejen de manera más adecuada que los análisis planos el comportamiento de las estructuras.

La necesidad del análisis espacial se debe básicamente por el fenómeno de la torsión. En efecto, la diferencia de disposición en planta de la rigidez lateral hace que se presente torsión bajo la presencia de fuerzas de inercia sísmicas o de viento, que por su naturaleza de fuerzas iniciales tienen su resultante aplicada en el centro de masa de cada nivel, en términos simplificados. La diferencia de posición entre el centro de masa y el punto de concentración de la resultante de las fuerzas de reacción de los diferentes elementos resistentes, hace que se genere un par instantáneo de rotación del diafragma, el cual es mayor en la medida en que la distancia entre ambos puntos aumente. El punto de aplicación de la resultante mencionada se conoce como centro de rotación y su posición es, en general, variable, en dependencia de la carga, la resistencia realmente ofrecida por los elementos en cada caso, etc. Para la conversión del análisis espacial en una serie de análisis planos, puede suponerse aproximadamente que dicho centro se encuentra localizado en el centro de rigidez de los diferentes elementos que cruzan el diafragma (Ref. 118). En el caso de efectuarse un análisis espacial como el que se explica más adelante no es necesaria dicha suposición.

### Análisis espacial estático

El siguiente desarrollo matemático supone que la losa de piso ensambla las estructuras verticales resistentes (pórticos y muros) sin absorber deformaciones, es decir, rígidamente. Esto supone que las fuerzas sísmicas son enteramente absorbidas por las estructuras verticales y que la losa es infinitamente rígida en su plano. Esta suposición está de acuerdo con lo observado en la mayoría de los casos prácticos. La Figura 1 ilustra este comportamiento rígido en una estructura sin torsión así como un caso de comportamiento flexible de la losa en su propio plano, el cual se considera indeseable. Puede verse claramente que este caso requeriría de un análisis espacial en el que se considerara la flexibilidad de la losa en su plano. Otros casos de este tipo de comportamiento se describen en la sección correspondiente.

Supongamos que un sistema plano  $i$ , sometido a cargas laterales, es analizado en sus dos coordenadas utilizando la matriz condensada, por medio de la ecuación:

$$\mathbf{f}_i = \mathbf{R}_i \mathbf{u}_i$$

El vector de fuerzas puede ser expresado en un sistema espacial de coordenadas, como:

$$\mathbf{F}_i = \mathbf{A}_i \mathbf{f}_i$$

donde la matriz  $\mathbf{A}_i$  es la necesaria para transportar el vector de fuerzas en el sistema local al centro de coordenadas del sistema espacial. Por la ley del contragradiante, esta matriz es la

misma que se requiere para expresar la relación entre los desplazamientos en el sistema plano y el espacial:

$$\mathbf{u}_i = \mathbf{A}_i^T \mathbf{U}_i$$

donde  $\mathbf{U}_i$  es el vector de desplazamientos de la estructura plana vistos desde el sistema espacial. Reemplazando:

$$\mathbf{f}_i = \mathbf{R}_i \mathbf{A}_i^T \mathbf{U}_i$$

y premultiplicando por  $\mathbf{A}_i$ ,

$$\mathbf{A}_i \mathbf{f}_i = \mathbf{F}_i = (\mathbf{A}_i \mathbf{R}_i \mathbf{A}_i^T) \mathbf{U}_i$$

o, lo que es equivalente:

$$\mathbf{F}_i = \mathbf{S}_i \mathbf{U}_i$$

con:

$$\mathbf{S}_i = \mathbf{A}_i \mathbf{R}_i \mathbf{A}_i^T$$

donde  $\mathbf{S}_i$  es la matriz de rigidez de la estructura plana expresada en términos del sistema de coordenadas espacial. De manera semejante, al transportar todas las matrices de rigidez de los sistemas planos al centro común se obtiene:

$$\mathbf{S} = \sum_{\forall i} \mathbf{S}_i$$

Las fuerzas sísmicas calculadas por medio del análisis dinámico o del método simplificado, que se describen más adelante, se consideran aplicadas en el centro de gravedad de cada piso, por su naturaleza de fuerzas iniciales. El vector  $\mathbf{F}$  es el vector de dichas fuerzas:

$$\mathbf{F} = [f_j]$$

Los desplazamientos en el sistema global producidos por estas fuerzas serán:

$$\mathbf{U} = \mathbf{S}^{-1} \mathbf{F}$$

Los desplazamientos en cada uno de los sistemas planos se obtendrán como:

$$\mathbf{u}_i = \mathbf{A}_i^T \mathbf{U}$$

y los giros de los nudos se calcularían de acuerdo con la ecuación:

$$\theta_i = -K_{00}^{-1} K_{u0} u_i$$

Con ambos resultados se calculan fácilmente las fuerzas internas en los elementos del sistema plano.

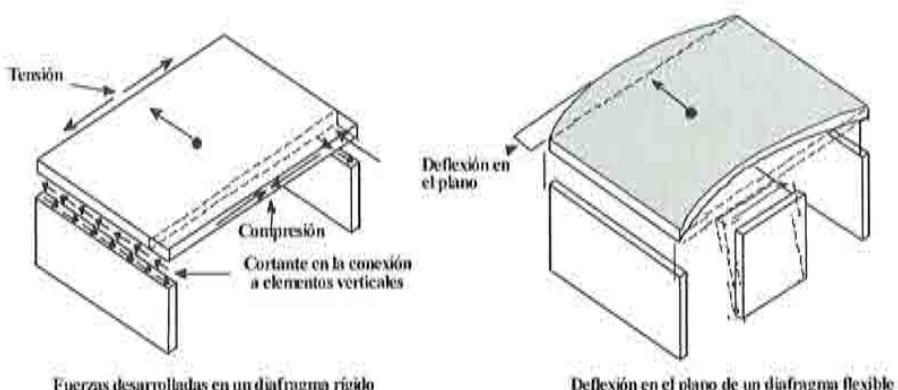


FIGURA 1. COMPORTAMIENTOS RÍGIDO Y FLEXIBLE DEL DIAFRAGMA

### Análisis dinámico

Para las cargas de naturaleza sísmica es necesario recurrir a análisis de tipo dinámico. Para el caso simple de vibraciones lineales no amortiguadas y sin fuerza externa actuante, esto es, vibraciones libres, de un sistema de un grado de libertad, se tiene:

$$m\ddot{u} + ku = 0$$

la cual tiene por solución:

$$u(t) = e^{-\xi\omega_0 t} (A \sin \omega_d t + B \cos \omega_d t)$$

con:

$$\xi = \frac{c}{2m\omega_0} \equiv \text{factor de amortiguamiento}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{m}{k}} \equiv \text{frecuencia natural}$$

$$\omega_d = \omega \sqrt{1 - \xi^2} \equiv \text{frecuencia amortiguada}$$

La vibración forzada, dada por:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = p$$

tiene por solución la integral de Duhamel:

$$u(t) = \frac{1}{m\omega_d} \int_0^t p(\tau) e^{-\xi\omega_0(t-\tau)} \sin \omega_d(t-\tau) d\tau$$

Por medio de derivación numérica se obtienen las historias de velocidad y aceleración del sistema.

En el caso de movimientos del suelo, la fuerza dinámica tiene por valor:

$$p(t) = -m\ddot{u}_s$$

donde  $\ddot{u}_s$  = aceleración del suelo      Por tanto,

$$u = -\frac{1}{\omega_d} \int_0^t \ddot{u}_s e^{-\xi\omega(t-\tau)} \sin \omega_d(t-\tau) d\tau$$

Un examen detallado de la dinámica de estructuras se encuentra en Clough y Penzien (Ref. 44).

### Espectros de respuesta

De la aplicación repetida de la integral de Duhamel para una misma historia de aceleración del suelo y varios factores de amortiguamientos y frecuencias, se obtiene múltiples historias de respuesta, cuyos valores máximos suelen ser graficados contra sus respectivas frecuencias o períodos para tener un reflejo de la acción del sismo sobre varios tipos de estructuras. Estos espectros se definen como:

$$S_d(T, \xi) = \max u(t, T, \xi)$$

$$S_v(T, \xi) = \max \dot{u}(t, T, \xi) \approx \omega S_d(T, \xi)$$

$$S_a(T, \xi) = \max \ddot{u}(t, T, \xi) \approx \omega^2 S_d(T, \xi)$$

El mayor valor de las aceleraciones en una zona determinada de períodos se debe a que las frecuencias naturales en ella se acercan a las frecuencias dominantes de las ondas sísmicas en la base, condición necesaria para que se presente una especie de resonancia del sistema con la excitación. Las ondas sísmicas en la base de la estructura, a su vez, han sido filtradas por el suelo sobreyacente a la roca basal y han adquirido por tanto las frecuencias dominantes del mismo. Por esta razón debe considerarse con cuidado la relación entre la frecuencia natural dominante de la estructura y la dominante del suelo. La misma estructura, situada en dos suelos diferentes, puede responder con mayores aceleraciones en un suelo que en otro, en dependencia de la relación de su frecuencia natural con respecto a la del suelo (Ref. 132).

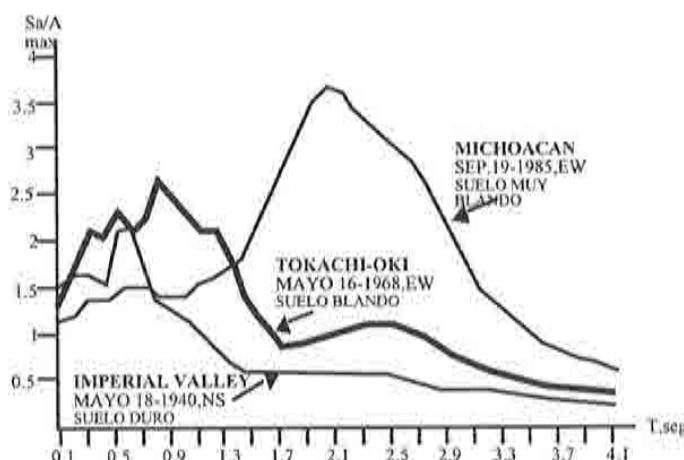


FIGURA 2. ESPECTROS DE ACCELERACION: COMPARACION DE EFECTOS DE SITIO

La Figura 2 muestra varios espectros de registros de sismos obtenidos en diferentes

tipos de suelos, normalizados según la aceleración máxima del terreno. Se aprecia claramente que el efecto de la rigidez del suelo es de doble naturaleza. Por una parte, determina la zona del espectro en la que se dan los mayores valores de la respuesta, de manera tal que a mayor flexibilidad del suelo, mayor período dominante en el espectro. Por otra parte, la mayor flexibilidad del suelo impone una mayor amplificación de la aceleración en la estructura.

#### Sistemas de varios grados de libertad

La ecuación de vibración libre no amortiguada para sistemas de varios grados de libertad toma la forma:

$$\mathbf{M} \ddot{\mathbf{U}} + \mathbf{S} \mathbf{U} = \mathbf{0}$$

donde:

$$\mathbf{M} = [m_{ij}], \mathbf{S} = [s_{ij}]$$

son las matrices de masa y rigidez, respectivamente. Los términos de las matrices son las fuerzas en el grado de libertad  $i$  debidas a una aceleración unitaria o a un desplazamiento unitario, respectivamente, en el grado de libertad  $j$ . El modelo adoptado normalmente es el mostrado en la Figura 3.

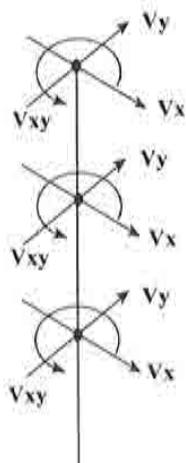


FIGURA 3: MODELO DINAMICO ESPACIAL

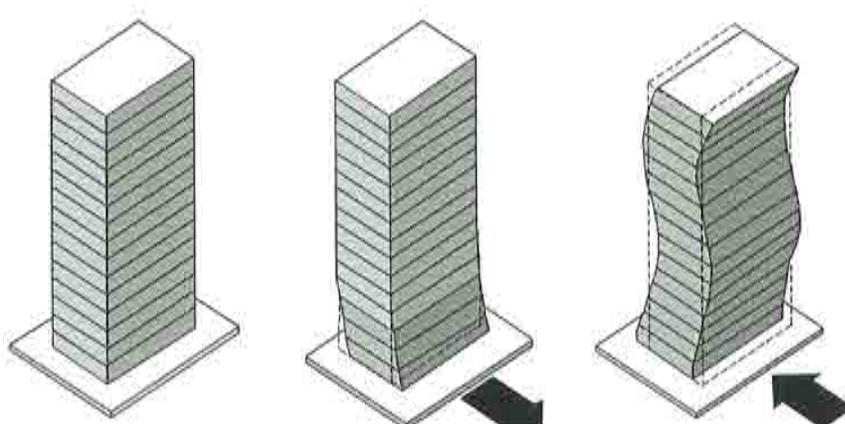


FIGURA 4: MODOS DE VIBRACION

Las masas tienen como grados de libertad dos traslaciones laterales ortogonales y una

rotación alrededor del eje central. Esto simula de manera adecuada los desplazamientos de la estructura en el plano horizontal y la torsión de la misma causada por excentricidades de la masa con respecto a la rigidez. La matriz de rigidez, en consecuencia, se construye de acuerdo a estos grados de libertad, tal como se ilustra más adelante. Sin embargo, puede ser suficientemente satisfactorio usar un modelo plano para cada eje horizontal, y analizar los efectos de torsión en un análisis espacial estático realizado con las fuerzas resultantes de este análisis dinámico. En este caso, la matriz de rigidez es la suma de las matrices de rigidez condensadas obtenidas para cada pórtico resistente en el sentido del análisis:

$$S = \sum_{k=1}^{K=N} R_k$$

Si se supone la solución:

$$U = \phi \sin(\omega t + \gamma)$$

se llega a que:

$$[S - \omega^2 M] \phi = 0$$

la cual tiene solución únicamente si:

$$\|S - \omega^2 M\| = 0$$

De la solución de este determinante se obtienen las diferentes frecuencias de vibración, a cada una de las cuales corresponde un modo de vibración. Físicamente, el significado del modo de vibración es que, si la estructura se lleva a la posición de deformación indicada por cada modo y se libera, vibrará de forma libre con la frecuencia correspondiente y tomando en cada extremo de la vibración la forma del modo respectivo.

Las fuerzas dinámicas actúan a través de las características dinámicas de la estructura, esto es, de sus frecuencias y modos de vibración, cada uno de los cuales representa un sistema de un grado de libertad. Por esta razón, la respuesta total para vibraciones forzadas, según el principio de superposición de sistemas lineales, será la suma de las respuestas individuales. El valor total de la respuesta de desplazamiento está dado por:

$$U = \phi_1 v_1 + \phi_2 v_2 + \dots + \phi_n v_n$$

donde el primer factor de los términos de la serie es el modo de vibración y el segundo representa la respuesta de dicho modo a la excitación, y se conoce con el nombre de coordenada generalizada del modo respectivo. De esta manera:

$$v_i = \frac{1}{M_i \omega_{di}} \int_0^t P_i(\tau) e^{-\xi_i \omega_i(t-\tau)} \sin \omega_i(t-\tau) d\tau$$

donde:

$$M_i = \phi_i^T M \phi_i$$

y:

$$P_i = \phi_i^T M[r] \ddot{d}_s$$

donde  $[r]$  es un vector de influencia que representa los desplazamientos estáticos en los grados de libertad de la estructura que resultan de un movimiento estático unitario en la base. Para los modelos planos el vector  $[r]$  es un vector de unos.

De acuerdo a las ecuaciones de la dinámica de estructuras puede demostrarse que la fuerza sismica en el modo  $i$  y en el nivel  $j$  es:

$$f_{i,j} = \frac{\sum_{\forall j} m_j \phi_{i,j}}{\sum_{\forall j} m_j \phi_{i,j}^2} m_j \phi_{i,j} S_a(T_i, \xi_i)$$

Las fuerzas máximas debidas a cada modo no coinciden necesariamente en el tiempo, debido a la diferencia de respuesta de cada modo, la cual a su vez se debe a la diferencia de frecuencias. Por ello, su combinación para obtener la fuerza de diseño suele ser probabilística.

La manera usual de realizar esta combinación es por medio del criterio de la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados:

$$f_J = \sqrt{\sum_{\forall i} f_{i,j}^2}$$

Sin embargo, en los últimos años ha adquirido mayor aplicación la llamada combinación cuadrática completa, en la cual:

$$f_J = \sqrt{\sum_i^n \sum_k^n f_{ij} p_{ik} f_{kj}}$$

con:

$$p_{ik} = \frac{8\sqrt{\xi_i \xi_k \omega_i \omega_k} (\xi_i \omega_i + \xi_k \omega_k) \omega_i \omega_k}{(\omega_i^2 - \omega_k^2)^2 + 4\xi_i \xi_k \omega_i \omega_k (\omega_i^2 + \omega_k^2) + 4(\xi_i^2 + \xi_k^2) \omega_i^2 \omega_k^2}$$

### Método simplificado

A partir de las fórmulas anteriores se puede derivar un método simplificado de cálculo de fuerzas sismicas. La fuerza debida al modo  $i$  en el piso  $j$  puede expresarse también como:

$$f_{i,j} = \frac{\left( \sum_{\forall j} m_j \phi_{i,j} \right)^2}{\sum_{\forall j} m_j \phi_{i,j}^2} \frac{m_j \phi_{i,j}}{\sum_{\forall j} m_j \phi_{i,j}} S_a(T_i, \xi_i)$$

El primer término se conoce con el nombre de masa modal efectiva del modo  $i$ . La tendencia usual en edificios es que la masa efectiva del primer modo de traslación en cada sentido constituya una gran parte de la masa total. Si se toma la masa efectiva del primer modo como la masa total del edificio, y se asume que el primer modo tiene forma lineal,

expresada como la relación entre la altura del piso y la altura total del edificio, de suerte que:

$$\phi_{I,j} = \frac{h_j}{H},$$

se obtiene:

$$f_j = \frac{w_j h_j}{\sum_{\forall j} w_j h_j} \frac{W}{g} S_a(T_I, \xi_I)$$

la cual es la fórmula básica de cálculo de fuerzas en los métodos pseudo-dinámicos consagrados en varios códigos de construcciones. El método logra evitar totalmente la realización de un análisis dinámico al asumir el período fundamental de acuerdo a fórmulas empíricas calculadas por experimentación de edificios con vibraciones ambientales. Los partidarios del método lo defienden por su sencillez. Sin embargo, al aumentar la complejidad de la construcción el análisis dinámico se hace más necesario, debido a que el modo fundamental tiende a apartarse de la forma asumida por el método simplificado y los modos superiores cobran mayor importancia.

## DISEÑO SISMORRESISTENTE

El diseño sismorresistente de estructuras es de una complejidad muy superior a la que caracteriza el diseño para cargas estáticas de gravedad, debido a los múltiples factores que se deben tener en cuenta en él. Entre estos se encuentran los siguientes:

- a) La naturaleza azarosa de la excitación, en cuanto a su momento de ocurrencia, localización, energía liberada, amplificación por el suelo, variación con el tiempo, etc.
- b) La incertidumbre sobre la respuesta de la estructura, debida a la heterogeneidad de la calidad de los materiales, la interacción con los elementos no-estructurales, la variación de las cargas de servicio, las variaciones presentadas en la construcción, etc.
- c) Los mecanismos de falla y disipación de energía que impliquen el menor riesgo para la vida humana y sus propiedades.
- d) El costo en excedencia sobre la resistencia a cargas de gravedad, implicado en evitar total o parcialmente el daño estructural y no-estructural.
- e) El costo de reparación en caso de que se permita un nivel determinado de daño.
- f) El costo social implicado por la falla de edificios, especialmente en el caso en que sean esenciales para la atención de un desastre, como el caso de los hospitales.

De acuerdo con esto, el diseño sismorresistente debe tratar de atender de la mejor manera posible todos estos aspectos (Ref. 19). Normalmente, los códigos de diseño enmarcan algunos de estos problemas por medio de fórmulas cuantitativas simples sobre seguridad global o local. El seguimiento estricto de estas normas en el diseño habitual de estructuras, hace que el contenido de fondo de tales simplificaciones sea frecuentemente desconocido u olvidado, lo que da lugar a un trabajo de diseño rutinario e irreflexivo. Sin embargo, en el diseño de cualquier edificio, y en especial en el de aquellos que deban permanecer en el mejor estado posible después de un sismo, debe tenerse presente las implicaciones de cada decisión importante de acuerdo con los principios y avances de la ingeniería sísmica, y bajo la óptica de la presencia de la construcción en un medio social.

A continuación se revisan las implicaciones en el diseño sísmico de hospitales de los aspectos mencionados anteriormente.

### Espectro de diseño

En el espectro de diseño recomendado por los códigos de sismorresistencia se encuentran implícitas decisiones sobre:

- La probabilidad de excedencia del sismo de diseño en un período de tiempo considerado como de vida útil media de los edificios.** Normalmente, se considera una probabilidad de excedencia del 10% en un período de vida media útil de 50 años. En el caso de hospitales, sin embargo, la vida útil supera ampliamente ese valor. La dinámica de la construcción de centros hospitalarios es decididamente menor que la de construcción de viviendas y otro tipo de construcciones. Esto es especialmente crítico en los países en desarrollo, en los que la construcción de grandes centros hospitalarios es escasa debido a que resulta altamente onerosa, por diversas razones, y es, generalmente, deficitaria. Por estas razones la perdurabilidad de dichos centros es muy alta en algunos países, y, en consecuencia, debe pensarse con detenimiento la selección de estas variables.
- Las frecuencias dominantes y respuestas máximas.** Normalmente, los espectros de sismos exhiben sectores estrechos de frecuencias donde se encuentran las respuestas máximas. Sin embargo, para cubrir las incertidumbres asociadas a la distancia de ocurrencia del evento y a su contenido de frecuencias, los espectros de diseño presentan una amplia planicie de respuestas máximas así como factores de amplificación de las respuestas en terrenos blandos con respecto a las de terreno firme, de acuerdo a comportamientos observados en varios sitios del mundo. No obstante, en el caso de edificaciones especiales, puede ser conveniente la elaboración de un espectro de diseño de acuerdo a las características geológicas y geotécnicas del sitio de construcción.

### Comportamiento no lineal

El criterio de diseño tradicional de edificios sometidos a sismos fuertes ha sido el de permitir cierto ingreso de los materiales en el rango no lineal con el fin de absorber energía bajo la especie de deformaciones permanentes. La Figura 5 ilustra este criterio para un sistema elasto-plástico. La línea OA representa el diagrama esfuerzo máximo - deformación máxima de un sistema perfectamente elástico en un sismo determinado, mientras que la línea OCD representa un sistema elasto-plástico. Existen varias hipótesis sobre la simplificación que debe ser asumida para evaluar de manera sencilla el comportamiento del sistema elasto-plástico.

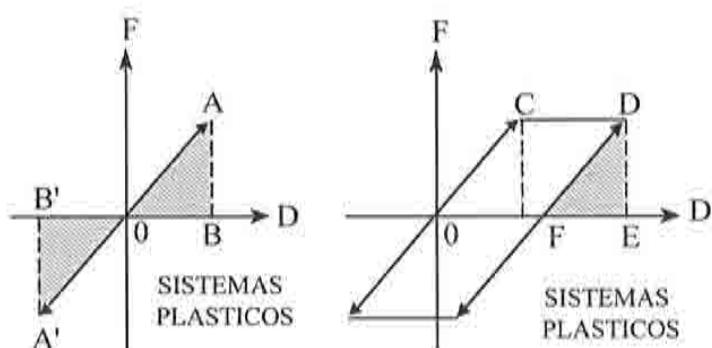


FIGURA 5. ABSORCIÓN Y DISIPACIÓN DE ENERGÍA

**Hipótesis de igual deformación máxima.** Si asumimos que un sistema elasto-plástico,  $OAB$  (Figura 4) tiene igual rigidez en su parte elástica que el sistema elástico, esto equivale a que el período inicial del sistema elasto-plástico es igual al período del sistema elástico. Si asumimos además que los sistemas elástico y elasto-plástico tienen bajo el mismo sismo una igual deformación máxima,  $OE=OB$ , entonces la siguiente relación es válida:

$$\frac{AB}{DE} = \frac{OE}{OF}$$

Es decir,

$$\frac{f}{f_y} = \frac{\delta_u}{\delta_y}$$

Si hacemos:

$$\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y}$$

y lo definimos como factor de ductilidad, la siguiente relación expresa las fuerzas de diseño del sistema elasto-plástico:

$$f_y = D f$$

con:

$$D = \frac{1}{\mu}$$

El factor  $D$  se denomina usualmente factor de reducción de esfuerzos. De esta manera, la estructura debe ser diseñada para unos esfuerzos menores que los dados por la respuesta del sistema elástico, calculada de acuerdo a lo expresado en la primera parte de este capítulo. Si con las fuerzas así obtenidas se realiza un análisis elástico, se obtendrían unas deformaciones que, a su vez, deben ser multiplicadas por el factor de ductilidad para estimar las deformaciones máximas de la estructura, lo cual es de gran importancia para el estudio del comportamiento de elementos no-estructurales y la estabilidad de los diferentes pisos. Los elementos estructurales deben entonces garantizar que se logre alcanzar dichas deformaciones inelásticas. Para ello debe disponerse en dichos elementos de ductilidad suficiente, por medio de los mecanismos que se detallará más adelante.

**Hipótesis de igual energía de deformación monotónica.** En este caso supondremos que la energía potencial almacenada en los dos sistemas, de igual rigidez inicial y cargados monotópicamente, es equivalente. El área **OAB** (Figura 4) representa la energía elástica almacenada en el sistema elástico, la cual se convierte en energía cinética que impulsa la estructura para movimientos adicionales en la dirección opuesta, mientras que el área **FED** representa la parte de la energía almacenada en el sistema elasto-plástico que es susceptible de generar movimiento adicional. Puede verse que al ser menor la resistencia del sistema, el sistema elasto-plástico deberá sufrir aceleraciones menores que el sistema elástico. Por otra parte, el área **FCDE** representa la energía absorbida por el sistema elasto-plástico por medio de deformaciones permanentes. Igualando las dos energías totales, tenemos:

$$\frac{OA \times OB}{2} = \frac{FC \times OF}{2} + FE \times FC$$

Es decir,

$$\frac{f\delta}{2} = \frac{f_y \delta_y}{2} + f_y (\delta_u - \delta_y)$$

como:

$$OD = OC \times \frac{OG}{OF}$$

se llega finalmente a que:

$$D = \frac{f_y}{f} = \sqrt{\frac{I}{2\mu - I}}$$

con:

$$\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y}$$

En consecuencia, la deformación máxima del sistema elasto-plástico viene dada por:

$$\delta_u = \delta_y \mu$$

De esta manera se tienen diferentes ecuaciones de la reducción de fuerzas que se debe aplicar en el diseño del sistema elasto-plástico, así como de la deformación máxima del mismo. Rosenblueth (Ref. 111) recomienda utilizar la reducción de fuerzas según la primera hipótesis para períodos largos y la segunda para períodos cortos. Para el estimativo de desplazamientos inelásticos, es recomendable utilizar la hipótesis más conservadora en cada caso.

Debe anotarse que estas son hipótesis de diseño establecidas en muchos códigos de construcciones. Sin embargo, tienen el defecto de considerar una reducción de fuerzas debido al comportamiento inelástico solamente en relación con la deformación máxima alcanzada en cualquier instante del sismo, o a la máxima energía disipada en un ciclo, sin atender a la duración de éste. Esto hace que se dejen de lado factores tan importantes como los asociados a la fatiga progresiva de los materiales, tales como la degradación de la rigidez, la disminución de la resistencia, el aumento progresivo de las deformaciones, y por ende, el colapso progresivo. Por esta razón, en los últimos años han adquirido un gran énfasis los métodos que de una u otra manera involucran la duración total del sismo en el diseño, generalmente a través de la energía total disipada o del número de ciclos de carga.

### **Disposición de la ductilidad**

En vista de que los métodos de diseño no lineal simplificado vistos anteriormente exigen la capacidad de la estructura de permitir grandes deformaciones sin colapso, los elementos de la misma deben ser diseñados para atender adecuadamente esta demanda de ductilidad. A continuación examinaremos los mecanismos esenciales para la obtención de altas capacidades de ductilidad en los sistemas estructurales corrientes.

#### **Estructuras de acero.**

A diferencia del concreto, el acero es un material por naturaleza dúctil. Sin embargo, las grandes demandas de ductilidad impuestas por los sismos hacen necesario el asegurar algunas medidas especiales en los elementos estructurales. La más importante de ellas reside en el diseño adecuado de las conexiones viga-columna. Las conexiones viga-columna son el punto más vulnerable de las estructuras de acero sometidas a sismos. La falla más común es la que ocurre por pandeo local en los patines y en el alma, y tiende a suceder en la columna en su unión con la viga, debido a las fuerzas transmitidas por ésta. El diseño de la unión debe realizarse de tal suerte que la rotación inelástica tenga lugar preferentemente en las vigas y no en la unión. Para ello puede requerirse el uso de atiesadores horizontales y/o inclinados en el alma de la columna con el fin de controlar la transferencia de esfuerzos de un elemento al otro.

### Estructuras de concreto reforzado.

El concreto reforzado se caracteriza por su escasa ductilidad, debido a su comportamiento frágil ante grandes deformaciones. En el diseño de estructuras de concreto debe detallarse con cuidado los mecanismos de ductilidad en los diferentes elementos, de una manera más exigente que en el caso del acero. Los siguientes son los criterios básicos para ello:

- a) *Confinamiento.* El confinamiento del concreto garantiza la preservación del material ante la alternación de esfuerzos dada en los sismos y, en consecuencia, permite el desarrollo de deformaciones inelásticas mayores que las posibles en una estructura en la que el concreto se deteriore.
- b) *Control de falla a cortante.* La falla a cortante es una falla que compromete seriamente la integridad de la sección de un elemento cualquiera de concreto reforzado. Por esta razón los códigos de diseño generalmente obligan a un diseño a cortante tal que garantice que la resistencia a cortante sea superior a la resistencia a flexión. Esto se logra utilizando como cortante de diseño un valor que sea como mínimo el correspondiente a la plastificación por flexión en los nudos extremos.
- c) *Control de la reducción de la ductilidad disponible debido a la carga axial.* La carga axial de compresión reduce drásticamente la ductilidad de desplazamiento disponible en un elemento de concreto sometido a ella. El fenómeno, que es más fuerte en columnas que en muros estructurales generalmente, se debe a que a mayores cargas de compresión se reduce el trabajo a tensión del acero, el cual puede darse con valores del esfuerzo de trabajo menores del esfuerzo de fluencia, lo que implica un uso insuficiente del acero para efectos de desarrollar grandes deformaciones inelásticas y disipar energía por ese medio. Sin embargo, no siempre es posible diseñar las secciones de columnas de manera que haya esfuerzos altos de tracción en el acero, por razones arquitectónicas y económicas.

Park y Paulay (Ref. 101) exponen ampliamente el comportamiento y diseño del concreto reforzado sometido a vibraciones sísmicas. El efecto de la duración de un sismo en el comportamiento estructural ha sido tradicionalmente ignorado en los códigos de diseño. Ello se debe, en parte, a que el espectro de aceleraciones resulta insensible a la duración del sismo, pues recoge solamente la información referente a la máxima aceleración de respuesta ocurrida en algún momento del sismo, e ignora lo que sucede en adelante. Sin embargo, en sismos largos, pueden ocurrir complejos fenómenos de degradación de la rigidez y la resistencia, debido al elevado número de ciclos de carga que deben soportar los elementos estructurales. Debido a ello, el diseño debería ser diferente para sismos cortos y largos, independientemente de la aceleración de diseño.

De acuerdo a varios estudios realizados en diferentes países, la duración de un sismo está en relación creciente con la magnitud del sismo y la distancia epicentral. Al contrario, la aceleración del suelo decrece con dicha distancia. De esta manera, pueden tenerse sismos de igual aceleración pico, lo que produciría un igual espectro de aceleraciones de diseño, pero grandes diferencias en la duración, lo que produciría efectos nocivos que no serían detectados por dicho espectro. Esto conlleva a que, en el diseño de hospitales se deba tener presente la información sismológica relativa a magnitudes y distancias epicentrales de las fuentes probables de liberación de energía que puedan afectarlos, de manera que si hay fuentes de magnitudes probables altas situadas a grandes distancias epicentrales, pueden esperarse de ellas sismos mucho más largos y, posiblemente, más destructivos que sismos cercanos. El sismo de México de 1985 es no solamente una muestra de los efectos de amplificación del suelo, sino también de los correspondientes a la alta duración, debido a la alta magnitud (8.1) y lejanía del epicentro (350 km).

### Derivas y estabilidad

En principio, los grandes desplazamientos laterales ponen en peligro la seguridad de la construcción en su totalidad, debido al daño que pueden representar para los elementos no-estructurales en general. Sin embargo, cuando son aún mayores traen consigo el riesgo de colapso parcial o total de la edificación (Figura 6).

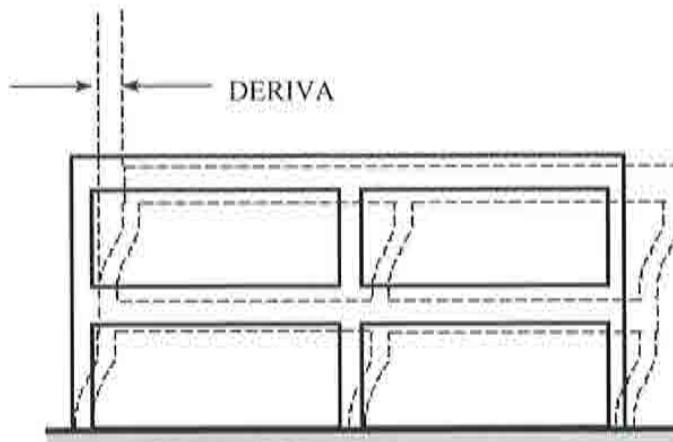


FIGURA 6. DERIVAS Y ESTABILIDAD

El daño en elementos no-estructurales adosados a la estructura es particularmente grave en el caso de hospitales, razón por la cual este tema será tratado específicamente cuando se describa el comportamiento de los elementos no-estructurales. Por lo pronto, es necesario tener presente que dicho daño está asociado al valor del desplazamiento relativo inelástico de un nivel con respecto al inmediatamente anterior, o deriva. Se ha establecido que no son deseables valores de la deriva que superen el 1 o el 1.5 por mil de la altura libre entre los dos niveles. Sin embargo, este límite depende estrechamente de la fragilidad y la resistencia de los materiales componentes de los elementos no-estructurales.

En lo que se refiere a la inestabilidad y efectos de segundo orden, puede decirse sucintamente que éstos conducen al aumento de las derivas de piso cuando el valor de dichos efectos es bajo, al incremento notorio de los esfuerzos en los elementos estructurales en los niveles intermedios y al colapso del piso (y, en consecuencia, del edificio en su conjunto posiblemente) en sus niveles altos. Una manera sencilla de evaluar el grado de estabilidad de cada piso de una construcción es por medio del índice de efectos globales de inestabilidad:

$$\delta_g = \frac{I}{I - Q}$$

donde:

$$Q_i = \frac{\sum_{j=i}^n P_{uj} \Delta_j}{V_i h_i}$$

En esta ecuación,

$P_{uj}$  = peso mayorado del piso  $j$ , incluyendo cargas vivas.

$\Delta_j$  = Deriva del piso  $j$ .

$V_i$  = cortante sísmico en el piso  $i$ .

$h_i$  = altura del piso  $i$ .

El valor de  $Q$  relaciona, entonces, el incremento del momento de volcamiento del piso, de acuerdo a un análisis somero de segundo orden, con el momento de volcamiento directo o de primer orden. Puede considerarse que para valores de  $Q$  menores de 0.3 el piso es estable, mientras que para valores mayores de 0.5 es definitivamente inestable. La Figura 7 muestra cualitativamente el comportamiento del factor de amplificación por estabilidad global con respecto al índice  $Q$ .

De acuerdo con lo anterior, para un análisis adecuado de los problemas de derivas y estabilidad resulta de gran importancia el cálculo de unos valores adecuados de desplazamiento inelástico. Según lo visto anteriormente, y en vista de que los valores usuales del coeficiente de reducción oscilan entre 0.17 y 0.5, el cálculo del desplazamiento máximo por medio de la hipótesis de igual energía total con desplazamiento de cedencia constante parece más adecuado para fines de diseño, debido a que arroja unos valores más conservadores. Ser conservador en este aspecto es más conveniente en el caso de hospitales que en los de otras construcciones, debido a las implicaciones que los daños en elementos no-estructurales y estructurales tienen para los ocupantes y la comunidad en general.

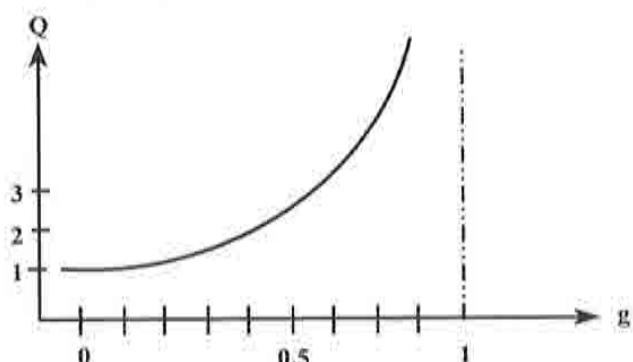


FIGURA 7. FACTOR DE AMPLIFICACION DE ESFUERZO POR INESTABILIDAD GLOBAL

### PROBLEMAS DE CONFIGURACION ARQUITECTONICA

Por su naturaleza, las construcciones hospitalarias tienden a ser construcciones de gran envergadura y complejidad, lo que conduce a que en muchos casos presenten esquemas de configuración complejos. Por configuración no se designa aquí a la mera forma espacial de la construcción en abstracto, sino a ella en cuanto se halla en estrecha relación con el tipo, disposición, fragmentación, resistencia y geometría de la estructura de la edificación, relación de la cual se derivan ciertos problemas de respuesta estructural ante sismos. En la planeación de un hospital es necesario tener en cuenta que una de las mayores causas de daños en edificaciones ha residido en esquemas de configuración arquitectónico-estructural nocivos. Puede decirse de manera general que el alejamiento de formas y esquemas estructurales simples es castigado fuertemente por los sismos. Y además que, infelizmente, los métodos de análisis sísmico usuales no logran cuantificar adecuadamente la mayoría de estos problemas. De cualquier forma, dada la naturaleza errática de los sismos, así como la posibilidad de que se exceda el nivel de diseño, es aconsejable evitar el planteamiento de configuraciones riesgosas, independientemente del grado de sofisticación que sea posible lograr en el análisis de cada caso (Ref. 4).

#### Configuración geométrica

A continuación se expone brevemente la incidencia de la configuración geométrica en la

respuesta sísmica de las edificaciones, así como los mecanismos correctivos. Debe hacerse énfasis en que, debido a su complejidad, y a su estrecha relación con el planteamiento espacial y formal de la construcción, los problemas de configuración deben ser enfrentados básicamente desde la etapa de definición preliminar del esquema espacial del edificio, y en toda la etapa de diseños formal y estructural (Figura 8). Por esta razón es un tema que debe ser comprendido en toda su amplitud por los arquitectos diseñadores (Ref. 24).

#### Problemas de configuración en planta

Los problemas que se relacionan a continuación son pertinentes a la disposición de la estructura en el plano horizontal, en relación con la forma y distribución del espacio arquitectónico. El correctivo usual para el problema de longitud excesiva de edificios es la partición de la estructura en bloques por medio de la inserción de juntas, de tal manera que cada uno de ellos pueda ser considerado como corto. Estas juntas deben ser diseñadas de manera tal que permitan un adecuado movimiento de cada bloque sin peligro de golpeteo, tal como se describe más adelante.

#### Concentración de esfuerzos en planta

Este problema surge en edificios denominados de plantas complejas y es muy común en edificaciones hospitalarias. Se define así a una planta en la cual la línea de unión de dos puntos cualesquiera de la misma suficientemente alejados hace su recorrido en buena parte fuera de la planta. Esto se da cuando la planta está compuesta de alas de tamaño significativo orientadas en diferentes direcciones (formas en H, U, L, etc.). En ellas, cada ala puede asimilarse a un voladizo empotrado en el cuerpo restante del edificio, sitio en el cual sufriría menores deformaciones laterales que en el resto del ala (Figura 9). Por esta razón aparecen grandes esfuerzos en la zona de transición, los cuales producen con frecuencia en ella daños en los elementos no-estructurales, en la estructura vertical y aun en el diafragma.

#### Longitud

La longitud en planta de una construcción influye en la respuesta estructural de la misma de una manera que no es fácil determinar por medio de los métodos usuales de análisis. En vista de que el movimiento del terreno consiste en una transmisión de ondas, la cual se da con una velocidad que depende de las características de masa y rigidez del suelo de soporte, la excitación que se da en un punto de apoyo del edificio en un momento dado difiere de la que se da en otro, diferencia que es mayor en la medida en que sea mayor la longitud del edificio en la dirección de las ondas. Los edificios cortos se acomodan más fácilmente a las ondas y reciben una excitación semejante en todos sus apoyos, a diferencia de los largos.

Los edificios largos son también más sensibles a las componentes torsionales de los movimientos del terreno, puesto que las diferencias de movimientos transversales y longitudinales del terreno de apoyo, de las que depende dicha rotación, son mayores.

El correctivo usual para el problema de longitud excesiva de edificios es la partición de la estructura en bloques por medio de la inserción de juntas, de tal manera que cada uno de ellos pueda ser considerado como corto. Estas juntas deben ser diseñadas de manera tal que permitan un adecuado movimiento de cada bloque sin peligro de golpeteo, tal como se describe más adelante.

#### Concentración de esfuerzos en planta

Este problema surge en edificios denominados de plantas complejas y es muy común en edificaciones hospitalarias. Se define así a una planta en la cual la línea de unión de dos

puntos cualesquiera de la misma suficientemente alejados hace su recorrido en buena parte fuera de la planta. Esto se da cuando la planta está compuesta de alas de tamaño significativo orientadas en diferentes direcciones (formas en H, U, L, etc.). En ellas, cada ala puede asimilarse a un voladizo empotrado en el cuerpo restante del edificio, sitio en el cual sufriría menores deformaciones laterales que en el resto del ala (Figura 8). Por esta razón aparecen grandes esfuerzos en la zona de transición, los cuales producen con frecuencia en ella daños en los elementos no-estructurales, en la estructura vertical y aun en el diafragma.



FOTOGRAFIA 6. HOSPITAL DE CALDAS EN COLOMBIA

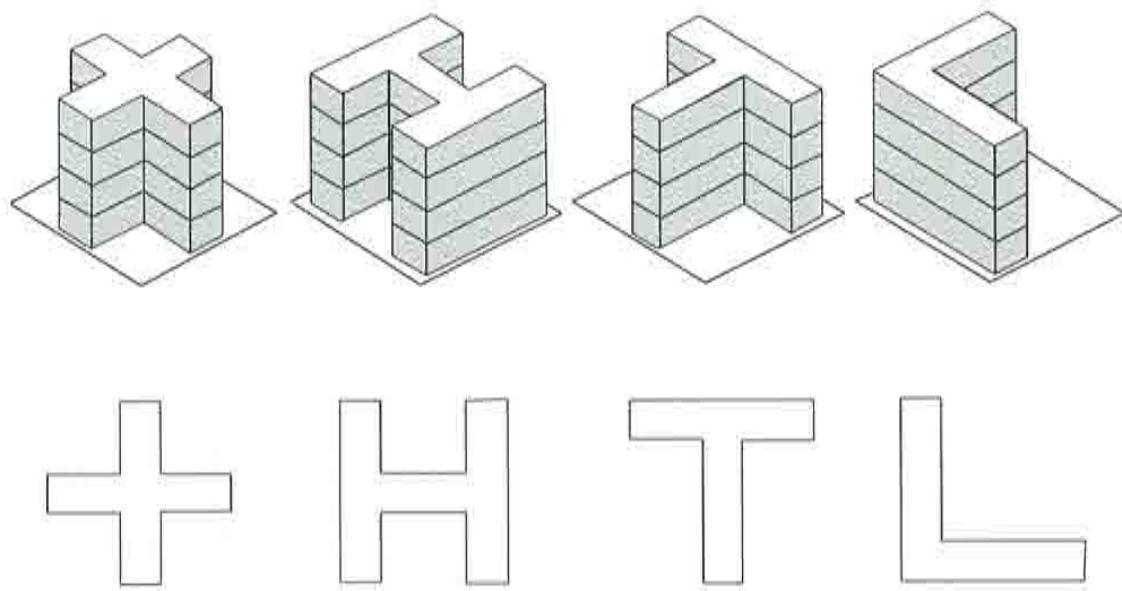
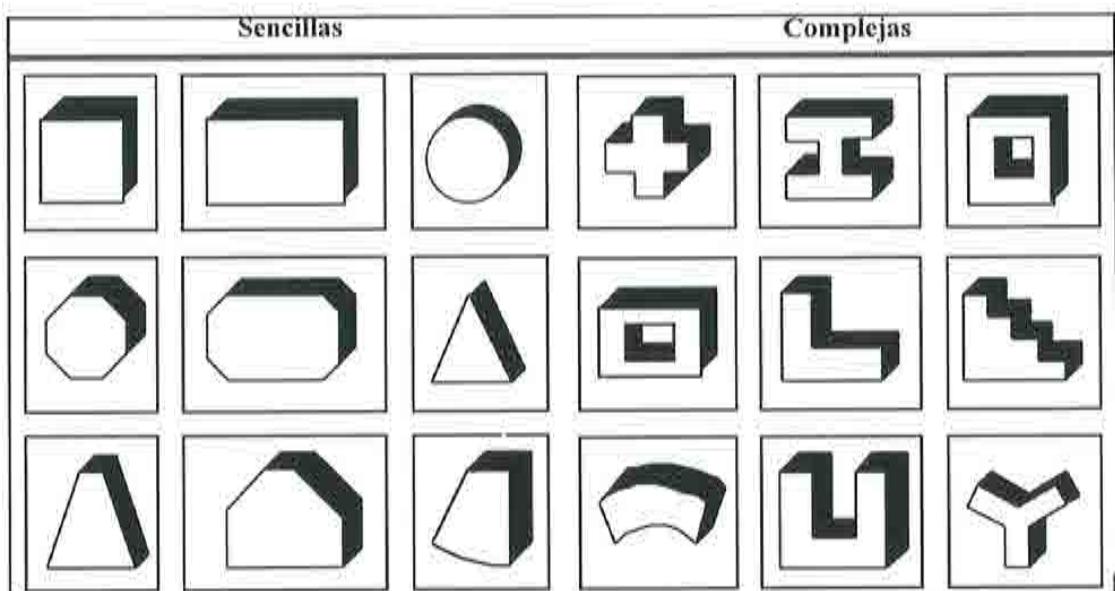


FIGURA 8. FORMAS DE LA PLANTA

Para este caso la solución corrientemente adoptada consiste en la introducción de juntas de separación sísmica, como las mencionadas para el caso de los edificios largos. Estas juntas permiten que cada bloque tenga su propio movimiento sin estar atado al resto del edificio, con lo cual se rompe el esquema de trabajo en voladizo de cada ala. Las juntas, obviamente, deben tener el ancho suficiente para permitir el movimiento de cada bloque sin golpeteo (Ref. 51).

## PLANTAS



## ELEVACIONES

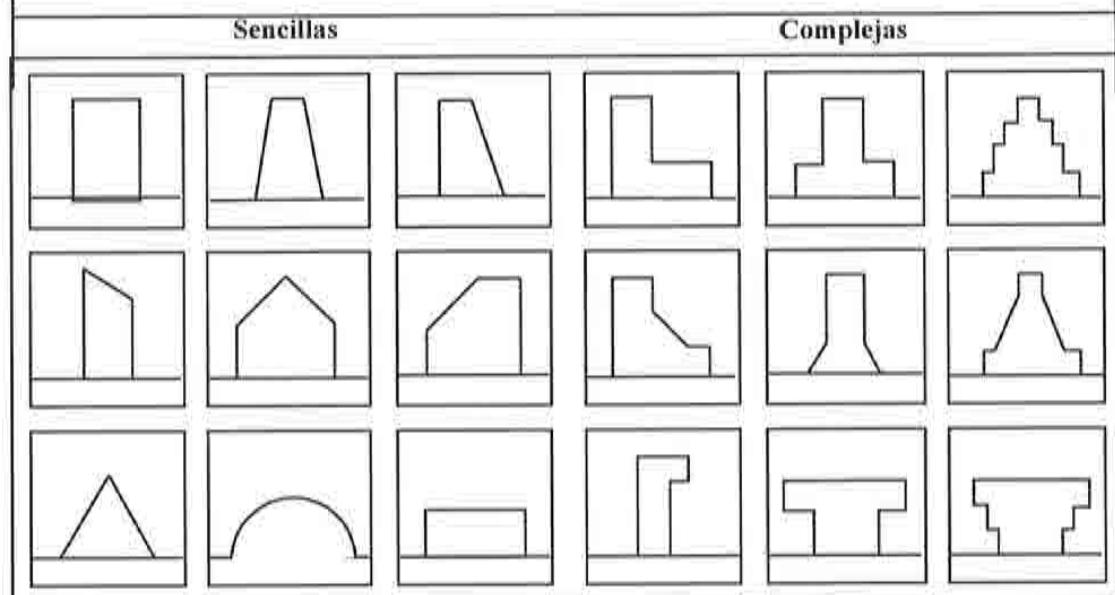
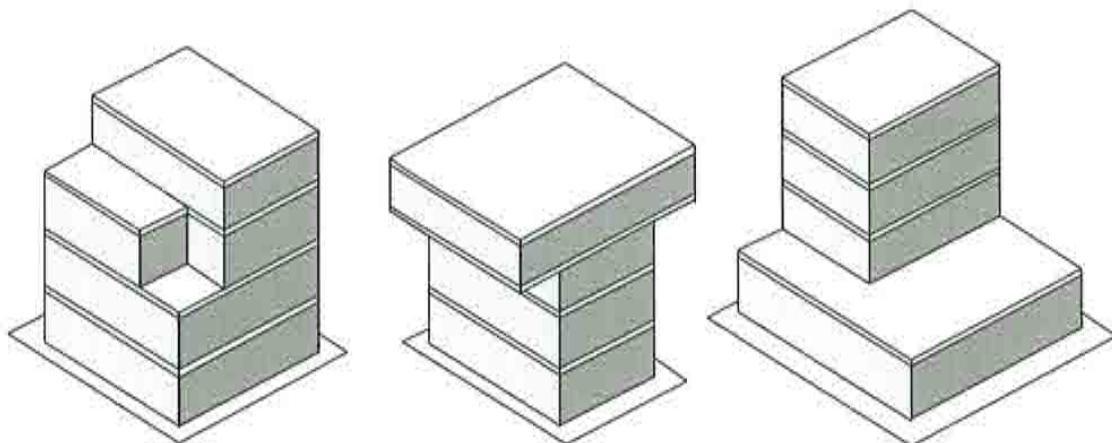


FIGURA 9. FORMAS SENCILLAS Y COMPLEJAS EN PLANTA Y ELEVACIÓN

Tomado de *Configuración y Diseño Sísmico de Edificios*, Christopher Arnold y Robert Reitherman, México, D.F., Editorial Limusa, 1987, pag. 239. Reimpreso bajo autorización.

Problemas de configuración en altura

Los escalonamientos en los volúmenes del edificio se presentan habitualmente por exigencias urbanísticas de iluminación, proporción, etc. Sin embargo, desde el punto de vista sísmico, son causa de cambios bruscos de rigidez y de masa, y por tanto, traen consigo al igual que en las plantas irregulares concentración de la energía de daño en los pisos aledaños a la zona del cambio brusco (Figura 10). En términos generales, debe buscarse que las transiciones sean las más suaves posibles con el fin de evitar dicha concentración.



**FIGURA 10. FORMAS IRREGULARES EN ALTURA**

Los escalonamientos invertidos deben ser evitados en zonas sísmicas, debido a que conllevan, además, un grave riesgo de volcamiento, de acuerdo a lo mencionado con respecto a la distribución de la masa (Figura 11).

### Configuración estructural

#### *Concentraciones de masa*

El problema en cuestión es el ocasionado por altas concentraciones de la masa total del edificio en algún nivel determinado, por causa de la disposición en él de elementos pesados, tales como equipos, tanques, bodegas, archivos, etc. El problema es mayor en la medida que dicho nivel pesado se ubica a mayor altura, debido a que las aceleraciones sísmicas de respuesta aumentan también hacia arriba, con lo cual se tiene una mayor fuerza sísmica de respuesta allí y mayor posibilidad de volcamiento.

En el diseño arquitectónico de estas construcciones resulta deseable disponer los espacios que representen pesos inusuales en sótanos o en construcciones aisladas aledañas al cuerpo principal del edificio. En casos en los cuales por razones topográficas se deba tener grandes almacenamientos de agua en alturas elevadas, debe preferirse construir torres independientes para ese fin, en lugar de adosarlas al edificio principal.

#### *Columnas débiles*

El diseño sísmico de pórticos busca que el daño producido por sismos intensos se produzca en vigas y no en columnas, debido al mayor riesgo de colapso del edificio por el segundo tipo de daño. Sin embargo, muchos edificios diseñados según códigos de sismorresistencia han fallado por esta causa. Estas fallas se deben principalmente a las siguientes circunstancias:

- a) Columnas de menor resistencia que las vigas.
- b) Columnas cortas.
- c) Varias son las causas de que el valor de la longitud libre se reduzca drásticamente y se considere que se presenta una columna corta:
- d) Confinamiento lateral parcialmente en la altura de la columna por muros divisorios, muros de fachada, muros de contención, etc.
- e) Disposición de losas en niveles intermedios.
- f) Ubicación del edificio en terrenos inclinados.

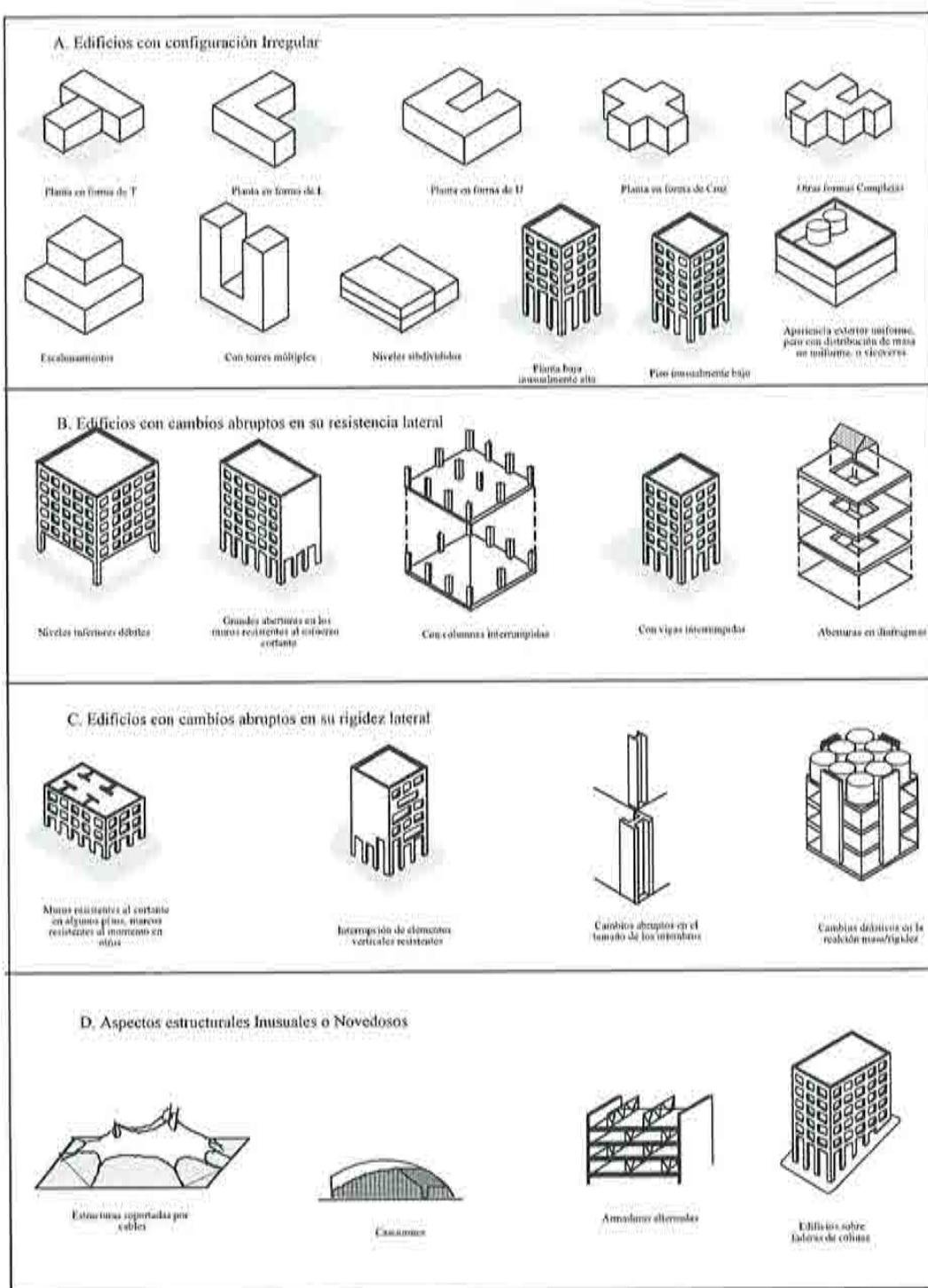


FIGURA 11. IRREGULARIDADES EN ESTRUCTURAS

Interpretación gráfica de "irregularidades en estructuras o en sistemas de marcos", del Comentario al SEAOC (Recommended Lateral Force Requirements and Commentary). Tomado de *Configuración y Diseño Sísmico de Edificios*, Christopher Arnold y Robert Reitherman, México, D.F., Editorial Limusa, 1987, pag. 20. Reimpreso bajo autorización.

Las columnas cortas son causa de serias fallas en edificios bajo excitaciones sísmicas debido a que su mecanismo de falla es frágil. Las soluciones más adecuadas para el caso de muros de todo orden que impidan el movimiento libre de la columna consisten básicamente en la ubicación del muro en un plano diferente al de la columna, o en la separación del muro de la misma por medio de juntas. Para el caso de edificios con niveles intermedios, el

proyecto arquitectónico debe considerar la ubicación de las columnas fuera de la línea de transición entre los niveles. Finalmente, en terrenos inclinados, debe buscarse la ubicación de los cimientos de las columnas a profundidades mayores.

#### Pisos débiles

Varios tipos de esquemas arquitectónicos y estructurales conducen a la formación de los llamados pisos débiles, es decir, pisos que son más vulnerables al daño sísmico que los restantes, debido a que tienen menor rigidez, menor resistencia o ambas cosas. Los esquemas usuales son:

- Mayor altura del piso.
- Interrupción de elementos estructurales verticales en el piso.
- Construcción sobre terrenos inclinados.

El primer caso se da frecuentemente por la búsqueda de volúmenes mayores en ciertos niveles de la construcción, generalmente por razones técnicas (exigencias de equipos, etc.) o simbólicas (imagen del edificio en los niveles de acceso, etc.). Esto conduce a que en los pisos en cuestión se presente un debilitamiento de la rigidez, debido a la mayor altura de los elementos verticales, y de la resistencia.

La interrupción de elementos verticales de la estructura ha probado ser la causa de múltiples colapsos parciales o totales en edificios sometidos a sismos. La razón estriba en que el piso en el cual se interrumpen los elementos es de mayor flexibilidad que los restantes, con lo cual se aumenta el problema de estabilidad, pero además y principalmente, porque se origina un cambio brusco de rigidez que ocasiona una mayor acumulación de energía en el piso más débil. Los casos más usuales de tal interrupción, que ocurre generalmente por razones espaciales, formales o simbólicas, son los siguientes:

- Interrupción de las columnas.
- Interrupción de muros estructurales (muros de cortante).
- Interrupción de muros divisorios, concebidos erróneamente como no-estructurales, alineados con pórticos.



FOTOGRAFIA 7. FALLA EN PRIMER PISO POR PISO DEBIL

#### Falta de redundancia

El diseño estructural sismorresistente contempla la posibilidad de daño de los elementos para los sismos más intensos. Desde este punto de vista, el diseño de la estructura debe buscar que la resistencia a las fuerzas sísmicas no dependa en gran parte o totalmente de un número

reducido de elementos, puesto que la falla de los mismos puede tener como consecuencia el colapso parcial o total en los instantes posteriores del sismo, debido a la debilidad de los restantes. En este sentido, debe buscarse que la resistencia a las fuerzas sismicas se distribuya entre el mayor número de elementos posible (Ref. 93).

Lógicamente el problema de la falta de redundancia está vinculado generalmente al de la flexibilidad, puesto que el menor número de elementos en un área determinada conlleva la presencia de grandes vanos entre los soportes y, por tanto, menor rigidez lateral de la estructura.

#### Flexibilidad estructural

La flexibilidad ante cargas sismicas puede definirse como la susceptibilidad a sufrir grandes deformaciones laterales entre los diferentes pisos, conocidas como derivas. Las principales causas residen en la distancia entre los elementos de soporte (claros o luces), a las alturas libres de los mismos, y a la rigidez de los mismos. Dependiendo de su grado, la flexibilidad puede traer como consecuencias:

- a) Daños en los elementos no-estructurales adosados a niveles contiguos.
- b) Inestabilidad de los pisos flexibles, o del edificio en general.

#### Flexibilidad del diafragma

Un comportamiento flexible del diafragma de piso implica deformaciones laterales mayores, las cuales son en principio perjudiciales para los elementos no-estructurales adosados a los niveles contiguos. En segundo lugar, el trabajo de ensamblaje de la estructura vertical por parte del diafragma resulta hecho de manera deficiente, por lo cual se presenta mayor trabajo de unos elementos y menor en otros.

Son varias las razones por las cuales puede darse este tipo de trabajo flexible. Entre ellas se encuentran las siguientes:

- a) *Flexibilidad del material del diafragma.* Entre los materiales de construcción usuales la madera es la que ofrece los mayores inconvenientes desde este punto de vista.
- b) *Relación de aspecto del diafragma.* Por tratarse de un trabajo a flexión, mientras mayor sea la relación largo/ancho del diafragma, o de un sector suyo, mayores pueden ser las deformaciones laterales del mismo. En general, los diafragmas con relaciones de aspecto superiores a 5 pueden considerarse flexibles.
- c) *Rigidez de la estructura vertical.* La flexibilidad del diafragma debe juzgarse también de acuerdo con la distribución en planta de la rigidez de la estructura vertical. En el caso extremo de un diafragma alargado en el que todos los elementos tengan igual rigidez es de esperarse un mejor comportamiento del diafragma que en el caso en el cual tengan grandes diferencias en este punto.
- d) *Aberturas en el diafragma.* Las aberturas de gran tamaño practicadas en el diafragma para efectos de iluminación, ventilación y relación visual entre los pisos, ocasionan la aparición de zonas flexibles dentro del diafragma, las cuales impiden el ensamblaje rígido de las estructuras verticales.

Las soluciones al problema de flexibilidad del diafragma son múltiples, y dependen de la causa de la misma. En principio, para construcciones importantes, tales como hospitales, debe evitarse la construcción de pisos de materiales flexibles como la madera. En segundo lugar, al igual que por efectos de longitud, los edificios que tengan una relación de aspecto en planta grande deben ser segmentados por medio de juntas. Con respecto a la tercera causa, debe evitarse tener diferencias de rigidez muy grandes entre los elementos de la estructura vertical. Finalmente, las grandes aberturas en el diafragma deben estudiarse con cuidado, con el fin de proveer mecanismo de rigidización o, si esto no es posible, segmentación del edificio en bloques.

### Torsión

La torsión ha sido causa de importantes daños de edificios sometidos a sismos intensos, que van desde la distorsión a veces visible de la estructura (y por tanto su pérdida de imagen y confiabilidad), hasta el colapso estructural (Figura 12). La torsión tiene lugar por excentricidad del centro de masa con relación a la rigidez. Los tres grandes casos que pueden dar lugar a dicha situación en planta son:

- Posición de la estructura más rígida de manera asimétrica con respecto al centro de gravedad del piso.
- Colocación de grandes masas en forma asimétrica con respecto a la rigidez.
- Combinación de las dos situaciones anteriores.

Debe tenerse presente que los muros divisorios y de fachada que se encuentren adosados a la estructura vertical tienen generalmente una gran rigidez y, por tanto, al menos mientras su resistencia sea superior a la exigencia del sismo, participan estructuralmente en la respuesta a éste y pueden ser causantes de torsión, como en el caso corriente de los edificios de esquina.

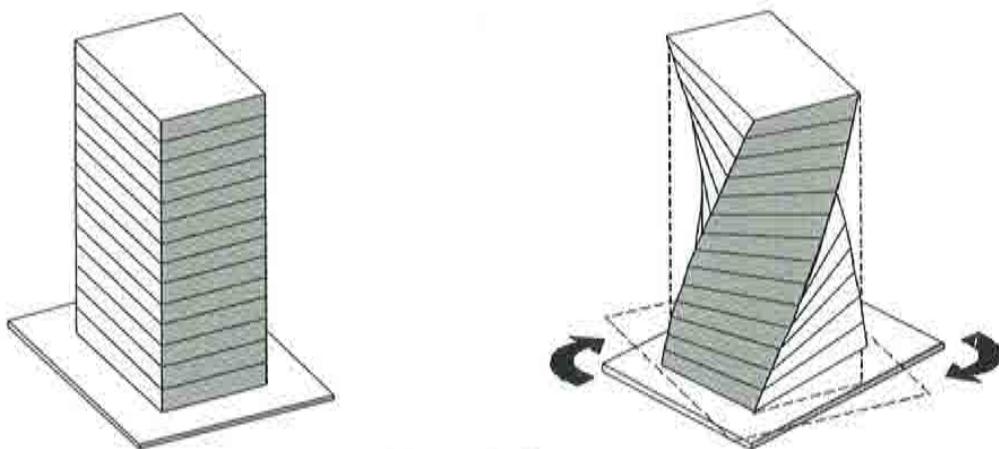


FIGURA 12. TORSIÓN

Si se contempla además la situación en altura, el panorama de la torsión puede complicarse aún más cuando hay irregularidades verticales, como los escalonamientos. En efecto, la parte superior del edificio transmite a la inferior un cortante excéntrico, lo cual provoca torsión del nivel de transición hacia abajo, independientemente de la simetría o asimetría estructural de los pisos superiores e inferiores.

Cuantitativamente, puede considerarse que una excentricidad entre la masa y la rigidez es grande cuando supera el 10% de la dimensión en planta bajo análisis. En un caso así deben tomarse medidas correctivas en el planteamiento estructural del edificio (Figura 13).

Como todos los problemas de configuración, el de la torsión debe ser enfrentado desde la etapa de diseño espacial y formal. Los correctivos necesarios para el problema de la torsión pueden resumirse en los siguientes puntos, en general:

- Las torsiones deben ser consideradas inevitables, debido a la naturaleza del fenómeno y a las características de la estructura. Por esta razón, se sugiere proveer a los edificios de la llamada rigidez perimetral, la cual busca abrazar la estructura contra toda posibilidad de giro y repartir la resistencia torsional entre varios elementos, de acuerdo con la necesidad de redundancia.
- Para efectos del control de la torsión, debe estudiarse con cuidado el planteamiento de la estructura en planta y en altura, así como la presencia y la necesidad de aislamiento de los muros divisorios que puedan intervenir estructuralmente en el momento de un sismo, tal como se tratará más adelante. En todo esto el objetivo debe ser la mayor simetría posible de la rigidez con respecto a la masa.

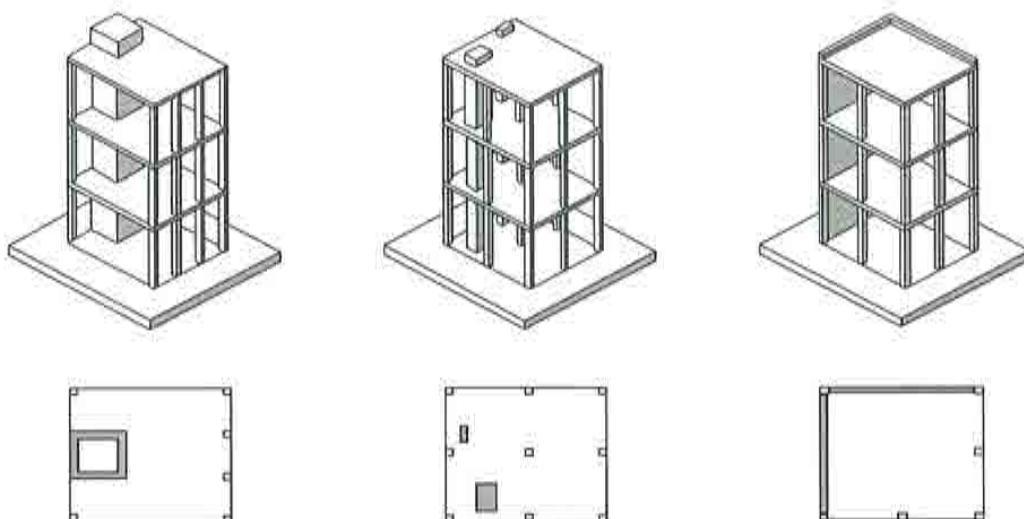


FIGURA 13. TORSION POR MUROS EXCENTRICOS

### ANALISIS DE VULNERABILIDAD

Las secciones anteriores han versado sobre los aspectos que deben ser considerados en el análisis y diseño de edificaciones hospitalarias nuevas, de acuerdo a las teorías recientes sobre sismorresistencia. Sin embargo, surgen dudas con respecto a la seguridad ofrecida por los hospitales existentes, y principalmente cuando éstos son necesarios para la atención de una emergencia sísmica y han sido diseñados solamente para atender las cargas de gravedad. En estos casos se hace imperativa una revisión lo más detallada posible de la capacidad de la estructura de soportar sismos moderados y fuertes. Debe tenerse presente que la dificultad de construir nuevas instalaciones hospitalarias en zonas sísmicas, debido a su alto costo, hace imperativo el reforzar las existentes. El diseño del refuerzo debe pasar necesariamente por un análisis de la capacidad disponible de resistencia y ductilidad ante sismos, así como de la vulnerabilidad funcional, organizativa y administrativa del hospital, antes de realizar su intervención.

En el presente capítulo se exponen los métodos principales para la realización de dicha revisión estructural. Debe destacarse, además, que dicha revisión será insuficiente si no se acompaña de una detallada revisión de los elementos no-estructurales, el colapso o falla de los cuales puede causar serios problemas de vulnerabilidad no-estructural y funcional en edificaciones esenciales.

Para fines de análisis de vulnerabilidad sísmica detallada de una construcción, la literatura internacional presenta diversos métodos, un amplio listado de los mismos se encuentra en la bibliografía. En términos generales, los métodos pueden clasificarse en los siguientes grupos:

- Métodos cualitativos.
- Métodos experimentales.
- Métodos analíticos.

Los primeros son métodos diseñados para evaluar de manera rápida y sencilla un grupo de edificaciones diversas, y seleccionar aquellas que ameriten un análisis más detallado. El uso principal de estos métodos es para la evaluación masiva de edificios con fines de cuantificación del riesgo sísmico en una región amplia de una ciudad, y sus resultados, fuera de lo necesario para realizar dicha selección, no pueden tomarse realmente como concluyentes en ningún caso particular (Ref. 42). Algunos de estos métodos constituyen el primer nivel de evaluación de los métodos analíticos, como el caso del método japonés y la evaluación diseñada por Iglesias (Ref. 75) para el caso de Ciudad de México. Además de ellos, es digno de mención el método ATC-21 (Ref. 6). En términos

generales, puede decirse que son métodos eminentemente cualitativos, en los que la construcción recibe una calificación determinada de acuerdo a aspectos tales como su estado de conservación, su irregularidad en planta y en altura, su relación con el suelo, etc., calificación que en general no precisa de cálculos de oficina. Sin embargo, el primer nivel del método japonés, por el contrario, requiere del cómputo de ciertas variables, y sus ecuaciones están estrechamente relacionadas con las de los niveles superiores.

Para la recuperación pos-sísmica de edificios esenciales, resulta deseable la realización de un análisis más juicioso; para lo cual se dispone de los métodos analíticos y de los experimentales. Estos últimos determinan el comportamiento dinámico de la estructura por medición directa de vibraciones ambientales. Por ello, tienen la desventaja de que no aportan más información que la correspondiente a las características dinámicas de la construcción bajo vibraciones de pequeña amplitud, lo cual los hace insuficientes para responder inquietudes sobre resistencia, disipación de energía, etc., razón por la que deben ser necesariamente complementados con los métodos puramente analíticos.

#### UN DIAGNOSTICO PARA LA PRIORIZACION

En Chile, se ha considerado como especialmente destructivo para la infraestructura del sector de la salud el sismo de 1985; evento que dañó 180 establecimientos de los 536 en el área de influencia y dejó fuera de servicio 2.796 de las 19.581 camas disponibles. Resultado de esta experiencia y debido a la importancia que al tema de la prevención de los desastres naturales se le ha dado en ese país en los últimos años, se decidió realizar un programa de identificación e evaluación de la vulnerabilidad hospitalaria para efectos de priorización e intervención del riesgo de la infraestructura de la salud (Ref. 81).

Contando con un equipo profesional idóneo, el compromiso político de las autoridades sectoriales y la información científica sobre la amenaza sísmica, se planteó la necesidad de disponer de un diagnóstico global del estado de los hospitales del país, desde el punto de vista de su vulnerabilidad sísmica supuesta o comprobada. Se formuló un proyecto con el objetivo de identificar acciones de reducción de vulnerabilidad para los hospitales más importantes de cada uno de los 26 servicios de salud en que está dividido el país. El Ministerio de salud organizó un equipo de trabajo compuesto por profesionales de los Departamentos de Recursos Fisicos, de Asuntos de Emergencias y Catástrofes y representantes de cada uno de los Servicios de Salud y hospitales seleccionados. El Departamento de Ingeniería Civil y la Fundación para la Transferencia Tecnológica de la Universidad de Chile fueron comisionados para hacerse cargo del desarrollo metodológico de los diagnósticos y de las evaluaciones de riesgo.

Se seleccionó una muestra inicial de 26 hospitales, que luego fue reducida a 14, dadas las similitudes en los sistemas estructurales, de modo que en el grupo final se contó con una muestra representativa de los diferentes tipos, y en el nivel de exposición a la amenaza sísmica. El alcance se amplió mediante la capacitación de representantes de más de 40 hospitales sobre el uso de una metodología original para la evaluación cualitativa de la vulnerabilidad estructural. El desarrollo de esta metodología fue útil en dos sentidos: por una parte, para proporcionar una herramienta que no existía en el momento en el ámbito latinoamericano y, paralelamente, para identificar los problemas individuales y sus soluciones para cada hospital estudiado.

Cada uno de los hospitales fue sometido a un intenso trabajo de evaluación, incluyendo aspectos estructurales, no-estructurales, funcionales y organizacionales. El proceso de evaluación, consignado en una ficha práctica, se inicia con la estructura y la seguridad de la vida. Si el hospital no pasa la prueba debido a su posibilidad de colapso, no se considera recomendable profundizar el estudio, sino más bien evaluar previamente la conveniencia de su refuerzo, su readecuación funcional o su eliminación. Sólo cuando se descarta el riesgo de colapso parcial o total se estima conveniente cuantificar los niveles de daño y respuesta esperados, para evaluar con esta información los aspectos no-estructurales y organizacionales.

El proyecto fue ejecutado en 12 meses y contempló las siguientes actividades :

- Descripción del Sistema de Salud.
- Breve Reseña de la Sismicidad Chilena.
- Capacitación del personal.
- Análisis de Vulnerabilidad Estructural y No-estructural.
- Estimación de la Vulnerabilidad del Sector y Desarrollo de Planes de Mitigación.

La efectividad de la metodología se comprobó cuando se presentó un sismo de magnitud 7.3 Richter, el 31 de julio de 1995, que afectó la ciudad de Antofagasta. El hospital de la ciudad que había sido evaluado pocos días antes, perdió parcialmente su capacidad de operación debido a la ruptura de tuberías de agua potable, ruptura de vidrios y sistemas de iluminación, daños a equipos (hemodiálisis y calderas) y daños generales y deterioro en los sistemas estructural y no-estructural, lo que inclusive provocó que se pensara en evacuar el hospital en forma urgente.

Los métodos puramente analíticos son los usualmente utilizados para la evaluación en detalle de la vulnerabilidad posible de una estructura ante sismos de diferente orden de magnitud. En términos generales, todo análisis no lineal e histerético de una estructura sometida a movimientos del terreno, constituye un análisis de vulnerabilidad de la misma. Sin embargo, la aplicabilidad de estos métodos no siempre es factible por varias razones:

- La alta complejidad del modelo, que sólo justifica su utilización en casos muy especiales, pero al mismo tiempo de gran sencillez, condiciones que pocas veces coinciden.
- La necesidad de realizar el análisis utilizando varios tipos de registros de sismos, para cubrir las varias posibilidades de acción sobre la estructura, lo que hace más difícil el análisis.

A nivel internacional se han desarrollado diversos métodos analíticos cercanos a las prácticas usuales de diseño. De ellos son destacables los que aquí se les denominará: el "método japonés", los "métodos norteamericanos" y los "métodos de energía".

### Método Japonés

Este método propuesto por Hirosawa (Ref. 73, 74) y expedido oficialmente en Japón por el Ministerio de Construcción, para la revisión de edificios de concreto construidos en zonas sísmicas, dispone de tres niveles de evaluación, que van de lo simple a lo detallado, y es en general un método riguroso. Se basa en la calificación del comportamiento sísmico de cada piso de la estructura por medio de un índice en el que se incorpora los siguientes aspectos, a través de los subíndices respectivos:

- Resistencia de los elementos verticales (columnas y muros),  $C$ .
- Capacidad de ductilidad de los mismos,  $F$ .
- Estado de la construcción y comportamiento en sismos anteriores,  $T$ .
- Influencia de la forma, la asimetría en planta, las concentraciones de masa y rigidez, las aberturas en el diafragma, etc.,  $S_d$ .
- Influencia de las condiciones topográficas y geotécnicas,  $G$ .

Los dos primeros índices son combinados en un máximo de tres grupos por piso, a través del índice:

$$E = C \cdot F$$

El índice  $E$  se calcula con la siguiente expresión:

$$E = \frac{(n_p + 1)}{(n_p + i)} \left\{ \alpha_1 (C_{mar} + C_{se} + C_a + C_{ma}) + \alpha_2 C_w + \alpha_3 C_c \right\} F$$

donde:

- $\alpha_i$  = Factor de reducción de la capacidad resistente de acuerdo con el nivel de deformación en que alcanzan la resistencia los elementos que controlan el comportamiento sísmico.
- $n_p$  = Número de pisos.
- $i$  = Piso que se evalúa.
- $C_{mar}$  = Resistencia proporcionada por los muros de relleno de mampostería.
- $C_{se}$  = Resistencia proporcionada por las columnas cortas de concreto reforzado.
- $C_a$  = Resistencia proporcionada por los muros de mampostería no reforzada.
- $C_{ma}$  = Resistencia proporcionada por muros de mampostería confinada.
- $C_w$  = Resistencia proporcionada por los muros de concreto reforzado.
- $C_c$  = Resistencia proporcionada por columnas no cortas de concreto reforzado.

**F** = Índice de ductilidad asociado a los elementos verticales.

los índices **E** de un piso son promediados de manera probabilística para obtener un índice **E** único por piso, por medio del método de la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados. Los grupos en mención son grupos de comportamiento dúctil, formados de acuerdo al factor de ductilidad característico, obtenido como se explica más adelante.

Para cada grupo se obtienen a continuación los índices **T** y **S<sub>d</sub>**, y finalmente el índice **I<sub>s</sub>**, que tiene por valor:

$$I_s = E \cdot S_d \cdot G \cdot T$$

Los valores de **I<sub>s</sub>** mayores que un valor de referencia **I<sub>so</sub>** aseguran, según este método, un comportamiento adecuado del piso.

El valor de **I<sub>so</sub>** se calcula como:

$$I_o = E_s \cdot Z \cdot G \cdot U$$

donde:

**E<sub>s</sub>** = valor básico de comportamiento sísmico, relacionado sólo con el método de evaluación.

**Z** = factor de zona sísmica, tomado en relación con la amenaza probable en la zona, con valor máximo de 1.0.

**U** = factor de importancia de la construcción para la recuperación después de un sismo.

El método dispone de tres niveles de evaluación, de los cuales el primero es el comentado más arriba. Para la aplicación del segundo es necesario tener conocimiento de las armaduras de los elementos estructurales verticales, y el tercero, la pertinente además a las vigas. La característica más importante de este método es que confiere mayor importancia al análisis de resistencia que al de los esfuerzos internos que eventualmente podría presentar un sismo dado en los elementos de la estructura. Puede decirse que para la aplicación de este método no es necesario en general realizar un análisis detallado de dichos esfuerzos internos. Además, el método confiere gran importancia al establecimiento de los mecanismos de falla y disipación de energía de los elementos, los cuales resultan clasificados en diversos grupos de acuerdo a su comportamiento y tipo de falla. Para este análisis, se parte de la evaluación del factor de capacidad de ductilidad **m** de cada elemento, dado por:

$$m = m_o - k_1 - k_2$$

$$m_o = 10 \left( \frac{V_n}{Q_n} - 1 \right)$$

donde:

**V<sub>n</sub>** = resistencia nominal a cortante de los soportes verticales. En el caso de columnas se calcula teniendo en cuenta la carga axial del elemento.

**Q<sub>n</sub>** = resistencia a cortante suministrada por la plastificación de los extremos de la columna, es decir,

$$Q_n = 2 \frac{M_n}{L}$$

siendo **M<sub>n</sub>** la resistencia nominal a flexión del elemento y **L** su longitud.

$k_1, k_2$  = factores que conciernen al posible pandeo de las barras de refuerzo y al nivel de esfuerzos cortantes.

#### VULNERABILIDAD HOSPITALARIA DE UNA CIUDAD

Ecuador también cuenta con un historial extenso de sismos destructivos. En la ciudad de Guayaquil, ubicada a 200 kilómetros de la trinchera donde colisionan las grandes placas tectónicas de Nazca y Sudamericana, existe un 90% de suelos aluviales o suaves que pueden amplificar sismos con epicentros a 200 o 300 kilómetros, afectando en mayor medida edificaciones comprendidas entre cinco y quince pisos de altura, predominantemente construidas en hormigón armado. Un fuerte sismo con este origen se presentó en mayo de 1942, con una magnitud de 7.9 en la escala de Richter, y dañó severamente el casco comercial de la ciudad, con el colapso de dos edificios con las características antes citadas<sup>1</sup>. En 1980 se presentó un sismo de magnitud 6.1, que provocó daños de mediana consideración en edificaciones de pobre calidad o sismicamente muy vulnerables. Se considera que existen dos fuentes sismogénicas principales: las fuentes lejanas (distancias epicentrales de 150 a 350 kilómetros), ubicadas en la trinchera de subducción, y las fuentes cercanas debidas a fallas locales. Se estaba finalizando un estudio denominado "Vulnerabilidad Sísmica de Estructuras Importantes de la Ciudad de Guayaquil", ejecutado por el Instituto de Investigación y Desarrollo de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Guayaquil (IFI-UIC), con el apoyo del Departamento de Asuntos Humanitarios de las Naciones Unidas (UN-DHA) y la Dirección Nacional de Defensa Civil, cuando se planteó la necesidad de profundizar la evaluación de la vulnerabilidad de los hospitales de la ciudad, como estructuras críticas para el manejo de las emergencias. En este caso, se contaba con la información científica básica, inclusive a nivel de microzonificación de la ciudad, con un equipo profesional de ingenieros de alto nivel, con la preocupación puntual de algunos de los directores de los hospitales, y con el apoyo incondicional de la Dirección Nacional de Defensa Civil, organismo rector a nivel nacional para el manejo de emergencias (Ref. 12). El proyecto fue formulado por profesionales del IFI-UIC, con la coordinación general de la Dirección Nacional de Defensa Civil y el apoyo técnico de la OPS. El objetivo inicial fue la ejecución de diagnósticos preliminares de vulnerabilidad de los 16 hospitales más importantes de la ciudad, que fue ampliado para cubrir 20 hospitales, 12 de los cuales fueron evaluados cuantitativamente y los 8 restantes en forma cualitativa. El plazo de ejecución fue de ocho meses, y la metodología empleada incluyó las siguientes actividades:

- Relevamiento estructural y censo de los hospitales: se investigaron las variables estructurales que inciden en mayor grado en el comportamiento sísmorresistente de los hospitales, así como los daños estructurales y no-estructurales producidos por sismos anteriores, y un inventario de los servicios que poseen los hospitales, incluyendo existencia de planes de emergencia.
- Selección de los 16 hospitales más importantes de Guayaquil: por definición, estos son los que disponen de los servicios necesarios para la atención masiva de una emergencia causada por un desastre natural. La muestra final se seleccionó con base en las recomendaciones de la Dirección Nacional de Defensa Civil.
- Definición de las solicitudes sísmicas probables: con base en los espectros de respuesta obtenidos en la microzonificación sísmica de la ciudad.
- Evaluación experimental de la resistencia del hormigón de una muestra de 10 hospitales: ya que el 95% de los 16 hospitales poseen estructuras de hormigón armado, se extrajeron núcleos de hormigón de las columnas de la planta baja en 10 de ellos, para ser sometidos a ensayos de compresión simple.
- Evaluación experimental de características dinámicas de los 16 hospitales más importantes: el objetivo de esta fase fue evaluar la participación de los elementos no-estructurales en la respuesta sísmica de la edificación, mediante la medición experimental de las características dinámicas para vibraciones ambientales.
- Análisis matemático cuantitativo del comportamiento sísmo-resistente de 12 hospitales: mediante análisis de la resistencia de fluencia, de la ductilidad, de los mecanismos de falla y de las distorsiones de pisos.
- Diagnósticos cualitativos y cuantitativos de vulnerabilidad estructural y no-estructural
- Capacitación al personal técnico a cargo de las emergencias en los hospitales: se efectuaron encuentros de difusión de las actividades y resultados preliminares del proyecto, en los cuales también participaron funcionarios del Ministerio de Salud y de la Dirección Nacional de Defensa Civil.
- Categorización de la seguridad sísmorresistente y nivel de operatividad del sistema hospitalario, mediante una escala novedosa de 6 niveles, siendo la primera categoría la correspondiente a pequeños daños no-estructurales y la sexta la correspondiente a posibilidad de colapso total.
- Conclusiones y recomendaciones para reducir la vulnerabilidad estructural y no-estructural: acciones prácticas, a corto plazo, y de bajo costo.

Este proyecto, con fuerte énfasis en aspectos de ingeniería y liderado por ingenieros estructurales, logró sin embargo alcanzar a la opinión pública, mediante una cobertura muy completa que otorgaron los medios de comunicación de la ciudad a las diversas fases. El resultado más significativo fue el intercambio de inquietudes entre el equipo a cargo del proyecto y los profesionales del sector de la salud, en un idioma comprensible para todos.

A partir del cálculo de  $Q_n$  se puede establecer fácilmente el modo posible de falla de

<sup>1</sup> Argudo, Jaime y Yela, Rommel. Vulnerabilidad estructural de hospitales de Guayaquil - Ecuador. Informe final para el Proyecto ECHO presentado a la OPS. Enero de 1996

cada elemento, de suerte que valores de  $Q_n < V_n$  arrojan fallas a flexión y al contrario, fallas de cortante, es decir, frágiles.

Una vez realizada esta evaluación, cada tipo de elemento se subdivide en un máximo de tres grupos, de acuerdo a valores representativos de  $m$ , y se obtiene los índices  $C$  y  $F$  respectivos, de lo cual resulta el índice común  $E$ , que califica conjuntamente la resistencia y la ductilidad disponible en la estructura.

### Métodos Norteamericanos

El ATC-14 y el ATC-22, (Ref. 5, 7, 8) avalados por la Federal Emergency Management Agency de los Estados Unidos, son métodos que proponen una revisión de la estructura, por medio de ecuaciones aproximadas para la estimación de esfuerzos y deformaciones. El método ATC-14 está elaborado en relación con la concepción de diseño de SEAOC de esfuerzos de trabajo, mientras que el ATC-22 (FEMA 178) (Ref. 7) lo está en relación con la concepción de diseño límite del ATC-3 (Ref. 4) ambos casos, la revisión busca obtener relaciones demanda/capacidad (al inverso en el ATC-14) de los elementos estructurales sometidos a los diferentes esfuerzos.

A diferencia del método japonés estos métodos confieren gran importancia al análisis de esfuerzos internos, tanto como a la resistencia de los elementos a los mismos, pues su objetivo final es la evaluación de las relaciones demanda capacidad sísmica de fuerza/capacidad redundante de resistencia a la misma,  $D_e/C_e$

$$\frac{D_e}{C_e} = \frac{Q_e}{(Q_n - Q_v)}$$

donde

$Q_e$  = Fuerza interna causada sólo por la carga sísmica.

$Q_n$  = Resistencia del elemento a la misma.

$Q_v$  = Fuerza interna causada por la carga vertical.

Estos valores deben ser ordenados de manera descendente, de suerte que los mayores reflejan aquellos elementos que están en una situación de mayor riesgo de falla.

Sin embargo, estos métodos tienen la grave deficiencia de no disponer de herramientas para evaluar de manera clara la capacidad de ductilidad de la estructura en sus diferentes tipos de elementos y diferentes pisos, como si lo hace el método anterior. En lugar de ello, clasifica los edificios según un indicativo global de ductilidad de acuerdo a su sistema estructural, según una tabla un poco más detallada que la que presentan las recomendaciones ATC-3. La experiencia reciente en sismos fuertes y los métodos teóricos de energía muestran, no obstante, diferencias substanciales en las demandas de ductilidad entre los diferentes pisos de una estructura, y aún entre diferentes elementos, tal como se mostrará más adelante, razón por la cual la calificación global de la capacidad de absorción de energía en todo el edificio por medio de un índice único es claramente insuficiente.

De otra parte, el ATC-33 (Ref. 10) es el último desarrollo de la serie, que incluye cuatro métodos: dos procedimientos lineales y dos procedimientos no lineales, tanto estáticos como dinámicos. Los métodos para el análisis lineal son básicamente similares a los mencionados anteriormente, en donde su formulación se asemeja a las técnicas de análisis y diseño convencionales del predecesor ATC-3.

En el procedimiento estático lineal (LSP), el cortante en la base está dado por:

$$V = C_1 C_2 C_3 C_4 \frac{S_a}{g} W$$

donde

$V$  = Cortante equivalente.

- $C_1$  = Factor de modificación que relaciona los desplazamientos máximos inelásticos y los desplazamientos calculados para la respuesta linealmente elástica.
- $C_2$  = Factor de modificación para representar el efecto del amortiguamiento viscoso equivalente.
- $C_3$  = Factor de modificación para representar el efecto de disipación de la energía histerética.
- $C_4$  = Factor de configuración relacionado con la redundancia disponible de la estructura.
- $S_a$  = Aceleración espectral de respuesta con el 5% de amortiguamiento para el período fundamental en la dirección considerada.
- $g$  = Aceleración de la gravedad.
- $W$  = Carga muerta y viva anticipada.

El período de vibración para la estructura antes de la rehabilitación se puede obtener mediante la siguiente ecuación

$$T_a = C_t (h_n)^{3/4}$$

donde  $C_t$  es un coeficiente que depende del tipo de estructura y  $h_n$  es la altura de la base a la cubierta. Para edificios de concreto o acero de 12 pisos o menos, se permite el uso de la siguiente expresión

$$T_a = 0.12N$$

donde  $N$  es el número de pisos. La distribución vertical de las fuerzas sísmicas laterales aplicadas en cualquiera de los niveles esta expresada por

$$F_x = C_{vx} V$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k}$$

donde  $k = 1.0$  para  $T < 0.5$  seg ó  $2.0$  para  $T > 2.5$  seg. El cortante equivalente en cada piso es determinado por la siguiente ecuación

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i$$

donde  $F_i$  es la carga lateral aplicada en el nivel  $i$  y  $V_x$  será el cortante a ser distribuido entre los elementos verticales primarios considerando sus rigideces y la del diafragma. Los diafragmas de piso y cubierta deben ser diseñados para resistir la porción del cortante  $V_x$  más las fuerza sísmica  $F_{px}$  determinada por la expresión

$$F_{px} = \frac{\sum_{i=x}^n F_i}{\sum_{i=x}^n W_i} W_x$$

Ahora bien, en caso de llevarse a cabo un análisis mediante un procedimiento dinámico lineal (LDP) el ATC-33 indica el tipo de espectro de respuesta que debe ser utilizado para representar el movimiento del suelo o la manera de utilizar diferentes

registros acelerográficos en el tiempo. Todas las fuerzas y deformaciones obtenidas mediante este procedimiento, deben ser multiplicadas por los factores  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  y  $C_4$  mencionados para método LSP.

El criterio de aceptabilidad se fundamenta en la determinación de dos acciones: una acción para la cual la deformación puede exceder la cedencia y la máxima deformación permisible esta limitada por la ductilidad, y una acción para la cual la fuerza no puede exceder la cedencia y la fuerza máxima fuerza permisible esta limitada por la resistencia.

En la acción de deformación controlada los elementos estructurales primarios y secundarios deben satisfacer las siguientes ecuaciones

$$Q_G \pm Q_E \leq mQ_C$$

$$Q_G \leq Q_C$$

donde

- $Q_G$  = Fuerza de la gravedad sobre el componente.
- $Q_E$  = Fuerza causada por sismo sobre el componente.
- $Q_C$  = Capacidad esperada en términos de resistencia del componente.
- $m$  = Modificador de la demanda relacionado con la capacidad de ductilidad de respuesta del componente.

En la acción de fuerza controlada los elementos estructurales primarios y secundarios deben satisfacer la siguiente expresión

$$Q_G \pm Q_{EF} \leq Q_{CF}$$

donde

- $Q_{EF}$  = Estimativo de la máxima fuerza que puede recibir el componente.
- $Q_{CF}$  = Capacidad en términos de resistencia del componente.

De igual manera que en el caso de diseño de una nueva edificación estos métodos indican un procedimiento para determinar la máxima deriva permisible, que de manera similar se convierte en un criterio de aceptabilidad de la capacidad de respuesta de la estructura ante cargas sísmicas.

De igual manera el ATC-33 presenta dos procedimientos para el análisis no lineal, tanto estático como dinámico, en los cuales la aceptabilidad esta basada en la comparación de la demanda calculada y las capacidades disponibles al nivel de comportamiento considerado. La evaluación de la propuesta de rehabilitación se basa en la estimación de las capacidades y demandas de parámetros tales como la deriva global y de cada piso, las deformaciones inelásticas de cada componente, tanto absolutas o normalizadas, las deformaciones entre componentes y las fuerzas en cada componente estructural.

El procedimiento estático no lineal (NSP) incluye los siguientes pasos:

- a) Representación de la estructura in dos o tres dimensiones para cuantificar las características de respuesta lineal y no lineal.
- b) Aplicación de cargas laterales en patrones que representen aproximadamente las fuerzas iniciales relativas generadas y localizadas en las masas significativas.
- c) Empuje de la estructura bajo los patrones de carga-desplazamiento hasta el desplazamiento máximo esperado para el sismo de diseño. También conocido como análisis "pushover".
- d) Estimación del desplazamiento máximo esperado de la cubierta para el sismo de diseño (desplazamiento objetivo).
- e) Uso de las fuerzas y deformaciones calculadas en el nivel del desplazamiento objetivo y estimación de las demandas de fuerza y deformación de la estructura y sus componentes con el fin de compararlas con las capacidades disponibles.

El edificio debe ser analizado considerando cargas gravitacionales constantes e incrementando las cargas laterales o los desplazamientos. Los efectos P-Δ deben ser tenidos en cuenta si pueden llegar a tener un efecto significativo en la respuesta de la estructura. El desplazamiento objetivo, localizado en el centro de masa de la estructura a nivel de la cubierta  $\delta_t$ , debe ser estimado de la siguiente ecuación

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 C_4 \frac{T^2}{4\pi^2} S_a$$

en donde para estimar algunos de los valores de la ecuación es necesario reemplazar la curva multilineal cortante basal vs. desplazamiento de la cubierta por un diagrama bilineal que se ilustra en la Figura 14.

$C_0$  es un factor de modificación que cuantifica la diferencia entre el desplazamiento espectral de un sistema de un grado de libertad y el desplazamiento de la estructura en la cubierta.  $C_1$  es un factor que cuantifica la diferencia entre el desplazamiento elástico e inelástico para un sistema bilineal de poca degradación de rigidez con un amortiguamiento del 5%.

$$C_1 = 1.0 \text{ para } T \geq T_o$$

$$C_1 = [(R - 1)T_o/T + 1]/R \quad T < T_o$$

donde:

- $T_o$  = Período para el cual donde se intersectan las regiones de aceleración constante y velocidad constante en el espectro de diseño suavizado.
- $C_2$  = Factor de modificación en caso de que el amortiguamiento viscoso equivalente sea diferente al 5% del crítico.
- $C_3$  = Factor de modificación que cuantifica la degradación (pinching) de los loops de histéresis de los componentes que controlan la respuesta dinámica inelástica de la estructura.
- $C_4$  = Factor que representa la calidad de la estructura.

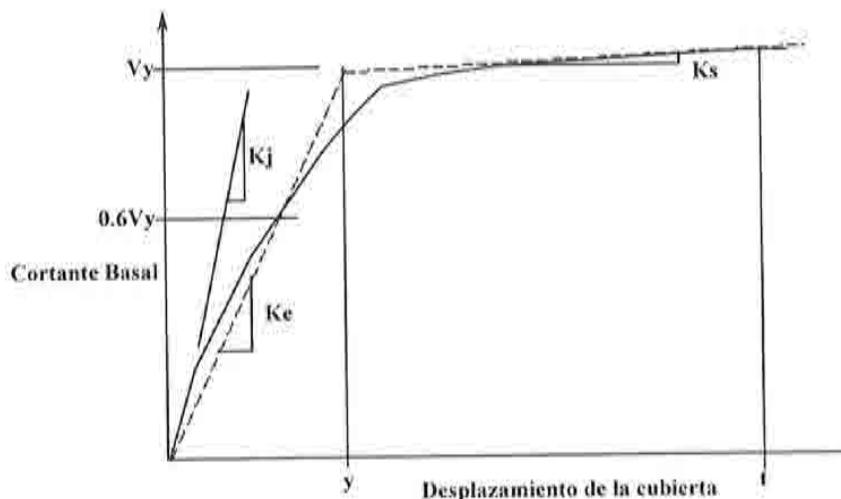


FIGURA 14. MODELACIÓN BILINEAL CORTANTE-DESPLAZAMIENTO (ATC-33)

Este análisis también conocido en general como "pushover" es ampliamente utilizado para evaluar la respuesta de estructuras existentes o para revisar el diseño de

nuevas edificaciones. El "pushover" es un análisis estático que permite determinar mediante el incremento "paso a paso" de las cargas o deformaciones (empujando) la curva de capacidad o la relación fuerza-deformación para una estructura o para un elemento de la misma. Es decir es la graficación de la fuerza cortante total y el desplazamiento lateral asociado en cada incremento, hasta que la estructura alcance el estado límite o condición de colapso. La Figura 15 presenta a manera de ejemplo los resultados de un análisis de este tipo.

En el caso del procedimiento dinámico no lineal (NDP), los requerimientos son los mismos que para el método LDP en lo relacionado con los registros de aceleración utilizados. Su diferencia fundamental es el tipo de modelación matemática, la cual debe tener en cuenta, en caso de que se incluyan sistemas (equipos) de disipación de energía, aspectos tales como la frecuencia de las cargas, la deformación, la velocidad, la temperatura, las cargas sostenidas, etc.

Los diferentes coeficientes y factores presentados en esta descripción general de los métodos deben ser consultados en los documentos fuentes citados (incluidos en las referencias). Sus valores se encuentran tabulados dependiendo de las características de la estructura que se piensa rehabilitar.

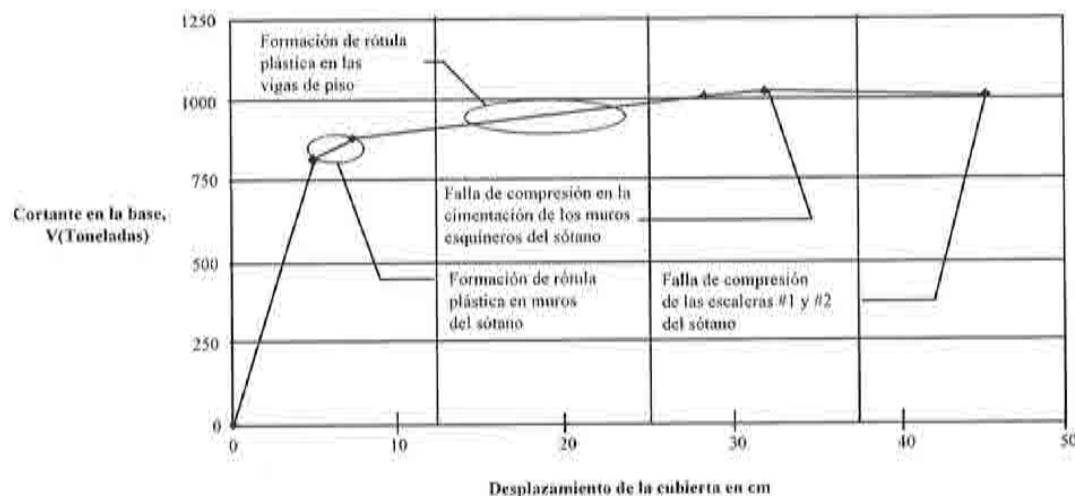


FIGURA 15. ANALISIS PUSHOVER DE UN EDIFICIO

#### UNA PROPUESTA EJEMPLAR DE UNA COMUNIDAD CIENTIFICA

En 1990, la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS) le propuso a la Dirección Nacional para la Prevención y Atención de Desastres (DNPAD) el desarrollo de los estudios de vulnerabilidad sísmica estructural de dos hospitales en cualquier parte del país a cambio de los recursos para la publicación de 2.000 ejemplares de los Manuales de Diseño, las Especificaciones de Construcción y los Comentarios al Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes; documentos que habían sido realizados por la AIS desde 1988, con el apoyo del Ministerio de Obras Públicas, pero que no habían sido publicados por falta de recursos para su reproducción masiva.

La DNPAD obtuvo los recursos del Fondo Nacional de Calamidades para el papel y con el apoyo de la Imprenta del Ministerio de Obras Públicas, se desarrolló el tiraje de los 2.000 ejemplares de los manuales que acompañan el código para su suministro a la comunidad profesional a través de la AIS. Por su parte la AIS llevó a cabo los estudios de vulnerabilidad del Hospital Departamental Evaristo García de Cali de 40.000 m<sup>2</sup> y del Hospital Universitario de Caldas de la ciudad de Manizales de aproximadamente 30.000 m<sup>2</sup>.

Ambos estudios fueron realizados por especialistas de la AIS (Ref. 16, 17), aplicando varios métodos con fines de calibración y comparación. En primera instancia se utilizaron el método ATC-22 (FEMA 178), el método japonés y el método de energía de Akiyama, y por otra parte se aplicó un método propio, denominado AIS-150, desarrollado por la Asociación en 1985 y que después se convertiría en el capítulo A.10, análisis de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones existentes, de las nuevas Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente.

A parte de la contribución que este proyecto significó para la aplicación y el desarrollo de metodologías de carácter técnico, uno de los aspectos más interesantes de esta experiencia fue el estímulo y la toma de conciencia que los estudios generaron en las autoridades, tanto de los hospitales como de los servicios de salud de las dos ciudades. Las administraciones locales, posteriormente, contrataron con recursos propios la segunda fase de los estudios, correspondiente al diseño del refuerzo y rehabilitación sismorresistente.

Pese a que ya se habían realizado estudios de rehabilitación de hospitales con anterioridad en el país, debido a problemas de deterioro y remodelación, estos dos estudios fueron los primeros que trataron explícitamente el tema de la vulnerabilidad sismica hospitalaria en forma preventiva, sirviendo de ejemplo para el Ministerio de Salud y la DNPAD, que a partir de ese momento iniciaron el proceso de estimular el refuerzo preventivo de edificaciones hospitalarias en las zonas de mayor amenaza sismica del país.

### Métodos de energía

Las estimaciones sobre el comportamiento no lineal descritas antes tienen la desventaja de que inducen a extrapolar los resultados de un sistema de un grado de libertad a sistemas de múltiples grados, como son los edificios. Tal es el procedimiento de diseño recomendado en muchos códigos de construcción, en los cuales se incorpora el uso de un factor de ductilidad global para toda la estructura (en algunos casos denominado el R), cuando en realidad el daño o colapso de muchas estructuras muestra un ingreso inusitado de ciertos sectores de la misma en el campo inelástico, más allá de su capacidad de ductilidad, mientras que otros permanecen en el campo elástico. Esto hace discutible el uso indiscriminado del factor de ductilidad global para diversos tipos de estructuras, sin consideración de sus condiciones de distribución de masa, resistencia o rigidez.

Uno de los métodos de energía ha sido el desarrollado por Akiyama (Ref. 21), el cual tiene la notable utilidad de determinar la distribución de la absorción de energía en la estructura, en términos generales, con el fin de detectar las zonas débiles de la misma. En principio, un diseño ideal sería aquel en el cual la energía fuese absorbida en forma de deformaciones inelásticas en proporción y forma similares por todos los pisos de la estructura, de manera tal que lo correspondiente a cada piso sea lo menor posible. En este caso, el factor de ductilidad alcanzado en el sismo sería semejante en todos los pisos. Sin embargo, algunas circunstancias pueden alterar dicha uniformidad, y obligar a que la energía se concentre en algunos pisos, los que así alcanzan factores de ductilidad mucho mayores a los esperados, mientras que los restantes pueden permanecer elásticos, de suerte que no se aprovecha en estos últimos su capacidad de disipación de energía. Entre dichas circunstancias se encuentran:

- Distribución irregular de la masa, normalmente con la presencia de pisos mucho más pesados que otros.
- Distribución irregular de la rigidez, de manera semejante a lo dicho para la masa.
- Distribución de la resistencia de manera muy desviada de un criterio considerado como óptimo para el desarrollo de una demanda de ductilidad semejante en todos los pisos.

Igualmente, dentro de los pisos que absorben grandes proporciones de energía puede haber algunos elementos que tomen más energía que otros, haciendo así que hacia ellos se dirija el daño.

El método de energía utiliza en lugar de los espectros usuales, el espectro de la energía suministrada a la estructura por el sismo:

$$E = \int_0^s m \ddot{y}_o \dot{y} dt$$

donde:

$m$  = masa del sistema

$\ddot{y}_o$  = aceleración del terreno

El espectro de energía es definido de manera más conveniente en términos de una

velocidad equivalente:

$\dot{y}$  = velocidad del sistema.

$$V_e = \sqrt{\frac{2E}{m}}$$

Como puede verse, la energía inducida por el sismo depende no sólo de la aceleración del terreno, sino además de la velocidad del sistema, el cual puede ser elástico-amortiguado o no lineal. Una conclusión importante del estudio de los espectros de energía es que los espectros inelásticos de diversos tipos de no-linealidad (sistemas elasto-plásticos, sistemas deslizantes y combinaciones) son cercanos en valores al espectro de energía de un sistema elástico con un amortiguamiento del 10%. Esto simplifica de gran manera los cálculos.

La energía inducida en la estructura se descompone en las siguientes partes:

$$E = W_p + W_e + W_h$$

donde  $W_p$  es la energía absorbida por plastificación de la estructura,  $W_e$  es la energía de respuesta elástica del sistema, y  $W_h$  es la energía consumida por el amortiguamiento.

De acuerdo con Akiyama (Ref. 21), la distribución de la energía absorbida por la estructura por medio de deformaciones inelásticas en el piso  $i$ -ésimo, es una proporción de la energía total de plastificación, mencionada más arriba, de valor:

$$\frac{W_{p_i}}{W_p} = \frac{s_i p_i^{-12}}{\sum s_i p_i^{-12}}$$

donde el factor  $p$  califica la desviación del coeficiente sísmico del piso  $i$ -ésimo, de un valor considerado como óptimo para el desarrollo simultáneo de igual ductilidad en todos los pisos. La variable  $s$  reúne los datos sobre masa, rigidez y capacidad de deformación inelástica de cada piso de la estructura.

La forma de la distribución de la energía arroja una gran claridad sobre los pisos más débiles de la estructura, en los que puede concentrarse la energía y por tanto, ser más probable el colapso. Para establecer la posibilidad de éste resulta necesario calcular la demanda de ductilidad del piso bajo análisis, la cual depende de la energía absorbida por el mismo.

La Figura 16 muestra los resultados de cinco ejemplos de edificios de 6 pisos evaluados por este método para aceleraciones del suelo del orden de 0,25 g. El caso 0 es el de un pórtico en el cual el coeficiente de diseño sísmico de cada piso (definido como la relación entre el cortante de diseño y el peso acumulado hasta ese piso) es el óptimo según el método (de acuerdo a análisis de regresión). Es de anotar que los valores de dicho coeficiente óptimo difieren fuertemente de los obtenidos por las fórmulas de diseño convencionales de los métodos quasi-estático y dinámico en los pisos superiores. La rigidez del pórtico se ha disminuido gradualmente hacia arriba, de acuerdo a la menor resistencia requerida, lo cual también se considera aconsejable. Puede verse que los porcentajes de distribución de la energía son semejantes en todos los pisos.

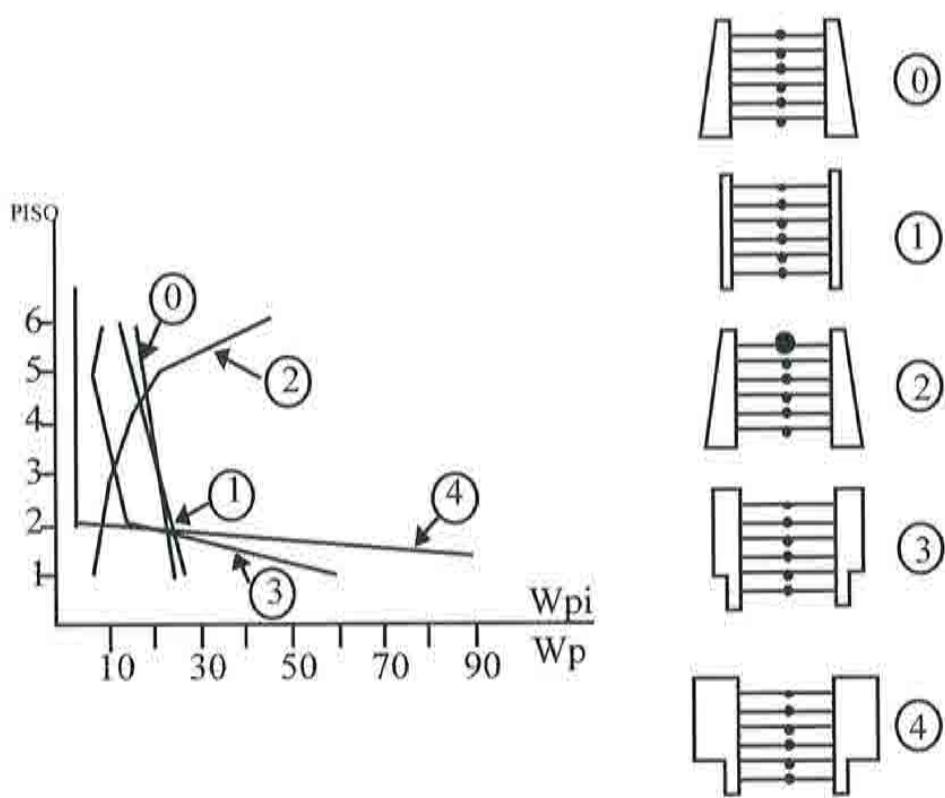


FIGURA 16. CASOS DE CONCENTRACION DE ENERGIA

El caso 1 corresponde a un pórtico en el cual se ha mantenido la rigidez y la masa constantes en toda la altura. En el caso 2, se ha colocado una masa en el último piso cinco veces superior a la de los pisos restantes. El caso 3 presenta una rigidez en los pisos superiores tres veces superior a la del primer piso, y en el caso 4 se ha aumentado esa diferencia a treinta veces.

Los resultados obtenidos indican claramente las desviaciones del comportamiento óptimo. En el caso 0, la energía absorbida aumenta levemente hacia el primer piso, lo cual es deseable debido al aumento de rigidez en el mismo sentido. En el caso 1, este aumento se hace más brusco. En el caso 2, se presenta un gran incremento de la energía absorbida en el último piso debido a la alta concentración de masa en ese sitio. En los casos 3 y 4 se presentan fuertes incrementos de la absorción de energía en el primer piso, causados por la disminución de rigidez allí. Puede verse de esta manera que los resultados del método concuerdan con las observaciones obtenidas en diferentes sismos sobre el comportamiento de edificios irregulares.

Las anteriores aplicaciones de este método de energía confirman el hecho de que en el diseño sismo-resistente no basta con proporcionar una resistencia a unas fuerzas iniciales sin relación con la distribución de la masa, la rigidez y la resistencia. El análisis dinámico cubre en parte esta necesidad, pues tiene en cuenta la distribución de la masa y de la rigidez, lo cual lo hace superior al método simplificado, pero al ser un método elástico, deja por fuera la distribución de la resistencia; y, por otra parte, como el método simplificado, asume una distribución uniforme de la demanda de ductilidad, lo cual dista de ser cierto en los casos irregulares. Por estas razones, la aplicación de los métodos de naturaleza elástica debe ser examinada con cuidado cuando se busca la disipación de energía por medio de deformaciones permanentes de la estructura.



FOTOGRAFIA 8. ILUSTRACIÓN REAL DE LOS CASOS 3 Y 4 (J. GRASES)



FOTOGRAFIA 9. FALLA POR ALTA CONCENTRACIÓN DE ENERGÍA (J. GRASES)

Existen otros métodos basados en energía que permiten determinar índices acumulativos de daño entre los cuales se destaca el método de índices combinados desarrollado por Park y Ang (Ref. 102). Este método es bien conocido y ampliamente

utilizado y consiste en la combinación lineal simple de deformación normalizada y absorción de energía

$$D = \frac{\delta_m}{\delta_u} + \beta_e \frac{\int dE}{F_y \delta_u}$$

El primer término es una medida simple y seudoestática del desplazamiento que tiene en cuenta el daño acumulativo, el cual es cuantificado solamente en términos de energía. Las ventajas de este modelo son su simplicidad y el hecho que ha sido calibrado con una significativa cantidad de daños sísmicos observados, incluidas fallas por cortante y adherencia en algunos casos. Park, Ang y Wen (Ref. 102) sugirieron  $D = 0.4$  como umbral entre daño reparable e irreparable y sugirieron en 1987 la siguiente clasificación más detallada

$D < 0.1$	Daño menor o agrietamiento localizado
$0.1 \leq D < 0.25$	Daño menor - agrietamiento ligero generalizado
$0.25 \leq D < 0.4$	Daño moderado, agrietamiento severo, pérdida del recubrimiento localizado
$0.4 \leq D < 1.0$	Daño severo - aplastamiento del concreto, refuerzo expuesto
$D \geq 1.0$	Colapso

Ang en 1993 sugirió usar un valor de  $D = 0.8$  para representar el colapso. Este índice fue implementado en la versión original del programa Inelastic Damage Analysis of Reinforced Concrete - IDARC (Ref. 103) y ha sido usado en un amplio número de estudios de vulnerabilidad sísmica y modelos probabilísticos. En versiones más recientes de IDARC (Ref. 107) se utiliza una ligera versión modificada del índice de Park y Ang, en el cual la deformación recobrable es removida del primer término y se utiliza el momento y la curvatura en vez de la fuerza y el desplazamiento

$$D = \frac{\phi_m - \phi_y}{\phi_u - \phi_y} + \beta_e \frac{\int dE}{M_y \delta_u}$$

En este índice Stone y Taylor, 1993, después de un amplio número de ensayos proponen para el colapso un  $D > 0.77$ .

IDARC requiere que el usuario defina el valor de  $\beta_e$ , propone por defecto un valor de 0.1 y recomienda que no debería exceder normalmente a 0.5. El valor escogido debe proveer una representación razonable del degradación de la resistencia en el modelo histerético. Sin embargo, hay cierto grado de arbitrariedad en la escogencia lo cual es indeseable (Ref. 133).

Estos métodos presentan un enfoque radicalmente diferente del usual tanto para el diseño como para la revisión o evaluación de la vulnerabilidad de edificios sometidos a movimientos sísmicos. Para efectos de revisión de estructuras existentes tiene la virtud de establecer claramente los pisos débiles de la estructura, los elementos de los mismos que tienen tendencia a fallar en primer lugar, las demandas de ductilidad asociadas a la energía absorbida en cada piso y, en consecuencia, refleja de manera adecuada la situación probable del edificio en relación con un sismo fuerte.

**UN ESTUDIO A NIVEL DEL ESTADO DEL ARTE**

En marzo de 1993, la Dirección Nacional para la Prevención y Atención de Desastres (DN-PAD) de Colombia, convocó a un grupo multisectorial de profesionales representantes de instituciones y sectores vinculados con la infraestructura de la salud, con el propósito de formular un proyecto integral para el estudio y reducción de la vulnerabilidad del hospital Kennedy de Santa Fe de Bogotá, considerado estratégico, por su ubicación y tamaño de la población a la que sirve, expuesta a un riesgo sísmico intermedio. Esta inquietud inicial de las autoridades se motivó con la perspectiva de la celebración del Día Internacional de la Reducción de los Desastres Naturales que ese año estaría dedicado a la protección de la infraestructura de la salud y educativa. El proyecto inicial comprendía un detallado análisis de la vulnerabilidad sísmica del Hospital Kennedy, incluyendo guías técnicas para su refuerzo y mejora de su respuesta estructural. El Gobierno de Colombia comprometió recursos del Fondo Nacional de Calamidades, para dar inicio a las actividades.

El proyecto fue ajustado en su alcance y presentado por la OPS a ECHO, ya que existía un equipo profesional idóneo, con experiencia en evaluaciones similares y el aval de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, la voluntad política de las autoridades, el interés especial del Ministerio de Salud por concretar las acciones, y recursos financieros nacionales asignados como contrapartida. Cuando el paquete de proyectos fue aprobado, ECHO canalizó a través de la OPS recursos complementarios como aporte para el desarrollo del estudio de vulnerabilidad estructural y el Ministerio de Salud logró asignar adicionalmente otros recursos que permitieron la elaboración de los estudios de vulnerabilidad no-estructural y funcional. En 1997 se hizo la primera intervención estructural de la zona de Urgencias y en 1998 la Secretaría de Salud de Santa Fe de Bogotá realizó la licitación pública para el refuerzo sismorresistente de sus otras ocho zonas, las cuales se empezaron a rehabilitar a mediados del mismo año.

El Hospital Kennedy, es una institución pública que cuenta con una estructura compleja y relativamente moderna, que atiende a una población estimada de dos millones de personas. Después de un levantamiento detallado de la configuración estructural del complejo hospitalario, el cual está conformado por nueve edificaciones que cubren cerca de 24.000 m<sup>2</sup>, se inició el estudio de vulnerabilidad sísmica aplicando técnicas avanzadas de análisis inelástico, con el fin no sólo de establecer las deficiencias en términos de rigidez y resistencia de las estructuras, sino en términos de disipación y concentración de energía inelástica por plastificación y desarrollo de ductilidad (Ref. 33). Mediante el programa de computador IDARC se evaluaron las nueve edificaciones, obteniendo índices de daño para cada uno de los elementos estructurales, cada uno de los pisos y la edificación en general. Igualmente, se utilizó una versión modificada y avanzada del programa COMBAT (otro programa de análisis estructural), desarrollada en Colombia, con el cual se verificaron los resultados del análisis inelástico, utilizando un modelo que permitió precisar las deficiencias de acuerdo con lo establecido en la última versión de las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR, en las cuales se incluyeron novedosos requerimientos para el diseño y evaluación de la vulnerabilidad de hospitales y la obligación de realizar dichas actividades en un término en el tiempo de acuerdo con lo aprobado mediante una ley en el Congreso de la República.

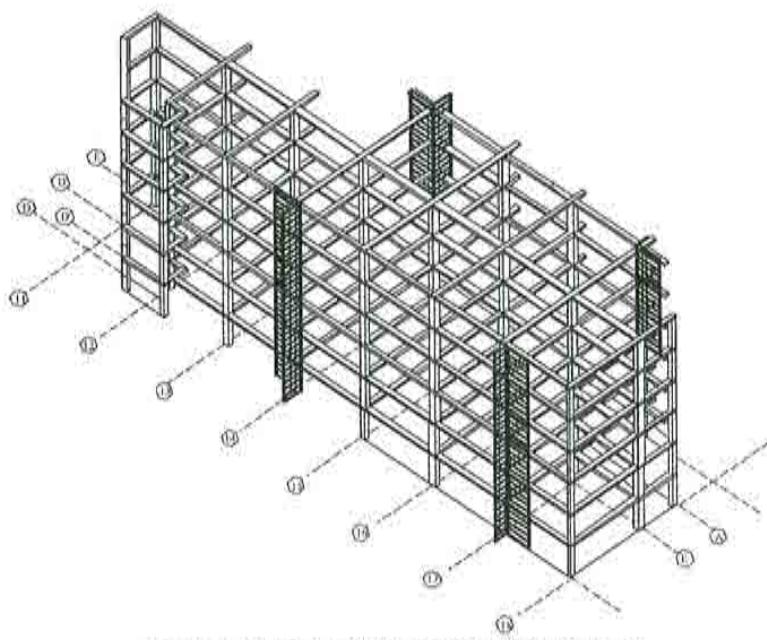
Para hacer este trabajo, se elaboró una familia de acelerogramas sintéticos, teniendo en cuenta los resultados del estudio de microzonificación sísmica de Santa Fe de Bogotá, mediante varias funciones de modulación que permitieran escalar adecuadamente los registros hasta ahora obtenidos en las estaciones acelerográficas existentes, y un espectro suavizado que considerara el comportamiento de los suelos en los cuales se ubica el hospital. Los resultados de esta primera fase indicaron que el hospital, en caso de sismos moderados o fuertes, sufriría graves daños. Posteriormente, se desarrolló el diseño de la solución más adecuada y factible, con base en muros estructurales de cortante o pantallas rigidizadoras.

El caso del Hospital Kennedy ha sido considerado en el medio de la ingeniería y el sector de la salud como muy interesante debido al tipo de técnicas utilizadas para el estudio, que posiblemente no habían sido aplicadas a casos de hospitales en la región hasta ahora, y que permitieron ratificar la necesidad de llevar a cabo evaluaciones rigurosas, dado que con métodos convencionales podrían dejar de detectarse situaciones de riesgo poco evidentes, o que podrían pasar inadvertidas a no ser que se utilicen técnicas avanzadas de evaluación, particularmente cuando el edificio se encuentra localizado en suelos como los de Santa Fe de Bogotá.

Este proyecto apoyado por la OPS fue el inicio de un importante proceso de diagnóstico e intervención ahora apropiado por la Secretaría de Salud de la ciudad. Posteriormente no sólo se inició el refuerzo del Hospital Kennedy sino que también con recursos propios se evaluó, diseño y reforzó el Centro Administrativo Distrital. La Secretaría de Salud contrató posteriormente la evaluación de la vulnerabilidad y el diseño de la rehabilitación estructural de los Hospitales Simón Bolívar, La Victoria, San Blas y el Tunal; todos hospitales de nivel III de complejidad y se tiene programado el continuar realizando este tipo de estudios en los hospitales de nivel II..



**FOTOGRAFIA 10. HOSPITAL KENNEDY, CENTRO ADMINISTRATIVO DISTRITAL.**



**FIGURA 17. NUEVOS MUROS ESTRUCTURALES**

## INTERVENCION ESTRUCTURAL

En la mayoría de los países ya existe alguna conciencia acerca de la importancia que tiene la dotación de las instalaciones de salud para satisfacer necesidades del futuro. Probablemente muchas de estas instalaciones, sean vulnerables en grados variables a daños por fuerzas sísmicas, fuerzas de vientos huracanados u otras amenazas naturales. Sin embargo, existe la posibilidad de que puedan mejorarse. La experiencia indica que existen casos en que la aplicación de medidas relativamente poco costosas han permitido el mejoramiento y la seguridad de estructuras existentes. La reforma de instalaciones existentes, para que sea realmente eficiente y beneficiosa, debe realizarse de una manera sistemática y consistente.

Muchas edificaciones existentes actualmente no cumplen con los requisitos técnicos. Esto significa que su vulnerabilidad a ciertas amenazas naturales puede ser tan alta que su riesgo asociado puede exceder ampliamente los niveles aceptados actualmente. Acciones remediales basadas en conocimientos científicos deben, por lo tanto, llevarse a cabo para reducir el riesgo y garantizar un comportamiento adecuado. Por lo tanto, esta adecuación o refuerzo debe ser consistente con los requisitos ingenieriles actuales y de acuerdo con los requisitos establecidos por los códigos de diseño de cada país.

El desarrollo de una reestructuración debe obedecer a un programa de trabajo muy detallado que involucre aspectos relativos a la función de los servicios en cada etapa del proceso. De la misma manera debe definirse una debida coordinación con el personal administrativo, de atención médica y de mantenimiento del hospital.

### Reestructuración o rehabilitación

De acuerdo con lo examinado anteriormente, la evaluación del estado de una construcción existente puede hacer surgir serias dudas sobre la capacidad de la misma para soportar eventos sísmicos (Ref. 15). En algunos países se han desarrollado campañas de refuerzo de edificios existentes para efectos de reducir su vulnerabilidad, previamente a la ocurrencia del evento. En principio, puede pensarse que dicha reducción debería ser obligatoria para edificios esenciales para la atención de emergencias derivadas de sismos, que resulten inadecuados desde el punto de vista de las evaluaciones mencionadas en el capítulo anterior, de acuerdo a uno o varios aspectos.

#### Problemas comunes

A partir del diagnóstico realizado de acuerdo con los métodos esbozados en el capítulo anterior, pueden dictaminarse las causas de debilidad de la estructura. La lista siguiente enumera algunas de dichas causas (Ref. 51):

Poca capacidad global de disipación de energía. Este problema es usual en edificios construidos bajo normas de diseño que no contemplan la resistencia a sismos. En ellos se observan grandes separaciones de estribos en vigas y columnas, así como poco refuerzo a compresión en vigas en las zonas cercanas a los nudos, y ausencia de confinamiento de éstos.

Poca resistencia en exceso de la requerida para la atención de las cargas de gravedad. Esto es lógico en diseños realizados solamente para la atención de dichas cargas, al menos en lo que se refiere a vigas. En cuanto a columnas, la situación puede ser más o menos crítica debido a la complejidad de la interacción momento-fuerza axial.

Errores en el modelo estructural. Pueden encontrarse errores e inconsistencias de diverso orden en la concepción original de la estructura sometida a cargas verticales. Entre ellos pueden estar el haber ignorado los momentos de flexión en el diseño de columnas, la concepción de las vigas como simplemente apoyadas al tiempo con su construcción como

elementos continuos, etc.

Deficiencia de rigidez y resistencia en una o dos direcciones. En la concepción del diseño exclusivamente para cargas de gravedad con losas en una dirección, no resulta necesaria la presencia de vigas en la dirección de trabajo de la losa. Por esta razón son omitidas frecuentemente. Esto hace que la estructura sea particularmente flexible y débil en este sentido. En el caso de losas en dos direcciones, por otra parte, el problema puede ser mayor si éstas han sido construidas sin vigas, ya que los problemas mencionados se dan en las dos direcciones, y debido a que las losas no están preparadas usualmente para soportar los esfuerzos de corte derivados del sismo.

Además de estos problemas, suelen ser comunes los relacionados con la configuración y con los muros de relleno, los cuales han sido examinados en los capítulos correspondientes.

### Diseño del refuerzo

De acuerdo con lo anterior, la intervención de la estructura debe buscar la reducción de estos problemas, a través de mecanismos necesarios, los cuales pueden clasificarse en cuatro grupos:

- a) Aumento de la capacidad global de disipación de energía.
- b) Aumento de la resistencia.
- c) Disminución de la concentración de energía en planta y en altura.
- d) Rigidización.

El análisis y el diseño del modelo estructural de la estructura reforzada debe realizarse en consideración clara de aspectos como los siguientes:

- a) El impacto de la variación de rigidez sobre la respuesta espectral. En el espectro de aceleraciones la variación de la rigidez puede afectar significativamente la respuesta global de la estructura.
- b) La respuesta de los elementos viejos que no hayan sido intervenidos, pero cuya conexión con el diafragma los lleve a intervenir en la respuesta global de un piso.
- c) El impacto del aislamiento de muros de relleno sobre la rigidez de cada piso.
- d) Los elementos adicionales que deben ser construidos en el caso de creación de juntas de movimiento sísmico en los diafragmas.
- e) La interrelación entre los mecanismos de rigidización, aumento de resistencia y ductilidad.
- f) El cambio de esfuerzos en el suelo y la cimentación.
- g) La relación del sistema constructivo con el mantenimiento del uso del edificio.
- h) El costo de la intervención.
- i) Los aspectos arquitectónicos, funcionales y estéticos del refuerzo.

Los sistemas usuales de refuerzo de estructuras suelen recurrir a la inserción de los siguientes elementos adicionales (Ref. 75).

Muros en el exterior del edificio. Esta solución se emplea generalmente cuando las limitaciones de espacio y de continuidad de uso del edificio hacen preferible el trabajo en la periferia. Para asegurar la transmisión de esfuerzos por medio del diafragma a los muros se emplean vigas colectoras en los bordes de la losa. No es recomendable para edificios muy largos.

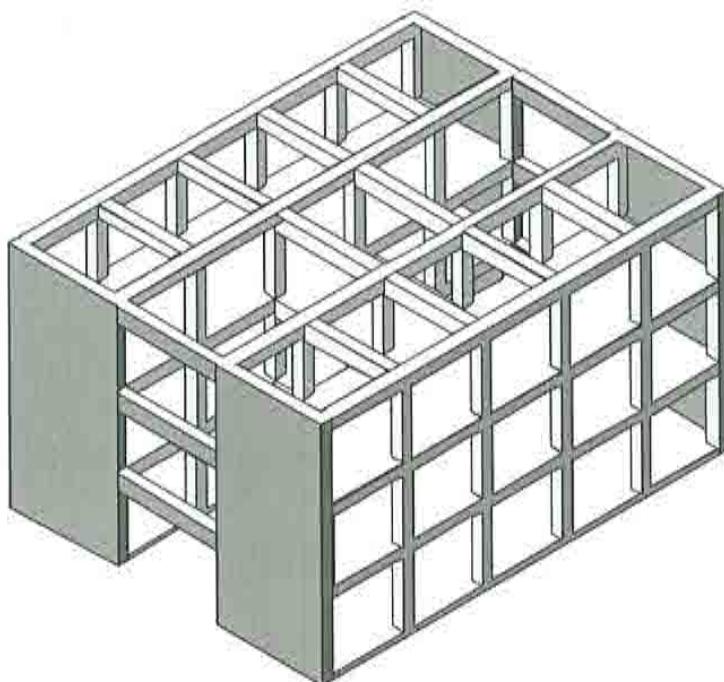


FIGURA 18. MUROS ESTRUCTURALES EN LA PERIFERIA

Contrafuertes. A diferencia de los elementos anteriores, su colocación es perpendicular a la cara del edificio. Además de aportar rigidez, son útiles para tomar el momento de vuelco en edificios esbeltos. Debido a las limitaciones de espacio no siempre son factibles.

Muros en el interior del edificio. Cuando las posibilidades de trabajo en el interior del edificio lo permitan, son una alternativa de necesaria consideración en edificios largos, en los cuales la flexibilidad del diafragma deba ser reducida. Se insertan generalmente por medio de perforaciones en los diafragmas, a través de las cuales pasan las barras de refuerzo.

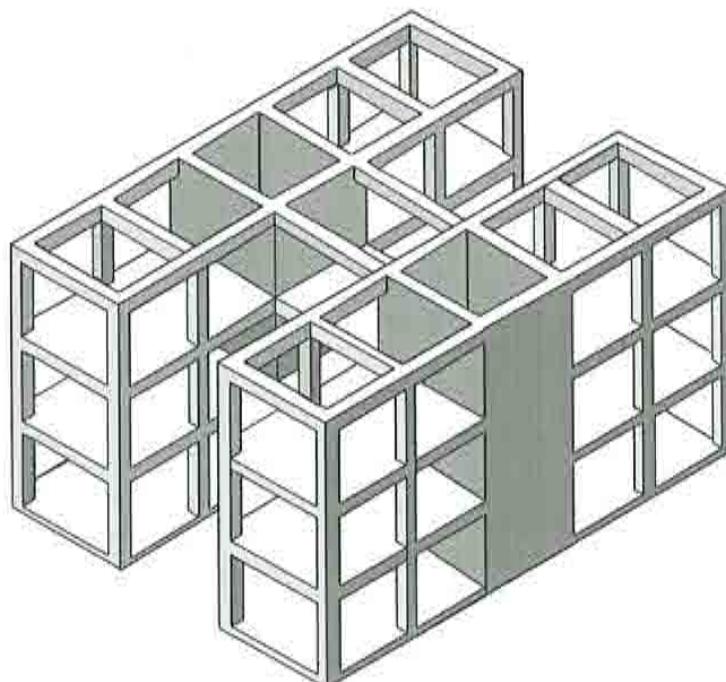


FIGURA 19. MUROS ESTRUCTURALES AL INTERIOR

Muros de relleno de pórticos. Tanto en el interior como en el exterior de edificios, una solución práctica al problema de rigidez y resistencia es el relleno de vanos de pórticos con muros de concreto o de mampostería reforzada. Debido a la unión con la columna, los esfuerzos en éstas cambiarán substancialmente. Si el refuerzo de la misma es suficiente para el nuevo estado, la unión con el muro podrá realizarse solamente por medio de pasadores soldados. En caso contrario, se debe construir un encamisado de la columna monolítico con el muro.

Pórticos arriostrados. Otra solución frecuente consiste en incluir varios pórticos de acero con diagonales anclados fuertemente a los diafragmas, como sustituto de los muros de rigidez. Igualmente, pueden construirse solamente las diagonales unidas a los pórticos existentes cuando éstos demuestran ser resistentes ante las fuerzas demandadas por ellos con el nuevo sistema, en especial, ante las fuerzas axiales en las columnas y de corte en los nudos.



FOTOGRAFIA 11. REFUERZO CON DIAGONALES

Encamisado de columnas y vigas. Empleado para sistemas de pórtico, este sistema se realiza generalmente sobre una gran parte de las columnas y vigas de un edificio, con el fin de aumentar tanto su rigidez, resistencia y ductilidad. Los sistemas de encamisado, en la mayoría de los casos, se diferencian básicamente en la manera como se une el recubrimiento nuevo a la columna existente.

Construcción de un nuevo sistema aporticado. En ocasiones es posible llevar a cabo una reestructuración total adosando la antigua estructura a nuevos pórticos perimetrales externos. Usualmente se combina con la incorporación de muros estructurales internos perpendiculares al sentido longitudinal de los pórticos.

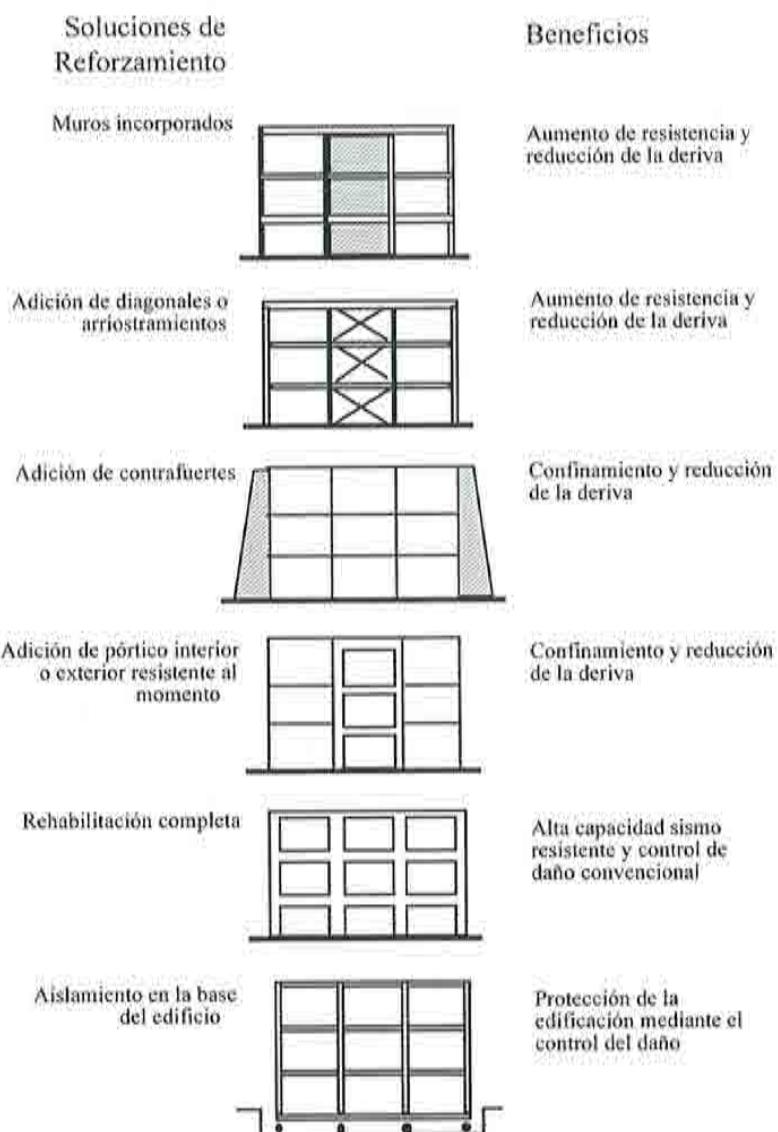


FIGURA 20. SOLUCIONES CONCEPTUALES (AIA/ACSA)



FOTOGRAFÍA 12. REFUERZO DEL HOSPITAL MÉXICO (R. ACUÑA)

### DEMOSTRACION DE VOLUNTAD POLITICA

Los estudios de vulnerabilidad de los hospitales en Costa Rica se iniciaron en 1984, en la Universidad de Costa Rica, como proyectos de investigación y en respuesta a la preocupación creciente en el medio de que se repitiera la experiencia de 1983 en San Isidro de Pérez Zeledón. La Escuela de Ingeniería Civil se vio motivada a iniciar esta labor gracias al incentivo que le diera el Fondo Nacional de Emergencias de ese entonces y al interés mostrado por las autoridades políticas de la Caja Costarricense del Seguro Social (CCSS). La OPS fue otro de los entes impulsadores de esta iniciativa, ya que se presentaba como un campo de investigación nuevo en América Latina.

Después del estudio del Hospital Calderón Guardia, en 1984, la Universidad solicitó el año siguiente al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT) la financiación para estudiar la vulnerabilidad del total de hospitales del país. El CONICIT aprobó parcialmente el financiamiento solicitado, así que la Universidad dio inicio al proyecto con el estudio del Hospital México en 1986. Este financiamiento se logró, entre otros factores, gracias a que prestigiosos médicos de la CCSS apoyaron decididamente el proyecto. El estudio del Hospital México fue el primero sobre vulnerabilidad sísmica integral que se ejecutó en el país, ya que en él se tocaron los diferentes niveles de riesgos a que estaba expuesto, aspectos estructurales, no-estructurales y los de indole operativo que presentaba el hospital (Figuras 21 y 22).

La reestructuración de los tres edificios que conforman el complejo consistió básicamente en colocar columnas y vigas adicionales a los marcos de concreto por su parte exterior y desligar todas las paredes del sistema estructural. En forma adicional, los muros de las escaleras de emergencia se ligaron a la estructura del edificio, con el objeto de evitar su volcamiento. Con esta alternativa se aumentó la rigidez de los edificios, lo que implica una disminución de los desplazamientos laterales debidos a sismo, que a su vez significa reducir el daño no-estructural, limitando la probabilidad de daño estructural (Ref. 48).

Los trabajos de refuerzo se iniciaron en mayo de 1989 y el proceso requirió 31 meses de trabajo. El costo de las obras fue de US\$ 2.350.000 dólares, que representan US\$ 3.920 dólares por cama y el 7.8% del valor del hospital. Durante todo el proceso el hospital tuvo que reducir su número de camas de 600 a 400, con la consecuente acumulación de pacientes en espera de atención. Esta situación pudo evitarse si hubiera existido una mayor coordinación entre los constructores, los funcionarios de la CCSS y de la administración del hospital.

Aparte del Hospital México, la CCSS contrató también los estudios de vulnerabilidad, los diseños del refuerzo y la construcción de las respectivas rehabilitaciones del Hospital de Niños y el Hospital Monseñor Sanabria. También en estos dos casos se presentaron dificultades en el proceso de construcción, fundamentalmente, por no involucrar debidamente a la administración del hospital en el proceso. Sin embargo, estas experiencias permitieron identificar los aspectos de coordinación y trabajo multidisciplinario que deben tenerse en cuenta, con el fin de evitar sobrecostos y problemas de funcionalidad.

Varios sismos han ocurrido desde 1990 que han demostrado la bondad de haber reforzado los hospitales antes mencionados. Particularmente, se cree que el Hospital Monseñor Sanabria no hubiera sobrevivido al sismo del 25 de marzo de 1990. Por otra parte, los daños ocurridos en el Hospital Tony Facio, que no había sido reforzado cuando ocurrió el sismo del 22 de abril de 1991, han ratificado la importancia de continuar con el proceso. De hecho la CCSS incorporó formalmente el diseño sismorresistente y los análisis de vulnerabilidad desde la fase de formulación de los proyectos. En el diseño del nuevo Hospital San Rafael de Alajuela, por ejemplo, se utilizaron las técnicas más desarrolladas del estado del conocimiento con un enfoque integrador. El diseño de este hospital es un ejemplo de trabajo multidisciplinario en el cual participaron profesionales de la sismología, las ciencias de la tierra, ingenieros, arquitectos y personal relacionado con la salud pública (Ref. 49).

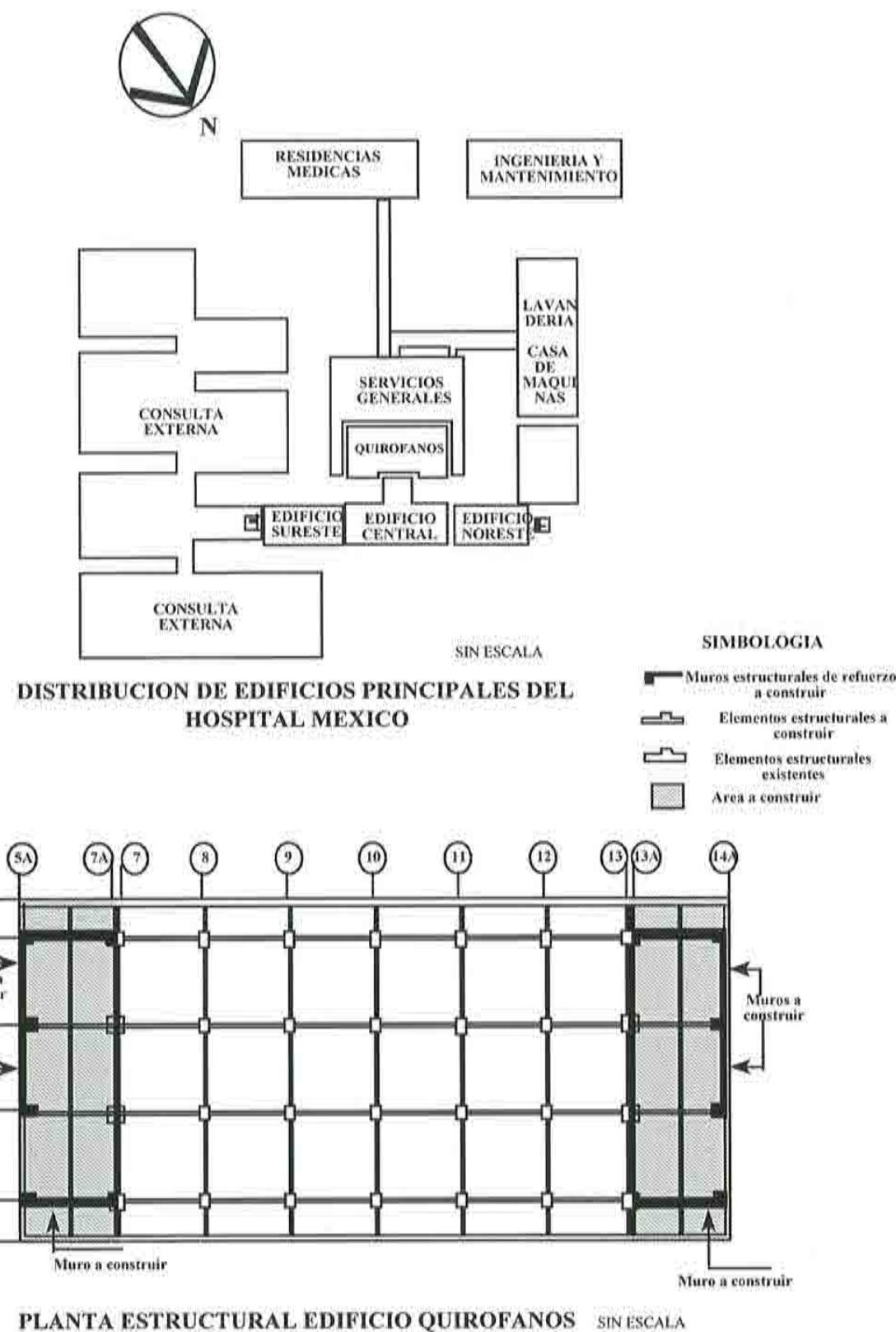
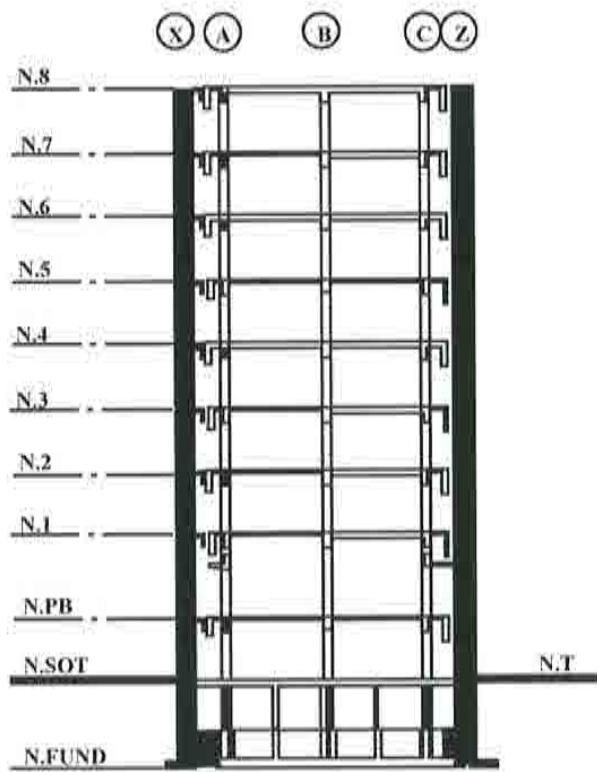
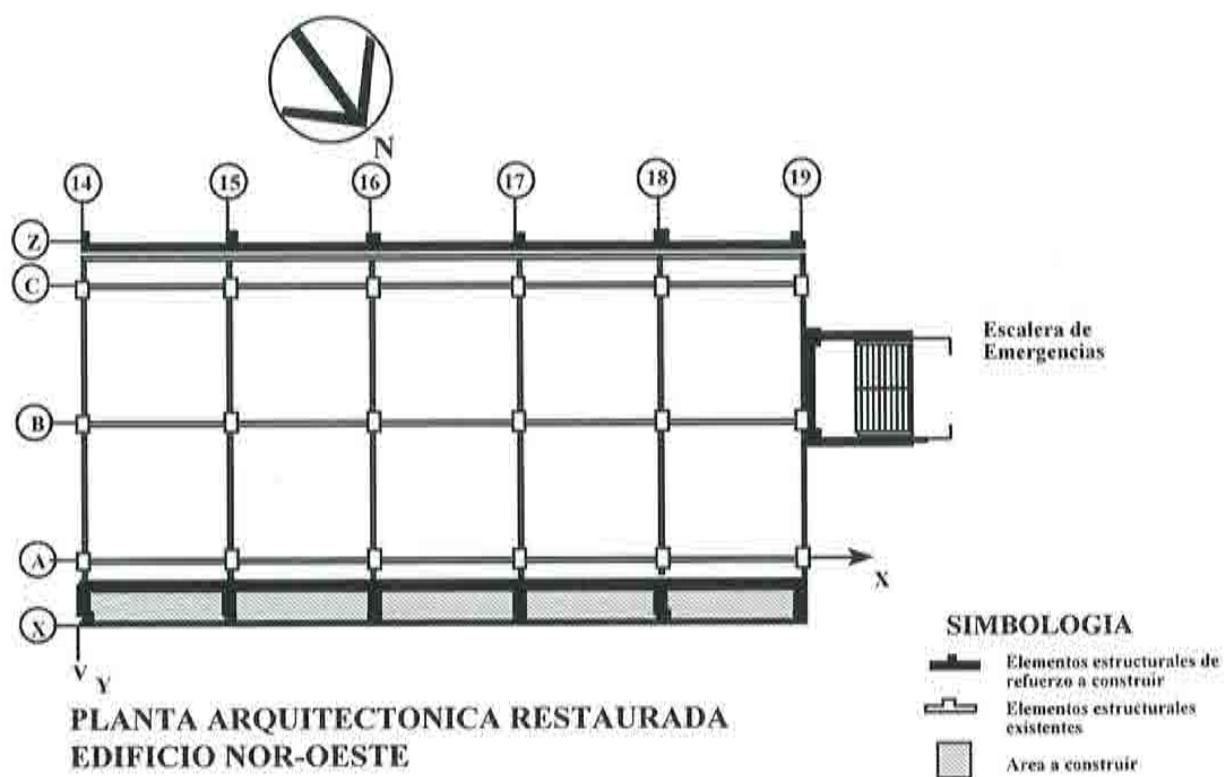


FIGURA 21. REESTRUCTURACIÓN DE QUIROFANOS



SECCION TRANSVERSAL

SIN ESCALA

FIGURA 22. REESTRUCTURACIÓN DEL EDIFICIO NOR-OESTE

## Aislamiento y control de vibraciones

Las técnicas de aislamiento en la base y control de vibración han tenido un incremento notorio en su uso en construcciones localizadas en zonas sísmicas en los últimos años, como alternativa a la disipación de energía por medio de la tolerancia de daño por ingreso de los elementos estructurales en el campo no lineal. Esto los convierte en sistemas que sin duda llegarán a ser de gran importancia en la construcción de edificios en general, debido a las crecientes exigencias de seguridad estructural y no-estructural ante sismos fuertes, y de comodidad ante vibraciones ambientales. Pueden clasificarse en dos grupos: sistemas de aislamiento y sistemas de control de vibración.

Estos sistemas de aislamiento son sistemas que absorben la energía en la base de excitación por medio de grandes deformaciones, amortiguamiento o combinación de ambos. Pueden clasificarse en los siguientes subgrupos:

### Sistemas de aislamiento en la base del edificio

Entre los dispositivos más corrientes utilizados para aislar los edificios en la base se encuentran:

- a) *Soportes de caucho y acero.* Se trata de soportes de alta rigidez y resistencia a carga vertical, lo que les permite resistir las cargas derivadas del peso y uso de la construcción, mientras que su alta flexibilidad ante movimientos horizontales permite que gran parte de la energía del sismo se disipe en ellos. En algunos casos, el caucho tiene además características de alto amortiguamiento, mientras que en otros el soporte tiene un núcleo de plomo que realiza el papel de amortiguador, lo que hace innecesaria la combinación con amortiguadores.
- b) *Amortiguadores en la base.* Pueden ser amortiguadores de fricción, viscosos, o barras de acero flexible ancladas en amortiguadores viscosos, que se colocan en la base del edificio con el fin de reducir la energía sísmica en el edificio. En muchos casos son suficientes para disipar la energía de vibraciones ambientales y sismos de poca intensidad, pero para el caso de sismos fuertes deben combinarse con los soportes de acero y caucho. Su coeficiente de amortiguamiento puede alcanzar valores superiores a 30%.

### Sistemas de aislamiento de entarimado de equipos

Los sistemas de aislamiento de entarimados consisten en dispositivos cuyo fin es aislar las vibraciones de los entarimados donde se encuentran equipos electrónicos y de precisión, que pueden ser averiados o descalibrados por el movimiento dinámico. Su colocación se realiza entre la losa y el entramado que soporta la tarima del equipo. Están compuestos por soportes de caucho o de balines y/o amortiguadores viscosos para control de la vibración horizontal y resortes de aire para la vibración vertical.

Los sistemas de control de vibración han sido ideados principalmente para amortiguar las vibraciones eólicas, ambientales y sísmicas en el interior mismo del edificio. Pueden clasificarse en los siguientes grupos:

### Sistemas de Control Pasivo

Los sistemas de control pasivo son adecuados para vibraciones ambientales, pero en el caso de sismos no son generalmente útiles más que para casos de moderada intensidad. Entre ellos se encuentran los siguientes mecanismos:

- a) *Amortiguadores estructurales pasivos.* Se trata de amortiguadores de diferentes materiales (acero flexible al corte, caucho de silicona, caucho plástico, caucho bituminoso, etc.) que se colocan generalmente debajo de los diafragmas de piso, con el fin de participar en la

- absorción de la energía inducida de manera uniforme en toda la altura del edificio.
- b) *Amortiguadores de palanca.* Consisten en amortiguadores que convierten el movimiento horizontal de la estructura en un movimiento vertical amplio de amortiguadores verticales dobles colocados en los extremos de una palanca, cuya viscosidad permite la reducción de las vibraciones.
  - c) *Péndulos resonantes pasivos.* En este sistema, el control de la vibración se efectúa por medio de la colocación de un péndulo de gran masa, cercana al 1% de la masa total del edificio, en la azotea del mismo, y diseñado con un período igual al de la estructura, con el fin de que entre en resonancia. Con ello se obtiene la máxima eficiencia del péndulo, puesto que éste, debido a su rigidez nula, induce una fuerza inercial contraria a las fuerzas elásticas de la estructura, en su punto más alto. Así se obtiene una fuerza que equilibra al menos en parte las fuerzas iniciales derivadas del peso de la construcción. Entre los sistemas usados se encuentra el péndulo simple con masas de acero o concreto, péndulos múltiples o tanques de agua con control de vertimiento. En este último caso el tanque puede ser usado como tanque normal de reserva de agua en el edificio.

#### Sistemas de Control Activo

Los sistemas de control activo se diferencian de los anteriores en el hecho de que adecuan las condiciones de trabajo a la excitación, de acuerdo a las lecturas de sensores colocados en diversas partes del edificio, y cuyas señales son leídas y analizadas por computador. Por norma disponen de fuentes alternas de generación de energía eléctrica, para evitar las consecuencias de cortes de suministro en el caso de sismos fuertes. Entre ellos son dignos de mención los siguientes tipos:

- a) *Péndulos activos.* Se trata de péndulos como los descritos anteriormente, que incorporan una fuerza activa contraria a las fuerzas iniciales de la estructura en cada ciclo, fuerza que el sistema de control automático calcula por medio del computador a partir de las señales suministradas por los sensores.
- b) *Controladores estructurales activos.* Consisten en diagonales de acero conectadas a un mecanismo que recibe las señales del computador y los sensores. El mecanismo tiene como fin modificar la rigidez de las diagonales de acuerdo a las señales con el fin de alejar a la estructura de la zona de resonancia en cada ciclo.

#### **Coordinación de la reestructuración**

La intervención de la vulnerabilidad sísmica de la estructura de una edificación hospitalaria es una tarea usualmente más compleja que la que se puede realizar en otro tipo de edificaciones. Varios son los aspectos que hacen diferente este tipo de trabajo en las instalaciones de la salud.

Normalmente la edificación no se puede desocupar para efectos de llevar a cabo el refuerzo, particularmente cuando la intervención estructural se realiza como medida preventiva antes de la ocurrencia de un sismo probable.

La programación de los trabajos debe tener en cuenta la operación de los diferentes servicios de atención médica, con el fin de no causar graves traumatismos al funcionamiento del hospital o la inoperancia injustificada de cierto tipo de servicios.

Es necesario prever que habrá un amplio número de labores imprevistas debido a la dificultad de identificar con precisión detalles del proceso constructivo con anterioridad a la iniciación de los trabajos.

De igual forma, debe conocerse la complejidad de los elementos no-estructurales y la difícil identificación de cambios o efectos sobre los acabados arquitectónicos previamente al inicio de la intervención estructural.

Por lo anterior, el desarrollo de una reestructuración debe obedecer a un programa

de trabajo muy detallado que involucre aspectos relativos a la función de los servicios en cada etapa del proceso. De la misma manera debe definirse una debida coordinación con el personal administrativo, de atención médica y de mantenimiento del hospital.

### Costos de intervención

El costo de una intervención de la vulnerabilidad de un hospital no es posible conocerlo si no se realiza un diseño detallado de la solución estructural y de sus implicaciones en relación con los elementos no-estructurales. Sin embargo, esta situación no debe impedir la formulación de un plan de avance con algún grado de precisión que se ajuste lo menos posible en el proceso.

Usualmente los costos de un refuerzo son relativamente altos si se ejecutan en un corto plazo. No obstante, si el trabajo se realiza por etapas permite que la aplicación de los recursos sea más pausada y factible dentro de los márgenes de los gastos relacionados con el mantenimiento del hospital.

Los costos adicionales necesarios para hacer un edificio resistente a huracanes, sismos e inundaciones pueden considerarse como un seguro. Estudios comparativos han demostrado que la diferencia en los costos entre una edificación construida con especificaciones contra amenazas como la sísmica, en relación con una similar donde el código ha sido ignorado puede estar entre el 1% y el 4% del costo total del edificio. Si el costo de la dotación del hospital es considerado, el porcentaje podría ser mucho más bajo, puesto que los costos de los equipos puede llegar a ser del orden del 50% de los costos de la edificación. Si se analiza el problema en términos del costo para proteger un equipo determinado, la diferencia podría también ser sorprendente. Por ejemplo, la interrupción de electricidad en un hospital como consecuencia de daños severos de un generador de electricidad cuyo costo puede acercarse a la cifra de US\$ 50.000 dólares puede ser evitada mediante la instalación de aisladores sísmicos y restricciones para evitar su volcamiento cuyo costo puede ser de escasos US\$ 250.

En todos los casos se ha demostrado la alta rentabilidad económica y social de mejorar el comportamiento estructural las edificaciones hospitalarias vulnerables. El costo de una reestructuración, aunque puede considerarse alto en algunas ocasiones, siempre será un valor poco significativo en relación con el presupuesto del servicio o en relación con el costo de su reparación o reposición física. Unas buenas preguntas figurativas que podrían formularse en cada caso podrían ser, por ejemplo: el costo de la reestructuración sería equivalente a cuántos escanógrafos? y cuántos escanógrafos tiene el hospital? Las respuestas podrían dar resultados sorprendentes, sin tener en cuenta todos los demás elementos, equipos y bienes que en general aloja la edificación; ésto por supuesto sin tener en cuenta las vidas humanas involucradas directa o indirectamente y en general el costo social que significa la pérdida del servicio.

El valor promedio de una cama hospitalaria varía con el grado de complejidad del hospital y se sitúa en un rango que para América Latina fluctúa entre US\$ 55.000 y US\$ 115.000 dólares por cama. De acuerdo con la experiencia en la región, el valor de los estudios de vulnerabilidad sísmica estructural y diseño del refuerzo puede situarse en un rango entre 0.3% y 0.5% del valor total del hospital y el costo de la rehabilitación o refuerzo podría situarse entre el 4% y el 8% del mismo valor. En otras palabras, con una inversión en refuerzo que signifique una cifra inferior al 10% del costo por cama, podría evitarse una pérdida de no menos del 20% de las camas existentes en el caso de un sismo fuerte (Ref. 95). Estas cifras, si bien no pueden tomarse como evaluaciones económicas precisas, si dan un orden de magnitud de la relación costo-beneficio económico que se logra al aplicar las medidas de mitigación de riesgo. Ahora bien, no obstante la importancia de este análisis económico, no sobra mencionar que el beneficio social es el que realmente prima en este caso. Al respecto, nuevos enfoques de valoración del costo-beneficio ya se han empezado a desarrollar bajo el esquema de la valoración de cuánto cuesta el salvar una vida.

### Optimización de seguridad y economía

Todo diseño de ingeniería debe buscar un adecuado balance entre las condiciones de seguridad buscadas y las implicaciones económicas de la dotación de tales condiciones. En el caso del diseño sísmico, el criterio para la fijación de las condiciones de seguridad varía de acuerdo al tipo de construcción a realizar. Así, para el caso de edificios de oficinas y uso residencial, puede establecerse como criterio suficiente de seguridad la protección de la vida humana, aceptando algunos daños estructurales y no-estructurales, mientras que en el caso de una central nuclear, la protección de los equipos es de mayor importancia, más si se tiene en cuenta las consecuencias que significaría su falla (Ref. 77).

Particularmente, los hospitales deben ser diseñados de acuerdo a condiciones de seguridad pertinentes no sólo a la seguridad de las personas que lo ocupan en el momento de un sismo, sino también a la necesidad de proveer la atención médica de las víctimas resultantes como consecuencia de sismos fuertes en una región amplia. Entre mayor sea la región de cobertura de un centro hospitalario en caso de desastres, mayor debe ser su nivel de seguridad. En general, para la determinación de la capacidad de un hospital debe considerarse el incremento súbito que puede tener la demanda de sus servicios en dicho caso. Esto lo ilustra la Figura 23. La línea punteada denota la capacidad del hospital y la línea gruesa la demanda, ambas en tiempos normales. Un diseño para casos normales sería adecuado si, como se muestra en la figura la capacidad instalada supera a la demanda normal. Sin embargo este puede no ser el caso de muchos centros hospitalarios en países en desarrollo. El problema se agrava en el caso de desastres que afecten a la infraestructura misma del hospital. En el instante de un desastre sísmico la demanda aumenta abruptamente, mientras que la capacidad de servicio puede decrecer como consecuencia de daños graves de la estructura, suspensión de flujos eléctricos, de gas, de agua, daños de equipos e instalaciones, caída de muros, cielorrasos, etc., debido a decisiones u omisiones en el diseño del hospital. El abismo entre la demanda incrementada y la capacidad reducida puede ser mayor si la capacidad del hospital (considerada en todos sus aspectos, tales como personal médico, camas, medicamentos, equipos, etc.) es deficiente aún para tiempos normales, lo cual es también frecuente en países en desarrollo.

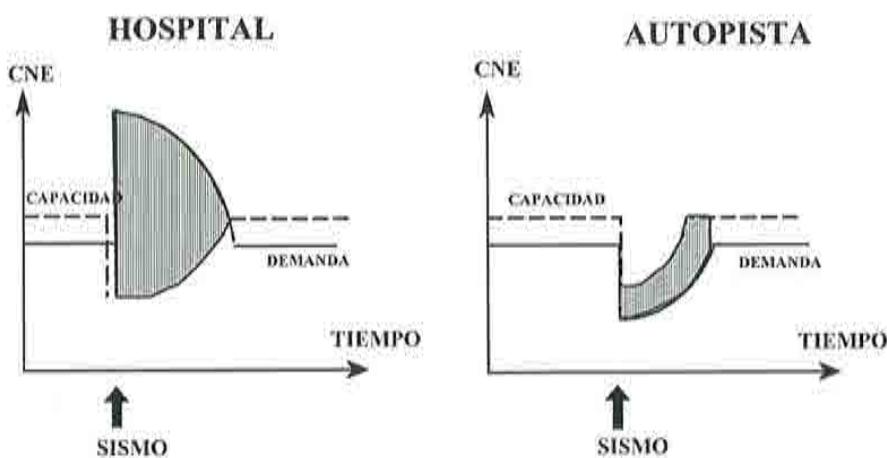


FIGURA 23. RELACION DEMANDA CAPACIDAD DE SERVICIOS

Como contraste, la figura muestra las curvas correspondientes a un servicio público como la red vial, que puede ver disminuida su capacidad después de un sismo fuerte, pero que, debido al impacto económico global sobre la región, también registra disminución en su demanda. Por esta razón, en casos como éste el abismo entre la demanda y la capacidad después de un sismo intenso no es tan grave como en el caso de hospitales.

Finalmente, la curva de la demanda después del sismo es descendente debido a la atención a las víctimas, pero bajo la condición de que no se presenten varios sismos fuertes en un corto lapso, mientras que la correspondiente a la capacidad es ascendente, en dependencia de la recuperación del hospital. Ambas curvas están asociadas, pues la disminución de la demanda en el tiempo depende de la recuperación de la capacidad. De nuevo, la situación económica de la región afectada por el daño al centro hospitalario incide en esta recuperación de la capacidad, la cual en consecuencia puede ser más o menos rápida.

Todo lo anterior obliga a que las consideraciones sobre el nivel de diseño de hospitales deban ser más o menos estrictas de acuerdo con su responsabilidad social y nivel de desarrollo en cada caso. No es conveniente extrapolar criterios de diseño sísmico de hospitales de unos países a otros ni aun de unas regiones de un país a otras, sin consideración del impacto que en cada una de ellas tenga determinado nivel de daño. De ahí que el llamado daño o riesgo aceptable deba ser establecido en cada caso como una decisión de planificación de la sociedad implicada.

Todo esto repercute en el diseño de ingeniería. Para fines de decisión, el costo total de un hospital puede estimarse como:

$$CT(D) = SCE(D) + CNE(E) + CR(D) + CH(D)$$

donde los términos indican el sobrecoste estructural (**SCE**) por encima del requerido meramente para la estabilidad ante cargas de gravedad, debido al elevamiento del nivel de diseño con respecto a un diseño sísmico puramente elástico que no represente daño, teóricamente; el costo de los elementos no-estructurales (**CNE**) en general; el costo de reparación (**CR**) y, finalmente, el costo humano (**CH**), entendido como una conversión a valores económicos de las heridas y las pérdidas de vidas humanas. Todos estos costos, con excepción del segundo, pueden considerarse dependientes de una sola variable, **D**, es decir, el coeficiente de reducción de fuerzas de diseño con respecto a un diseño elástico.

En el sobrecoste estructural debe tenerse en cuenta el incremento de los esfuerzos de diseño de los elementos, de su rigidez y de su control de construcción. Obviamente, este costo debe ser creciente con el factor **D**. El costo de los elementos no-estructurales es relativamente insensible al factor **D**, y sólo aumenta levemente con el aumento de los niveles de seguridad de equipos, instalaciones y muros, que podemos llamar **E**. De todas maneras, es un costo que puede alcanzar valores muy elevados, del orden del 60 al 80% del costo inicial del hospital. En el costo de reparación, deben incluirse no sólo los costos de reparación física de la edificación, sino también los de reposición de equipos e instalaciones afectadas, así como el impacto en el tiempo de recuperación de estos daños. Al contrario del anterior, se espera que este costo sea decreciente con el nivel de seguridad dado a la construcción. Finalmente, en el costo humano se debe incluir no sólo los afectados posibles que ocupan el hospital sino también, y con mayor importancia, los heridos que se puede esperar sean enviados al centro hospitalario en el caso de un desastre sísmico, de acuerdo con las cifras de la planeación del mismo.

Los tres últimos costos son los que diferencian claramente el diseño sísmico de un hospital del de un edificio común de uso residencial, oficinas o comercio. Las Figuras 24, 25 y 26 ilustran estas diferencias. Mientras que las curvas de sobrecoste estructural pueden ser iguales o casi iguales para los dos casos, las correspondientes a los elementos no-estructurales es notoriamente diferente, debido principalmente al valor de los equipos e instalaciones hospitalarias, y registran un aumento con el nivel de seguridad dado a los mismos, **E**. En cuanto al costo de reparación, la pendiente de la curva debe ser en principio más pronunciada y de valores mayores para los hospitales que para los edificios comunes, debido en mayor parte a las implicaciones del daño de los equipos e instalaciones, que a la reparación de daño estructural. Por último, el costo humano es radicalmente mayor en los hospitales que en los edificios comunes por las razones anotadas.

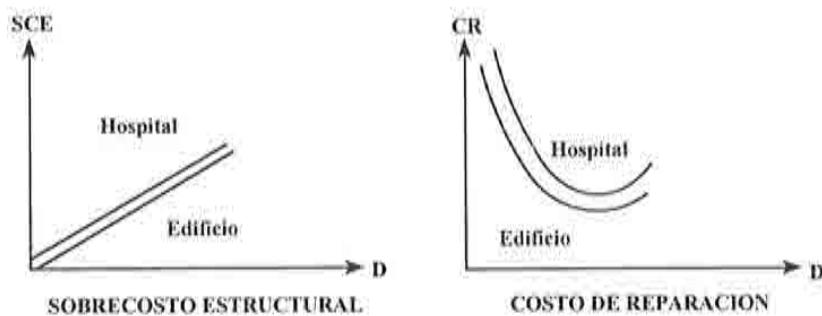


FIGURA 24. COMPORTAMIENTO DE COSTOS I

Al calcular el costo total para ambos casos, y compararlo con el sobrecoste estructural, que gobierna de manera directa el diseño, puede verse en la Figura 26 que el punto de menor costo total se obtiene para edificios comunes con una estrategia de diseño más tolerante de daño, mientras que para hospitales dicho punto se obtiene con una estrategia menos liberal.

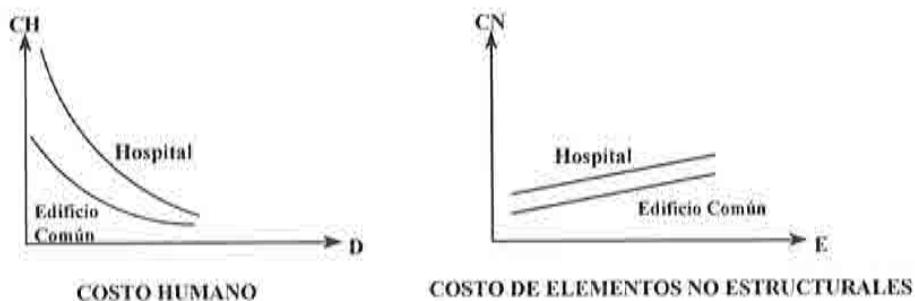
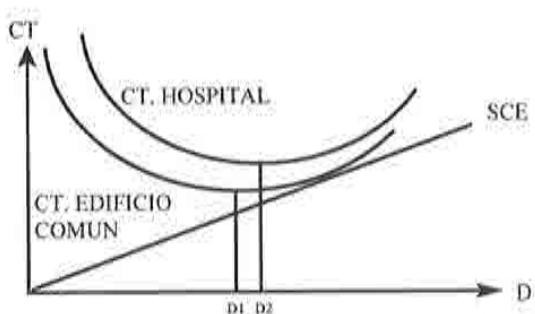


FIGURA 25. COMPORTAMIENTO DE COSTOS II



En principio, estudios de costos como el descrito anteriormente deben emprenderse dentro del proceso de planificación de un hospital de importancia en zonas sísmicas, con el fin de tomar las decisiones adecuadas con respecto al nivel de seguridad estructural y que debe proporcionarse. En lo que se refiere al nivel de seguridad no-estructural, las pautas descritas más adelante son suficientes.

## CAPITULO 3

### VULNERABILIDAD NO-ESTRUCTURAL

Un edificio puede quedar en pie luego de un desastre y quedar inhabilitado debido a daños no-estructurales. El costo de las partes no-estructurales en la mayoría de los edificios es considerablemente mayor que el de las estructurales. Esto se cumple especialmente en hospitales donde el 85 a 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 causará daños no-estructurales mayores que los que resultarían de daños a componentes estructurales. Por lo tanto, los aspectos más vitales de un hospital, aquellos que se relacionan más 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 afectación.

No basta con que un hospital simplemente no se caiga después de un sismo, sino que debe seguir operando 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. Este aparte está enfocado básicamente a enfatizar la prevención de la pérdida de operación debido 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 de la construcción, tales como cielos rasos, paneles, ventanas, puertas, cerramientos, etc., así como equipos, instalaciones mecánicas y sanitarias, etc., deben soportar los movimientos de la estructura. Por otra parte, debe tenerse presente que la excitación de los elementos no-estructurales, dada por dichos movimientos de la estructura, es en general mayor que la excitación en la base, por lo cual puede decirse que la seguridad de los elementos no-estructurales se encuentra más comprometida en muchos casos 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 en muchos casos un excelente comportamiento de la estructura diseñada de acuerdo a los modernos criterios de sismorresistencia, acompañado infelizmente por una deficiente respuesta de los elementos no-estructurales. Sin embargo, si se tienen en cuenta las razones de seguridad de los ocupantes de una edificación y los transeúntes expuestos al

riesgo de colapso de tales elementos, así como el costo de reposición de los mismos y las pérdidas involucradas en la suspensión de funciones del edificio mismo, puede comprenderse la importancia de considerar adecuadamente 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:

- a) Las instalaciones hospitalarias deben mantenerse lo más intactas posible en el evento de un sismo fuerte, debido a su importancia para la atención del desastre sísmico en la ciudad o región de su injerencia. Esto compete tanto a los elementos estructurales como no-estructurales.
- b) Los hospitales albergan en el momento del sismo un gran número de pacientes prácticamente inhabilitados para la evacuación de la edificación, en contraste con los ocupantes de un edificio cualquiera. Esto implica que la falla de elementos no-estructurales no debe ser tolerada en este tipo de construcciones, como si suele serlo en el caso de otras.
- c) Los hospitales disponen de una compleja red de instalaciones eléctricas, mecánicas y sanitarias, así como de un gran número de equipos generalmente costosos, dotaciones todas indispensables para la vida normal del hospital, así como para la atención de una emergencia. Debido a esto los hospitales no pueden permitir que el movimiento de la estructura genere fallas en dichas instalaciones y equipos, lo cual a su vez sería causa de un colapso funcional de la edificación.
- d) La relación del costo de los elementos no-estructurales al costo total de la edificación tiene un valor muy 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%.

En gran parte la dotación de las instalaciones de la salud es esencial para la operación de éstas. Equipos costosos para registro de los pacientes son muy necesarios inmediatamente después de un sismo o un huracán. Los códigos de construcción usualmente no cubren este tipo de equipos, razón por la cual las medidas de protección deben ser consideradas por los administradores y el personal de manejo.

La interrupción de los servicios puede ser agravada por el hecho de que los códigos de diseño no tienen normalmente en cuenta requerimientos específicos para el diseño de sistemas mecánicos y eléctricos. La experiencia ha demostrado que los efectos de segundo orden causados por daños no-estructurales pueden agravar significativamente la situación. Por ejemplo, cielos rasos y acabados de paredes que caen sobre corredores o escaleras pueden interrumpir el tráfico; incendios, explosiones y escapes de sustancias químicas pueden ser peligrosos para la vida. Los daños en los servicios pueden hacer que un moderno hospital se convierta en una instalación virtualmente inútil porque su funcionamiento depende de los mismos.

Dentro de los elementos no-estructurales se incluyen muros exteriores no-portantes, paredes divisorias, sistemas de tabiques interiores, ventanas, cielo rasos, ascensores, equipos mecánicos y eléctricos, sistemas de alumbrado y la dotación del edificio. Los daños no-estructurales frecuentemente son los causantes de enormes pérdidas, particularmente a causa de sismos. Los daños en componentes no-estructurales pueden ser severos, aunque la estructura de la edificación permanezca intacta.

## INVENTARIO, INSPECCION Y EVALUACION

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. Deben clasificarse en tres categorías y en tres niveles de riesgo así: determinar si los aspectos en consideración representan:

1. Riesgo para las vidas
2. Riesgo de pérdida de bienes muebles o
3. Riesgo de pérdida funcional.

Posteriormente se deberá clasificar el riesgo en cada caso según sea bajo, moderado o alto (Ref. 61, 64). Un riesgo alto para la vida podría ser algo como una pieza de equipo montado en la pared sobre la cama de un enfermo que podría caer y herir o causar la muerte al paciente. Si el equipo se encuentra sin anclaje de ninguna forma, sobre un estante por ejemplo, el riesgo de ser arrojado por un sismo a una distancia importante es alto. Si estuviese asegurado 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 pérdida de bienes muebles sería algo así como un procesador de palabras en una oficina. Probablemente no caería o no causaría heridas a alguien (aunque existe la posibilidad) y su pérdida, probablemente no afectaría la operación de los servicios esenciales del hospital. Sin embargo, podría ser una pérdida costosa.

Una pérdida operacional podría ser el generador de corriente alterna. Si no está correctamente asegurado y/o confinado, podría moverse lo suficiente para romper sus conexiones eléctricas y quedar fuera de servicio. Tal vez no habría pérdida de bienes muebles puesto que el equipo no se habría averiado, simplemente se habría soltado de sus amarres y conexiones. No representaría un riesgo para la vida, por lo menos no directamente, excepto que casi todo el hospital depende de la electricidad, incluyendo los sistemas de soporte de vida para pacientes en estado crítico. Esto ilustra que en algunos casos, una pieza pueda corresponder a dos o tres tipos de riesgo o peligro para vidas humanas, para bienes muebles y/o pérdidas funcionales (Ref. 54).

La tabulación de los tipos y niveles de riesgo para cualquier elemento particular en un hospital puede lograrse utilizando un formato que satisfaga las necesidades del centro de asistencia médica. En el Cuadro 4 se presenta un formato desarrollado con ese fin (Ref. 63), en el cual se incluye un ejemplo de su aplicación.

La identificación del 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 Parqueo, Escalera, etc. Las partes que deben considerarse y clasificarse incluirían sistemas de iluminación, paneles en techos, equipo en carros de rodamiento, gabinetes de archivo, equipo especial montado en estantes o muros, estantería, divisiones, tubería, químicos, etc.

Se debe anotar en la casilla "comentarios" o en el espacio inferior si este elemento no-estructural podría constituir una amenaza potencial para la estructura durante el sismo.

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

- a) Muebles con bordes puntiagudos
- b) Vidrios que vuelan por el aire y yacen en el piso

PRIORIDAD	ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES	LOCALIZACION	CANTIDAD	VULNERABILIDAD			ESTIMADO DE INTERVENCIÓN UNITARIA	ESTIMADO DE INTERVENCIÓN SUBTOTAL	COSTO NOTAS
				SV	PP	PF			
2	Aire acondicionado	Techo	1	A	A	M	\$500	\$500	Colocado sobre un sistema de resorte
1	Cielos rasos suspendidos	Por todos lados	200 m <sup>2</sup>	A	A	A	\$4,000	\$4,000	Sin alambres diagonales
5	Calentador de agua	Cuarto de servicio	1	M	M	M	\$200	\$200	Gases inflamables, tubería poco flexible, sin anclajes
4	Estantes	Sitios de almacenamiento	40 pies lineales 10 ml	A	M	M	\$800	\$800	Baja prioridad debido a que no contiene items esenciales; sin anclaje; 2.40 m de altura
6	Divisiones de media altura	Estaciones de trabajo	20 cada 2 m	M	M	M	\$1,200	\$1,200	Nivel estable
3	Luces fluorescentes suspendidas	Oficinas y lobby	50	A	M	M	\$2,500	\$2,500	Conectores sueltos del techo

Cuadro 4. Formato con los datos del ejemplo. (FEMA 74)

- a) Objetos que caen de estantes, gabinetes y cierlosas
- b) Impacto por objetos que se deslizan o ruedan por el piso
- c) Inhalación de gases tóxicos o médicos
- d) Contacto con líquidos corrosivos o peligrosos
- e) Choque eléctrico
- f) Quemaduras producidas por vapor
- g) Incendio
- h) Desconexión o fallas en sistemas de soporte de vida
- i) Incapacidad para abandonar el lugar o moverse

Pueden existir otros peligros que no estén anotados en la anterior lista, pero se considera que ésta cubre la gran mayoría de los casos. 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 mente dos preguntas básicas para cada elemento no-estructural en consideración:

- a) Podría algo causarle daño a dicho elemento en caso de un sismo?
- b) Podría la interrupción de su funcionamiento ser un problema serio?

Esto producirá una lista preliminar de elementos para una consideración más detallada. En esta etapa es preferible ser conservador y sobreestimar vulnerabilidades que ser optimista. Luego de identificar un elemento no-estructural que puede sufrir o causar daño y su incidencia en términos de pérdida de vidas humanas, de bienes muebles y/o funcional, debe adoptarse una medida apropiada para reducir o eliminar el peligro. Estas medidas se explicarán con detalle más adelante.

### **Metodología de evaluación**

Se considera que los elementos no-estructurales son *sensibles a la deformación* si se ven afectados por la deformación de la estructura principal, determinada por la deriva; entiéndense en general como deriva el desplazamiento lateral relativo entre los pisos. Dentro de esta categoría, por ejemplo, se encuentran las divisiones conectadas 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 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 elástico y el desplazamiento estructural, mayor será la aceleración y por lo tanto la fuerza a la que se verá sometido ante la vibración sísmica.

### **Instalaciones y equipos**

Los incidentes observados en sismos pasados, en otras instituciones de la salud, pueden ilustrar el tipo de problemas que puede presentarse:

- a) Volcamiento del generador de emergencia debido a la corrosión y poca resistencia del anclaje con la fundación, causando interrupción del sistema de energía y creando un peligro que puede conducir a un incendio.
- b) Volcamiento total o parcial de transformadores de alto voltaje y derramamiento de aceite, causando también interrupción del sistema energía de emergencias y creando una situación de incendio potencial.
- c) Desplazamiento de la consola de control de comunicaciones telefónicas, causando una interrupción temporal de las comunicaciones del hospital.
- d) Volcamiento de cilindros de oxígeno y de gases inflamables, con pérdida de su contenido,

- creando una situación de alta peligrosidad.
- e) 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 y medicamentos requeridos.
  - f) Caída de equipos de laboratorio y rompimiento de sistemas de instrumentación tales como, microscopios y computadoras.
  - g) Rompimiento de los cables y caída de los contrapesos de los ascensores.

En cuanto a las instalaciones mecánicas, se han presentado casos en los cuales los muros estructurales que fueron parte del diseño sismorresistente, fueron interrumpidos para instalar equipos de aire acondicionado. Estas interrupciones debilitan los muros estructurales, lo cual podría dar como resultado fallas o colapsos parciales durante un sismo.

Para el estudio de estos elementos, se hace una selección previa a partir del inventario general (al cual ya se hizo referencia) de los equipos considerados importantes o estratégicos, por sus características físicas (dimensiones, peso, forma), por su importancia para la operación de los servicios esenciales del hospital o por las condiciones de su anclaje o sujeción a la estructura principal o a los elementos no-estructurales como muros y cielos rasos.

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

1. la *vulnerabilidad* del elemento o sistema, entendiendo ésta como la susceptibilidad al daño, que se mide en términos de:
  - a) características de la aceleración del suelo
  - b) respuesta del edificio en cuanto a aceleración y desplazamientos
  - c) tamaño y peso del elemento
  - d) localización del elemento en el edificio
  - e) tipo de sistema resistente a fuerzas laterales del edificio, rigidez relativa del componente respecto a la del edificio
  - f) 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
2. las *consecuencias*, como un estimado del efecto de la falla o daño en el componente, en términos de:
  - a) localización del componente en el edificio (según el servicio o área)
  - b) 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

La *vulnerabilidad* se mide en tres categorías:

Baja vulnerabilidad: el componente evaluado está razonablemente bien anclado, y hay una baja probabilidad de que falle 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 falla ante fuerzas de diseño y deformaciones del edificio.

Las *consecuencias* pueden medirse también en tres categorías:

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

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 edificio.

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

Mediante estos dos parámetros, puede definirse una matriz de prioridades (Ref. 10), que se presenta en el Cuadro 5:

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

CUADRO 5. MATRIZ DE PRIORIDADES

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

Con base en estos principios, se establece el procedimiento de evaluación, que sigue básicamente los siguientes pasos:

- a) Selección del nivel de funcionalidad general deseado para el edificio o servicio en particular
- b) Formulación de una lista tentativa de componentes que serán evaluados
- c) Inventario, ubicación en el edificio y en el servicio, cantidad
- d) Categorización del riesgo sísmico para cada componente
- e) Definición de una lista prioritaria de acuerdo con la matriz anterior
- f) Selección de procedimientos de análisis para los componentes prioritarios
- g) Análisis cuantitativo de los componentes prioritarios
- h) Diseño de la intervención o mejoras
- i) Estimación general de costos.

En general, son notorias deficiencias en los anclajes o sujetaciones 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. Nagasawa (Ref. 85) 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 carecía de frenos o estos no estaban en uso, y por caída de equipos de escritorio, como computadoras, ultrasonido 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 angiografo, se desprendió de su soporte y cayó, dañando a su vez otros elementos importantes.

Un ejemplo de listado de los equipos evaluados aparece en el Cuadro 6. En él se detalla el tipo de equipo, sus características o dimensiones, su ubicación según servicio, su grado de vulnerabilidad estimado, las consecuencias de su falla y una prioridad asignada de acuerdo con una matriz, según se explicará más adelante. Además, se describe el tipo de apoyo, anclaje o sujeción del equipo.

Componente	Sistema o servicio	VULNER (A, M, B)	CONSEC (A, M, B)	PRIOR. f(V, C)	DIMENSION características	Tipo de soporte
Tanque oxígeno	Red Oxígeno	A	A	1	5.5 x 2.3	Patas, c/pernos
Transformador	Red eléctrica	A	A	1	3 x 2.5 x 2	Pernos
Tableros	Red eléctrica	A	A	1	6 x 2 x 1	Apoyo simple
Máq.anestesia c/monitor	Quirófanos	A	A	1	1 x 2 x 2.2	
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	B	A	3	Varios	Equipos sobre mesa
Central telefónica	Comunicaciones	A	M	4	5 x 1.4	Apoyo simple
Estantes	Central Esterilización	A	M	4	Varios	Sin anclaje
Estantes	Suministros	A	M	4	2.2 x 1 x 0.6	Sin anclajes
Congelador	Banco de Sangre	A	M	4	2.5 x 2 x 0.5	Apoyo simple
Balas oxígeno	Quirófanos	A	M	4	Varios	
Motor ascensores	Ascensores	M	M	5		Pernos
Controles ascensores	Ascensores	M	M	5	2.5 x 1	Pernos
Poleas ascensores	Ascensores	M	M	5		Pernos
Unidad diálisis	Hemodiálisis	M	M	5	0.8 x 1.2	Apoyo simple c/rodillos
Lámpara cielística	Cirugía plástica	M	M	5	Varios	Empotrado
Incubadora	Neonatología	M	M	5	Varios	Apoyo simple c/rodillos

CUADRO 6. EJEMPLO DE LISTADO DE EQUIPOS EVALUADOS

A continuación se presenta a manera de ejemplo el análisis cualitativo del tanque de oxígeno líquido del Hospital Ramón González Valencia de Bucaramanga, Colombia, en donde claramente se detecta que el en su diseño no se consideró la posibilidad de un movimiento sísmico fuerte (Cuadro 7).



FOTOGRAFIA 13. VISTA LATERAL DEL TANQUE DE OXIGENO

DESCRIPCION DEL ELEMENTO	CALIFICACION				
	BIEN	REGULAR	MAL	NO APLICA	NO EXISTE
<b>FUNDACION</b>			X		
Tipo Patas metálicas				X	
Material aislante					
<b>FIJACION</b>		X			
Superficie amplia y adecuada para el anclaje		X			
Elemento fijante asegurado al pedestal			X		
Tamaño o cantidad de pernos					X
Aisladores de vibración					X
Amortiguadores sísmicos					
<b>CONEXIONES</b>					X
Juntas flexibles o flexibilidad de la tubería				X	
Conexión eléctrica flexible				X	
Conexión flexible al ducto					
<b>OTROS</b>				X	
Dique o drenaje de emergencia					
Protección contra corrosión del anclaje				X	

CUADRO 7. TANQUE DE OXIGENO LIQUIDO

A parte 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. Es importante mencionar que el tanque de oxígeno líquido del Hospital Olive View, similar al aquí descrito, fue de los pocos componentes no-estructurales que sufrió daños debido a su volcamiento durante el sismo de Northridge de 1994.



FOTOGRAFIA 14. DETALLE DE CONEXION EN LOS SOPORTES

#### *Elementos arquitectónicos*

Los elementos arquitectónicos detallados a continuación son sensibles a la deformación, por lo tanto, si se quiere garantizar nivel de seguridad de al menos de Ocupación Inmediata,

será indispensable limitar en forma estricta las deformaciones de la estructura en caso de sismo. Para ello, se requiere ineludiblemente la rehabilitación sísmica de la estructura.

#### Muros no-estructurales y acabados

Se definen como muros no-estructurales las paredes de mampostería que soportan su propio peso y tienen una capacidad muy limitada para soportar fuerzas laterales, así como para absorber deformaciones significativas. 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.

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 que dichos muros comienzan a fallar por la interacción con la estructura flexible. Si estos segmentos de relleno interno de un muro 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. Infortunadamente, los muros del hospital ante un sismo moderado o severo sufrirán daños notables debido a que la estructura no ha sido reforzada, situación que inevitablemente conduciría a la pérdida de la función y operación del hospital aun cuando se realicen las adecuaciones sugeridas por este estudio sobre los elementos no-estructurales.

Si el pesado recubrimiento en el exterior del edificio cae durante un movimiento sísmico en forma parcial, es decir si un costado del edificio pierde buena parte de su revestimiento mientras otra lado no, resultará 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 colapsos parciales. Para evitar esta situación, será necesario reforzar la estructura de tal manera que sus deformaciones sean debidamente restringidas de tal forma que la estructura no alcance a interactuar con los muros.



FOTOGRAFIA 15. EFECTO DE COLUMNA CORTA

En los edificios que tienen plataformas o edificaciones adosadas de baja altura en los primeros pisos, se debe tener en cuenta el impacto sobre los diafragmas que están abajo cuando los componentes exteriores o los acabados de los pisos superiores se aflojen y caigan.

Otro problema arquitectónico que tiene impacto sobre la estructura se denomina "el efecto de columna corta". 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. Se sabe que dichas "columnas cortas" fallan en caso de sismo fácilmente debido a que rigidez y la resistencia con que originalmente se diseñaron han sido alteradas por la presencia de los muros que las confinan lateralmente.

#### Cielos rasos

Los cielos rasos son elementos sensibles a la deformación y a la aceleración. La deformación del diafragma puede causar distorsión horizontal, y la deformación de la estructura principal puede provocar que el cielo raso pierda su soporte perimetral 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. Los paneles livianos no deben ser frágiles, o sea, deben ser capaces de soportar deformaciones sin quebrarse o agrietarse. Es necesario considerar que otros elementos suspendidos, como lámparas y ductos, pueden ejercer fuerza y llegar a deformar la estructura de aluminio.

Cierto rango de deformaciones en el diafragma de aluminio puede provocar caída masiva de los paneles, lo cual, aunque no constituye una amenaza a las vidas de los ocupantes, puede provocar daños significativos en equipos delicados.



FOTOGRAFIA 16. DAÑOS EN CIELO RASO

#### 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:

- a) El vidrio ha sido cortado muy pequeño respecto a la abertura.
- b) No hay unión, o ésta es deficiente, en las esquinas del marco.
- c) El vidrio ha sido cortado muy grande respecto a la abertura, dejando por lo tanto poco o

- ningún margen para la expansión.
- d) 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 de la estructura y por lo tanto 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 de los marcos de las ventanas.

#### Análisis del comportamiento

El análisis detallado de la respuesta de los elementos no-estructurales y de los apéndices adheridos a la estructura es realizada generalmente por uno de los siguientes métodos:

- Analisis dinámico del conjunto estructura - componentes adheridos.
- Analisis de la respuesta del componente a partir del análisis dinámico de la respuesta en el tiempo del nivel en que está ubicado.
- Analisis de la respuesta del componente a partir del análisis dinámico de la respuesta máxima (espectral) del nivel en que está ubicado.

El primer tipo de análisis se justifica en el caso de apéndices importantes de la estructura, en razón de su peso y tamaño, tales como chimeneas, tanques, etc. Para los elementos restantes puede ser suficiente con el tercer tipo de análisis. De acuerdo con lo enunciado, a partir de la fuerza de diseño de un piso, obtenida por medio del análisis dinámico de respuesta máxima o del análisis simplificado, puede obtenerse la aceleración del piso:

$$a_j = \frac{f_j}{m_j}$$

la cual puede considerarse como la aceleración en la base del componente. Obviamente, debido al aumento de las fuerzas con la altura, la mayor ubicación en altura de los componentes es más desfavorable. Además, es necesario tener en cuenta que los componentes no-estructurales están sometidos a la aceleración total, dada como la aceleración de respuesta del piso relativa al suelo más la aceleración de éste. En consecuencia, para el diseño del componente no-estructural puede utilizarse la fórmula:

$$a_{ne} = a_j + \max \ddot{u}_s$$

y por tanto, la amplificación de la aceleración con respecto a la base del edificio estaría dada por:

$$M_x = \frac{a_j + \max \ddot{u}_s}{\max \ddot{u}_s}$$

Debido a que el diseño del elemento compete frecuentemente a profesionales ajenos al manejo de variables sísmicas, las Normas ATC-3 recomiendan el uso de la ecuación:

$$M_x = 1 + \frac{h_x}{h_n}$$

donde:

$h_x$  = altura desde la base del edificio al nivel  $x$   $h_n$  = altura total del edificio. Por otra parte, se

hace necesario considerar la flexibilidad del sistema mismo elemento-soporte. Los componentes adheridos a un nivel determinado pueden considerarse de dos clases, rígidos y flexibles. En el primer caso, el componente responderá con la misma aceleración del piso en el que se realiza el anclaje, mientras que en el segundo su respuesta será diferente y, por lo general, mayor que la del piso, en dependencia de la flexibilidad del apoyo y del componente mismo. Este último es el caso de equipos montados sobre base resiliente con fines de aislamiento de vibración y sonido producidos por su funcionamiento. Si se supone que la aceleración del piso es sinusoidal, la amplificación adicional de la fuerza sísmica en el elemento, de acuerdo con la teoría de vibraciones armónicas, está dada por:

$$M_e = \sqrt{\frac{1 + \left[ 2\xi_e \frac{T_e}{T} \right]^2}{\left[ 1 - \left( \frac{T_e}{T} \right)^2 \right]^2 + \left[ 2\xi_e \frac{T_e}{T} \right]^2}}$$

donde el subíndice e denota las características dinámicas del elemento. La condición más crítica se obtiene cuando el período del elemento y el de la estructura son semejantes. Para una relación de períodos de 1 y un amortiguamiento del equipo de 2%, se tendría un factor de amplificación de 25. Varios son los factores que hacen pensar en que el uso de esta ecuación arroja valores demasiado altos en comparación con lo observado en sismos ocurridos y que para efectos de diseño debe considerarse una amplificación menor. Entre ellos están,

- a) la consideración de la ductilidad del sistema de soporte del elemento
- b) la variación del período de la estructura por su ingreso en el campo inelástico
- c) la naturaleza caótica de las ondas de excitación sísmica. Por estas razones, las normas ATC-3 (12) recomiendan un valor mínimo de:

$$M_e = 2, \text{ si } 0.6 \leq \frac{T_e}{T} \leq 1.4$$

y de 1 para los demás casos.

Para el cálculo de las fuerzas sísmicas de diseño de los elementos no-estructurales es necesario considerar, finalmente, la importancia del elemento dentro de la construcción y la importancia de ésta, con el fin de establecer un criterio de comportamiento adecuado a ambas. Los criterios de comportamiento requeridos se clasifican en tres grupos (Cuadro 8), a cada uno de los cuales corresponde un índice de comportamiento  $P$ :

CRITERIO DE COMPORTAMIENTO		
Designación	Nivel de comportamiento	$P$
S	Superior	1.5
B	Bueno	1.0
D	Deficiente	0.5

CUADRO 8. COMPORTAMIENTO DE ELEMENTOS NO-ESTRUCTURALES

De acuerdo con esto, la fuerza de diseño del componente se reduce a la siguiente ecuación en la formulación de las Normas ATC-3:

$$f_e = A_v C_e P M_e M_x W_e$$

donde:

$A_v$  = aceleración piso efectiva.

$C_e$  = coeficiente sismico de diseño del elemento.

En las normas ATC-3 pueden encontrarse las tablas correspondientes a las especificaciones del coeficiente sísmico para componentes arquitectónicos y mecánicos.

Formulaciones similares del cálculo de fuerzas en elementos no-estructurales se encuentran en otros códigos de diseño. Los requerimientos de diseño sísmico de elementos no-estructurales más ampliamente usados son los que se encuentran en el Uniform Building Code (UBC) de los Estados Unidos. Los requisitos del UBC 1997 han sido revisados en forma significativa. Adicionalmente, comenzando el año 2000, el UBC será reemplazado por el International Building Code (IBC), cuyas provisiones se basarán fundamentalmente en las recomendaciones de 1997 del National Earthquake Hazard Reduction Program (NEHRP), siendo estas algo diferentes a las del UBC-97, aunque ambos códigos utilizan el método de la resistencia última. Es importante mencionar que la principal diferencia entre estos códigos y la versión del UBC-94, es que el diseño en este último se base en el método de los esfuerzos de trabajo (Ref. 9).

La ecuación de la fuerza de diseño utilizada en el UBC-94 para el análisis de elementos no-estructurales es

$$F_p = Z C_p I_p W_p$$

donde

$F_p$  = Fuerza estática horizontal equivalente a ser usada en diseño por esfuerzos de trabajo

$Z$  = Coeficiente de zona sísmica

$C_p$  = Factor que varía entre 0.75 y 2.0

$W_p$  = Peso del elemento

$I_p$  = Factor de importancia del elemento que varía entre 1.0 y 1.5

Ahora bien, en el UBC-97, la fuerza de diseño se expresa por la ecuación

$$F_p = \frac{a_p C_a I_p W_p}{R_p} \left( 1 + \frac{3h_x}{h_r} \right)$$

Los valores de  $F_p$  no pueden ser mayores que

$$F_p = 4.0 C_a I_p W_p$$

ni menores a

$$F_p = 0.7 C_a I_p W_p$$

donde

$F_p$  = Fuerza estática horizontal equivalente a ser usada en diseño por resistencia última

$C_a$  = Coeficiente de zona sísmica

$W_p$  = Peso del elemento

$a_p$  = Factor de amplificación dinámica que varía de 1.0 a 2.5 dependiendo de la rigidez

$R_p$  = Factor de reducción de fuerza que varía entre 1.0 y 4.0 dependiendo de la

$I_p$	=	ductilidad
$\left(1 + \frac{3h_x}{h_r}\right)$		Factor de importancia del elemento que varía entre 1.0 y 1.5
		Factor de localización relativa del elemento con respecto a la edificación

En zonas de amenaza sísmica alta  $F_p$  varía entre un mínimo de 0.28  $I_p W_p$  y un máximo de 2.4  $I_p W_p$ .

Finalmente, las provisiones de diseño del NEHRP 1997 (Ref. 59), que son la base para el IBC 2000, presentan las siguiente ecuación para la fuerza de diseño

$$F_p = \frac{0.4a_p S_{DS} W_p}{\left(\frac{R_p}{I_p}\right)} \left(1 + 2\frac{z}{h}\right)$$

donde, los valores máximo y mínimo para la fuerza son

$$\begin{aligned} F_{p(\text{máximo})} &= 1.6 S_{DS} I_p W_p \\ F_{p(\text{mínimo})} &= 0.3 S_{DS} I_p W_p \end{aligned}$$

$S_{DS}$ , corresponde la aceleración espectral de respuesta para períodos cortos,  $z$  es la altura promedio del nivel donde se encuentra el elemento no-estructural y  $h$  la altura de la cubierta.

En conclusión existen varios métodos basados en su predecesor el ATC-3, los cuales aunque dan algunas diferencias, en general su fundamento es el mismo. Estos métodos deben ser consultados en su fuente para efectos de conocer los valores de los factores, los cuales varían dependiendo de diferentes criterios de diseño. En la bibliografía se presentan las referencias respectivas.

### Interacción con la estructura

Adicionalmente, los elementos no-estructurales adosados a dos diafragmas sucesivos, tales como muros y paneles divisorios, ventanas, puertas, etc., deben ser diseñados para soportar la deriva del piso en el que se encuentren. Este requisito sobre deformación máxima difiere del referente a la fuerza de diseño mencionada más arriba, en el hecho de que aquél norma el diseño del elemento para sus propias fuerzas iniciales y éste se refiere al desplazamiento inducido por el movimiento de los diafragmas a los que se encuentra ligado (Ref. 24).

El requisito es de gran importancia debido a la fragilidad usual de los materiales usados en la construcción de los elementos en mención, tales como mampostería, asbesto, vidrio, 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. Puede suponerse que para materiales y construcción no-estructurales de buena calidad el cumplimiento de este límite los asegura indirectamente de manera satisfactoria. Sin embargo, si se tienen dudas al respecto, resulta conveniente proveer sistemas de aislamiento de tales elementos de la estructura, a fin de no recibir dichas deformaciones.

En el caso de la ventanería, por ejemplo, la alta fragilidad del vidrio hace casi obligatoria la aplicación de un aislamiento adecuado. En lo que se refiere a muros de

mampostería unidos a la estructura, el aislamiento debe ser considerado con relación a la concepción global del diseño de la estructura. En efecto, si esta no contempla dichos muros como parte del sistema de resistencia sísmica, y estos a su vez pueden causar problemas de torsión debido a su posición asimétrica, o de pisos débiles debido a su concentración en solamente unos pisos, los cuales son los problemas más comunes presentados por ellos, es conveniente aislarlos. Rosenblueth (Ref. 111) presenta varios esquemas de aislamiento del muro con respecto al diafragma y al pórtico.

En el caso contrario, esto es, en el que los muros 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 los muros. De hecho, la variación de rigidez en el modelo conduce a fuerzas de diseño diferentes, tanto en sismos moderados como intensos. Por otra parte, las cargas verticales en las columnas son muy diferentes en un modelo y en otro.

Debido a la baja adherencia de los muros de relleno con el pórtico, y al hecho de que éste se deforma principalmente del modo flexionante y aquel del modo cortante, ocurre una separación entre ambos en las zonas de tensión, y un estrechamiento en las de compresión. Por esta razón, en la interacción entre ambos solamente trabaja a compresión una franja del muro.

Se han propuesto en la literatura internacional diversas expresiones para determinar el ancho de la franja de compresión en el muro, con la cual se puede determinar el área del elemento diagonal que se debe incluir en el análisis.

Los modos usuales de falla del muro son generalmente el de deslizamiento y el de compresión. La fuerza en la diagonal bajo la cual se inicia el deslizamiento puede ser evaluada como:

$$R_s = \left( 0.9 + 0.3 \frac{t}{h} \right) f_{bs} h t$$

donde:

$f_{bs}$  = resistencia de adherencia entre el mortero y la mampostería

$t$  = espesor del muro.

La fuerza en la diagonal, necesaria para que se produzca la falla a compresión del muro, puede ser calculada como

$$R_c = \frac{2}{3} t \alpha f'_m \sec \theta \text{ con:}$$

$$\alpha = \frac{\pi}{2} \left( \frac{4 E I h_m}{E_m t \sin 2\theta} \right)^{1/4}$$

En principio resulta deseable evitar las fallas de tipo deslizante, ya que ellas conducen a la formación de columnas cortas en el pórtico. Para ello debe asegurarse la mejor calidad posible del mortero de pega de la mampostería. En lo que se refiere a la falla por compresión, es necesario tener en cuenta que aun en el caso en que suceda debe evitarse la caída del muro, con el fin de no poner en riesgo las vidas humanas en el interior y en el exterior del edificio. Para ello, es conveniente colocar mallas de retención del muro en el acabado del muro, las cuales a su vez, pueden utilizarse como dispositivo para aumentar la ductilidad de la construcción.

## REDUCCION DE LA VULNERABILIDAD

Una vez identificado un elemento no-estructural de amenaza potencial y su prioridad en términos de pérdida de vidas humanas, de bienes muebles y/o funcional, deberá adoptarse una medida apropiada para reducir o eliminar el peligro. A continuación se incluye una lista de doce medidas aplicables de mitigación eficaces en muchos casos. A veces, simplemente se debe ser creativo y utilizar la imaginación (Ref. 60). Estos procedimientos generales que se han utilizado en muchas partes y muchas veces, son:

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

**La remoción.** Sería 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 o a lo largo de algunos balcones, algo que podría fácilmente soltarse durante un sismo poniendo en peligro aquello que está debajo. 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 y podría averiarse causando valiosas pérdidas. Si se reubica en un estante a nivel del piso no representaría peligro para las vidas humanas ni para la propiedad. Igualmente, sería mejor guardar una botella con un líquido peligroso a nivel del piso, si es posible.

**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 se rompan sus válvulas liberando su contenido a altas presiones. 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 de amarre o de otra manera evitar que piezas de valor o de tamaño considerable caigan o se deslicen. Entre más pesado sea el objeto más factible es que se mueva debido a las fuerzas de inercia que entran a jugar. Un buen ejemplo sería un calentador de agua; posiblemente habrá varios en un hospital. Son pesados y caen fácilmente y pueden romper una línea principal de agua y una línea de electricidad o combustible; constituyen un peligro de incendio o de inundación. 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 acoplos flexibles.** Algunas veces se usan entre edificios y tanques exteriores, entre diferentes partes separadas del mismo edificio y entre edificios. Estos se utilizan puesto que los objetos diferentes, separados se moverán cada uno independientemente como respuesta a un sismo. Algunos se mueven rápidamente o a altas frecuencias, otros lentamente a bajas frecuencias. Si hay un tanque fuera del edificio con una tubería rígida de conexión entre los dos, el tanque vibrará a frecuencias, direcciones y amplitudes diferentes a las del edificio, rompiendo la tubería rígida; un tubo flexible entre los dos evitaría rupturas de esta naturaleza.



FOTOGRAFIA 17. TUBERIAS RIGIDAS

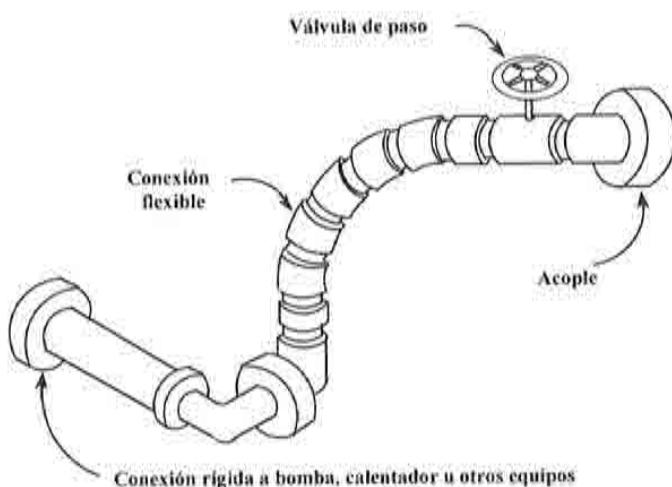


FIGURA 27. ACOPLE Y CONEXION FLEXIBLE (FEMA 74)

**Sopores.** Son apropiados en muchos casos. Por ejemplo, los cielo rasos por lo general están colgados de cables que tan solo resisten la fuerza de la gravedad. Al someterse a la multitud de fuerzas horizontales y de torsión que resultan de un sismo, caen fácilmente. Aunque los cuadros de luz son inofensivos al caer, algunas veces estas estructuras suspendidas del techo soportan pesadas luces. Al caer, producen serios accidentes a las personas que están debajo. Las conexiones eléctricas también pueden ser arrancadas del techo amenazando con un posible incendio.

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

**Modificación.** Algunas veces es posible *modificar* un objeto que represente un peligro sísmico. Por ejemplo, los movimientos de la tierra retuerzan y contorsionan un edificio, el vidrio rígido de sus ventanas puede romperse violentamente lanzando afiladas espadas de

vidrio contra los ocupantes. Es posible adquirir rollos de plástico transparente para cubrir las superficies internas y evitar que se rompan y amenacen a los que están dentro. El plástico es invisible y modifica el potencial de la ventana de vidrio de producir lesiones.

**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 un sismo.

**Los refuerzos.** Son factibles en muchos casos. Por ejemplo, un muro de relleno no reforzado o una chimenea no reforzada puede reforzarse sin mayor costo cubriendo la superficie con una malla de alambre y cementándola. No solo se protegerán estos objetos no-estructurales contra fallas; en el caso de los muros de relleno, también se reforzarán las partes estructurales.

**Redundancia.** Los planes de respuesta a emergencias con *existencias adicionales* constituyen una buena idea. Es posible almacenar cantidades adicionales de ciertos productos en cajas en lugares que serán accesibles luego de un sismo.

**La rápida respuesta y reparación,** es una metodología de mitigación empleada por largos oleoductos. Algunas veces no es posible hacer algo para evitar la ruptura de una línea en un sitio dado, entonces 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 podría 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 fácilmente arreglarse. Este sería el último recurso en la mitigación, pero es necesario *antes* del temblor y realizar el resto del plan después. Por ejemplo, durante un sismo se pueden romper los tubos del 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 planeación antes del 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 su propia solución de mitigación. Ejemplos se presentan en las Figuras 28 y 29.

### Mitigación de daños en las instalaciones

Las instalaciones de suministro de agua y electricidad son puntos vulnerables que en la mayoría de los casos se ubican en cielo raso falso. Si se tiene especial cuidado en los aspectos constructivos para tender estas redes, como por ejemplo, suspendiéndolas de placas mallas y soportes especiales anclados a las placas, se puede evitar que en caso de sismo estas instalaciones caigan al piso, obstaculizando el paso por los pasillos o afectando a las personas que en el momento del desastre estén ubicadas o transiten por estos sectores. 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 fracture (Ref. 63).

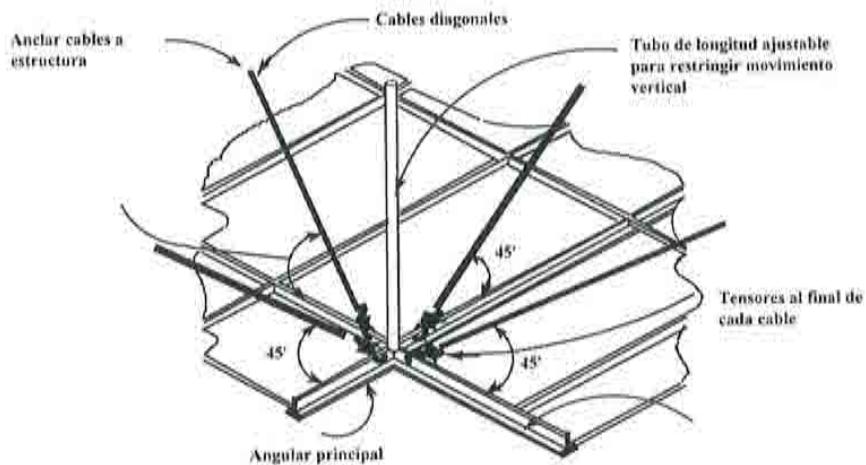


FIGURA 28. ARRIOSTRAMIENTO DE CIELO RASO (FEMA 74)

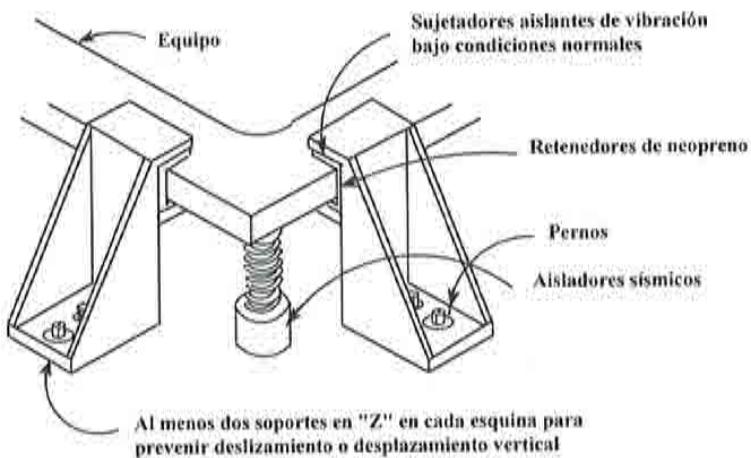


FIGURA 29. SUJETADORES AISLANTES DE VIBRACION (FEMA 74)

Igual tratamiento merecen los ductos verticales, los cuales bien ubicados, con espacios suficientes, pueden absorber los movimientos sísmicos. Es importante también dejar previstas en estos ductos puertas que permitan acceder para cambiar piezas afectadas (Figura 30).

Una solución que recientemente se viene utilizando en forma generalizada es dejar sobre fachadas y a la vista todas las instalaciones mecánicas. Esto permite no solamente la revisión normal de las instalaciones, sino que en el caso de desastre las fracturas a estas instalaciones son fácilmente reparables. Sería conveniente también en habitaciones individuales, prever instalaciones mecánicas que permitan aumentar el número de camas en situaciones que lo ameriten. La misma consideración se puede tener en cuenta con las áreas de visitas y solarios. Esto permite duplicar el número de camas, mejorando la capacidad de respuesta a las situaciones de emergencia.

En las estaciones de enfermería, se debe prever una ampliación hacia los ambientes anexos, permitiendo de esta forma albergar mayor número de personal médico y paramédico, quienes podrían así trabajar más cómodamente.

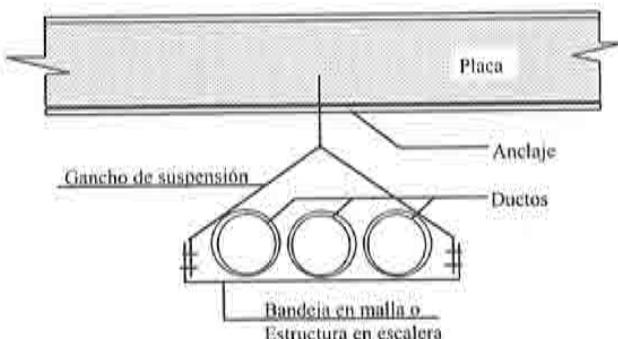


FIGURA 30. DETALLE DEL DUCTO COLGANTE

Aunque no es muy frecuente el uso de calentadores individuales para agua, cuando éstos existen, se convierten en elementos peligrosos y vulnerables. En el caso eventual que existan calentadores, es necesario, como ya se mencionó, asegurarlos con una cinta metálica al muro, utilizando pernos en la parte superior e inferior del aparato. Claro está, como se señaló previamente, que es más recomendable para el calentamiento de agua el uso de paneles de energía solar, lo cual evitaría este tipo de almacenamiento.

El agua caliente y el vapor de las zonas de cocina, se convierten en factores potenciales de peligro, por lo tanto es necesaria la revisión permanente de estos sectores por parte del personal de mantenimiento, que verifique si la tubería de conducción está 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. Aunque el equipo esté perfectamente instalado, quizás haya suficiente movimiento diferencial para alterar las conexiones rígidas. Esta alteración puede causar peligro a las vidas de los pacientes, cuando se presenta un mal funcionamiento del equipo esencial, que va conectado a las redes de agua, vapor o gas.

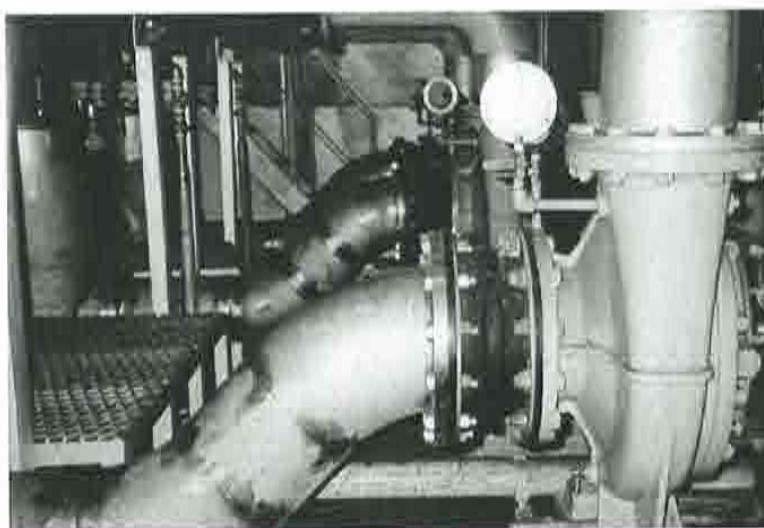
Se puede anotar como posibles soluciones las siguientes:

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

Para las instalaciones eléctricas se pueden anotar las siguientes recomendaciones:

- Conductos flexibles.
- Cables y conectores de cierres rígidos, diseñados para hallar, sin dañar los objetos de enchufar. Es más conveniente que la mayoría del equipo se desconecte mediante el sistema de seguridad en lugar de ser operado con un cable a tierra, que corra el peligro de romperse.

Las plantas de emergencia son objetos pesados, que invitan a las fuerzas inertiales durante los sismos. Entre más pesados sean éstos las posibilidades de que se muevan son mayores. Si un sólido anclaje significa problemas de ruido y vibración, se debe verificar que los resortes estén en perfectas condiciones de aseguramiento al lugar. Los montajes en resorte amplían el movimiento en el sismo, razón por la cual se debe tener en cuenta ésto al diseñar las medidas de restricción. El movimiento de un generador puede bloquear entradas, desplazar partes estructurales, 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.



FOTOGRAFIA 18. TUBERIA CON CONEXION FLEXIBLE

Dentro de las recomendaciones dadas anteriormente se ubicó la planta de emergencia, en un sector especial, además vale la pena agregar lo siguiente:

- a) La planta debe estar anclada o frenada de tal forma que no tenga movimientos, ni se pueda deslizar.
- b) La fuente de combustible debe estar disponible durante y en el movimiento.
- c) 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 el generador, es necesario verificar que el motor no esté conectado a un tubo exterior de gas. Si el sismo ha sido lo suficientemente fuerte para provocar interrupción del fluido eléctrico, también lo será para el suministro de gas. El suministro de combustible debe ser continuo y estar disponible a todo momento, independientemente de los daños que se produzcan por cualquier movimiento o accidente. También hay necesidad de cerciorarse que las baterías de repuestos estén en estantes correctamente asegurados, de manera que no se caigan.

Las comunicaciones tanto internas como externas, deben permanecer a todo momento funcionando, por tal motivo en situaciones de emergencia hay necesidad de tener a la mano, sistemas de radio portátiles, altavoces, etc., para organizar tanto a los usuarios del edificio como a los que recurren a él. Las comunicaciones son fundamentales también para mantener contacto con el exterior, con otros hospitales de referencia o familiares de pacientes. Lo ideal es que este servicio no falle, ésto podría ser más factible si se diseña el hospital considerando la propuesta realizada en el capítulo relativo a la zonificación, en donde se indicó que este servicio podría localizarse en una edificación separada.

Muchos elementos de equipos necesarios en hospitales están suspendidos del cieloraso o la placa de piso, tal como sucede con las lámparas cielíticas en 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 muy 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 muebles que contengan medicamentos, frascos, recipientes de diferente índole deben tener una especie de baranda frontal en cada uno de sus entrepaños, para evitar que los elementos allí almacenados salgan disparados al exterior

ocasionando peligro u obstáculos para los usuarios.

Los problemas anotados anteriormente causados por daños a las instalaciones de un hospital, repercuten seriamente en su funcionamiento, ya que impiden acciones inmediatas encaminadas a mitigar la emergencia, por lo tanto es necesario tenerlas en cuenta desde el momento de la planeación del edificio.

Muchos son los problemas de mitigación que es necesario tener en cuenta en la planeación de una instalación de salud que no los tiene ninguna otra 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 equipamiento, los acabados arquitectónicos, las instalaciones sanitarias, eléctricas, mecánicas y de telefonía constituyen el costo mayor de la instalación, razón por la cual vale la pena insistir en la necesidad de tener en cuenta, todos los factores de mitigación desde el nacimiento de la idea hasta la realización de la misma, con el fin de que sea menos costosa la inversión, adaptación o restauración después de un desastre.

#### PRIMERO EL ESTUDIO NO-ESTRUCTURAL?

Bucaramanga es una ciudad localizada al nor-oriente 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 la década de los años 50, en una estructura aporticada cimentada en zapatas aisladas a una profundidad de no más de dos metros, debido a que el suelo tiene una capacidad que supera los  $4 \text{ kg/cm}^2$ . 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, 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 paradójicamente algunos recursos presupuestales 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, aparte que sirvió de orientación para la realización de otros estudios en hospitales de Santa Fe de Bogotá y Manizales (Ref. 32).

No obstante, uno de sus 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 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 éstos 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 refuerzo.

Este es un caso en el cual un diagnóstico de la vulnerabilidad no-estructural y funcional se convirtió en el fundamento técnico para justificar la necesidad de llevar a cabo el estudio de vulnerabilidad estructural y el diseño de la rehabilitación respectiva de un hospital de primer nivel de complejidad y que atiende una población de más de dos millones de habitantes.

#### Influencia de los acabados 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 y agarre depende que no se conviertan en un peligro para las personas que habitan el edificio, en caso de un sismo o en situaciones de incendio. Este aspecto es muy importante,

dado que no se trata simplemente que el hospital no falle estructuralmente, sino que sus acabados, muros, puertas, ventanas, cielorosas, etc. puedan permanecer en su sitio evitando convertirse en un peligro para la vida u obstaculicen los movimientos de pacientes, personal médico, paramédico y resto de personas que se encuentren o acudan al edificio en el momento de un desastre.

El cieloraso por lo general se encuentra colgado de la estructura o placa del edificio y en los hospitales se convierte en un sistema casi inevitable, en razón a que en el espacio que conforma con la placa de piso se ubican las redes de suministro de agua, luz, gas. Por tal razón su construcción debe ser lo más técnica posible, para evitar que estos se descuelguen en momentos de un sismo, atentando contra la vida de los usuarios del edificio. Las especificaciones del cieloraso deben cumplir con las condiciones de asepsia y construirse con materiales incombustibles, livianos y susceptibles de absorber movimientos. Uno de los materiales que cumple con las condiciones anteriores, además que también sirve de aislante acústico y térmico es la fibra de vidrio, razón por la cual se recomienda.

No obstante, existen áreas que por razón a sus funciones no permiten la utilización de este tipo de cieloraso debido a sus necesidades rigurosas de asepsia. Un ejemplo de espacios que no admiten el material antes mencionado son el área quirúrgica, obstétrica, laboratorios, terapias húmedas, cocina, lavandería, donde se ha de pensar en soluciones similares a las propuestas, pero con acabados terminados que den condiciones de asepsia, tal como materiales porcelanizados, pinturas epóxicas, etc.

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 que contiene múltiples elementos pequeños que al caer atentan contra la vida de los usuarios.

Comúnmente se utilizan materiales de revestimiento en fachada, los cuales pueden desprenderse en el caso de sismos. Estos materiales que en la mayoría de los casos son de cerámica representan un factor más que atenta contra la vida de los usuarios del hospital y los transeúntes. Para mitigar este aspecto es recomendable utilizar materiales integrales en la fachada, tal como el ladrillo a la vista.

Igualmente, sucede con alfajías o remates de fachada, que en la mayoría de los casos son prefabricados adosados a la misma. Estos elementos, cuando se presentan movimientos intensos, son los primeros en caer al vacío, con las consecuencias ya mencionadas.

Para evitar estos riesgos es necesario

- a) Que los anclajes se hagan lo suficientemente bien, que garanticen su estabilidad.
- b) Que sean de materiales integrales de fachada.

Superficies muy grandes en vidrio ofrecen peligro inminente en caso de sismo, éstos pueden convertirse en verdaderas armas que atentan contra la vida de los usuarios del edificio. Los diseñadores pueden especificar vidrios de seguridad y/o reducir el tamaño de los mismos. Astas de banderas, avisos, pérgolas que prácticamente son elementos adosados al edificio, deben estar muy bien anclados a la mampostería o a la estructura para evitar que éstos se conviertan en un factor de riesgo más.

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 sean elementos integrales a 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 mampostería o a la estructura, para que no ofrezcan riesgo de desprendimiento.

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

En grandes espacios como vestíbulos, se utilizan plafones de luz colgantes, los cuales deben estar lo suficientemente bien anclados a la estructura y placa superior, para garantizar que no se desprendan en momentos que el edificio sufra movimientos fuertes.

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

En los interiores existen muchísimos acabados no-estructurales, que se convierten en un factor de riesgo más para los usuarios del edificio, tales como las molduras, cornisas, estucos de adorno, etc., elementos que por no ser parte integral de la estructura, en una gran mayoría de casos van adosados a muros o columnas, ofreciendo un peligro más. Se recomienda utilizar al mínimo este tipo de elementos o de ser usados, efectuar su construcción como parte integral de la estructura.

Existe por norma que a lo largo de los pasillos se diseñe y ubique un elemento llamado "estrella camillas", que en la mayoría de los casos es especificado en madera y es colocado con chazos a cada 50 u 80 centímetros. Al respecto es necesario poner especial atención en el anclaje de este elemento al muro, pues se puede convertir en un obstáculo y un peligro más sobre la circulación.

En la gran mayoría de soluciones arquitectónicas, se diseñan paneles de señalización suspendidos de las placas, especialmente en los sectores de puestos de información, estaciones de enfermería, mostradores de atención al público, etc. Se recomienda a los diseñadores y constructores plantear un diseño que ofrezca más garantía de seguridad, especificando muy bien el tipo de anclaje que debe utilizarse.

En las circulaciones de los hospitales por norma se especifican materiales que ofrezcan durabilidad y asepsia, y que en la mayoría de los casos son cerámicas porcelanizadas. Por lo anterior es conveniente verificar su grado de conexión al muro, para evitar su desprendimiento con las vibraciones sísmicas. Aunque el peligro de ocasionar accidentes a los usuarios es mínimo pueden convertirse en un obstáculo para los movimientos del personal sobre las circulaciones.

Situación similar corresponde a cuadros, espejos, muebles colgados de paredes, etc. Lo importante es tener en cuenta su sistema de adosamiento o suspensión a los muros. Para los muebles es importante recomendar, que hasta donde sea posible, éstos deben quedar empotrados entre muros, asegurados de ser posible por su parte posterior y sus costados.

En la mampostería divisoria no soportante, se utilizan por lo regular ladrillos huecos o bloques entre los ejes estructurales de soporte, su colapso podría ocasionar heridas o la muerte a personas. Por tal razón, los muros deben quedar amarrados o entre trabados de tal forma que reúnan las mejores condiciones de estabilidad, tal como se mencionó en el capítulo anterior.

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 de la estructura y prevenir su colapso, el cual en el caso de hospitales puede resultar catastrófico. Generalmente, es recomendable aislar la mampostería de la estructura en los siguientes casos:

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

Igual consecuencia traen los espacios diseñados como oficina abierta, pues éstos están conformados por paneles y divisiones que van incorporados a estantes. En algunos casos los muebles hacen parte de éstas divisiones que en el momento de caer pueden causar no

solamente heridas, sino también el bloqueo de las circulaciones y salidas, dificultando la evacuación y movilización. Se recomienda asegurar estos elementos divisorios, no solamente en la parte inferior, sino también de la superior, para ofrecer más garantía de seguridad y así poder evitar los riesgos anotados.



FOTOGRAFIA 19. MUROS DESTRUIDOS POR FLEXIBILIDAD DE LA ESTRUCTURA

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

Hoy en día se considera que los objetos o equipamiento que permanece en el interior del hospital son de gran valor obteniendo un peso porcentual en su costo mayor al de la edificación. La gran mayoría de estos elementos así como también los materiales de suministro son fundamentales para la vida y pueden también representar un peligro en caso de sismo (Ref. 65). Algunos de estos equipos o elementos son los siguientes:

Equipamiento esencial para el diagnóstico: fonendoscopios, tensímetros, termómetros, otoscopios, oftalmoscopios, martillo para reflejos, linternas, éstas deben ser siempre disponibles tanto para la parte médica, como paramédica y administrativa. Es necesario contar con un inventario adicional, para situaciones de emergencia, en un sitio de fácil accesibilidad, debidamente señalado, de tal forma que cuando sea requerido por personal de apoyo, voluntarios, socorristas, etc., éste se ubique fácilmente luego de un desastre.

Camas para pacientes: Ya se mencionó anteriormente sobre la posibilidad de ubicación de camas extras en habitaciones, vestíbulos, salones de visita, solarios, en las áreas de hospitalización, etc. Esto no sería posible de no contar con un inventario tanto de camas, colchones, etc., para casos de emergencia. También es necesario proteger tanto a ésta como al paciente de movimientos descontrolados durante un sismo; debe emplearse un método de fácil liberación y aseguramiento de camas y otros equipos.

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 a muros divisorios.

**Respiradores y equipos de succión:** Para garantizar su funcionamiento es necesario que éstos estén asegurados de tal manera que no se desconecten de los pacientes.

**Sillas de ruedas:** Para este tipo de elemento se deben diseñar espacios especiales que deben quedar cerca de la estación de enfermería, para que ésta se encargue de su distribución. Deben estar provistas de frenos en sus ruedas grandes; situación que es aplicable igualmente a las camillas.

**Sustancias peligrosas:** Varios de los productos de un hospital están clasificados dentro del orden de peligrosos, en el momento de liberarse o derramarse. 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 tienen su iniciación 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, espacios de reunión. Al caer pueden producir serios accidentes. Ya se mencionaron algunas piezas especializadas como en Rayos X, lámparas cielíticas, subestaciones, etc., que pueden ser lanzadas al vacío si las especificaciones de anclaje no son lo suficientemente fuertes.

**Monitores:** En muchas ocasiones donde las áreas no lo permiten se colocan estos equipos uno sobre otro, sobre muebles, carros o adosados a la pared, es necesario asegurar módulo a módulo a la pared al estante donde queden ubicados.

**Soportes para equipo de venoclisis:** Aunque en muchos casos éstos tienen sus propias patas, se recomienda como más seguro aquél que va adosado a la cama.

**Mesa para cirugía:** En la gran mayoría de casos ésta va anclada por lo tanto su movimiento es mínimo. Se debe tener especial cuidado con el amarre del paciente dado que la mayoría de los problemas se presentan con el equipo auxiliar que rodea la mesa, tal como anestesia, respiradores, mesa mayo, etc. Deben preverse tomas de aseguramiento.

**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. Sus cajones, que ruedan sobre balineras, rápidamente se abren con las vibraciones de un sismo, salvo que estén asegurados con buenos pestillos en la parte exterior.

**Computadoras:** Mucha de la información general está contenida en computadoras; éstos deben estar bien asegurados 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 que puedan ser soportados por la planta de emergencia o por una U.P.S. (planta de emergencia para una computadora).

**Neveras:** En especial la nevera del banco de sangre, que debe mantener un enfriamiento continuo, debe estar conectada al suministro de energía de emergencia; de no ser así se puede perder el contenido de sangre de reserva, muy necesaria para situaciones de emergencias.

**Medicina nuclear:** Este sector presenta situaciones especialmente peligrosas, dado el tipo de equipo y materiales que allí se utilizan tales como:

- a) **El carro de colimador:** dado su peso (unos 700 k) cuando se esté transportando debe estar fuertemente asegurado.
- b) **Cámaras Gamma:** Son también bastante pesadas y están provistas de ruedas, requieren colimadores, cuando no se encuentren en uso deben guardarse en las posiciones más bajas.
- c) **Baños de aceite:** Se encuentran en la farmacia nuclear. Normalmente consiste en un tanque abierto con aceite caliente, éste debe estar fijo en el estante provisto de una tapa que evite salpicaduras.
- d) **Pantallas protectoras:** Por lo general son ladrillos de plomo los cuales deben mantenerse

unidos, para que el impacto de las vibraciones no los desplace.

Los materiales y desechos radioactivos son de una alta peligrosidad y en especial los materiales de desecho cuya radioactividad no se puede ignorar. Se deben tener canecas de determinada capacidad con cierre hermético y firme.

Existen infinidad de peligros varios, que ofrecen algunos equipos o dotaciones de los hospitales, que harían interminable la lista, por lo anterior únicamente se tratarán los más importantes, lo esencial es tener en cuenta que cada implemento, mueble, equipo médico, etc., constituye una amenaza para la vida de los habitantes del hospital, en caso de no estar instalado dispuesto con las mayores normas de seguridad, como por ejemplo:

Sector de terapias: Las piscinas para hidroterapia, en las cuales es imposible controlar que el agua se derrame cuando ocurre un sismo intenso. Por esta razón, es necesario prever drenajes en los espacios que presentan la evacuación rápida y suficiente de agua. Así mismo, en el sector de Terapia Física en el área de ejercicios, existen equipos de pesas, contrapesas, resortes, etc., que deben estar bien asegurados para evitar que se desplacen.

En este sector existen gran cantidad de equipos como de terapia por parafina, eléctrica, nebulizadores, compresas a vapor, etc., que es necesario poner atención a su fijación tanto a piso, como sobre muebles, para evitar que ocasionen peligro en caso de desastre.

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 thermo, etc., deben estar lo suficientemente adosadas a placas, muros, techos, etc., para garantizar su funcionamiento y para evitar que éstas caigan sobre los usuarios.

Igual sucede con el almacenamiento de víveres, abarrotes, perecederos, etc. Es preferible no almacenarlos en estantes por unidades, sino en cajas de cartón o canastillas plásticas, que queden bien aseguradas en los estantes. Lo mismo sucederá en los sectores de cafetería, reposterías y cocinas de piso.

Los espacios para combustibles como fuel-oil, gas, deben orientarse a patios exteriores para evitar que posibles explosiones causen daños irreparables. También el manejo de éstos debe hacerse con las mayores condiciones de seguridad, aplicando las normas que para este aspecto existen.

Central de gases: Se ha observado como la ubicación de este servicio constituye una bomba de tiempo, por lo tanto 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, la pared frontal del espacio debe quedar suelta, libre de las demás y dirigida a espacios que no sean habitados y susceptibles de daños en momentos de una explosión.

Los cilindros de gas también son usados por algunos hospitales y se encuentran dispersos en el edificio principalmente en las áreas de soporte, algunos contienen gases tóxicos y otros inflamables. Estos deben aislarse para evitar daño a personal o pacientes o daño a elementos esenciales.

Almacén general: Dentro de este espacio se almacenan, en la mayoría de los casos, mediante depósitos y subdepósitos materiales e insumos de gran importancia para la vida del hospital. Entre otros el depósito de medicamentos, que hace despachos a las diferentes farmacias, razón por la cual es indispensable observar las mejores normas de seguridad para que en este sector los estantes y los anaqueles estén fijos a pisos, muros, techos, evitándose su volcamiento. En el depósito de cocinas, los elementos no deben estar por unidades, preferiblemente deben permanecer en cajas de cartón, debidamente señaladas y protegidas de tal forma que en caso de sismos no salgan disparados del estante ocasionando daños.

Casa de máquinas: De su nueva ubicación ya se trató con anterioridad. Se debe observar que su equipamiento esté compuesto por unidades pesadas las cuales deben reunir condiciones de anclaje permanente para garantizar su funcionamiento.

**Talleres de mantenimiento:** Son de una gran importancia tanto en situaciones normales, como de emergencia, pues a él se acude para la reparación de cantidad de elementos, instalaciones eléctricas, sanitarias, hidráulicas, etc., que en situaciones de fractura del edificio se hacen necesarias. El inventario de elementos que debe mantener este Taller debe estar calculado para cubrir situaciones de emergencia y las condiciones de seguridad para el anclaje de su maquinaria y almacenamiento deben ser las mejores, aplicando las ya expuestas para otros sectores.

Es prácticamente interminable, efectuar un listado completo de todos los elementos que se involucran en la operación de un hospital. Por lo anterior, se hace necesario que para la aplicación de la mitigación, en cada paso se aplique el sentido común y que éste indique las medidas a tomar ya que en cada solución hospitalaria aparecen factores diferentes que hacen especial cada uno de los casos. Entre otros elementos que no se han mencionado específicamente y que pueden ofrecer peligro para la vida se tienen (20):

- Unidades de tracción
- Máquinas de hiper e hipotermia
- Cilindros portátiles de oxígeno y otros gases médicos
- Elementos para aseo de enfermos
- Máquinas de hemodiálisis
- Camas circoeléctricas
- Marcos inmovilizantes
- Tanques de dializador
- Deionizantes
- Teleautógrafos
- Carros de medicamentos
- Máscaras portátiles contra humos
- Máquinas dispensadoras automáticas
- Farmacéuticos y otros suministros
- Vidrio de laboratorio
- Analizadores de laboratorio
- Incubadoras
- Lavadoras y esterilizadores
- Hornos de secado
- Centrífugas
- Microscopios
- Máquinas de rayos X, fijas y portátiles
- Agua destilada en contenedores de vidrio
- Formaldehidos, alcohol, parafina, etc.
- Químicos para desarrollo de películas
- Iluminadores de películas
- Archivos de películas
- Teteras y vaporizadoras en la cocina
- Hornos
- Mezcladores
- Carros para transportar las bandejas de los pacientes
- Máquinas lavadoras de ollas
- Estantería de ollas
- Extintores de incendios

- Neveras
- Escritorios
- Butacas y sillas
- Utiles de limpieza
- Carros

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

### **Costos de intervención**

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

- a) Aquellas que son fáciles de implementar en el corto plazo, como dotar de contraventanas y arriostramientos a las puertas, instalar pernos adicionales a las tejas de los techos, fijar plantas externas, relocalizar sistemas de almacenamiento en edificios seguros si el edificio en que se encuentran es vulnerable. Estos trabajos deben realizarse por el personal de mantenimiento de la instalación o por pequeños contratistas.
- b) Aquellos que requieren asesoría de especialistas, de capital significación, 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 cual 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.

## CAPITULO 4

### VULNERABILIDAD FUNCIONAL

Desde el punto de vista funcional es necesario hacer referencia a los aspectos externos, relativos a la selección del terreno, su tamaño, los servicios públicos, las restricciones ambientales, las vías adyacentes y su conexión con el entramado urbano. Igualmente, es necesario abordar los aspectos relativos a la zonificación general, es decir a las interrelaciones, circulaciones primarias y secundarias, privadas y públicas y a los accesos generales y particulares de las áreas básicas en que se subdivide el hospital. Finalmente, debe tenerse en cuenta la zonificación particular, es decir, los aspectos de funcionamiento interno de cada uno de los cinco sectores que conforman el hospital.

Un edificio hospitalario está compuesto por cinco áreas básicas, cada una con funciones determinadas y propias. Estas áreas se interrelacionan íntimamente para el funcionamiento armónico del hospital. La relación entre dichas áreas o sectores: Administración, Servicios Intermedios, Servicios Generales, Consulta Externa y Urgencias (Servicios Ambulatorios) y Hospitalización, puede resultar crítica si en el diseño no se consideró su funcionamiento y distribución en el caso de atención masiva de pacientes. Un hospital puede ser víctima de un "colapso funcional" como consecuencia de esta situación, la cual sólo es detectada en el momento en que ocurre una emergencia. A las áreas antes mencionadas es importante adicionarle un área de especial utilidad en casos de desastre: el área exterior, la cual juega un rol de particular importancia para la atención de desastres.

Figura 31.

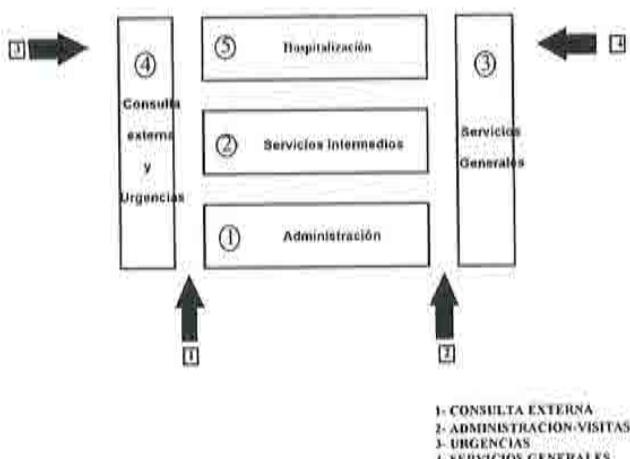


FIGURA 31. ZONIFICACION Y ACCESOS

La función que cumple un hospital debe mantenerse después que ocurra una emergencia de grandes dimensiones, con el fin de que sea posible satisfacer las necesidades de atención médica que impone dicha emergencia. Si el hospital sufre graves daños no podrá cumplir con su función cuando más se necesita y se convertirá en objeto de la atención del desastre.

Tradicionalmente, la distribución funcional de los hospitales no considera dentro de sus determinantes de diseño la atención masiva de heridos. Considerando este aspecto, se deben identificar adecuaciones y la necesidad, en algunos casos, de efectuar algunas variaciones en el diseño de diversas áreas que ayudarían a la mitigación de riesgos en el edificio.

La mitigación del riesgo desde el punto de vista funcional significa la evaluación e intervención de la vulnerabilidad a nivel de planificación urbana, zonificación externa y zonificación espacial interna del hospital.

## ASPECTOS DE PLANIFICACION

### Localización del hospital

Para iniciar es necesario detenerse en uno de los aspectos de mayor relevancia para reducir el riesgo y prevenir futuros desastres. Este primer aspecto está relacionado con la *ubicación del hospital*, la cual no sólo debe obedecer a los estudios de planificación en salud desde el punto de vista urbano sino a las evaluaciones técnicas que definen los usos del suelo, de tal manera que el hospital no quede localizado dentro o cerca a una zona de amenaza natural, lo cual reduce la posibilidad de que sea afectado por eventos tales como inundaciones, deslizamientos, avalanchas, como también evita que su construcción estimule el desarrollo del asentamiento humano hacia zonas de alto riesgo. Cabe anotar que hasta el momento en América Latina es poco lo que se ha normatizado y reglamentado sobre este aspecto, razón por la cual a diario las ciudades crecen hacia zonas inadecuadas para el asentamiento humano, lo cual hace que se eleve el riesgo de desastre.

No obstante que en el caso de huracanes y terremotos es difícil el análisis de ubicación de la edificación, existen estudios técnico-científicos relativos a la zonificación del suelo desde el punto de vista sísmico y desde el punto de vista topográfico que sirven para la toma de decisiones en relación con la localización del hospital. Aspectos que deben tenerse en cuenta además de los relativos al entorno ambiental como la no existencia de malos olores, polvo, residuos industriales, ruidos y contaminación en general. Con el fin de relocalizar el proyecto o encontrar una solución a este problema en el planteamiento arquitectónico lo más importante a tener en cuenta en el momento de la escogencia del sitio para el futuro hospital es que éste no quede en zonas: a) inestables o propensas a deslizamientos, b) localizadas cerca de industrias que pueden causar problemas de contaminación o incluso explosiones o incendios, c) localizadas cerca de un río o una quebrada con posibilidades de inundación.

### Dimensiones del terreno

Tradicionalmente se ha normatizado sobre la *dimensión del terreno* que ocupará la instalación, pero hasta el momento las normas no incluyen aspectos tales como espacios para helipuertos, zonas para atención masiva de heridos, desinfección de pacientes contaminados con gases o líquidos, áreas para clasificación o triage en caso de emergencia, todo esto con su debida dotación para el suministro de agua y luz, etc. en sus exteriores. La consideración de estos aspectos implica un trabajo conjunto entre las autoridades de la salud que son las encargadas de emitir y expedir las normas y un equipo asesor que reevalúe las áreas para los hospitales, lo cual puede determinar el cambio de uso de algunos exteriores en momentos de una calamidad masiva, aspecto que se tratará con mayor detenimiento cuando se trate el tema de la funcionalidad del edificio.

Para un hospital el área de ocupación se calcula de acuerdo con el número de camas y su grado de complejidad. Debe tener la posibilidad de ser ocupado en el 50% de su tamaño y el espacio restante se considera área libre para aislamientos, jardines y parqueos.

### Red vial urbana

Las normas también hacen referencia a *la red vial*, algunas indican por ejemplo que "este debe quedar sobre una vía rápida de fácil acceso y que esté intercomunicada con la región", pero hasta ahora no se ha propuesto incluir dentro de ésta un estudio que indique la posibilidad de que, en situaciones de desastre, las vías adyacentes contribuyan a la recepción o evacuación de pacientes, en momentos en que las principales vías hubiesen quedado incomunicadas, tampoco se prevén inconvenientes como el de escoger un terreno en zonas donde las vías de comunicación con los sectores desarrollados estén separados por puentes o complejos viaductos elevados.

Especifican las normas que un terreno para un hospital, dependiendo de su nivel de complejidad, debe estar ubicado cerca de una vía importante que comunique áreas en desarrollo de la ciudad y en algunos casos a otros municipios. Este aspecto también se hace obvio tenerlo en cuenta, tal como se mencionó antes, al tratar de manera general los factores de riesgo, pues depende de una buena comunicación con el casco urbano que se salven muchas vidas en caso de desastres ocasionados por sismos, incendios, inundaciones, etc.

No es conveniente que el sitio para el hospital quede antes o después de una única vía conectada por un puente, pues en el caso de que el puente sea afectado por una inundación o un sismo, el hospital quedaría incomunicado.

### Servicios públicos

Otro aspecto que consideran las normas de una manera un tanto superficial es el de los *servicios de agua, luz y alcantarillado*. Igualmente desde hace muy poco tiempo se comenzó a tratar el tema del suministro de gas a las instalaciones. En lo referente al suministro de agua es bien claro que en caso de un terremoto éste se convierte en uno de los puntos más vulnerables del edificio así como también en épocas de intenso verano o sequía. Las normas además de prever el suministro normal de agua, deben prever que el hospital sea autosuficiente en este servicio durante un tiempo prudencial que cubra situaciones de desastre. Además deben tener en cuenta que las tuberías de suministro de agua y de fluido eléctrico sean diseñadas de tal manera que ofrezcan la suficiente flexibilidad para absorber las deformaciones que impone un movimiento sísmico y la posibilidad de contar con el servicio en caso de incendio u otros desastres similares.

En la selección del lote o el terreno para un hospital las normas especifican que debe estar dotado de *servicios públicos*, entendiéndose por ésto lo referente a suministro de agua y luz. Es bien conocido que las líneas vitales o infraestructura de servicios es uno de los elementos más vulnerables en situaciones de desastre, lo cual incluye acueductos, alcantarillados, redes de energía, comunicaciones, redes de gas, entre otros. En consecuencia, este aspecto debe ser uno de los de mayor consideración para lograr que el servicio hospitalario pueda continuar después de ocurrido un evento desastroso intenso.

## ASPECTOS DE ZONIFICACION EXTERNA

### Accesos alternativos

Es indispensable ubicar el edificio para el hospital, no solamente adyacente a una vía importante, sino quizás por dos o tres que den la posibilidad de tener accesos alternos, que

permitan la llegada o salida de pacientes en forma alternativa. Es importante agregar a las normas que las vías en lo posible deben ser de buenas especificaciones y que es necesario establecer con las autoridades competentes de la localidad, la elaboración de planos indicativos de la manera como se puede evacuar la zona, indicando conjuntamente, las acciones que se tendrán que llevar a cabo para que el tráfico no sea interrumpido. Esto permite establecer claramente las rutas de acceso y evacuación y sus diferentes posibilidades, dependiendo de las zonas afectadas.

Como se ha podido ilustrar, el acceso vehicular al hospital es uno de los aspectos críticos que debe tenerse muy en cuenta no solamente en el caso de futuros diseños sino en el caso de edificaciones existentes, pues aun cuando los servicios no sean afectados directamente por un desastre, un difícil acceso podría colapsar la función del hospital e impedir que pueda operar en el momento que más se necesita.

El área libre debe brindar la posibilidad de ubicar un helipuerto que debe estar localizado cerca del acceso de urgencias. Figura 32. Este helipuerto debe estar planeado en conjunto con las autoridades competentes, quienes pueden dar las pautas y normas referentes a su ubicación, tamaño, señalización, área de influencia, etc. Además es necesario que dicho helipuerto esté relacionado de una forma directa con la entrada de Urgencias. Este acceso debe ser libre de cualquier obstáculo o barrera arquitectónica que imposibilite el arribo de camillas, equipos médicos, suministro de gas, etc. en situaciones de emergencia. Las especificaciones de caminos desde el edificio hasta el helipuerto deben cumplir con normas de acabados resistentes a la intemperie, de superficies antideslizantes, fácilmente identificables en el día o la noche, durables, etc., condiciones que brinden la posibilidad de acceder segura y fácilmente. Se considera que cumplidos los anteriores requisitos la norma quedaría complementada y por consiguiente se habrá avanzado en uno de los puntos de mitigación, agregando un aspecto más a la adecuada prestación de servicios hospitalarios en situaciones de desastre.

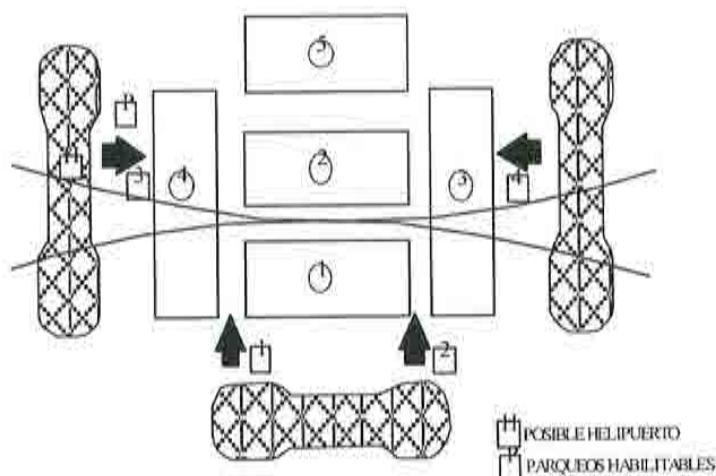


FIGURA 32. UTILIZACION DE AREAS LIBRES

#### Areas de parqueo

Las normas al hacer mención a las zonas de parqueos, simplemente hacen referencia a la solución de problemas relativos al flujo y estacionamiento de vehículos. Sin embargo, algunas indicaciones en cuanto a su ubicación y servicios necesarios en estas áreas convertiría a la zona de parqueos en un sector vital para la atención de desastres.

A manera de ejemplo, las normas podrían contemplar entre otros los siguientes aspectos: además de especificar el número de parqueos por cama, se podría agregar que un porcentaje de dicha área podría ser ubicada adyacente a la zona de Urgencias, en razón a que este sector puede ser habilitado como área para la atención prehospitalaria; la zona de

parqueos podría ser utilizada para llevar a cabo la clasificación de heridos o triage en el caso de una atención masiva de heridos, evitando la congestión del hospital (Ref. 65). Por otra parte, esta zona debe estar dotada de tomacorrientes especiales para la intemperie y brindar así la posibilidad de conectar equipos médicos, que son necesarios en momentos de un desastre mayor. Además esta área debe estar dotada de suministro de agua, para atender casos masivos de personas quemadas e intoxicadas.

Todos estos aspectos podrían ser más precisados en la medida que las ideas anteriores tengan mayor aceptación y se realice un análisis profundo multidisciplinario que dé pautas de tamaño, cantidad, volumen etc. De las áreas libres también se pueden mencionar aquellas que en un determinado momento podrían ser ocupadas por hospitales móviles, ampliando así la atención de pacientes. En consecuencia además de los servicios de agua y luz sería necesario considerar la posibilidad de disponer el suministro de gas, alimentación, medicamentos, etc.

Es importante delimitar y señalar muy bien el área de parqueo de ambulancias, recorridos de llegada y evacuación, pues de este aspecto depende en gran medida la organización del hospital en situaciones normales de funcionamiento y aún más, en momentos de una crisis motivada por una atención masiva de heridos.

No debe dejarse de lado muchos otros temas importantes que también podrían ser objeto para implementar medidas de mitigación de riesgos, tales como zonas verdes, localización y tipo de árboles, veredas, etc. que se recomienda analizar en forma creativa con fines de complementar las normas existentes.

De lo anterior se puede visualizar al hospital como un servicio dinámico y no como una edificación paralizada que debe ser evacuada y olvidada ante la ocurrencia del desastre; situación que depende de su capacidad de soportar y responder adecuadamente ante el evento, lo cual depende a su vez de la coherencia entre la solución estructural y la solución arquitectónica.

### **Suministro de energía**

Teniendo en cuenta que el sistema eléctrico es uno de los servicios más vulnerables en situaciones de desastre, una medida que podría reducir el riesgo de pérdida del servicio podría ser que *la casa de máquinas, la subestación y las plantas de emergencia* se localicen en una estructura separada de la estructura del edificio del hospital, diseñada muy rigurosamente desde el punto de vista estructural, con el fin de evitar que en caso de un terremoto, por ejemplo, este servicio se interrumpa por su falla parcial o total. Es importante mencionar que estos servicios no sólo son importantes para las áreas hospitalarias, sino también, en el caso de que un desastre alcance a afectar las edificaciones principales, para atender las áreas libres aledañas al hospital donde se podrían colocar hospitales móviles, zonas de triage, etc.

Al hacer mención del suministro de energía, es necesario tener en cuenta, que además del fluido eléctrico público hay necesidad de dotar al hospital de una *planta de emergencia* de capacidad suficiente para atender por lo menos un 70% del consumo del edificio. El 50%, como lo indican las normas, puede ser insuficiente, más si se considera que esta recomendación es bastante antigua, época en la cual no existía la actual tecnología.

No obstante, lo anterior se refiere a la capacidad de la planta de respaldo, pero es importante preguntarse en qué forma se debe manejar ese suministro de energía, cómo se deben realizar las redes y qué recomendaciones podrían sugerirse para que este servicio fundamental no falle en caso de un desastre.

### **Suministro de agua**

El suministro de agua merece especial atención dado que es vital en todas las áreas. Por esta razón se debe tener en cuenta que:

- a) Las normas indican que se debe contar dentro del hospital con un determinado número de metros cúbicos de agua por cama, especificación que varía de un sitio a otro.
- b) Dependiendo de la ubicación del hospital en algunos casos podría proveerse de tanques de reserva para momentos de sequía, los cuales podrían ser alimentados por pozos profundos una vez se realice el respectivo tratamiento de sus aguas.
- c) Es conveniente para la ubicación de este sistema de abastecimiento tener en cuenta una estructura independiente.
- d) El sistema de ductos que unen al hospital con los servicios urbanos merece un diseño especial que le permita por su flexibilidad sobrevivir y continuar el servicio después de un evento sísmico intenso.
- e) Se deba exigir que en los edificios existentes y futuros se localicen sistemas de tratamiento de aguas servidas antes de entregarlas a los colectores de la ciudad. Dichas aguas son en la mayoría de los casos vertidas a los sistemas de alcantarillado, ríos o quebradas sin ningún tratamiento, causando efectos sobre el medio ambiente y poniendo en peligro la comunidad por posibles infecciones y contaminaciones masivas que crearian otros tipos de situaciones de desastre

### **Suministro de gas**

Uno de los servicios que merece especial atención son las redes de suministro de gas para uso doméstico. En algunos países sólo hasta hace poco tiempo se inició este tipo de servicio, razón por la cual se está en el momento oportuno para incorporar especificaciones especiales en el diseño y construcción de este tipo de redes que permita reducir las posibilidades de emergencias, particularmente después de terremotos. Válvulas de cierre automático por vibración y cambios de presión son recomendadas no sólo sobre las líneas urbanas sino también en edificaciones importantes como los hospitales.

### **ASPECTOS DE ZONIFICACION INTERNA**

Existen muchas normas que regulan los hospitales las cuales están relacionadas con el tamaño, la función y utilización de los sectores, pero no existe alguna que indique un posible cambio de uso en situaciones de desastre. También son muchos los indicadores de las especificaciones de acabados, pero todos orientados a la asepsia, durabilidad y a la presentación, no existiendo ninguno que especifique de alguna manera qué podría hacerse para la mitigación de desastres. Por tal razón, se hará énfasis especial al analizar cómo a través del cambio de uso y especificaciones de construcción, distribución y función dentro de las normas, se podrían insertar los aspectos de mitigación, pues se considera que existiendo un cambio en la utilización de algunas áreas con funciones específicas, en situaciones de emergencia se podría dar una mejor respuesta a la utilización del edificio hospital.

Se ha hecho referencia a aspectos generales de zonificación y distribución de un hospital, en adelante se hará referencia a cada una de las cinco áreas del hospital en particular, haciendo énfasis en su distribución, cómo se interrelacionan estas zonas (Figuras 33, 34 y 35) y los posibles cambios internos y externos tendientes a convertir estos sectores en áreas más eficientes en caso de emergencia.

Como una medida de mitigación en la zonificación general se ha planteado la posibilidad de tener dos edificaciones con características muy particulares. Una, que sería considerada como el área científica y la otra que contenga los Servicios Generales, que es controlada desde la administración.

Se puede identificar como área científica el conjunto de cuatro sectores: Administración, Servicios Ambulatorios, Servicios Intermedios y Hospitalización.

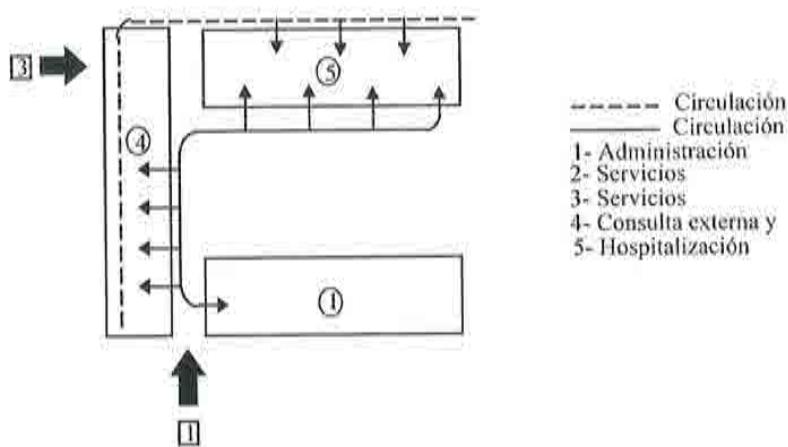


FIGURA 33. INTERRELACIONES CONSULTA EXTERNA

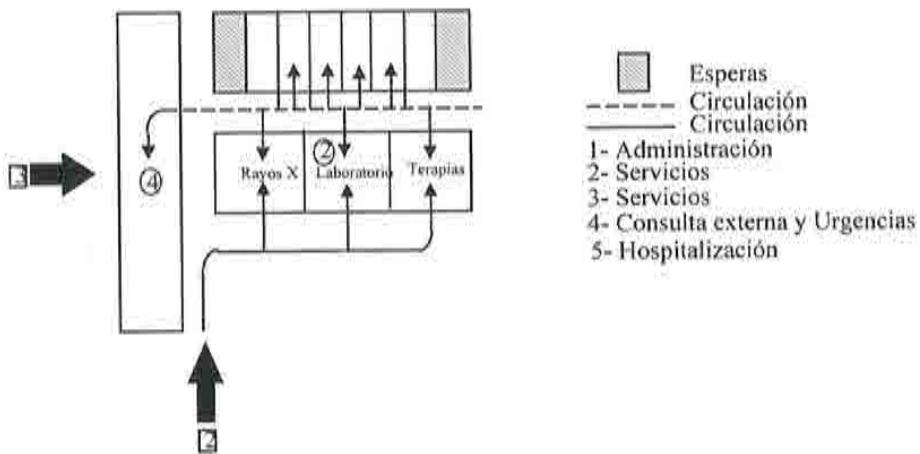


FIGURA 34. INTERRELACION SERVICIOS INTERMEDIOS Y HOSPITALARIOS

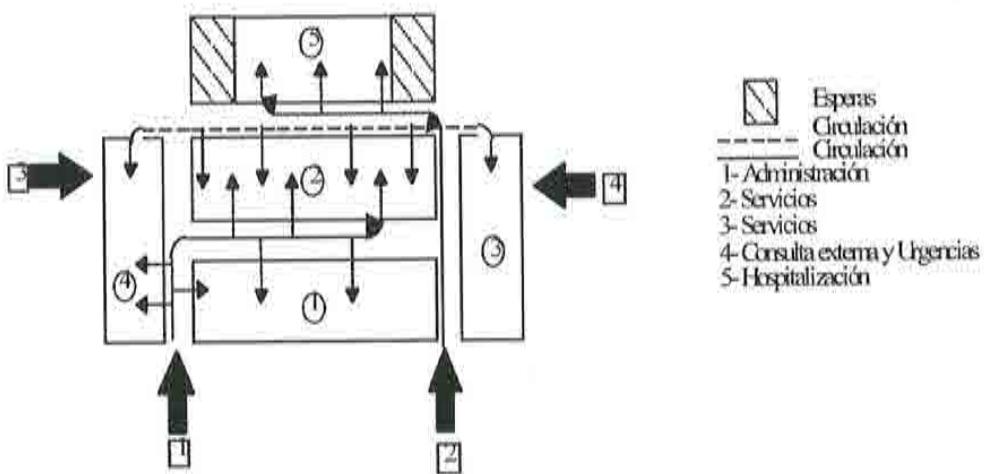


FIGURA 35. INTERRELACIONES SERVICIOS GENERALES

### Administración

Esta área como su nombre lo indica es el gobierno del edificio tanto en el aspecto científico, como financiero y organizativo (Figura 36). Sus espacios corresponden a oficinas de Dirección, Contabilidad, Sindicatura, etc. Además se contemplan dentro de esta área sectores que ubicados en puntos estratégicos bien podrían servir para ser utilizados en casos de

desastre como las salas de reuniones, conferencias, cafeterías, bibliotecas, etc.

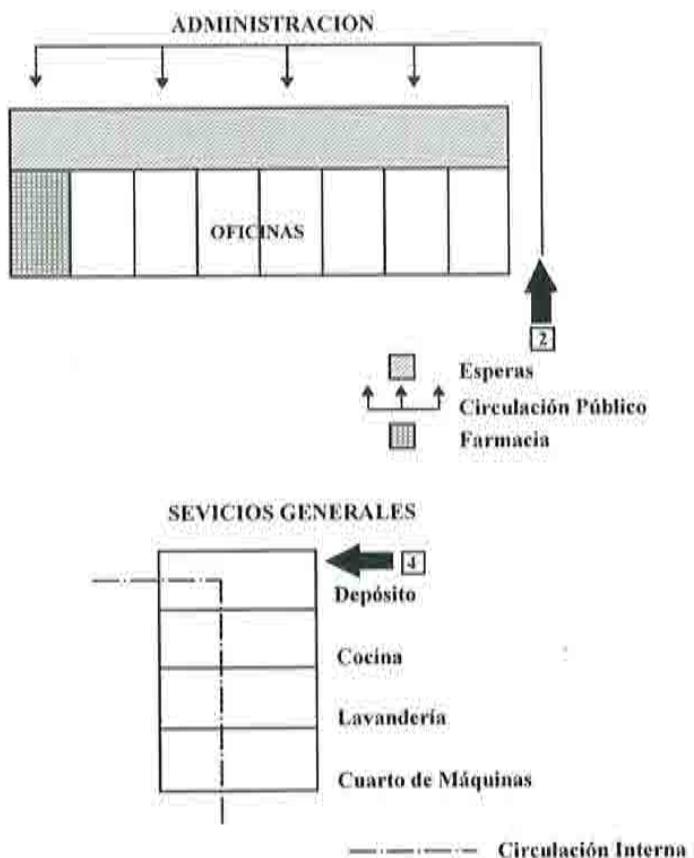


FIGURA 36. ADMINISTRACION

Por ser el corazón de la organización del conjunto tiene relación directa o indirecta con las circulaciones externas o internas y en especial con la de Servicios Generales. Su ubicación debe ser inmediata a éstos y debe existir el máximo de dominio visual de esta zona sobre el área de descargue.

#### Servicios Ambulatorios

El área de *Servicios Ambulatorios* contiene dentro de su propia organización funcional la sala de *Urgencias*, considerada como área vital para atender pacientes en caso de emergencia y por consiguiente muy importante para tenerla en cuenta en los aspectos de mitigación de desastres.

En situaciones normales de funcionamiento el área de *Urgencias* se ocupa de la atención del 10% de los pacientes que llegan al sector de atención ambulatoria, mientras que el 90% restante es atendido por el sector de la *Consulta Externa*. En situaciones de desastre, dependiendo de su magnitud, la proporción es totalmente a la inversa, asunto que de inmediato sugiere pensar en una solución, es decir, en qué forma se pueden plantear ajustes en las funciones que corresponden a la *Consulta Externa* para que en momentos de una emergencia este sector apoye la respuesta del hospital (Ref. 97).

Es importante agregar a lo anterior que el área de *Urgencias* debe estar ubicada de tal forma que su circulación interna se pueda conectar con los sectores de espera de la consulta externa, de tal manera que en situaciones de desastre ésta se pueda desalojar permitiendo la ubicación de camillas y equipos necesarios adicionales para la atención de pacientes. Por esta razón se ha planteado que la ubicación del área roja, entre el acceso del exterior y su

prolongación hacia las zonas de espera de la consulta externa es de gran importancia para que se cumpla la eficiente relación de los servicios en el caso de emergencia, los espacios del área blanca, no obstante colocados paralelamente al área roja, ofrecen la oportunidad de ser utilizados para llevar a cabo un triage provisional o la clasificación de pacientes que se dirigen al área roja, al sector de espera o a otras posibles áreas que se ubiquen en forma adyacente en el exterior. De lo anterior se puede concluir, que el área de *Urgencias* no solamente puede tener expansiones hacia el exterior, sino también que las puede tener hacia las zonas interiores.

En el sector de *Urgencias* es importante ubicar de manera estratégica la estación de enfermería, para ofrecer la posibilidad de que ésta se pueda convertir en un área para la redistribución del sector, asignándole la función de administrar el servicio y convirtiéndose así en el centro de la información, administración y comunicaciones. En el caso de un desastre mayor posiblemente la *Consulta Externa*, propiamente dicha, no prestará el servicio al público, razón por la cual este servicio se puede habilitar temporalmente para atender los heridos que haya causado el evento.

Si los espacios dedicados a consultorios, inyectología, vacunación, etc., de la *Consulta Externa* están diseñados de una manera sencilla y con especificaciones de acabados que den condiciones de asepsia, en situaciones de emergencia se pueden utilizar como ambientes para el funcionamiento de salas de procedimientos y algunos espacios como el de inyectología y vacunación pueden utilizarse para pequeña cirugía.

En la mayoría de los casos la *Consulta Externa* es un área que está localizada cerca o adyacente al vestíbulo o hall principal, espacio que se podría convertir en área útil para la atención masiva, ofreciendo de esta manera una posibilidad más, donde el cambio de uso permite aumentar más el área de atención a pacientes en situaciones de desastre (Figura 37).

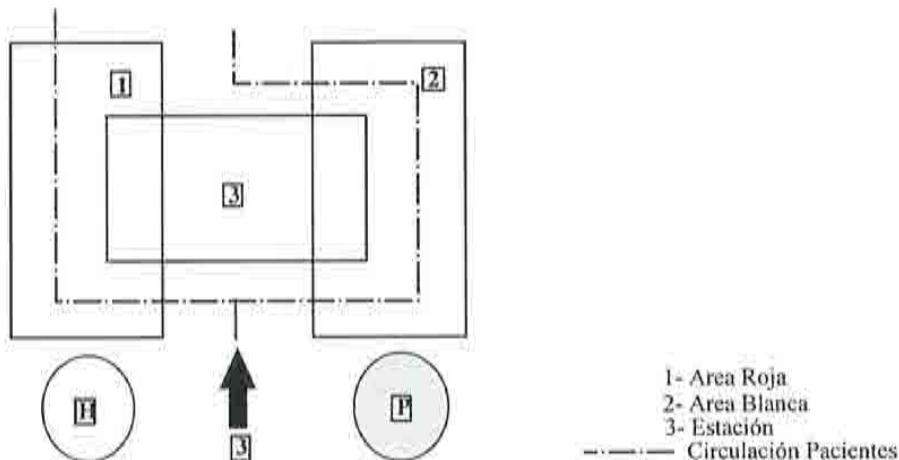


FIGURA 37. ÁREAS GENERALES DE URGENCIAS

Vale la pena tener en cuenta que en lo referente a instalaciones técnicas hay necesidad de prever en los sectores de espera, la posibilidad de conectar equipos de Rayos X portátiles, oxígeno, resucitadores, monitoreo, etc., para que el área se pueda habilitar eficientemente.

Al tener en cuenta las anteriores observaciones, todo el sector de *Consulta Externa* se puede habilitar como una gran área de urgencias en situaciones de desastre, si las condiciones de seguridad del edificio lo permiten (Figura 38).

Por lo anterior se puede deducir que la *Consulta Externa*, *Urgencias*, los sectores exteriores adyacentes, las zonas de espera y el área del vestíbulo principal se podrían convertir en una gran central de Servicios de *Urgencias*, con una distribución que tiene características de alta eficiencia, tal como se puede ilustrar en el esquema (Figura 39).

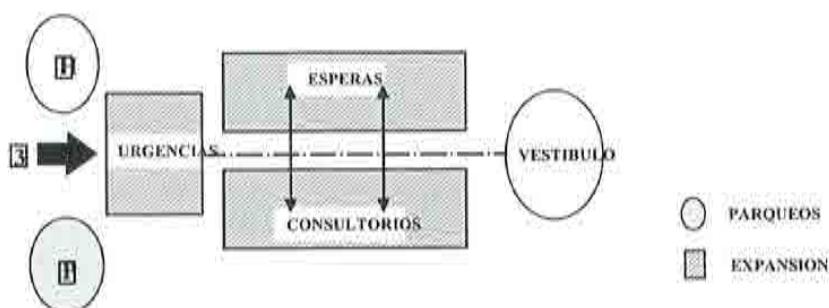


FIGURA 38. EXPANSION DE URGENCIAS HACIA VESTIBULO Y CONSULTORIOS

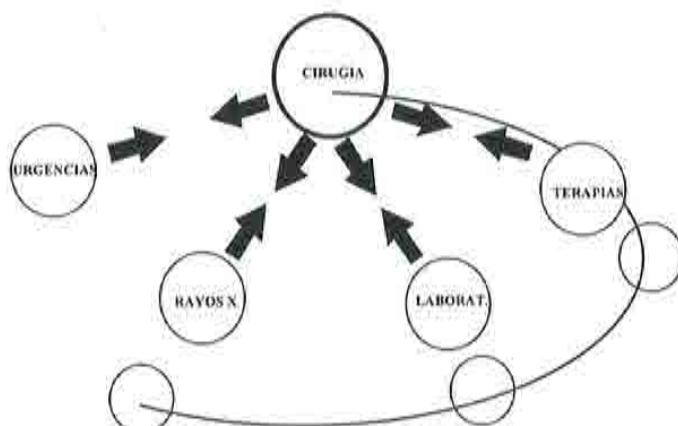


FIGURA 39. UBICACION CIRUGIAS Y SERVICIOS INTERMEDIOS

### Servicios Intermedios

Un sector considerado vital para el desarrollo de un buen Servicio de *Urgencias* es el destinado a Ayudas de *Diagnóstico y Tratamiento* (Figura 40). En este sector, dependiendo del planteamiento arquitectónico, se pueden proponer soluciones similares a las hechas para los espacios de *Consulta Externa*, o sea, la posibilidad de convertir las áreas de espera ubicadas sobre las circulaciones externas en posibles sectores de atención a pacientes (Figura 41). Por esta razón, además de las instalaciones eléctricas necesarias y comúnmente utilizadas en esta zona es necesario prever la posibilidad de que se puedan instalar equipos especiales para este tipo de situaciones, de la misma forma como se indicó anteriormente.

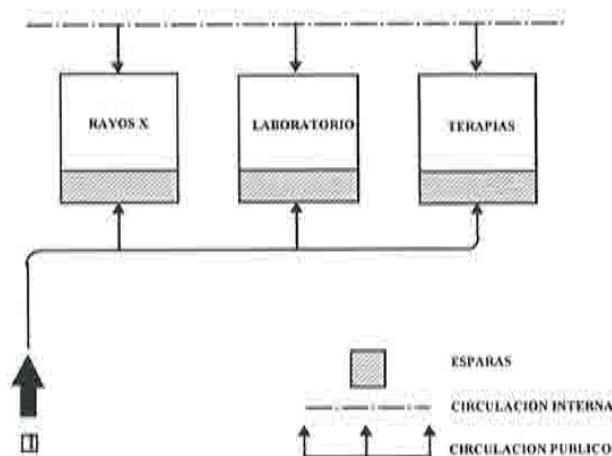


FIGURA 40. SERVICIOS INTERMEDIOS

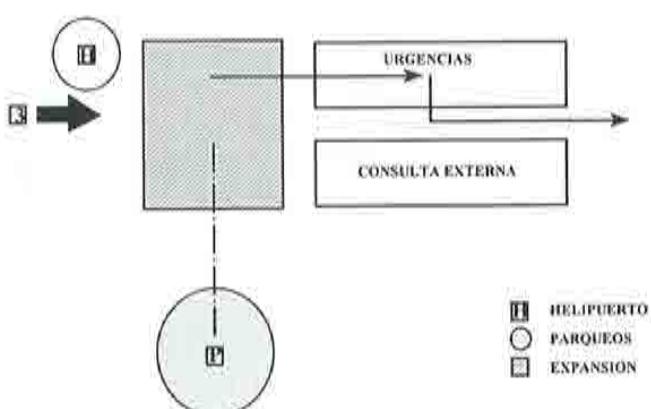


FIGURA 41. EXPANSIÓN DEL ÁREA DE URGENCIAS

El área de *Diagnóstico y Tratamiento* se considera importante para ser utilizada en el momento de un desastre, dado que permite ampliar el área de urgencias y porque puede convertirse en un filtro final dentro de los procedimientos operatorios. Una vez efectuados los procedimientos rutinarios en los sectores en que se realiza el triage, el área de *Diagnóstico y Tratamiento* puede permitir una clasificación especial en el *Salón de Ejercicios*, que por sus características y acabados perfectamente puede cumplir la función de zona de preparación e inducción preoperatoria; todo lo anterior complementado con la cercanía de los servicios de Rayos X y Laboratorio, que son indispensables para poder pasar a un proceso operatorio.

Las áreas de *Fisioterapia* y en especial la *Sala de Ejercicios* ubicada en el área de ayuda diagnóstica y tratamiento, se convierten, por varias razones, en un sector vital para ser utilizado en situaciones de desastre.

Una de ellas es su ubicación, dado que se encuentra entre las circulaciones interna y externa, situación que le permite convertir el sector en filtro hacia la zona de Rayos X, laboratorio y el centro quirúrgico. Otra razón importante se debe a su tamaño, que permite ofrecer una capacidad suficiente para que sea utilizada como filtro o antesala para acceder al área quirúrgica. Una tercera razón es que en la mayoría de los casos las especificaciones de acabados de este sector, ofrecen buenas condiciones de asepsia. De lo anterior se desprende que el sector de Terapias es un área supremamente útil para que en determinado momento su uso sea orientado a satisfacer nuevas necesidades.

Por otra parte es importante anexar a este sector el área del *Centro Quirúrgico y Obstétrico*, que en la mayoría de los casos está ubicado en niveles superiores a los de las ayudas diagnósticas (Figura 42).

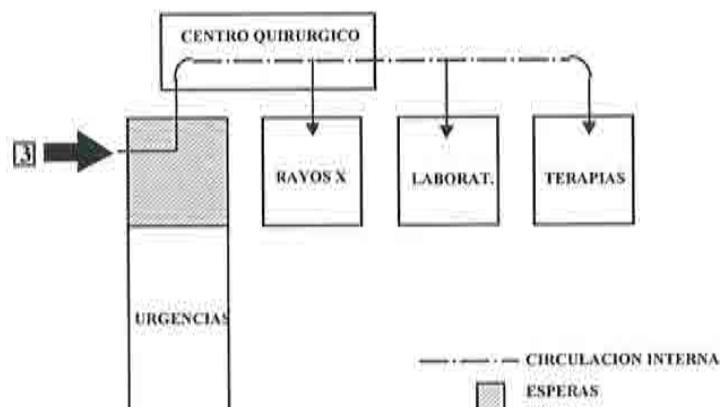


FIGURA 42. NUEVA UBICACIÓN CIRUGIA

Una recomendación importante en relación con este sector, en cuanto a mitigación de desastres, se refiere a que las normas deben especificar que la ubicación del *Centro Quirúrgico* en los edificios de hospitales debe estar en las plataformas básicas, las cuales son menos vulnerables que los pisos superiores, lo que puede brindar una mayor garantía para la prestación del servicio.

Complementaría los cambios sugeridos para adecuar el diseño hospitalario ante situaciones de desastre el que las normas de distribución de áreas especificaran con la debida precisión, que el *Centro Quirúrgico* por ser un *Servicio de Diagnóstico y Tratamiento*, debe ser ubicado adyacente al área de *Servicios Intermedios*, situación que es posible si los *Servicios Generales*, ocupan la posición sugerida fuera del edificio principal.

En el interior del *Centro Quirúrgico* son muy pocas las variaciones que se pueden plantear, dadas las funciones que allí se desarrollan, pero sí vale la pena anotar que las especificaciones para redes eléctricas deben cumplir los requisitos máximos de seguridad, en lo referente a alturas de tomas, pisos conductivos; requerimientos básicos para evitar posibles explosiones, por concentración de gases medicinales. Los sistemas de renovación y suministro de aire para mantener las presiones internas deben cumplir, también, condiciones de máxima seguridad y flexibilidad, que permitan absorber movimientos en caso de sismo.

Otro aspecto importante de la adecuación arquitectónica que se propone es la cercanía a las áreas de *Rayos X* y *Laboratorio*, como también al área de *Urgencias*, evitándose recorridos verticales y acortándose el tiempo de traslado de pacientes. Este cambio es factible si se realiza la adecuación de las zonas de *Servicios Generales*, dado que ubicados éstos en un sector aparte, tal como se sugirió anteriormente, el desplazamiento de estos servicios daría la oportunidad de relocatear funcionalmente, no solamente los servicios de cirugía, sino también la *esterilización central*, la unidad de cuidados intensivos y el *servicio de obstetricia*.

### Hospitalización

Como bien se conoce, el área de *Hospitalización* es uno de los sectores sobre los cuales más se ha reglamentado a través del tiempo, pero poco o nada se ha reglamentado en relación con la mitigación de desastres; asunto que se considera de gran importancia. Como se mencionó anteriormente, en la mayoría de los casos este servicio se encuentra ubicado en los pisos superiores de los edificios hospitalarios, por lo tanto o más importante es el diseño apropiado de las vías de escape, las cuales deben permitir la evacuación de pacientes en camillas y sillas de ruedas, así como de personal del hospital y visitantes. Figura 43. Los recorridos tendrán que ser dimensionados de tal forma que desde una estación de enfermería exista un recorrido máximo de aproximadamente 35 metros, de manera que las escaleras de incendio queden a una distancia que no supere esta recomendación y que las esclusas corta fuego queden debidamente colocadas.

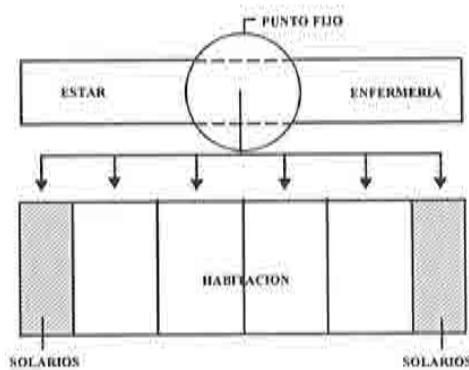


FIGURA 43. HOSPITALIZACION

### Servicios Generales

No solamente con fines de mitigación y prevención, sino con fines de administración del edificio, se considera fundamental explorar la posibilidad de que el sector de Servicios Generales esté separado del bloque general de la edificación del hospital (Figura 44).



**FIGURA 44. DISTRIBUCION DE SERVICIOS GENERALES**

Las siguientes son las razones por las cuales resulta deseable esta medida dentro del diseño arquitectónico hospitalario:

- En el sector de Servicios Generales por lo regular está ubicada la zona de calderas, que en la mayoría de los casos se convierten en peligrosas bombas de tiempo que pueden producir desastres incalculables en momentos de una eventual explosión. Colocadas las calderas fuera del edificio principal los daños a la infraestructura general serían leves en caso de una explosión, afectando en un menor grado el funcionamiento del hospital. Algo similar puede decirse en relación con la central de gases del hospital, situación que si bien es cierto aumentaría los costos iniciales de construcción, al comparar dicho costo con el costo de los daños que podrían evitarse resulta poco significativo.
- Otro servicio que comúnmente se ubica en el sector de Servicios Generales es la planta de emergencia. Servicio que también podría quedar independiente, no tanto por los riesgos que ofrece, sino por su posible utilización en momentos críticos. Al localizarse fuera del edificio central, en caso de incendio o terremoto esta planta podría ser utilizada para adelantar muchas acciones ya sea en campo abierto o en sectores del edificio que no hubiesen sido afectados. Dado que con la planta eléctrica de emergencia se ubican la subestación y los tableros, todo este conjunto de servicio de energía quedaría localizado en la estructura independiente propuesta, cuyas especificaciones sismo-resistentes pueden ser mucho más estrictas, con el fin de garantizar su funcionamiento aun en el caso de un sismo intenso.
- Por las mismas razones, se considera conveniente ubicar en este sector los servicios de telefonía, radiocomunicación, etc., que al igual que para el sistema de energía en el caso de una situación de desastre su utilización podrá ser factible. Tal como se mencionó, también resulta deseable situar en esta área en lo posible los tanques de almacenamiento del hospital. Ya que éstos en la mayoría de los casos están ubicados en los pisos superiores del edificio, aumentando las cargas en la estructura, convirtiéndose en un factor de riesgo más. Si estos servicios se ubican en la estructura independiente propuesta para el sector de servicios generales no solamente se reducirían las cargas laterales sobre el edificio principal en caso de sismo, sino que sería más factible garantizar su funcionamiento permanente y continuo de suministro de agua durante la fase posdesastre. Con el suministro eléctrico garantizado, los equipos hidroneumáticos se mantendrían en operación, permitiendo alimentar el edificio y el sistema de protección contra incendios,

- lo que significaría una garantía más en la mitigación y prevención de desastres.
- d) Por su naturaleza, sería conveniente también localizar dentro de la estructura propuesta, el Servicio de Cocina, dado que contaría con los otros servicios de agua, luz y gas. Este servicio podría en estas condiciones ofrecer el suministro de alimentos no sólo para los sectores utilizables del edificio del hospital sino, también, para las áreas adaptadas en las áreas libres.
  - e) Algo similar sucedería con el Servicio de Lavandería, con el cual se completaría el paquete de posibles ofertas de servicios disponibles y en funcionamiento, ya sea para atender la totalidad o algunas áreas del hospital afectado por el evento o para un posible hospital a campo abierto.

Es conveniente anotar que lo anterior puede ser posible si se cuenta con la intervención de todo un equipo multidisciplinario, donde participen además del personal médico y paramédico, ingenieros, arquitectos, planificadores, etc., que tendrían como objetivo hacer un planteamiento general de acciones, responsabilidades, movimientos y soluciones físicas a la recomendación anterior (Figura 45).

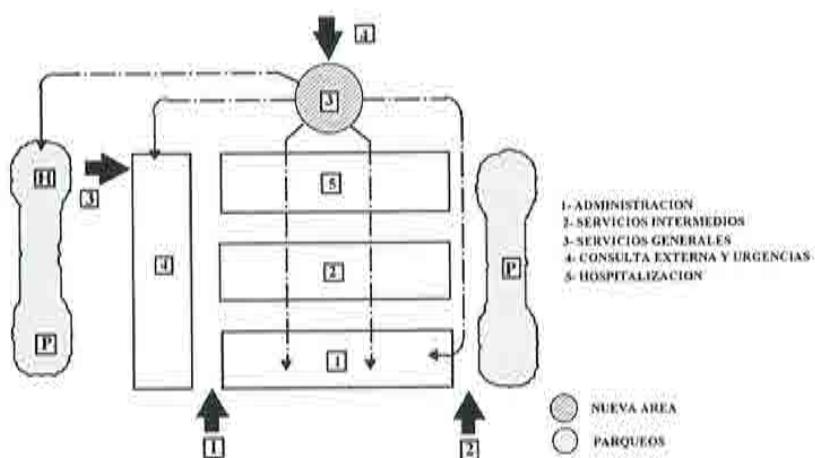


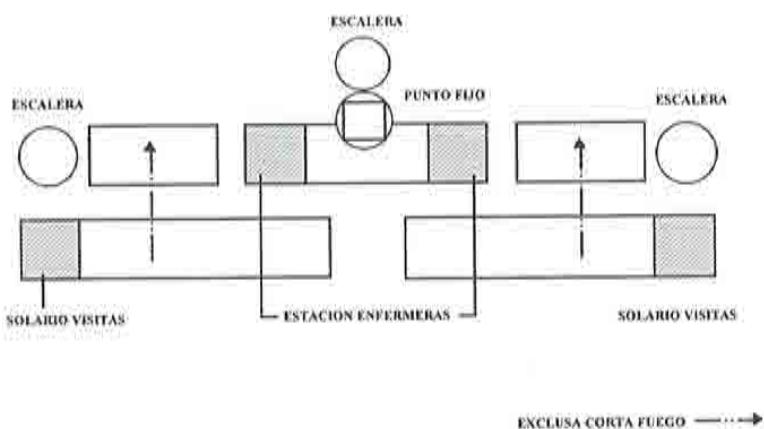
FIGURA 45. NUEVA AREA DE SERVICIOS GENERALES

Esta nueva área o sector del hospital puede imaginarse como un "bunker", que alberga un conjunto de equipos vitales, similar a una unidad de cuidados intensivos, que tendría como objetivo alimentar y controlar en caso de desastre los servicios de comunicación, suministro de energía, agua, gas, etc. ya sea para atender la operación total o parcial del hospital o incluso, en un caso extremo, a un hospital a campo abierto.

## OTROS ASPECTOS DE FUNCIONALIDAD

Es muy importante tener presente qué hacer o qué prever en momentos de incendios. Un primer aspecto está relacionado con la *red contra incendios*, la cual debe ser mantenida y verificada periódicamente, con el fin de que en situaciones de desastre se encuentre en perfecto funcionamiento (Ref. 112). Existe para este tipo de edificaciones una norma en la cual se indica que las *escaleras* para incendio no deben quedar a más de 35 metros de distancia, que los materiales deben ser incombustibles y otras especificaciones relativas a las dimensiones de ancho, alto, inyectores de aire, etc. (norma que infelizmente muy poco se aplica). Esta norma además podría recomendar que en algunos casos las escaleras podrían no llegar al primer piso, sino a las terrazas de la plataforma básica, con excepción de las previstas para el público, de tal forma que no se congestione el primer piso y por el contrario que las personas se puedan dispersar sobre la plataforma, de tal manera que evacuen utilizando las escaleras externas o de bomberos.

Se considera importante también introducir al diseño del hospital *esclusas cortafuegos*, que consisten en puertas corredizas debidamente embebidas en los muros, con especificaciones de materiales resistentes al fuego que aíslan el sector evitando la propagación del fuego. Esto en conjunto con las *especificaciones de materiales* son aspectos de especial relevancia para lograr mitigar y prevenir desastres en los hospitales (Ref. 110) Figura 46.



**FIGURA 46. DISTRIBUCION GENERAL.**

La señalización es uno de los aspectos de especial importancia en un hospital, no solamente para la orientación de los usuarios en el momento de la utilización de los servicios, sino que es muy importante para la evacuación del edificio en momentos de desastres. Por lo anterior su ubicación estratégica es importante, ésta debe indicar las rutas de evacuación hacia escaleras de emergencia, salidas no comúnmente usadas y diseñadas especialmente para estos casos. Además, se deben indicar extintores, anaqueles de mangueras y equipos de incendio, puertas corta-fuegos en el momento que éstas existan, teléfonos de emergencia, etc. De una buena señalización depende una buena evacuación del edificio. La señalización, no solamente debe abarcar el interior del edificio, sino que también debe empezar en el exterior y aun más, la trama urbana circundante, de tal forma que la información de la ubicación del hospital sea conocida por la ciudadanía desde cualquier sitio de la ciudad. Deben existir en el inventario de emergencia, suficientes paneles de información, que contengan la señalización necesaria, para ser colocada en los sitios interiores y exteriores, donde se extiendan los servicios del hospital. Una buena señalización de rutas es la que, con líneas de colores correspondientes a cada área del hospital, se coloca integralmente en pisos o muros.



## CAPITULO 5

### RESPUESTA EN CASO DE EMERGENCIA

Debido a sus características geológicas, topográficas, hidrometeorológicas y a su estado de desarrollo industrial y social, los países de América Latina se encuentran expuestos a la ocurrencia de desastres naturales, como movimientos sísmicos, erupciones volcánicas, inundaciones, huracanes, deslizamientos de tierra, etc. y a la manifestación de desastres o accidentes provocados, tales como incendios, explosiones, derramamientos de productos químicos contaminantes, escapes de gases tóxicos, etc. Estos eventos además de causar, en la mayoría de los casos, grandes traumatismos de orden económico y social también afectan en una forma súbita y significativa el estado y condiciones de salud de la población expuesta, debido a la presentación de un número determinado de muertos y heridos y la manifestación de alteraciones ambientales y epidemiológicas.

Si a lo anterior se agrega la vulnerabilidad estructural, no-estructural y funcional de las instalaciones de salud, la necesidad de elaborar planes de emergencia hospitalarios es evidente. Dichos planes permiten proteger en primera instancia a los pacientes hospitalizados, al personal, y a los visitantes y en segunda instancia los equipos e instalaciones manteniendo, además, la capacidad de prestación de servicios ante una mayor demanda, como consecuencia de desastres. Este plan debe ser operativo, funcional, y flexible, de tal manera que pueda adaptarse a las condiciones planteadas, debe ser conocido por todo el personal del hospital y debe ser revisado y actualizado por lo menos una vez al año.

Internamente, cada uno de los servicios que presta el hospital tendrán una mayor o menor importancia en el manejo de emergencias. Algunos de los servicios resultan indispensables, por lo que requerirán de soporte de personal y logístico (agua, electricidad, suministros), mientras que otros podrían ser prescindibles. El Cuadro 9 presenta una categorización de los servicios por su importancia en la atención de emergencias.

#### EMERGENCIAS EXTERNAS AL HOSPITAL

Las amenazas que pueden desencadenar una situación de emergencia o desastre, pueden ser clasificadas en dos grupos: previsibles e imprevisibles. Las primeras, como su nombre lo indica, permiten por parte del sector salud tomar una serie de pasos previos, que van desde una etapa de alerta, en la cual se definen tres grados con sus respectivas categorías de alistamiento, hasta llegar a la fase de atención misma de la emergencia. A diferencia, en las segundas no hay posibilidad de establecer un alistamiento previo, y tendrá que iniciarse directamente en la fase de atención.

Actividades típicas del Hospital (sistemas y subsistemas)	
Servicios clínicos y de apoyo	Importancia en caso de emergencia
Medicina interna	3
Neumología	2
Medicina	4
Traumatología y Ortopedia	5
Cirugía Infantil	4
Pediatría	4
Ginecología y Obstetricia	3
UTI - UCI	5
Dermatología	1
Neurología	2
Psiquiatría	1
Oftalmología	2
Oncología	1
Otorrinolaringología	1
Urología	5
Laboratorio	4
Urgencias	5
Esterilización	5
Odontología	1
Imageneología	5
Farmacia	5
Nutrición	5
Transporte	5
Lavandería	4
Administración	3
Terapias	1
Neonatología	3
Recuperación	5
Banco de Sangre	5
Hemodiálisis	4
Archivos	2
Unidad de Diagnóstico	2

Escala de importancia:

5: indispensable 4: muy necesario 3: necesario 2: preferible 1: prescindible

#### CUADRO 9. IMPORTANCIA DE LOS SERVICIOS EN CASO DE EMERGENCIA

Los estados de alerta pueden tener diversos grados de intensidad, de acuerdo a la gravedad del acontecimiento previsto y a la capacidad de respuesta del organismo asistencial. Usualmente se le ha asignado un color a cada grado así:

**Alerta verde.** Determina un alistamiento con retén domiciliario. El personal que se encuentra laborando en forma rutinaria en el hospital se organiza para atender una posible emergencia, el resto de funcionarios se encuentran fuera del hospital y permanecen disponibles a un llamado de refuerzo.

**Alerta amarilla.** Alistamiento con presencia física en el hospital. La organización cuenta con todos los recursos existentes, pero aún no se ha iniciado la atención de las víctimas del desastre.

**Alerta roja.** Se inicia una vez se establece la demanda asistencial a raíz del desastre; puede ir precedida de las anteriores o bien iniciarse directamente.

De acuerdo con la magnitud del desastre, se definen los niveles de preparación que irán desde la autosuficiencia, hasta la solicitud de ayuda externa, así:

- **Nivel I.** Los recursos humanos y físicos disponibles son suficientes para enfrentar la situación.
- **Nivel II.** Es necesario convocar todos los recursos del hospital para atender eficazmente la situación.
- **Nivel III.** Se sobrepasa la capacidad hospitalaria, y es necesario solicitar apoyo externo.

Una vez se declara la alerta roja desaparece la organización formal del hospital y se reemplaza por un esquema funcional cuyo modelo se mostrará en el aparte correspondiente.

## Componentes del plan de emergencias

### Identificación

Es necesario contar con una información básica del centro asistencial, que pueda ser empleada en un momento dado por el personal del hospital que no siempre conoce datos obvios tales como: dirección del centro hospitalario; tipo de institución (privada, oficial, mixta); nivel de complejidad; capacidad hospitalaria en términos de total de camas, camas disponibles en caso de una emergencia e índice ocupacional. Una descripción somera de los sistemas de comunicaciones con que cuenta el hospital, número de los teléfonos, fax y/o telex, frecuencias de radiocomunicación y el tipo de transporte que poseen como ambulancias en servicio y otros vehículos.

### Plano externo e interno del hospital

Todo plan de emergencia debe contar con un plano que contenga las vías de acceso al hospital y el flujo de los pacientes conforme a las prioridades de atención, localizando las áreas de triage, urgencias, hospitalización, cirugía, laboratorio, rayos x, morgue, información, etc.

### Alarma

Es la señal o aviso que se emite mediante una sirena, campana, silbato o mensaje dirigido al personal del hospital, con el fin de activar el Plan de Emergencia Hospitalario PEH ante una emergencia externa. Para ello es indispensable definir cómo se efectuará el recibo de llamadas de emergencia y el tipo de información que debe solicitarse. Esta puede recibirse mediante sistemas telefónicos disponibles durante las 24 horas o sistemas de radiocomunicaciones, que deben tener asignados operadores por turnos. Igualmente debe especificarse quién emite la alarma, cómo es su forma de transmisión: sirena, campana, silbato, mensajes por medio de perifoneo, altavoces o a viva voz; cómo se activará la cadena de comunicaciones o llamadas, proceso que debe iniciarse una vez se emita la alarma. Por ejemplo, el jefe de urgencias comunica al director del hospital o al encargado; en su ausencia establece contacto con algún miembro del Comité de Emergencia Hospitalario; estos a su vez establecen comunicación entre los integrantes de dicho comité, quienes realizan un llamado a los jefes de servicios, siguiendo la secuencia que se indica:

#### Jefe de Urgencias

- Director del Hospital
- Jefe de Atención Médica
- Jefe de Salas de Cirugía
- Jefe de Consulta Externa

#### Jefe de Enfermería

- Enfermera de Salas de Cirugía
- Enfermera de Hospitalización

#### Administrador

- Jefe de Mantenimiento
- Jefe de Estadística

#### **Organización funcional**

Durante la atención de una emergencia se suspende temporalmente la estructura orgánica formal de la institución y se reemplaza por una organización funcional, constituida por unos equipos de atención a las personas, servicios de apoyo diagnóstico y administración. El Cuadro 10 indica a manera de ejemplo las actividades esenciales en la atención en caso de sismo.

Atención de pacientes	Soporte médico	Soporte institucional
Urgencias	Farmacia	Puesto de Mando
Clasificación de heridos	Laboratorio Clínico	Departamento de Mantenimiento
Atención ambulatoria inmediata	Imágenes (Rayos X, etc.)	Centro de Información
Atención diferida (hospitalización)	Morgue	Nutrición
Quirófanos	Central de Esterilización	Suministros
Recuperación		Bodega
Cuidados intensivos		Comunicaciones

**CUADRO 10. ACTIVIDADES ESENCIALES EN LA ATENCIÓN POR SISMO**

#### **Comité de Emergencia Hospitalario (C.E.H.)**

El Comité de Emergencia del Hospital lo constituyen 4 o 5 funcionarios del hospital, encargados de desempeñar una serie de actividades antes, durante y después de un desastre. Cuadro 11. Su designación debe ser formal y en todos los casos se deben contemplar substitutos para garantizar la operatividad ante la ausencia de alguno de sus miembros.

#### **Acciones previas al desastre**

El Comité tendrá actividades de carácter permanente, dentro de las cuales pueden citarse:

- a) Análisis de vulnerabilidad estructural, no-estructural y funcional, al igual que las medidas de intervención sobre los factores determinantes.
- b) Inventarios de recursos humanos y físicos.
- c) Determinar el período de autonomía del hospital ante un desastre (Duración estimada de las reservas de medicamentos, suministros, alimentos, agua, gas, combustible, electricidad).
- d) Determinar la capacidad operativa, o sea el número máximo de pacientes que se puede atender simultáneamente, basándose en la capacidad de atención del servicio de urgencias, del servicio de cirugía y de cuidados intensivos, en condiciones normales y con el refuerzo del mismo.
- e) Identificación de las áreas funcionales y de expansión, que permitan aumentar la capacidad de hospitalización.
- f) Establecimiento del flujo de tránsito de pacientes dentro del centro asistencial.
- g) Señalización interna (que indique la localización de escaleras, puertas de salida, extintores, servicios, etc.).
- h) Establecimiento de un organigrama de emergencia.
- i) Adopción de la tarjeta de triage o instrumento de identificación y clasificación de pacientes.
- j) Formulación de un plan operativo de emergencia hospitalario, de acuerdo con su nivel de complejidad, a su capacidad y a la demanda que se pueda generar a raíz de una emergencia o un desastre.
- k) Coordinación del PEH, con los otros planes existentes en el nivel municipal como

- agencias de rescate, bomberos, fuerzas militares, otros hospitales, etc.
- Poner a prueba los planes existentes, mediante simulaciones y simulacros que permitan actualizarlos periódicamente, por lo menos dos veces al año.

Atención Medica	Diagnóstico y Apoyo	Administración
Urgencias	Laboratorio clínico	Mantenimiento
Quirófanos	Banco de sangre	Comunicaciones
Hospitalización	Radiología	Transportes
Consulta Externa	Patología-morgue	Alimentación
*C.M.E./U.C.I.	Farmacia	Estadística
	Trabajo social	Suministros
	Voluntarios	Seguridad
		Lavandería

\*Cuidados médicos especiales o unidad de cuidados intensivos

CUADRO 11. COMITE DE EMERGENCIA HOSPITALARIO

Acciones durante el desastre

- Verificar los recursos por los que son responsables.
- Determinar el nivel de respuesta del hospital ante la emergencia o desastre.
- Asignar los recursos necesarios.
- Elaborar el censo de personal y equipo.
  - Existente
  - Disponible
- Número de camas.
  - Libres, disponibles en el momento
  - Total existentes
  - Posibilidad de ampliación
- Evaluación de suministros médicos.
- Cancelación de casos quirúrgicos electivos, altas.
- Información a hospitales de referencia y hospitales de apoyo sobre la ocurrencia y características de la emergencia.
- Determinar la necesidad y la conveniencia de enviar equipo médico al lugar del desastre.
- Elaborar los turnos del personal del hospital, teniendo en cuenta la eficiencia, el descanso necesario y la duración prevista de la emergencia.
- Elaborar boletines de prensa con información acerca de pacientes hospitalizados, remitidos y ambulatorios, así como determinar los recursos físicos y humanos a solicitar, siendo la única fuente autorizada para ello.

Acciones posteriores al desastre

- Revisar los lineamientos indicados en el punto anterior, evaluar el desempeño, practicar los correctivos necesarios, informar de lo anterior al personal del hospital.

En cuanto a la labor asistencial se continuará con:

- Rehabilitación física
- Rehabilitación mental
- Rehabilitación social
- Rehabilitación ocupacional

Programas básicos de atención primaria, incluyendo materno-infantil, salud mental, consulta externa, urgencias, así como saneamiento ambiental.

Paralelamente el centro asistencial debe extender su campo de acción más allá de sus propias instalaciones, interviniendo en medidas de atención médica, saneamiento ambiental y vigilancia epidemiológica en campamentos y zonas de refugiados.

***Atención de las personas***

La base para la organización de la atención de gran cantidad de pacientes está dada por la aplicación del concepto de triage.

El triage es el proceso diagnóstico empleado para ofrecer asistencia al mayor número de pacientes, priorizando la atención y el transporte, teniendo como parámetros la gravedad de las lesiones, pronóstico y el beneficio que la acción tomada pueda aportar a la recuperación del paciente.

La prioridad definida puede representarse mediante la utilización de colores como se indica a continuación el Cuadro 12:

Color	Tipo de paciente	Prioridad
Rojo	Cítrico recuperable	Primera
Amarillo	Diferible	Segunda
Negro	Cítrico difícilmente recuperable	Tercera
Verde	Levemente lesionado	Cuarta

**CUADRO 12. PRIORIDAD DE ATENCION**

Para los cadáveres no se emplea ningún color y carecen de prioridad de atención por parte del personal de salud.

Teniendo como fundamento que después de un desastre la atención de pacientes será significativamente superior al promedio acostumbrado en el centro asistencial, la asignación del personal para la atención inicial se basará en cuatro áreas fundamentales, acordes a las prioridades establecidas en el triage.

Así se encontrará una denominación de la prioridad, la designación del equipo asistencial y el área donde se desarrollará la acción. El Cuadro 13 presenta un ejemplo:

Tipo de paciente	Equipo responsable	Área de destino inicial
Tarjeta ROJA	Equipo de estabilización	Servicio de Urgencias
Tarjeta NEGRA	Equipo negro	Observación de Urgencias
Tarjeta AMARILLA	Equipo amarillo	Área de Consulta Externa
Tarjeta VERDE	Equipo verde	Área de Vacunación
Cadáveres	Patología	Morgue

**CUADRO 13. DESIGNACION DE EQUIPO ASISTENCIAL**

Se pretende mediante esta organización racionalizar el recurso humano existente en el hospital y el que pudiera ser llamado como refuerzo en caso de emergencia, para lo que es necesario tener en cuenta las tres áreas mencionadas: asistencia médica de emergencia (A.M.E.), servicios de apoyo, y administración.

Debe definirse un anexo donde se encuentren todas las funciones asignadas a cada uno de los equipos, que permita que sean copiadas, o fotocopiadas para conformar el tablero de funciones. Este debe localizarse en un sitio estratégico del hospital, para que sea consultado tanto en tiempos de normalidad como de emergencia.

***Equipo de triage***

De acuerdo con la conceptualización actual, el triage no solo es el establecimiento de la prioridad de atención médica y de transporte, sino que incluye también el criterio de remisión, que permite racionalizar los recursos existentes en el hospital que esté dando servicios de emergencia, así como el correcto uso de los hospitales vecinos teniendo en cuenta su nivel de complejidad y su capacidad de atención.

Este grupo está integrado por personal con experiencia en el campo de urgencias,

cirugía o traumatología; constituye el punto donde se derivan los pacientes hacia las áreas definidas para la atención inicial. La ubicación debe corresponder al lugar más cercano al servicio de urgencias, fuera de él y próximo a la zona de tránsito de ambulancias.

Se debe disponer de tantos equipos de triage como sean necesarios y de la capacidad existente para conformarlos, cada uno debe estar integrado por un médico entrenado, una enfermera, un auxiliar con funciones de estadística, dos camilleros y personal voluntario que pueda reemplazar en un momento dado a alguno de los dos últimos mencionados.

Cabe anotar que el equipo de triage es un equipo temporal, y que una vez termine su labor se incorporará a los otros equipos del hospital de acuerdo con las necesidades.

Funciones:

- a) Clasificación del paciente de acuerdo con la prioridad de atención.
- b) Remisión o referencia del paciente al sitio indicado dentro del hospital a fin de iniciar su estabilización y/o tratamiento, o fuera de él, en caso de ser un paciente ambulatorio.
- c) Remisión de pacientes a otros centros asistenciales, previa estabilización y coordinación de acuerdo a los parámetros del manual de atención médica.
- d) Informar al Comité de Emergencia Hospitalario.

#### Equipo de estabilización y tratamiento de urgencias

Los Niveles de respuesta I y II (atención con los recursos hospitalarios normales).

Debe predeterminarse el área a utilizarse, empleando si es necesario, zonas aledañas al servicio de urgencias. Se deben conformar equipos integrados por un médico, una enfermera, un camillero y un voluntario. Serán tantos equipos como la necesidad y capacidad de conformarlos exista.

Nivel de respuesta III (la magnitud del desastre requiere de apoyo externo).

En este nivel se requiere establecer un coordinador de equipos externos de apoyo, que permita un desempeño adecuado y armónico con los demás equipos. Funciones:

- a) Atención del paciente de acuerdo a la prioridad establecida.
- b) Instauración de procedimientos y terapéutica estandarizados.
- c) Determinar el destino del paciente:

Areas de diagnóstico  
Salas de hospitalización  
Quirófanos  
Cuidados especiales  
Morgue  
Altas

- d) Informar las necesidades al Comité de Emergencia Hospitalario.

#### Equipo quirúrgico

Lo integra el personal de salas de cirugía y el de esterilización. Debe identificarse el médico de salas de cirugía y la enfermera de salas, si es posible con un reemplazo en caso de no encontrarse el principal.

Es importante definir el sitio de reunión, el cual generalmente coincide con las salas de cirugía, vestieres o salas de recuperación.

Nivel I: Se establece una organización de acuerdo con el nivel de respuesta que se considere necesario ante una emergencia. Los equipos están integrados por un cirujano, un ayudante, un anestesiólogo, una instrumentadora, una circulante, un camillero y un voluntario.

Nivel II y III: Se debe disponer de equipos adicionales de acuerdo con la disponibilidad de salas en un momento dado, así como de recurso humano calificado que pueda efectuar el tipo de procedimiento necesario. Funciones:

- a) Suspender todas las cirugías electivas.
- b) Organizar equipos quirúrgicos (Cajas de cirugía, ropa, instrumental, suministros).

- c) Verificar la presencia de personal médico (cirujanos, ayudantes, anestesiólogos) y paramédicos (instrumentadoras, enfermeras, auxiliares, camilleros, voluntarios), asignados en el área.
- d) Proporcionar atención quirúrgica de acuerdo a prioridades establecidas.
- e) Mantener comunicación permanente con el jefe de urgencias.
- f) Contemplar otras áreas de los quirófanos que puedan ser habilitadas como salas quirúrgicas.
- g) Informar de las necesidades al Comité de Emergencia Hospitalario.

*Equipo de cuidados especiales*

Considerando que los hospitales de niveles I y II de complejidad no cuentan con unidades de cuidados intensivos, pero que es necesario ubicar en una habitación los pacientes que requieran de cuidados médicos especiales, se debe escoger con anterioridad el área más adecuada, asignando el personal y los recursos indispensables para atender este tipo de pacientes.

*Equipo amarillo*

Debe atender aquellos pacientes que se describieron como diferibles y que por lo general son atendidos inicialmente en el área de consulta externa. Se sugiere esta área ya que en tiempos de normalidad cuenta con camillas y elementos que facilitan su rápida adaptación para el fin propuesto.

Deben estar integrados por un médico, una enfermera, auxiliares de enfermería y personal voluntario.

*Equipo verde*

Atiende los pacientes levemente lesionados, con carácter ambulatorio y está conformado por una enfermera y una auxiliar de enfermería. En caso de existir recurso suficiente podrá integrarse a este último un médico. Por su carácter de ambulatorio debe escogerse un área alejada del servicio de urgencias y de las zonas de tratamiento.

*Equipo hospitalario*

Encargado de atender y supervisar los pacientes que se encuentren o ingresen a las alas, salas, pabellones o pisos de hospitalización. Debe establecerse un sitio de reunión, que puede ser una central de enfermería o un aula o sala de reunión.

Lo integran médicos, enfermeras, auxiliares y voluntarios. Pueden conformarse más equipos de acuerdo a las necesidades existentes; los integrantes de estos nuevos equipos, podrán provenir de los equipos de triage que se reintegran al hospital, o producto de la reorganización posterior a la etapa de emergencia. Funciones:

- a) Evaluar y dar de alta pacientes que puedan ser evacuados.
- b) Asegurar la presencia de camas de reserva en todo momento.
- c) Determinar posibilidad y necesidad de adecuar áreas de expansión.
- d) Asegurar la dotación de elementos y suministros necesarios para una adecuada atención en las mismas salas.
- e) Comunicar al Comité de Emergencia Hospitalario los cambios que se efectúen y las necesidades imperantes.

*Servicios de apoyo*

Está constituido por cada uno de los siguientes servicios:

- a) Laboratorio clínico
- b) Radiología
- c) Patología - morgue
- d) Farmacia

- e) Trabajo social
- f) Coordinador de voluntarios (Defensa Civil, Cruz Roja, otros).

Se conformarán de acuerdo con el personal normalmente asignado, estableciendo turnos no mayores de 12 horas y serán reforzados si se estima necesario y si existe el personal suficiente. Las funciones de cada servicio deben ser descritas en un anexo de funciones, en el aparte correspondiente a los funcionarios de cada servicio mencionado.

#### Administración

Las áreas descritas a continuación son de vital importancia, por ello han sido involucradas en el Plan de Emergencia.

- a) Mantenimiento
- b) Comunicaciones (telefonista, radio-operador)
- c) Transporte (jefe de transportes, conductor más antiguo)
- d) Alimentación
- e) Estadística
- f) Suministros
- g) Seguridad
- h) Lavandería

Su conformación se debe hacer de acuerdo con el personal asignado normalmente en cada área y en caso de no existir el requerido se debe capacitar a personal auxiliar en este tipo de labores, a fin de que puedan cumplir con las funciones que se han asignado a cada equipo.

#### Centro de información al público

Dada la importancia de establecer un lugar, donde el público en general pueda acudir a solicitar información acerca de sus familiares, debe considerarse un sitio independiente de los equipos internos del hospital que tenga un íntimo y estrecho contacto con los mismos. Debe estar coordinado por la trabajadora social del hospital y podrá estar conformado por personal del hospital o por personal voluntario. Su localización debe ser en las afueras del hospital, en donde no interfiera con las actividades de atención. Sus funciones son las siguientes:

- a) Dar información de los pacientes hospitalizados y datos de alta a los familiares y allegados.
- b) Investigar el lugar de residencia de los familiares de los pacientes hospitalizados.
- c) Coordinar con el equipo de transporte y con instituciones e individuos a nivel extrahospitalario el traslado de pacientes.
- d) Colaborar en la identificación de las víctimas.
- e) Ayudar a los familiares de las víctimas en la localización de éstas.

Debe ubicarse en un área vecina al hospital, lejos del lugar de triage y otras áreas de atención de pacientes, para no obstaculizar las labores.

#### **Áreas habitables**

A continuación se describen los tres ambientes más importantes que deben ser predeterminados dentro del hospital y que permitirán un ágil y ordenado desempeño de los equipos.

**Área de triage.** Zona anexa al servicio de urgencias, sin embargo no dentro de éste, que tenga un libre acceso a la vía de las ambulancias. Debe indicarse en el mapa inicial del manual del plan.



FOTOGRAFIA 20. EXPANSION DE LA ATENCION EN EXTERIORES

**Área de expansión de camas.** Se deben utilizar zonas separadas de los pasillos y corredores, para no obstaculizar el flujo normal de pacientes y personal del hospital. Ideales son las salas de descanso médico, salones de conferencias, capillas, solarium (salas de espera), etc. Deben ser descritas en términos de ubicación, área en metros cuadrados y número de camas de expansión que pueden albergar. Para su empleo se debe tener en cuenta la proximidad a salas de cirugía, o a los recursos disponibles en estas salas (tomas eléctricas, tomas de oxígeno, succionadores de pared, etc.), pueden predeterminarse a ser utilizadas como áreas de observación, hospitalización, recuperación post-quirúrgica o área de cuidados médicos especiales. Con el fin de recordar estas características basta con colocar en la casilla de ubicación las letras O, H, PQ, o CME, respectivamente.

**Áreas de parqueo.** De igual forma es indispensable definir las áreas donde se estacionan las ambulancias como también los automóviles particulares. El helipuerto debe ser considerado, como un área primordial en el hospital, para tal efecto debe solicitarse asesoría a expertos (aviación comercial, fuerzas militares, etc.)

### Hospitales de referencia y de apoyo

Es importante identificar todos los hospitales de referencia y apoyo, anotando sus características, distancias (entendidas como el tiempo empleado utilizando el medio de transporte usualmente empleado para el transporte de pacientes, bien sea por vía aérea, fluvial, marítima o terrestre); se utilizan las iniciales A=aéreo, F=fluvial, M=marítimo o T=terrestre, según sea el caso para definir el tipo de transporte y observaciones como nivel de complejidad, número de camas totales del hospital, el número de camas disponibles en caso de emergencia, el tipo de pacientes que pueden ser atendidos (de acuerdo con Patología Quirúrgica y Médica), igualmente aspectos como la disponibilidad de ambulancias en apoyo de una emergencia, posibilidad de enviar recurso humano o físico en caso de requerirse, informaciones que permitirán una racionalización en la remisión.

### Grupo de apoyo del hospital

Constituido por profesionales, técnicos y otros, que pueden aportar sus conocimientos y experiencias, en el buen desempeño del hospital. Deben registrarse incluyendo el nombre, la profesión, la dirección y el teléfono o medio para su localización.

### Fuentes de aprovisionamiento

**Agua.** Debe anotarse la fuente principal de agua, especificando las características de la misma (tratada, parcialmente tratada o no tratada). Se deben incluir los aspectos relativos al análisis de vulnerabilidad no-estructural y funcional (condición de los tanques, redes) así como los procedimientos para una pronta respuesta en caso de requerirse una reparación. De igual forma se deben registrar fuentes alternas como pozos, acueductos rurales, bomberos u otros que pudieran suministrar el servicio al hospital en caso de suspenderse la fuente principal.

**Energía.** Anotar el tipo de energía suministrada, mono o trifásica, la subestación correspondiente y las características del fluido suministrado (voltios, amperios, watos, ciclos). Se deben incluir los aspectos relativos al análisis de vulnerabilidad no-estructural y funcional (condición de los transformadores internos, cajas de fusibles, redes) así como los procedimientos para una pronta respuesta en caso de requerirse una reparación. De igual forma, el sistema alterno de electricidad, como plantas eléctricas, propias o no, que puedan ser utilizadas en una situación de emergencia.

**Combustible.** Registrar el expendio de combustible para el hospital, incluyendo el del parque automotor, plantas eléctricas y calderas. Se deben incluir los aspectos relativos al análisis de vulnerabilidad no-estructural y funcional (condición de los tanques de almacenamiento). Es importante identificar una fuente alterna en donde pueda adquirirse combustible, en caso de requerirse.

**Gas y oxígeno.** Se deben incluir los aspectos relativos al análisis de vulnerabilidad no-estructural y funcional (condición de los tanques, redes de distribución) así como los procedimientos para una pronta respuesta en caso de desastre como alarmas y válvulas de seguridad. Registrar el nombre de la empresa que distribuye el gas y el oxígeno en condiciones normales, así como las posibles fuentes alternas.

**Alimentos.** Registrar el nombre de los expendios donde se adquieren los víveres en condiciones normales, así como otros donde se pudieran adquirir los alimentos y materiales necesarios en una situación de emergencia.

**Medicamentos y suministros.** Registrar las empresas donde normalmente se adquieren medicamentos y suministros, al igual que identificar otros almacenes, depósitos e instituciones donde se pudieran adquirir estos materiales en caso de ser necesarios.

Un ejemplo de una metodología práctica para evaluar el soporte institucional y logístico a las actividades esenciales para la atención masiva de víctimas por sismo se adjunta en el Cuadro 14. La calificación se basa en los siguientes parámetros:

1. *Optimo:* Asignación de recursos y/o personal eficiente
2. *Adecuado:* Asignación de recursos y/o personal aceptable, que permite operar con normalidad
3. *Mínimo:* Asignación de recursos y/o personal que apenas garantiza operatividad, con ciertas restricciones
4. *Insuficiente:* Asignación de recursos y/o personal que limita severamente o impide la ejecución de la actividad

ACTIVIDAD	SOPORTE DE SERVICIOS VITALES	PERSONAL ASIGNADO
Urgencias	Adecuado	Optimo
Clasificación de heridos	Adecuado	Adecuado
Atención inmediata ambulatoria	Adecuado	Adecuado
Atención diferida	Mínimo	Mínimo
Quirófanos	Mínimo	Adecuado
Recuperación	Mínimo	Mínimo
Cuidados intensivos	Mínimo	Adecuado
Terapia respiratoria	Adecuado	Mínimo
Farmacia	Mínimo	Adecuado
Laboratorio	Mínimo	Adecuado
Imágenes diagnósticas	Mínimo	Adecuado
Morgue	Mínimo	Adecuado
Puesto de Mando	Mínimo	Optimo
Mantenimiento	Mínimo	Adecuado
Centro de Información	Insuficiente	Adecuado
Nutrición	Insuficiente	Mínimo
Suministros	Mínimo	Adecuado
Bodega	Insuficiente	Adecuado

CUADRO 14. SOPORTE INSTITUCIONAL Y LOGISTICO

## EMERGENCIAS INTERNAS DEL HOSPITAL

Hay una gran variedad de eventos que como hemos dicho pueden poner en peligro las instalaciones del hospital, las personas que allí se encuentren (pacientes, empleados, visitantes), la dotación y los equipos con que se cuenta en un momento dado. Entre los eventos más importantes de orden natural, tenemos los movimientos sísmicos, que han sido tomados como punto de referencia para la planeación en emergencia, ya que es el evento que mayores daños a la planta física ocasiona, además de la alta y consecuente morbi-mortalidad; dentro de actos provocados u ocasionados por el hombre, tenemos en primer lugar los incendios, explosiones y atentados como los sucesos de mayor ocurrencia e impacto sobre la infraestructura hospitalaria. Ante situaciones como éstas, se necesitará efectuar una maniobra de evacuación, la cual dependerá del estado de la estructura física, de la funcionalidad de los equipos y servicios, de la integridad (sin lesión) del personal y su capacidad de respuesta, determinada en gran parte por el entrenamiento, la organización y el equipamiento necesario para enfrentar la emergencia.

La evacuación es el conjunto de actividades y procedimientos tendientes a conservar la vida y la integridad física de las personas, en el evento de verse amenazadas, mediante el desplazamiento a través y hasta lugares de menor riesgo. En cuanto a la extensión, la necesidad de evacuación puede ser:

- a) Parcial: ambientes definidos.
- b) Total: todo el hospital.

La determinación de evacuar de una u otra forma, debe ser tomada por el director del hospital, el jefe de atención médica, el administrador, el jefe de enfermería o el médico de turno, pudiendo ser motivada también por personal extrahospitalario, como en el caso de los bomberos, quienes a través de un previo conocimiento del plan del hospital, de su estructura y conformación, podrán asumir el liderazgo de la acción en el momento requerido. De igual forma la intervención de un ingeniero con conocimientos de ingeniería estructural y sismo resistencia, podrá determinar también la necesidad de evacuación tanto parcial como total, una vez que haya ocurrido un evento de tipo sísmico. En este último punto cabe recalcar la importancia de la existencia de contactos previos a la emergencia, entre el sector salud y las asociaciones nacionales de ingeniería civil, estructural y sísmica ya que ellas cuentan con

metodologías, usualmente, altamente desarrolladas para detectar problemas en la planta física de las instalaciones. Para el caso de los hospitales, ciertas evaluaciones deben ser realizadas previas a cualquier evento. Posterior a un movimiento sísmico deben constituirse grupos compuestos por el personal calificado mencionado para evaluar inmediatamente el estado de la edificación y tomar las medidas pertinentes.

#### UNA RAPIDA RESPUESTA DE LOS EVALUADORES DE DAÑOS

El 31 de julio de 1995, un fuerte sismo afectó la ciudad de Antofagasta, Chile, causando daños en su hospital, el cual perdió parcialmente su capacidad de operación e inicialmente se consideró debía evacuarse. Sin embargo, la existencia de un equipo profesional con conocimientos específicos en el tema de vulnerabilidad hospitalaria, la disponibilidad de información básica sobre las características del hospital, el conocimiento previo de las vulnerabilidades globales del hospital por medio de una evaluación realizada con anterioridad y la existencia de canales expeditos de comunicación entre el sistema de salud y el equipo de profesionales experto en vulnerabilidad, permitieron que mediante la evaluación de la emergencia, 24 horas después y a pesar de la lejanía del sitio, se valorara la severidad del daño estructural y no-estructural, descartando la necesidad de evacuación del hospital. Además, se tomaron medidas rápidas para satisfacer la demanda de agua potable y garantizar el funcionamiento y limitar la posibilidad de daño en los tanques en caso de réplicas del sismo. También se logró establecer un procedimiento de recuperación a corto y largo plazo, y se restableció la confianza y la tranquilidad de los usuarios y del personal del hospital. (Ref. 81).

En Venezuela, desde 1988, con el apoyo de la OPS se inició un programa de diagnósticos cualitativos de la vulnerabilidad sísmica de varios de los más importantes hospitales del país, con fines de realizar recomendaciones para la solución de los problemas más apremiantes, y a partir de 1993, con la participación de instituciones de todos los niveles, se iniciaron los estudios cuantitativos y detallados de los hospitales Dr. Enrique Tejera en la ciudad de Valencia, Dr. Adolfo Prince Lara en Puerto Cabello y Dr. Patricio Antonio Alcalá en la ciudad de Cumaná. El 9 de julio de 1997, un sismo generado en la Falla del Pilar, sobre la cual se encuentra localizado el hospital de Cumaná, afectó la zona causando varios muertos y heridos, los cuales no pudieron ser atendidos en el hospital debido a que fue desalojado como medida preventiva ante los daños no-estructurales que se presentaron en muros, acabados y equipos, y a causa del temor de los funcionarios de la instalación, quienes conocían rumores acerca de la vulnerabilidad de la edificación. El daño estructural rápidamente fue descartado por el grupo de profesionales que con anterioridad había realizado las evaluaciones preliminares de vulnerabilidad sísmica del hospital. De igual manera, muy rápidamente se evaluaron los problemas arquitectónico-funcionales y se estimuló el volver a utilizar el hospital en forma parcial. (Ref. 72).

Es importante determinar las vías de evacuación de cada ambiente (refiriéndose por ambiente a las salas, alas, pabellones o servicios como pediatría, cirugía, maternidad, medicina interna, etc.) del hospital. Estas vías deben seguir una ruta definida para trasladarse desde cualquier punto del hospital, a espacios libres exteriores donde el riesgo sea menor.

Teniendo en cuenta los anteriores considerandos, se deben indicar a continuación, en orden de secuencia las rutas establecidas, las cuales deben denominarse en la forma más corriente y conocida por todo el personal, por ejemplo: corredor de consulta externa, escalera de urgencias, pasillo principal, etc.

En cuanto al destino se deben ubicar áreas de seguridad, de fácil acceso, preferiblemente al aire libre y con capacidad de albergar la cantidad de personas que hayan sido estimadas a evacuar por esa ruta.

Por último deben establecerse prioridades con el siguiente orden:

- a) Menores
- b) Incapacitados físicos o mentales
- c) Mujeres
- d) Hombres

Debe registrarse en el plan el ambiente o servicio a evacuar, la ruta, puerta de salida y destino final, por ejemplo:

Pediatria, corredor principal, puerta principal, parque Núñez

### Cirugía, rampa quirófanos, puerta parqueo, zona de estacionamiento

El sistema de evacuación se debe poner a prueba con el fin de garantizar si el orden y las vías son las más adecuadas y si permiten una rápida y segura evacuación. Una vez se finalice esta prueba, se deben señalizar las rutas, puertas de salida, sistemas contra incendios, servicios internos, etc., mediante avisos claros de fácil lectura. Estos temas servirán para diseñar plegables u otro tipo de ayudas, que faciliten la divulgación permanente del plan entre el personal del hospital, pacientes y visitas.

### **Plano externo e interno del hospital - emergencias internas**

Deben dibujarse planos donde se identifiquen las rutas de evacuación, escaleras, salidas de emergencia, zonas de seguridad para evacuación, ubicación de equipos contra incendios, calderas, depósitos de combustible, depósito de oxígeno, así como las zonas de seguridad para evacuación.

### **Secuencia en la evacuación**

**Alerta.** Declarada inicialmente por el jefe de urgencias de turno, quién inmediatamente establecerá contacto con el director del hospital o el profesional de más alto cargo que se encuentre disponible en el momento de la emergencia. La calificación del riesgo le permitirá decidir si la evacuación es parcial o total. Se solicitará el apoyo externo necesario: Bomberos, Defensa Civil, Cruz Roja, asociaciones profesionales (por ejemplo ingenieros en caso de sismos), y otros que se consideren de importancia en el momento.

**Orden de evacuación.** La define el director o el profesional de más alto cargo disponible en el momento de la emergencia, pudiendo ser asistido por personal extrahospitalario, por ejemplo, el comandante de bomberos. Prioridades

Personas (menores, incapacitados, mujeres, hombres).

Materiales, que se han dividido en tres grandes grupos:

- a) Peligrosos - Los que puedan ocasionar riesgo de mayor destrucción (balas de oxígeno, combustibles, gases anestésicos, etc.).
- b) Utiles en emergencias - Como instrumental, resucitadores, respiradores y ventiladores portátiles, etc.
- c) Documentos valores y material clasificado previamente que no puede ser reemplazado.

**Ejecución.** Una vez se ordena la evacuación, todo el personal debe obedecer la orden, permaneciendo únicamente, el personal asignado al control mismo del riesgo (personal de mantenimiento y otros que sean designados por el director o administrador disponible). Es importante recordar que durante el período posterior a un movimiento sísmico, pueden presentarse réplicas o sea movimientos sísmicos, generalmente de menor intensidad que preceden al inicial y que pueden agravar el efecto destructivo de éste, razón por la cual se aconseja utilizar las áreas de seguridad interiores y exteriores, así como las rutas de escape establecidas.

La persona de mayor experiencia se hará cargo de la evacuación. El personal del hospital transportará a los pacientes que no puedan movilizarse por sí mismos; se asignarán algunas personas para movilizar los materiales útiles en emergencias y los documentos, de acuerdo a las prioridades descritas anteriormente.

**Atención a los evacuados.** Se debe dar tranquilidad y reposo a los evacuados en las áreas de seguridad y asistencia médica a quienes lo requieran, estableciéndose en el mismo lugar una zona de atención de pacientes urgentes, así como de atención de patologías preexistentes en los pacientes evacuados. De nuevo tendrá que recurrirse al triage en caso de ser necesario a fin de dar atención rápida y oportuna, de acuerdo con los criterios establecidos en este documento para esta labor.

**Seguridad y administración.** Una vez se indique la necesidad de evacuación, deberán evacuarse las visitas e impedir el ingreso al hospital de personal distinto al necesario para la atención de la emergencia. Una medida práctica consiste en evacuar la zona de parqueo suministrando así una extensa área para la movilización necesaria.

Recomendaciones generales durante la evacuación:

- a) Dada la alarma, la evacuación se efectúa en orden, sin correr, evitando gritos y exclamaciones que puedan inducir al pánico.
- b) De igual forma se debe proceder en caso de percibir un sismo, con la variante de que quien lo perciba, avisará inmediatamente al personal de turno a fin de organizar la evacuación.
- c) No gritar, obedecer la voz de mando de quien conduce la evacuación.
- d) Los pacientes y el personal del hospital no deben llevar objetos estorbosos, que puedan limitar la correcta evacuación.
- e) No usar zapatos con tacones.
- f) No utilizar ascensores.
- g) Si alguien se cae, llevarlo fuera de la ruta de evacuación y posteriormente levantarla, de lo contrario podrá propiciar caídas y amontonamientos. Quienes se hallen más cerca deberán ayudar a levantar lo más rápidamente al caído.
- h) Si durante la evacuación pierde algún objeto, no intente recuperarlo, continúe.
- i) Trate de ayudar a sus compañeros de evacuación.
- j) Colaborar con el organizador de la evacuación a fin de determinar la presencia y estado de salud de los evacuados.
- k) En caso de movimientos sísmicos se pueden esperar réplicas, por tanto mantenga la calma si éstas se presentan.
- l) Permanecer en la zona de evacuación hasta nueva orden, sin entorpecer las labores del personal que se encuentra desempeñando labores específicas.

**TODO EL PERSONAL DEBE SENTIRSE RESPONSABLE DE LA  
EVACUACION DEL HOSPITAL.**

## **EVALUACIÓN DEL PLAN DE EMERGENCIAS**

Los planes de emergencias deben evaluarse y probarse. La mejor manera de conocer las debilidades de la capacidad de respuesta del hospital en caso de emergencia es revisando periódicamente su ejecución. Igualmente en caso de ocurrir un evento real, se debe evaluar y corregir el plan de acuerdo con una valoración objetiva.

El Cuadro 15 plantea una lista de contenidos mínimos para un Plan de Emergencias. Cada uno de los veinte rubros valorados en la Tabla recibe un valor ponderado de 5%, para una calificación máxima de 100%, considerando 70% la mínima calificación aceptable.

**Institución:** \_\_\_\_\_  
**Fecha de Formulación:** \_\_\_\_\_  
**Última revisión:** \_\_\_\_\_

	Evaluación	Observaciones
<b>ALCANCES Y OBJETIVOS</b>		
Definición de Emergencia Externa		
Definición de Emergencia Interna		
<b>MECANISMOS DE ACTIVACION</b>		
Definición de alertas		
Definición de Puesto de Mando		
Definición de Grupos de Apoyo		
Definición de Brigadas		
Mantenimiento de stocks de emergencia		
Descripción de la evacuación		
Protocolo de manejo de desechos y materiales peligrosos		
<b>DESCRIPCION DE ACTIVIDADES</b>		
Clasificación de pacientes (Triage)		
Expansión de servicios de Urgencia		
Derivación o salida de pacientes internados		
Coordinación interinstitucional		
Cambios en actividades de atención de pacientes		
Cambios en actividades de soporte médico		
Cambios en actividades de soporte institucional		
Asignación de personal a atención de pacientes		
Coordinación de voluntarios		
Protocolo de identificación de cadáveres		
Protocolo de evaluación de daños en planta física		

**Escala de evaluación:**  
**5: excelente 4: bueno**  
**3: admite mejoras 2: insuficiente**  
**1: inexistente, inapropiado**

**CUADRO 15. FORMATO DE EVALUACION DEL PLAN**

## CAPITULO 6

### DISEÑO DE HOSPITALES EN ZONAS SISMICAS

El diseño de los edificios para la salud es una labor difícil en la cual los profesionales involucrados se enfrentan a un panorama muy amplio de interrogantes que cubre además de los aspectos relativos a la construcción de la edificación, otros aspectos relacionados con las características de la comunidad potencialmente usuaria, tales como: índices de natalidad, morbilidad y mortalidad; situación socioeconómica, situación geográfica, etc. y, todo esto al tenor de los aspectos macro y micro, progresos y adelantos de la ciencia médica y la especialización continua, el desarrollo de nuevas tecnologías para el diagnóstico, tratamiento y administración, complejidad de los equipos e instalaciones mecánicas, y una lista muy extensa y variada de aspectos que son necesarios tener en cuenta para que el diseño sea eficiente y efectivo.

A las anteriores consideraciones, es importante agregar un determinante que adquiere cada vez mayor incidencia y que, en consecuencia, es de especial relevancia dentro de todos los parámetros y normas que rigen el diseño de las instalaciones de la salud: la disminución o mitigación de riesgos por desastres naturales o antrópicos; aspecto en que es necesario hacer énfasis dada la necesidad de garantizar la seguridad tanto de la instalación como de la comunidad usuaria de la misma.

Tal como se mencionó, las instalaciones de salud presentan características especiales de ocupación, complejidad, suministros críticos, sustancias peligrosas, dependencia de servicios públicos y una continua interacción con el medio ambiente externo. Muy a menudo, debido a que los desastres son poco frecuentes, éstos son ignorados en la planeación y diseño de hospitales y de otras instalaciones relacionadas; inclusive en regiones donde los riesgos son bien conocidos. Actualmente es posible predecir con exactitud que puede pasar en una instalación como consecuencia de sismos u otro tipo de desastres pero dada la gran variedad de actividades que pueden ocurrir en un hospital, es necesario tener cuidado en analizar los escenarios posibles para evitar una caótica interrupción de su funcionamiento.

Una instalación hospitalaria es una edificación compleja en la que converge una alta tecnología, cuyo planteamiento y diseño encierra soluciones de diversa índole tales como las de edificio para oficinas, hotelería, industria, religión, bodegaje, etc., además de los servicios puramente de salud que comprenden áreas especializadas, que deben diseñarse de una manera sincronizada, ya que de su funcionamiento depende la vida de los pacientes y usuarios del edificio. Por las razones antes expuestas, actualmente, es ineludible incluir dentro de los determinantes de diseño arquitectónico aspectos de mitigación para reducir los efectos que pueden generar fenómenos naturales, como terremotos, erupciones volcánicas, huracanes, inundaciones, etc. o de origen antrópico, tales como incendios, explosiones, contaminaciones, etc., ya que el funcionamiento del hospital es vital en todo momento.

Una estructura insegura puede sufrir daños estructurales o puede llegar al colapso o derrumbamiento. Si esto último ocurre el desastre es mayor, pues el hospital se convierte en un problema que exige una alta atención y no en un apoyo para la comunidad afectada. Ahora bien, daños graves pueden inducir una evacuación total y, por lo tanto, una pérdida del servicio durante un lapso prolongado y desconocido.

## DISEÑO DE NUEVOS HOSPITALES

La mitigación de los efectos producidos por desastres constituyen, como se ha indicado, actividades altamente rentables. El caso de los sismos es quizás, uno de los ejemplos más evidentes y representativos. La etapa de diseño constituye sin duda una excelente oportunidad para trabajar con eficacia y eficiencia la mitigación y la preparación en los sistemas de salud, por ello se mencionan a continuación las cinco etapas descritas tradicionalmente en el planeamiento de unidades asistenciales:

- a) Diagnóstico
- b) Elaboración del programa médico-arquitectónico
- c) Formulación y presentación del anteproyecto
- d) Diseño de áreas especializadas
- e) Definición de equipamiento

### Diagnóstico

Se basa en la identificación del núcleo de población que será atendido por el centro asistencial, su composición y dinámica (cambios previsibles), factores que la determinan; cuantificación y cualificación de los problemas de salud; recursos de salud disponibles en el área, accesibilidad y utilización de estos servicios por parte de la comunidad; niveles de coordinación y comunicación existente entre estos centros; condiciones de funcionamiento, construcción y mantenimiento de las instalaciones de salud. En términos concretos, se requiere identificar:

- a) Factores demográficos y socioeconómicos, que permitan el conocimiento de la población, como tasas de crecimiento, distribución etárea, nivel económico, características sociales y culturales.
- b) Factores epidemiológicos que pueden determinar la creación de servicios específicos para enfermedades prevalentes en la región.
- c) Mortalidad y morbilidad, que muestran el nivel de salud de la población, determinando a su vez la potencial demanda de servicios ambulatorios y de hospitalización.
- d) Comunicaciones y accesibilidad, que fijan las relaciones que deben existir entre diferentes unidades asistenciales de la región, determinando en algunos casos la necesidad de disponer de mayores o menores recursos, dada una situación de aislamiento o de disponibilidad cercana de recursos respectivamente.
- e) Topografía y tipo de suelos, entendida no solo como la morfología y conformación de los suelos, incluye también características sismológicas de la región que definirá la selección del terreno y el tipo de estructura.
- f) Climatología, incluye aspectos de temperatura, humedad, vientos dominantes, régimen de lluvias, que determinarán como en el punto anterior, la selección del terreno, además de indicar la correcta orientación de la estructura, tipo de ventilación, iluminación natural, etc.
- g) Amenazas y riesgos. La coordinación con los entes gubernamentales y privados que tienen a su cargo el estudio de condiciones geológicas, sismológicas, hidrometeorológicas, permitirá conocer las diferentes amenazas a las cuales estará

expuesta la población a cubrir, que determinarán una probable demanda de servicios asistenciales en casos de sucederse así como la necesidad de tomar las medidas de mitigación necesarias para disminuir la vulnerabilidad general de la infraestructura hospitalaria.

- h) Área de influencia, basados en lo descrito en comunicaciones y accesibilidad, se definirá un área geográfica como jurisdicción del campo de acción institucional, con el respectivo sistema de referencia y contra-referencia de pacientes.
- i) Recursos y servicios, corresponde a aquellas instalaciones, mobiliario y equipo; personal profesional, técnico y auxiliar; recursos financieros disponibles para gastos en salud, que son parte de la organización de salud donde funcionará el nuevo centro asistencial y que son susceptibles de ser utilizados dentro de la institución.

#### Elaboración del programa médico-arquitectónico

Toma como punto de partida la justificación y el diagnóstico mencionado en el aparte anterior, y mediante la participación de un equipo multidisciplinario inicia la descripción detallada de los servicios y áreas requeridas, los cuales son interpretados en esquemas de construcción, que resultan en un modelo arquitectónico preliminar, donde se especifica el tipo de construcción, configuración, altura, orientación, distribución de espacios o servicios, capacidad, conexiones y circulación, entre otros.

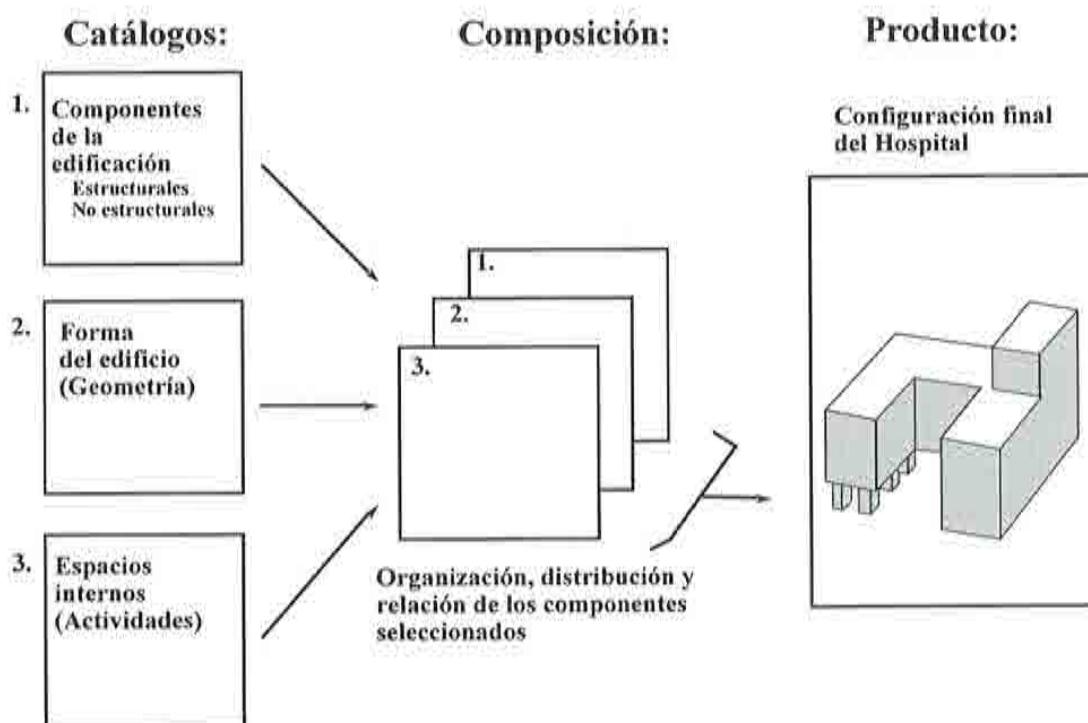


FIGURA 47. DISEÑO ARQUITECTONICO

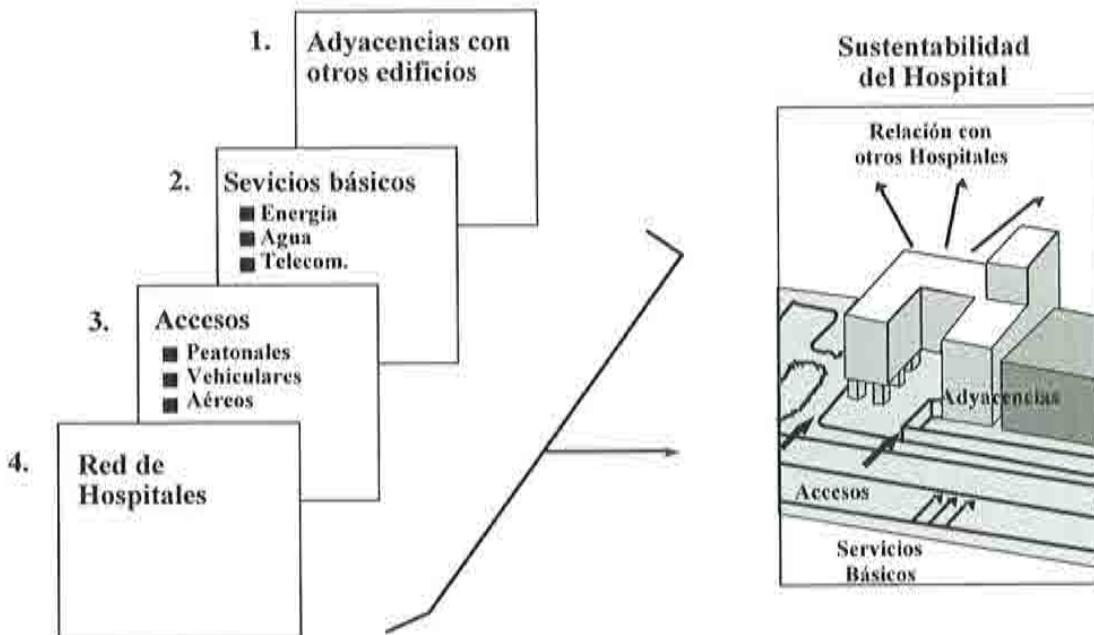


FIGURA 48. ASPECTOS URBANOS

#### Formulación y presentación del anteproyecto

Consiste en el desarrollo pormenorizado del programa médico- arquitectónico bajo la forma de planos. Se incluirán las especificaciones de sismorresistencia requeridas conforme al diagnóstico establecido.

#### Diseño de áreas especializadas

Se basa en una participación especializada para definir aspectos como: instalaciones de agua, aguas servidas, iluminación, ventilación, disposición de deshechos, sistema de gases (oxígeno, aire comprimido, anestésicos, succión), sistema eléctrico con preinstalaciones para radiología, radioterapia, etc. Para ello se tendrá en cuenta lo referido en vulnerabilidad no-estructural y funcional.

#### **Consideraciones arquitectónicas**

El diseño conceptual involucra una serie de decisiones entre las cuales se encuentran:

- Ubicación de la edificación;
- Relaciones funcionales de los sectores hospitalarios;
- Geometría, forma ó configuración de la edificación;
- Sistema estructural;
- Materiales de construcción;

decisiones que deben realizarse en forma conjunta en las primeras etapas de la realización del proyecto entre los propietarios, administradores de la salud, médicos, arquitectos, ingenieros, constructores y todos aquellos profesionales que por alguna razón estén involucrados con su concepción y realización.

Debe hacerse énfasis en que, debido a su complejidad, y a su estrecha relación con el planteamiento espacial y formal de la construcción, los problemas de configuración deben ser enfrentados básicamente desde la etapa de definición preliminar del esquema espacial del

edificio, y en toda la etapa de diseños formal y estructural. Por esta razón es un tema que debe ser comprendido en toda su amplitud por los arquitectos diseñadores.

El diseño sísmico hospitalario es una responsabilidad compartida de la arquitectura y la ingeniería. Muy particularmente, es necesario enfatizar que se comparte en cuanto a las relaciones físicas entre las formas arquitectónicas y los sistemas estructurales resistentes, y sería ideal que la comprensión de estas relaciones estuviera presente en cada diseñador que trabaja en zonas de riesgo. Infortunadamente, a nivel internacional, los métodos educativos y de la práctica han tendido a reducir la oportunidad de fomentar este entendimiento en la manera de pensar del diseñador, ya que se separa la instrucción de los nuevos arquitectos de la de los nuevos ingenieros y, también en muchos casos, quedan separados en la práctica. De hecho, algunos arquitectos, por intuición o por un patrón conceptual tienen un excelente sentido de la estructura, pero son muy pocos, y esta comprensión afortunada tiende a ocurrir a pesar de su educación y práctica, y no a causa de éstas.

Los costos se afectan por las técnicas de construcción, la disponibilidad de los materiales, las características de los equipos, la mano de obra y el tiempo de construcción, razón por la cual en algunos países la responsabilidad del seguimiento de los costos está a cargo de otras disciplinas, como el supervisor de campo. No obstante, lo ideal sería que los diseñadores desde el inicio contaran con un profesional o un grupo de profesionales que integren todos los aspectos que deben tenerse en cuenta, tales como los requisitos para enfrentar amenazas naturales. En otras palabras lo deseable sería que hubiese un diseñador conceptual con la suficiente experiencia en arquitectura, ingeniería, estimación de costos y construcción, que logre considerar aspectos que hasta ahora no han sido debidamente tenidos en cuenta para lograr la máxima eficiencia en el diseño.

### **Requisitos de diseño en ingeniería**

Es importante indicar que muchos problemas del diseño de las instalaciones de la salud pueden ser reconocidos por el propietario de los servicios, el administrador, el planificador, el arquitecto o el ingeniero de la obra, como son los factores que pueden substancialmente incrementar el riesgo sísmico de las edificaciones existentes o de las nuevas que se piensan construir. Estos factores son:

- a) Una apropiada evaluación de la amenaza sísmica, incluyendo las condiciones locales del suelo. El daño en un edificio depende tanto de su resistencia y del tipo de suelo que lo soporta como de la intensidad y las características del movimiento mismo que la puede afectar.
- b) El diseño de nuevas instalaciones de salud de acuerdo con los requisitos de los códigos sismo-resistentes de cada país intenta garantizar un nivel de seguridad aceptable desde el punto de vista económico y social.
- c) Las instalaciones de salud deben considerar como implementar requerimientos adicionales de comportamiento sísmico para proteger a los ocupantes y los componentes internos de la edificación.

Los siguientes son los objetivos de comportamiento sísmico que se sugiere deben cumplir las instalaciones de la salud:

- a) Los daños después de un sismo intenso deben ser reparables y no deben ser una amenaza para la vida.
- b) Pacientes, personal y visitantes deben ser protegidos durante un sismo.
- c) Los sistemas de servicios de emergencia de la instalación deben permanecer operacionales después del sismo.
- d) Los ocupantes, los rescatistas y el personal de emergencia deben estar en capacidad de

circular en forma segura al interior de las instalaciones.

Estos objetivos intentan garantizar que la instalación esté disponible para cumplir con su papel mediante la activación de su plan de respuesta a desastres después del evento. La pérdida de vidas y de propiedades causadas por sismos se pueden evitar con la aplicación de tecnologías existentes y sin realizar enormes esfuerzos financieros. Lo único que se requiere es la voluntad de hacerlo. Debido a que se requieren alrededor de dos generaciones para reemplazar el actual inventario de edificaciones en la mayoría de comunidades, se debe prestar bastante atención a la intervención estructural de las edificaciones existentes tanto como la atención que se le otorga al diseño y construcción de nuevas edificaciones. En este momento existen muy pocas limitantes técnicas que gobiernan el diseño y la construcción de la mayoría de edificaciones a prueba de huracanes, sismos u otras amenazas naturales, lo que significa que es posible reducir al mínimo los riesgos y los daños si se tienen en cuenta las medidas preventivas correspondientes en el diseño, construcción y mantenimiento de las nuevas instalaciones de la salud.

#### DISEÑO DE EDIFICACIONES "INDISPENSABLES"

Los códigos de construcción establecen, usualmente, un *coeficiente de importancia* para calificar las edificaciones que se van a construir. La mayoría de los códigos se agrupan en tres categorías de uso, (I, II y III). Los hospitales sin excepción han hecho parte del grupo III, por ser de especial importancia para atender la comunidad en caso emergencia. La nueva Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente - NSR-98 establece, a diferencia de la expedida en 1984, un cuarto grupo de uso (IV), al cual le denomina *Edificaciones Indispensables*. A este grupo le asigna un *coeficiente de importancia* mayor, lo que significa que el diseño se realizará considerando fuerzas sísmicas aumentadas en un 30% con respecto a las utilizadas para el diseño de una edificación convencional (Grupo I). Las del grupo III, a las cuales anteriormente pertenecían las edificaciones hospitalarias se siguen diseñando con el mismo 20% de incremento en las fuerzas previsto en la norma anterior. (Ref. 36).

**GRUPO DE USO IV - Edificaciones Indispensables:** Son aquellas edificaciones de atención a la comunidad que deben funcionar durante y después de un sismo, cuya operación no puede ser trasladada rápidamente a un lugar alterno, tales como: hospitales de niveles de complejidad 2 y 3 y centrales de operación y control de líneas vitales.

**GRUPO DE USO III - Edificaciones de atención a la comunidad:** Son las edificaciones necesarias para atender emergencias, preservar la salud y la seguridad de las personas, tales como: cuarteles de bomberos, policía y fuerzas militares; instalaciones de salud, sedes de organismos operativos de emergencias, etc.

Los otros grupos de uso (I y II) son en la nueva norma los mismos de la norma anterior, que corresponden respectivamente a las construcciones convencionales cuyo uso predominante es residencia y oficinas y a edificaciones en donde habrá posiblemente afluencia masiva de público. Ahora bien, debido a la importancia de mantener la capacidad de continuar prestando el servicio de atención a la comunidad después de ocurrido un sismo moderado o fuerte, la nueva norma colombiana establece la necesidad de diseñar los hospitales no sólo para el movimiento sísmico máximo probable de diseño, sino para un *movimiento sísmico del umbral de daño* ante el cual no deben presentarse daños en la estructura y los elementos no-estructurales que comprometan el servicio y la función del hospital.

**ALCANCE.** Los requisitos especiales del presente Capítulo deben emplearse en el diseño de las edificaciones indispensables del Grupo de Uso IV y de las demás que la comunidad designe como tales.

**METODOLOGIA.** la determinación de la operatividad de la edificación con posterioridad a la ocurrencia de un sismo se realiza verificando que la edificación se mantiene dentro del rango elástico de respuesta al verse sometida a unas solicitudes sísmicas correspondientes al inicio del daño, o umbral de daño.

El sismo para el cual se hace esta verificación se define como aquel cuya probabilidad de ser excedido es del 80% en un lapso de 15 años, es decir un sismo relativamente frecuente ante el cual no deben presentarse daños en la edificación. Aparte de que para el *movimiento sísmico de diseño* se debe verificar que las deformaciones y desplazamientos de los diferentes pisos de la edificación no deben exceder --en el caso de una estructura aporticada-- una *deriva* del 1.00% (lo que significa un centésimo de la altura del piso), en el caso del *movimiento sísmico del umbral de daño* no debe exceder el 0.30%, es decir un 30% de la *deriva* máxima permitida de cada piso ante la acción del sismo máximo probable de

diseño. Este requerimiento es el que garantiza que ante un sismo moderado o fuerte --cuya severidad es menor que la del sismo máximo de diseño-- no se presenten daños en la estructura y los elementos no estructurales, evitándose en lo posible el "colapso funcional" de la edificación ante la ocurrencia de sismos frecuentes. De otra parte, la nueva norma colombiana a diferencia de la anterior obliga el *diseño de elementos no estructurales* y define un mínimo *grado de desempeño* que deben cumplir dichos elementos, exigiendo el máximo o *superior* para el caso de los hospitales.

**SUPERIOR.** Es aquel en el cual el daño que se presenta en los elementos no estructurales es mínimo y no interfiere con la operación de la edificación debido a la ocurrencia de un sismo.

En consecuencia, la fuerza de diseño con la cual se calcula la estabilidad y resistencia de los elementos no estructurales, se determina utilizando un *coeficiente de comportamiento* definido según el *grado de desempeño*, el cual para los hospitales es el más riguroso. De acuerdo con lo anterior, el diseño de nuevas edificaciones hospitalarias en Colombia, realizado con base en la normativa recientemente actualizada, es más riguroso y considera importantes aspectos de seguridad que usualmente los códigos no tenían en cuenta hasta ahora. De esta manera se logrará una mayor protección y seguridad en los nuevos hospitales, no sólo para sus ocupantes en el caso de sismos muy severos sino, también, para la continuidad del servicio y su funcionalidad en el caso de sismos moderados y fuertes, que ocurren de manera frecuente.

### Definición de equipamiento

Se refiere a la especificación minuciosa de las características individuales de cada uno de los muebles, equipos, instrumental y material requeridos para el funcionamiento de la institución. Contempla elementos necesarios en quirófanos, salas de hospitalización y consulta, laboratorios y ayudas diagnósticas, cocina, lavandería, mantenimiento, etc. En cada una de estas descripciones se deben incluir aspectos de mitigación referidos a la ubicación del equipo, fijación, así como criterios sobre vulnerabilidad funcional.

## FORMACION UNIVERSITARIA Y CAPACITACION PROFESIONAL

### Profesionales de la Salud

El sector de la salud constituye uno de los sectores con mayor experiencia en actividades de preparación y atención de desastres y es por ello que ha existido la preocupación por involucrar este tema dentro de los contenidos curriculares a nivel de pre y posgrado de las profesiones del área de salud desde principios de los años 80. No obstante que esta estrategia educativa no ha ofrecido resultados importantes en el corto plazo, si ha aportado un cambio conceptual y de actitud de los futuros profesionales del sector.

Es frecuente observar cierta resistencia a incluir nuevos temas en el plan de estudios de las facultades de medicina, enfermería y salud pública en general, requiriéndose para ello demostrar la importancia, afinidad y trascendencia del tema en la práctica profesional. Experiencias anteriores indican que el proceso se inicia generalmente con el interés particular de algún docente o como resultado de la realización de conferencias o seminarios que motivan el interés general. En ésto, las situaciones coyunturales juegan un papel primordial, como la reciente ocurrencia de un sismo, la cual puede ser el detonante que permite el inicio de este tipo de actividades dentro de la universidad.

La fase de institucionalizar estas prácticas docentes ha sido difícil y lenta. Dos estudios del Centro Colaborador en Preparativos para Casos de Desastre OMS/OPS, que funciona en la Facultad Nacional de Salud Pública de la Universidad de Antioquia, Colombia, indican importantes logros y también limitaciones, (Ref.41). El primero se realizó en relación con la enseñanza de la Administración Sanitaria de Emergencia en Situaciones de Desastre en las facultades de Medicina y Enfermería de Colombia y el otro sobre el mismo tema pero a nivel de posgrado para las escuelas y facultades de Salud Pública de la América Latina. Ambos estudios indican progresos pero también vacíos que han impedido el tratamiento generalizado del tema en las universidades.

Entre otros aspectos los estudios demostraron que existen factores externos e internos que influyen en esta fase en los centros académicos. Desde 1983 se inició la tarea de impulsar

la incorporación temática de desastres en los planes de estudio de las instituciones formadoras del recurso humano en salud, comenzando con las de salud pública y siguiendo con las de medicina y enfermería. Se han generado y se continúa produciendo un número importante de documentos didácticos y de referencia para apoyar el aprendizaje y su seguimiento. La labor promovida por la OPS ha sido desarrollada en cada país por los Ministerios de Salud y algunas de las universidades nacionales más representativas. Sin embargo, aún se presentan algunos obstáculos debido a la falta de compromiso de los docentes y de la administración de los centros académicos, como también debido a limitaciones en la disponibilidad de docentes formados y material de apoyo en el tema. Esta situación exige la promoción y el mantenimiento de una red de información o la integración y utilización de los recursos ya existentes para racionalizar la capacidad disponible a lo largo de toda la América Latina y el Caribe.

Por otra parte, los estudios antes mencionados también indican que existen dificultades para el debido tratamiento del tema a causa de limitaciones en el tiempo dentro de los planes curriculares y a la falta de reconocimiento curricular, entre otros.

Una estrategia integral para fortalecer el adecuado tratamiento de este tema a nivel de pre y posgrado es la siguiente:

- a) Presentación de una idea estructurada para la enseñanza del tema dirigida a los directivos y docentes de los centros académicos, explicando tanto la importancia como los contenidos sugeridos;
- b) Disponibilidad de información actualizada acerca de las políticas de formación relacionadas con el tema;
- c) Elaboración de un proyecto transcurricular, todo esto acompañado de una motivación y de una permanente actualización y profundización mediante actividades cortas de capacitación como seminarios, talleres, conferencias y cursos cortos.

El plan de estudios podría adecuarse en tres líneas:

- a) Prever una unidad específica de administración sanitaria en desastres distribuida en diferentes etapas de la carrera;
- b) Incluir y asimilar coherentemente los contenidos sobre desastres en las unidades tradicionales (epidemiología, saneamiento ambiental, cátedras médicas y quirúrgicas, administración hospitalaria, sociología, etc.);
- c) Una integración de las dos anteriores, obteniéndose como resultado un conocimiento homogéneo, ligado estrechamente a temas básicos de la carrera, otorgando una visión más integral y multidisciplinaria del tema.

La educación formal y la experiencia del Administrador de Salud en el tema de desastres se puede enriquecer con el aporte individual de profesionales del sector, en cuya formación ya se han incluido los aspectos relativos a desastres, así como otras materias relacionadas específicamente con cada disciplina, que contribuyen a la "seguridad en el ejercicio de la profesión", las cuales sumadas, aportan finalmente a la mitigación y la preparación para desastres.

Es indudable que en la medida en que el tema sea involucrado dentro del currículum académico de las profesiones de la salud, se avanzará con una dinámica de inercia propia. Las pérdidas ocasionadas por desastres serán menores y la capacidad de oferta de servicios de salud ante un evento estará proporcionada a la demanda con criterios de oportunidad y eficiencia.

### **Profesionales de la Arquitectura**

A diferencia de los países desarrollados, en general en América Latina la arquitectura hospitalaria ha sido olvidada. A excepción de algunos pocos casos dentro de los cuales se

destaca el curso que existió en la Facultad de Salud Pública de la Universidad de Antioquia en Medellín, Colombia, no se ha desarrollado un esfuerzo generalizado para impulsar la educación formal en esta materia. Mucho menos podría decirse, entonces, en relación con la debida consideración de la mitigación de riesgos y la prevención de desastres en los cursos de diseño hospitalario de las facultades de arquitectura, pues el tema es nuevo y en general no ha sido considerado en este tipo de cursos a nivel mundial.

Al igual que otras estructuras esenciales, el diseño de hospitales amerita ser tratado a nivel de pregrado y posgrado. En el primer caso, con el fin de hacer consciente al profesional acerca de la importancia del funcionamiento de este tipo de instalaciones, y en el segundo, con el fin de determinar los requisitos de diseño más adecuados de acuerdo con los análisis de costos, seguridad y operatividad que cada caso requiere. Una estrategia educativa como la recomendada no ofrece resultados importantes a corto plazo, pero sí aporta a un cambio conceptual y de actitudes de los futuros profesionales.

Es indudable, entonces, que es necesario comenzar a crear inquietudes en este aspecto, ya sea a nivel de pregrado o posgrado. Tal como ya se ha descrito, es fundamental entrar en una fase de mayor investigación y análisis con el fin de explorar todos los aspectos necesarios para que la mitigación de riesgos sea incluida dentro de los programas de planificación y diseño de las instalaciones de la salud, de tal manera que se pueda comenzar a crear una conciencia integral sobre mitigación, planificación y diseño de hospitales en las nuevas generaciones de arquitectos diseñadores y constructores.

En relación con la incorporación del tema en el plan de estudios de las facultades de arquitectura, es frecuente observar cierta resistencia, requiriéndose para ello demostrar la importancia, afinidad y trascendencia del tema en la práctica profesional. Experiencias anteriores indican que el proceso se inicia generalmente con el interés particular de algún docente o como resultado de la realización de conferencias o seminarios que motivan el interés general. En ésto, las situaciones coyunturales juegan un papel primordial, como la reciente ocurrencia de un sismo, la cual puede ser el detonante que permite el inicio de este tipo de actividades dentro de la universidad.

Es importante mencionar la íntima relación que deben tener los ingenieros relacionados con el diseño estructural, las instalaciones hidráulicas, eléctricas, de gas, etc. con los arquitectos diseñadores, razón por la cual el tema debe proyectarse también de manera multidisciplinaria. Tal como ya se mencionó, una vez la necesidad del tratamiento del tema se ha hecho explícita es menos difícil realizar la incorporación del mismo en los planes de estudios.

La adecuación curricular en arquitectura debe considerar dos áreas diferentes: la de planificación y la de diseño.

- a) En el área de planificación, se deben tratar aspectos geográficos, demográficos, socioeconómicos, etc., que permitan producir un programa de necesidades para el proyecto de factibilidad en el cual es necesario cambiar algunos de los esquemas tradicionales, con el fin de incorporar los aspectos relativos a la mitigación.
- b) En el área de diseño, se debe promover una investigación que ponga en práctica todas las propuestas de la fase de planificación, con el fin de traducirlas en soluciones arquitectónicas. Lo anterior, tal como se anotó anteriormente, no es posible sin la inclusión de profesionales de la medicina, enfermería, economía, ingeniería, etc. que deben conformar el equipo multidisciplinario que orienta las soluciones de conjunto. La función integradora del arquitecto podrá así ofrecer alternativas completas que minimicen los factores de riesgo en el diseño de edificaciones para la salud.

Este trabajo podría realizarse a nivel de pregrado en la fase avanzada de diseño, en la cual usualmente se trata el tema hospitalario ocasionalmente como un ejercicio de diseño y planificación. El establecimiento de un curso de posgrado implicaría mayores esfuerzos, ya

que su planeamiento constituye una serie de acciones sincronizadas entre diferentes disciplinas con profesionales de alta idoneidad y experiencia, y a esfuerzos económicos adicionales para cubrir gastos de divulgación, información, boletines, material audiovisual, programación, etc. Un curso de posgrado abarcaría los aspectos de investigación y práctica de la planificación y diseño de hospitales por áreas, las cuales darian la posibilidad de formular un programa curricular, que podría llegar a tener hasta una duración de dos años.

Es ineludible plantear aquí, también, que el diseño sismico hospitalario es una responsabilidad compartida de la arquitectura y la ingeniería. Muy particularmente, es necesario enfatizar que se comparte en cuanto a las relaciones físicas entre las formas arquitectónicas y los sistemas estructurales resistentes, y sería ideal que la compresión de estas relaciones estuviera presente en cada diseñador que trabaja en zonas de riesgo. Infortunadamente, a nivel internacional, los métodos educativos y de la práctica han tendido a reducir la oportunidad de fomentar este entendimiento en la manera de pensar del diseñador, ya que se separa la instrucción de los nuevos arquitectos de la de los nuevos ingenieros y, también en muchos casos, quedan separados en la práctica. De hecho, algunos arquitectos, por intuición o por un patrón conceptual tienen un excelente sentido de la estructura, pero son muy pocos, y esta comprensión afortunada tiende a ocurrir a pesar de su educación y práctica, y no a causa de éstas. En consecuencia, no puede dejarse de mencionar la especial importancia que tiene incorporar este aspecto en la formación del arquitecto, en sus cursos de estructuras y construcción desde los niveles inferiores a nivel de pregrado. Esto no solamente resulta útil en relación con el diseño hospitalario sino también en el diseño en general de edificaciones en zonas sísmicas.

Es importante mencionar, también, que es necesario llevar el tema de mitigación de riesgos orientado a la planificación y al diseño arquitectónico a todas las facultades y cursos que tengan relación con el área de la salud, para ilustrar a todos los profesionales de éstas disciplinas sobre las necesidades e inconvenientes que se presentan en las diferentes áreas y servicios de un hospital. Mediante esta estrategia se logra que dichos profesionales puedan exigir a los planificadores y diseñadores el cumplimiento de normas necesarias para la mitigación.

### **Profesionales de la Ingeniería**

En el contexto Latinoamericano, el tema de la ingeniería estructural, en general, es un aspecto de obligado tratamiento en las facultades de ingeniería civil. Sin embargo, los aspectos relacionados con el análisis y el diseño de estructuras sometidas a cargas sísmicas no ha sido generalizado a nivel de posgrado y mucho menos a nivel de la formación básica universitaria. En general, podría decirse que el diseño sismo-resistente no ha sido un tema suficientemente tratado, con excepción de algunos esfuerzos aislados de las facultades de ingeniería más prestigiosas de cada país, que ofrecen cursos de especialización o de educación continua en el tema.

En consecuencia, la consideración en forma específica del diseño estructural sismorresistente de instalaciones de la salud, tales como los hospitales, prácticamente no ha sido tenida en cuenta no sólo por la ausencia de este aspecto dentro de los cursos o materias especializadas en el análisis y diseño estructural sismorresistente, sino porque usualmente a las edificaciones del sector salud se les trata como una estructura convencional similar a otras o porque simplemente se tienen en cuenta sólo pequeñas diferencias que no conducen a la consideración de este tipo de estructuras como edificaciones que requieren de un tratamiento especial.

Al igual que el de otras estructuras esenciales, el diseño de hospitales amerita ser tratado a nivel de pregrado y posgrado. En el primer caso, con el fin de hacer consciente al profesional acerca de la importancia del funcionamiento de este tipo de instalaciones, y en el segundo, con el fin de evaluar el nivel de riesgo admisible y determinar los requisitos de

análisis y diseño más adecuados de acuerdo con los análisis de costos, seguridad y operatividad que cada caso requiere.

Por lo tanto, a nivel de pregrado se recomienda incluir en los cursos de análisis y diseño de estructuras apartes relativos a la importancia del buen desempeño de las estructuras hospitalarias, particularmente en los cursos relacionados con la aplicación de los requisitos de los códigos de construcción. Por otra parte, a nivel de posgrado, se recomienda tratar el tema del nivel de seguridad mínimo permisible para instalaciones tales como los hospitales y aplicar técnicas y metodologías como las descritas en este documento. Una estrategia educativa como la recomendada no ofrece resultados importantes a corto plazo, pero sí aporta a un cambio conceptual y de actitudes de los futuros profesionales.

Es frecuente observar cierta resistencia a incluir nuevos temas en el plan de estudios en las facultades de ingeniería, requiriéndose para ello demostrar la importancia, afinidad y trascendencia del tema en la práctica profesional. Experiencias anteriores indican que el proceso se inicia generalmente con el interés particular de algún docente o como resultado de la realización de conferencias o seminarios que motivan el interés general. En ésto, las situaciones coyunturales juegan un papel primordial, como la reciente ocurrencia de un sismo, la cual puede ser el detonante que permite el inicio de este tipo de actividades dentro de la universidad.

Es importante mencionar la íntima relación que deben tener los ingenieros relacionados con el diseño estructural, las instalaciones hidráulicas, eléctricas, de gas, etc. con los arquitectos diseñadores, razón por la cual el tema debe proyectarse también de manera multidisciplinaria. Tal como ya se mencionó, una vez que la necesidad del tratamiento del tema se ha hecho explícita, es menos difícil incorporarlo en los planes de estudios. Por esta razón los ingenieros, que usualmente son más conscientes de la problemática, deben promover e impulsar al interior de otras disciplinas la necesidad de que se asigne al tema la importancia que amerita, lo cual permitirá en el mediano plazo generar condiciones favorables para que en los planes de estudio se incorporen paulatinamente los aspectos relativos a la mitigación de desastres en los hospitales.

### Educación continua

Debido a que la estrategia de educación formal no ofrece resultados tangibles en el corto plazo, se hace necesario formular una estrategia mediante la cual se lleve el conocimiento a aquellos profesionales que se encuentran en el ejercicio de su profesión, sean ellos funcionarios del sector de la salud, arquitectos, ingenieros, consultores o docentes.

Ahora bien, teniendo en cuenta que la estrategia más efectiva para lograr incorporar el tema dentro de los planes de estudio de las facultades de la salud, arquitectura e ingeniería es promoviendo actividades de capacitación y educación continua, resulta como paso ineludible antes de impulsar la adecuación curricular, ambientar el tema al interior de las asociaciones profesionales y gremiales y los estudiantes de pregrado y posgrado.

A través de cursos cortos de educación continua y la presentación de conferencias relativas al comportamiento de hospitales ante cargas sísmicas y otras amenazas naturales, seminarios y talleres de arquitectura, ingeniería sísmica, concreto reforzado, construcción, etc., es posible inquietar a los profesionales relacionados con la edificación hospitalaria y en muchos casos capacitarlos para iniciar la debida consideración de la mitigación de riesgos en las instalaciones de la salud existentes y en el diseño de nuevas edificaciones.

En líneas generales, se pueden establecer primeramente conferencias que abarquen temas como: El desarrollo de nuevas técnicas de planificación de hospitales ubicados en zonas sísmicas, diseño sísmico arquitectónico de hospitales, desarrollo de técnicas para el cambio de utilización del espacio con fines de atención de emergencias y mitigación de riesgos, actualización en análisis de riesgo y microzonificación sísmica con fines de lograr una conveniente ubicación de las instalaciones de la salud, evaluación de la vulnerabilidad

funcional y no-estructural de hospitales, análisis de vulnerabilidad de hospitales existentes, entre otros.

Dichos temas pueden ser presentados como iniciativa propia de los docentes interesados o por un grupo de profesionales que tengan conocimiento del tema, con el fin de ofrecer a las instituciones del sector de la salud la organización de seminarios congresos que enfoquen el tema de la mitigación y así crear inquietudes y acrecentar el número de interesados.

Las asociaciones profesionales y gremiales y las universidades pueden colaborar en forma importante para que éste proceso de capacitación profesional se desarrolle con seriedad y sentido de pertenencia, ampliando la cobertura que se puede lograr al interior de las instituciones. Técnica educativa que se convierte en un medio excelente para recoger experiencias y proponer alternativas para la educación formal.

## REFERENCIAS

1. ACI, *Seismic Design for Existing Structures*, Seminar Course Manual SCM-14(86), Detroit 1986.
2. AIA/ACSA Council on Architectural Research, *Buildings at Risk: Seismic Design Basis for Practicing Architects*, American Institute of Architects, Association of Collegiate Schools of Architecture, Washington, 1994.
3. Aoyama, H, *A Method for the Evaluation of the Seismic Capacity of Existing Buildings Reinforced Concrete in Japan*, Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering, Vol.14, No. 3, 1981.
4. Applied Technology Council (ATC) (Report ATC 3-06), *Tentative Provisions for Development of Seismic Regulations for Buildings* Palo Alto, 1978. [Versión en español por Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, Bogotá, 1979.]
5. ATC (Report ATC-14), *Evaluating the Seismic Resistance of Existing Buildings*, Redwood City, 1987.
6. ATC (Report ATC-21), *Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook*, Redwood City, 1988 (FEMA Report 154, July 1988).
7. ATC (Report ATC-22), *A Handbook for Seismic Evaluation of Existing Buildings*, Redwood City, 1989.
8. ATC (Report ATC 22-1), *Seismic Evaluation of Existing Buildings: Supporting Documentation*, Redwood City, 1989, (FEMA 175, 1989)
9. ATC (Report ATC-29-1), *Seminar on Seismic Design, Retrofit, and Performance of Nonstructural Components*, Proceedings, NCEER, Redwood City, 1998.
10. 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 273/274).
11. ATC (Report ATC 40), *Sismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*, 2 Volumes, Seismic Safety Commission, Redwood City, 1996.
12. Argudo, J., Yela, R., *Vulnerabilidad Estructural de Hospitales de Guayaquil - Ecuador*, Estudio inédito realizado para la OPS/ECHO, Guayaquil 1995.
13. Arnold C., Durkin M., *Hospitals and the San Fernando Earthquake*, Building Systems Development Inc., 1983.
14. Arnold, C., Reitherman, R., *Configuración y Diseño Sísmico de Edificios*. México: Limusa, 1987.
15. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), *Adición, Modificación y Remodelación del Sistema Estructural de Edificaciones Existentes antes de la Vigencia*

- del Decreto 1400/84.* Norma AIS-150-86. Bogotá, 1986.
16. AIS, *Análisis de Vulnerabilidad Sísmica del Hospital Universitario de Caldas*, Comité de Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico AIS-400, Manizales 1992.
  17. AIS, *Análisis de Vulnerabilidad Sísmica del Hospital Departamental Evaristo García*, Comité de Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico AIS-400, Cali 1992.
  18. AIS, *Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes, Comentarios, Manuales y Especificaciones*. Bogotá, 1991.
  19. 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.
  20. AIS, *Seminario sobre Vulnerabilidad Sísmica de Edificaciones y de Líneas Vitales*, Boletín Técnico No. 50, AIS/Universidad de los Andes, Bogotá, Junio 1996.
  21. Akiyama, H., *Earthquake-Resistant Limit-State Design for Buildings*. Tokio, 1985.
  22. Aktan A.E., I-Kang Ho, "Seismic Vulnerability Evaluation of Existing Buildings, EERI Earthquake Spectra, 6(3): 439-472, 1990.
  23. Barquín, M., "El proceso administrativo en los hospitales". Tomado de Abraham Sonis, *Medicina Sanitaria y Administración de Salud*, Vol II, Cap. 10.
  24. Bazán, E., Meli, R., *Manual de Diseño Sísmico de Edificios*, Limusa, México, 1987.
  25. Bellido, J. et al, *Vulnerabilidad No-estructural del Hospital Nacional Guillermo Almenara Irigoyen*, OPS, Lima 1997.
  26. Bertero, V., "Rehabilitación Sísmica de Edificios Existentes", *Terremoto de Caracas 30 Años Después, Caracas*, 1997.
  27. Bitrán, D., Estrategias y Políticas para Hospitales más Seguros en América Latina y el Caribe, Documento Inédito para la OPS, Preliminar Enero 1998.
  28. Blejwas T., Bresler B., *Damageability in Existing Buildings* (Informe no. UCB/EERC-78/12). Earthquake Engineering Research Center, University of California, Agosto 1979.
  29. Bolt, B.A., *Terremotos* (Serie Reverté Ciencia y Sociedad). Barcelona 1981.
  30. Boroschek, R. et al, *Capacidad de Respuesta de Hospitales ante Desastres Sísmicos: Aspectos No Estructurales*, Conferencia Internacional sobre Mitigación de Desastres en Instalaciones de Salud, OPS, México 1996.
  31. Boroschek, R., Astroza, M., *Estudio de Vulnerabilidad Física del Hospital San Martín de Quillota*, Ministerio de Salud de Chile, OPS, Santiago, 1994.
  32. Cardona, O.D., *Ánalisis de Vulnerabilidad No-estructural y Funcional del Hospital*

- Ramón Gonzalez Valencia de Bucaramanga, Contrato de Consultoría 972-96, Ministerio de Salud, Bogotá, 1997.
33. Cardona, O.D., *Análisis de Vulnerabilidad Sísmica y Diseño del Reforzamiento del Hospital Kennedy de Santa Fe de Bogotá*, Ingeniar Ltda: Ingenieros y Arquitectos Consultores, ECHO:3/OPS, Bogotá, 1996.
  34. Cardona, O.D., *Estudios de Vulnerabilidad y Evaluación del Riesgo Sísmico: Planificación Física y Urbana en Areas Propensas*. Boletín Técnico No. 33, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, Bogotá, Diciembre 1986.
  35. Cardona, O.D., "Evaluación de la Amenaza, la Vulnerabilidad y el Riesgo", *Taller Regional de Capacitación para la Administración de Desastres*, OPS/ PNUD/ UNDRO/ OEA/ ONAD, Bogotá, 1991. *II Simposio Latinoamericano de Riesgo Geológico Urbano*, Vol.1, EAFIT, Pereira, Julio 1992.
  36. Cardona, O.D., *Las Edificaciones Hospitalarias en la Nueva Legislación Sísmica Colombianas*, Conferencia Internacional sobre Mitigación de Desastres en Instalaciones de Salud, OPS, México 1996.
  37. Cardona, O.D., "Metodología para la Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de Edificaciones y Centros Urbanos", *VII Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sismo-Resistente - IX Jornadas Estructurales*, SCI/AIS/MOPT, Bogotá, Octubre 1991.
  38. Cardona O.D., *Términos de Uso Común en Manejo de Riesgos*, AGID Report No. 13, EAFIT, I Seminario Andino de Geología Ambiental, Medellín, Abril, 1990.
  39. Cardona O.D., Hurtado J.E., "Análisis de Vulnerabilidad Sísmica de Estructuras de Concreto Reforzado", *Reunión del Concreto*, ASOCRETO, Cartagena, 1992.
  40. Cardona, O.D., Sarmiento, J.P., *Análisis de Vulnerabilidad y Evaluación del Riesgo para la Salud de una Población expuesta a Desastres*, Cruz Roja Colombiana, 1990.
  41. Centro Colaborador en Preparativos para casos de Desastre OMS/OPS, Universidad de Antioquia/Facultad Nacional de Salud Pública, *Enseñanza de la Administración Sanitaria de Emergencia en Situaciones de Desastre en las Facultades de Medicina y Enfermería de Colombia*, Medellín, 1992.
  42. Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS), *Programa para la Mitigación de los Efectos de los Terremotos en la Región Andina*; Proyecto SISRA, Lima, 1985.
  43. CEPAL, Impactos Económicos d los Desastres Naturales en la Infraestructura de Salud, Reporte LC/MEX/L.291, México, Enero 1996.
  44. Clough, R., Penzien, J., *Dynamics of Structures*. Tokio: McGraw-Hill Kogakusha, 1975.
  45. COLSUBSIDIO, *Plan de Evacuación Caja Colombiana de Subsidio Familiar*. Bogotá, Departamento de Seguridad, 1987.

46. Consejo Canadiense para Acreditación de Hospitales, *Plan Hospitalario para Desastre*.
47. Crawley , S.W., Ward. D. B., *Seismic and Wind Loads in Architectural Design : An Architect's Study Guide*, American Institute of Architects. 2<sup>nd</sup> Edition, 1990.
48. Cruz, M. F., "Comportamiento de Hospitales en Costa Rica Durante los Sísmos de 1990", *Taller Regional de Capacitación para la Administración de Desastres*, OPS/PNUD/ UNDRO/ OEA/ ONAD, Bogotá, 1991.
49. Cruz, M.F., Acuña, R., *Diseño Sismo-Resistente del Hospital de Alajuela: Un Enfoque Integrador*, Conferencia Internacional sobre Mitigación de Desastres en Instalaciones de Salud, OPS, México 1996.
50. Defensa Civil Colombiana, *Desastres en Grandes Edificaciones y Areas de Aglomeración Humanas*. Bogotá, 1985.
51. Dowrick, D.J. *Diseño de Estructuras Resistentes a Sismos para Ingenieros y Arquitectos*. México: Limusa, 1984.
52. Earthquake Engineering Research Institute (EERI), "Glossary of Terms for Probabilistic Seismic-Risk and Hazard Analysis", *EERI Earthquake Spectra*, 1(1):33-40, Committee on Seismic Risk, 1984.
53. EERI, "The Basics of Seismic Risk Analysis," *EERI Earthquake Spectra*, 5 (4):675-801, Committee on Seismic Risk, 1990.
54. EERI, *Nonstructural Issues of Seismic Design and Construction* (Publication No. 84-04). Oakland, California, 1984.
55. EERI, *Reducing Earthquake Hazards: Lessons Learned from the 1985 Mexico Earthquake* (Publication No. 89-02). Oakland, California: EERI, 1989.
56. EERI, *Reducing Earthquake Hazards: Lessons Learned from Earthquakes*. (Publication No. 86-2). Oakland, California, 1986.
57. Englekirk R.E., Sabol T.A., "Strengthening Buildings to Life Safety Criterion," *EERI Earthquake Spectra*, 7(1): 81-87, 1991.
58. Federal Emergency Management Agency (FEMA), *NEHRP Handbook for Seismic Evaluation of Existing Buildings*. (FEMA 178), Washington, 1992; *Handbook for Seismic Evaluation of Buildings: A Prestandard*. (FEMA 310), Washington, 1998.
59. FEMA, *NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings*. (FEMA 222A, 223A), Washington, 1995.
60. FEMA, *Non-Structural Earthquake Hazard Mitigation for Hospitals and Other Care Facilities* (FEMA IG 370). Washington, D.C., 1989.

61. 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.]
62. FEMA, *Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: Supporting Documentation* (Report ATC-21-1). (FEMA 155) Washington 1988..
63. FEMA, *Reducing the Risks of Nonstructural Earthquake Damage : A Practical Guide*. (FEMA 74 Supersedes 1985 Edition) Washington 1994.
64. FEMA, *Seismic Considerations: Health Care Facilities* (Earthquake Hazard Reduction Series 35; FEMA 150). Washington D.C., 1987.
65. FEMA, *Seismic Protection Provisions for Furniture, Equipment, and Supplies for Veterans Administration Hospitals*, Washington, D.C., 1987.
66. FEMA, *Student Manual for Nonstructural Earthquake Mitigation for Hospitals and Other Health Care Facilities*. [Curso ofrecido por Emergency Management Institute, Emmitsburg, Maryland, USA. 1988.]
67. FEMA, *Typical Costs for Seismic Rehabilitation of Existing Buildings*, Volume I Summary (FEMA 156), Volume II Supporting Documentation (FEMA 157), Washington 1988.
68. García. L.E., *Dinámica Estructural Aplicada al Diseño Sísmico*, Universidad de los Andes, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, Bogotá, 1998.
69. Ghosh, S.K. (editor), *Earthquake Resistant Concrete Structures Inelastic Response and Design* (SP-127), ACI, 1991.
70. Grases, J., "Notas para la Estimación de Requerimientos Hospitalarios en Areas Urbanas que pueden ser afectadas por Sismos Intensos", *Seminario Desastres Sísmicos en Grandes Ciudades*, ONAD, Bogotá, 1990.
71. Grases, J. et al, *Evaluación Sismorresistente de Instalaciones de la Ciudad Universitaria DR. Enrique Tejera, Valencia, Estado Carabobo, Venezuela*. Informe de Estudio para la OPS, inédito. Caracas, 1995.
72. Guevara, L.T., *Evaluación Preliminar de la Respuesta ante el Sismo del 09-07-97 del Hospital Antonio Patricio de Alcalá, Cumaná, Edo. Sucre, Venezuela: Aspectos Arquitectónicos-Funcionales del Departamento de Emergencia y Medicina Crítica*. Informe inédito para la OPS, Caracas, 1997.
73. Hirosawa, M., *Evaluation of Seismic Safety and Guidelines on Seismic Retrofitting Design of Existing Reinforced Concrete Buildings*, Tokyo 1976, VI Seminar on Seismology and Earthquake Engineering for Structural Engineers, 1988.
74. Hirosawa, M. et al, "Seismic Evaluación Method and Restoration Techniques for Existing and Damaged Buildings Developed in Japan". *IDNDR International Symposium on Earthquake Disaster Reduction Technology*, Tsukuba, Japan, 1992.

75. Iglesias, J., *Evaluación de la Capacidad Sísmica de Edificios en la Ciudad de México*, Secretaría de Obras, México, 1986.
76. Iglesias, J. et al., *Reparación de Estructuras de Concreto y Mampostería*, Universidad Autónoma Metropolitana, México, 1988.
77. Lomnitz, C., Rosenblueth, E. (eds), *Seismic Risk and Engineering Decisions*, Amsterdam, 1976.
78. McGavin, G.L., *Earthquake Protection of Essential Building Equipment Design Engineering Installation*. Nueva York: John Wiley & Sons, 1981.
79. Meek, J., *Matrix Structural Analysis*. Tokio: McGraw-Hill Kogakusha, 1971.
80. Ministerio de Salud de Colombia, *Manual de Acreditación de Prestadores de Servicios de Salud*, Bogotá, 1992.
81. Ministerio de Salud de Chile, *Seminario sobre Mitigación de Vulnerabilidades Hospitalarias*, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias físicas y Matemáticas, Santiago, 1997.
82. Ministre des Approvisionnements et Services Canada, *Services D'Urgence Préhospitaliers*, 1985.
83. Morales, N.R., Sato,J., *Vulnerabilidad Funcional del Hospital Nacional Guillermo Almenara Irigoyen*, OPS, Lima 1997.
84. Morales, N.R., "Proyecto de Manual de Procedimientos Operativos en Desastre". *Revista de Sanidad de las Fuerzas Policiales*. Volumen 44 No. 2, Lima, 1983.
85. Nagasawa, Y., *Daños Provocados en Hospitales y Clínicas por Terremoto en Kobe, Japón*. Japa Hospital No. 15.
86. National Center for Earthquake Engineering Research (NCEER), *Manual of Repair Methods for Civil Engineering Structures Damaged by Earthquakes*. State University of New York at Buffalo, 1990.
87. Newmark, N. M., Rosenblueth, E., *Fundamentos de Ingeniería Sísmica*. México, 1976.
88. Oficina de Asistencia al Exterior en Casos de Desastre de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (OFDA/USAID). *Curso de Administración para Desastres I*. San José, Costa Rica, 1992.
89. Ohkubo M., *Current Japanese System for Evaluation of Seismic Capacity of Existing Reinforced Concrete Buildings Structures*. Tsukuba, Japón: International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, Diciembre 1991.
90. Organization of American States (OAS), *Primer on Natural Hazard Management in Integrated Regional Development Planning*. Department of Regional Development and

- Enviroment, Washington, D.C., 1991.
91. Organización de los Estados Americanos (OEA), *Desastres, Planificación y Desarrollo: Manejo de Amenazas Naturales para Reducir los Daños*. Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente, Washington, D.C., 1991.
92. Organización Panamericana de la Salud (OPS), *Administración Sanitaria de Emergencia con Posteridad a los Desastres Naturales* (Publicación Científica No. 407), Washington D.C., 1981.
93. OPS, *Análisis de Riesgo en el Diseño de Hospitales en Zonas Sísmicas*. Edición de varios artículos, Washington, D.C., 1989.
94. OPS, *Guías para la Mitigación de Riesgos Naturales en las Instalaciones de la Salud de los Paises de América Latina*. Washington, D.C., 1992.
95. OPS, *Lecciones Aprendidas en América Latina de Mitigación de Desastres en Instalaciones de Salud. Aspectos de Costo - Efectividad*, DHA, Secretariado del IDNDR, OPS, Washigton 1997.
96. OPS, *Organización de los Servicios de Salud para Situaciones de Desastre* (Publicación Científica No. 443), Washington, D.C., 1983.
97. OPS, *Programa de Reconstrucción y Reordenamiento de los Servicios de Salud*. Secretaría de Salud, México, 1986.
98. OPS, *Terremoto en México 1985* (Crónicas de Desastres No. 3). Washington, D.C., 1987.
99. Pan American Health Organization (PAHO), *Disaster Mitigation Guidelines for Hospitals and Other Health Care Facilities in the Caribbean*. Washington, D.C., 1992.
100. PAHO, *Report on Disasters and Emergency Preparedness for Jamaica, St. Vincent and Dominica* (Disaster Report No. 2). Washington, D.C., 1983.
101. Park, R., Paulay, T., *Estructuras de Concreto Reforzado*. México: Editorial Limusa, 1978.
102. Park, Y.J. Ang, A. H-S, and Wen, Y.K., *Seismic Damage Analysis and Damage-Limiting Design of R/C Buildings*, Civil Engineering Studies, Report SRS 516, University of Illinois, Urbana, 1984.
103. Park, Y.J., Reinhorn, A.M. and Kunnath, S.K. IDARC : Inelastic Damage Analysis of Reinforced Concrete Frame - Shear Wall Structures, Report NCEER-87-0008, State University of New York at Buffalo, 1987.
104. Perbix T.W., Burke P., "Toward a Philosophy for Seismic Retrofit: The Seattle Experience," *EERI Earthquake Spectra*, 5(3): 557-569, 1990.
105. Platt C.M., Shepherd R., "Some Cost Considerations of the Seismic Strengthening of

- Pre-Code Buildings" *EERI Earthquake Spectra*, 1(4): 695-720, 1985.
106. Priestley, M.J. N., Calvi, G. M., "Towards a Capacity-Design Assessment Procedure for Reinforced Concrete Frames," *EERI Earthquake Spectra* 7(3): 413-437, 1991.
107. Reinhorn, A.M. et al, IDARC 2D Versión 4.0 ; A Program for Inelástic Damage Analysis of Buildings, Users Manual, Report NCEER-96.0010, University of Buffalo, New York, 1996.
108. Reitherman, R., *Reducing the Risks of Nonstructural Earthquake Damage: A Practical Guide*. Bay Area Earthquake Preparedness Project, San Francisco, CA, USA. 1986. [FEMA 74].
109. Rivera de Uzcátegui, I., *Evaluación Primaria de Edificios Bajos ante Solicitaciones Sismicas, Aplicación al Hospital Universitario de Mérida*. Mérida, Venezuela: Universidad de los Andes, 1989.
110. Rodriguez Tellez, C., *Manual de Vigilancia y Protección de Instalaciones*, Consejo Colombiano de Seguridad, Bogotá, 1988.
111. Rosenblueth, E. (ed.), *Design of Earthquake Resistant Structures*. Nueva York, 1981.
112. Sanz Septien, M., "La Seguridad Contra Incendios en Hospitales", *Mapfre Seguridad*, Vol. 7, No. 27, 1987.
113. Sarmiento, J.P., *Atención de Heridos en Masa*, Ministerio de Salud de Colombia, 1987.
114. Sarmiento, J.P., *Plan Hospitalario de Emergencia*, Ministerio de Salud de Colombia, Bogotá, 1988.
115. Sarmiento, J.P., *Plan Integral de Seguridad Hospitalaria* Ministerio de Salud de Colombia, Bogotá, 1996.
116. Sarmiento, J.P., *Plan de Emergencia Hospitalario*, Hospital Infantil de Pasto, Nariño, 1985.
117. Sarmiento, J.P., *Plan de Emergencia Hospitalario*, Clínica del Seguro Social Pasto, Nariño, 1985.
118. Sarria, Alberto, *Ingeniería Sísmica*. Ediciones Uniandes, Bogotá, 1990
119. Savage, P.E.A., *Planeamiento Hospitalario para Desastres*, Harla/OPS, México, 1989.
120. Scott, J.G., *Architecture Building Codes*, Van-Nostrand Reinhold, New York 1997.
121. Secretaría de Salud de México, *Hospital Preparado para Afrontar Situaciones de Desastre*, Programa de Atención a la Salud en Desastres. México, 1997.
122. Stewart, D., "Vulnerabilidad Física y Funcional de Hospitales Localizados en Zonas de Riesgo Sísmico", Seminario Desastres Sísmicos en Grandes Ciudades, ONAD, Bogotá,

1990

123. Rodriguez M., Park R., "Repair and Strengthening of Reinforced Concrete Buildings for Seismic Resistance," *EERI Earthquake Spectra*, 7(3): 439-459, 1991.
124. Sugano S., *Seismic Strengthening of Existing Reinforced Concrete Buildings in Japan*. Tsukuba, Japan: International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, Diciembre 1991.
125. Tassios T.P., *Evaluation of the Relative Seismic Risk of Existing Buildings by Means of Simplified Vulnerability Techniques*. (Informe del proyecto Popayán, presentado en Atenas, Grecia, Diciembre 1989.)
126. University of Antioquia, WHO Collaborating Center, *The Status of Instruction on Emergency Health Management after Disasters at the Postgraduate Level in Latin America*, PAHO/WHO, 1990.
127. URS/JOHN A. BLUME & ASSOCIATES, ENGINEERS, *Selected Seismic Rehabilitation Techniques and Their Costs*, NEHRP, Contract No. EMW-87-C-2527, FEMA.
128. Department of Energy, *Seismic Safety Manual: A Practical Guide for Facility Managers and Earthquake Engineers*, Office of Environment, Safety and Health, Office of Nuclear and Facility Safety, University of California, Livermore, 1996.
129. Department of Defense, *Seismic Design Guidelines for Upgrading Existing Buildings*. Technical Manual, Army TM 5-809-10-2, Navy NAVFAC P-355.2, Air Force AFM 88-3, Capítulo 13, Sección B, Septiembre 1988.
130. Veterans Administration, *Study of Establish Seismic Protection Provisions for Furniture, Equipment and Supplies for VA Hospitals*, Office of Construction, Washington D.C., 1980.
131. Wheeler E.T., *Diseño Funcional y Organización de Hospitales*, Instituto de Estudios de Administración Local, Madrid, 1976.
132. Wiegel, R.(ed.), *Earthquake Engineering*, Englewood Cliffs, 1970.
133. Williams, M.S., Sexsmith, R.G., "Seismic Damage Indices for Concrete Structures: A State-of-the-Art Review", *EERI Earthquake Spectra*, Vol. 11 No. 2, May 1995.
134. Zeballos, J.L., *Guías para Planes Hospitalarios para Desastres*, Versión Preliminar, OPS/OMS, 1986.



## CENTRO INTERNACIONAL DE METODOS NUMERICOS EN INGENIERIA

### **Lista de monografías publicadas en la Serie de Ingeniería Sísmica**

Las monografías pueden adquirirse dirigiéndose al Departamento de Publicaciones del Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, Edificio C1, Campus Norte UPC, c/ Gran Capitán s/n, 08034 Barcelona, teléfono: 93-401.60.37, Fax: 93-401-65-17.

- IS-1      *Qualitative Reasoning for Earthquake Resistant Buildings*, Luís M. Bozzo, 149 pp., ISBN 84-87867-36-7, 1993.
- IS-2      *Control predictivo en sistemas de protección sísmica de estructuras*, R. Andrade Cascante, J. Rodellar, F. López Almaza, 143 pp., ISBN 84-87867-37-5, 1993.
- IS-3      *Simulación numérica del comportamiento no lineal de presas de hormigón ante acciones sísmicas*, M. Galindo, J. Oliver, M. Cervera, 255 pp., ISBN 84-87867-38-3, 1994.
- IS-4      *Simulación del daño sísmico en edificios de hormigón armado*, A. Hanganu, A.H. Barbat, S. Oller, E. Oñate, 96 pp., ISBN 84-87867-40-5, 1994.
- IS-5      *Edificios con aislamiento de base no lineal*, N. Molinares, A.H. Barbat, 96 pp., ISBN: 84-87867-41-3, 1994.
- IS-6      *Vulnerabilidad sísmica de edificios*, C. Caicedo, A.H. Barbat, J.A. Canas, R. Aguiar 100 pp., ISBN 84-87867-43-X, 1994.
- IS-7      *Análisis de terremotos históricos por sus efectos*, J. R. Arango Gonzalez, 119 pp., ISBN 84-87867-44-8, 1994.
- IS-8      *Control activo no lineal de edificios con aislamiento de base*, A.H. Barbat, N. Molinares, J. Rodellar, 124 pp., ISBN 84-87867-46-4, 1994.
- IS-9      *Análise estocástica da resposta sísmica não-linear de estruturas*, A.M. F. Cunha, 199 pp., ISBN: 84-87867-47-2, 1994
- IS-10     *Definición de la acción sísmica*, A.H. Barbat, L. Orosco, J.E. Hurtado, M. Galindo, 122 pp., ISBN: 84-87867-448-0, 1994
- IS-11     *Sismología y peligrosidad sísmica*, J.A. Canas Torres, C. Pujades Beneit, E. Banda Tarradellas, 87 pp., ISBN: 84-87867-49-9, 1994
- IS-12     *Riesgo, peligrosidad y vulnerabilidad sísmica de edificios de mampostería*, F. Yépez, A.H. Barbat, J.A. Canas, 104 pp., ISBN: 84-87867-50-2, 1995
- IS-13     *Estudios de ingeniería sismológica y sísmica*, J.A. Canas, ISBN: 84-87867-57-X, 13 pp., 1995
- IS-14     *Simulación de escenarios de daño para estudios de riesgo sísmico*, F. Yépez, A.H. Barbat y J.A. Canas, ISBN: 84-87867-58-8, 103 pp., 1995
- IS-15     *Diseño sismorresistente de edificios de hormigón armado*, L. Bozzo, A.H. Barbat, ISBN: 84-87867-59-6, 185 pp., 1995
- IS-16     *Modelo tridimensional de atenuación anelástica de las ondas sísmicas en la Península Ibérica*, J.O. Caselles, J. A. Canas, Ll. G. Pujades, R.B. Herrmann, ISBN: 84-87867-60-X, 119 pp., 1995

- IS-17 *Indices de daño sísmico en edificios de hormigón armado*, R. Aguiar  
ISBN: 84-87867-43-X, 99 pp., 1996
- IS-18 *Experimental study of a reduced scale model seismically base isolated with Rubber-Layer Roller Bearings (RLRB)*, D. Foti, J.M. Kelly  
ISBN: 84-87867-82-0, 112 pp., 1996
- IS-19 *Modelos de evaluación del comportamiento sísmico no lineal de estructuras de hormigón armado*, F. Yépez Moya  
ISBN: 84-87867-80-4, 96pp., 1996
- IS-20 *Evaluación probabilista de la vulnerabilidad y riesgo sísmico de estructuras de hormigón armado por medio de simulación*, F. Yépez Moya, A.H. Barbat, J.A. Canas, ISBN: 84-87867-81-2, 1996
- IS-21 *Modelización de la peligrosidad sísmica. Aplicación a Cataluña*, J.A. Canas, J.J. Egoscue, J. Miquel Canet y A.H. Barbat, ISBN: 84-87867-83-9, 101pp., 1996
- IS-22 *Evaluación del daño sísmico global en edificios porticados de hormigón armado*, R. Aguiar, A.H. Barbat and J. Canas, ISBN: 84-87867-96-0, 173pp., 1997
- IS-23 *Daño sísmico global en edificios con muros de cortante*, R. Aguiar,  
ISBN: 84-89925-00-3, 101 pp., 1997
- IS-24 *Conceptos de cálculo de estructuras en las normativas de diseño sismorresistente*, A.H. Barbat y S. Oller, ISBN: 84-89925-10-0, 107pp., 1997
- IS-25 *Stochastic dynamics of hysteretic structures*, J.E. Hurtado, ISBN: 84-89925-09-7, 205pp., 1998
- IS-26 *Análisis de los acelerogramas de la serie de Adra (Almería). Diciembre 1993 a Enero 1994*, R. Blázquez, A. Suárez, E. Carreño y A.J. Martín, ISBN: 84-89925-11-9, 91pp., 1998
- IS-27 *Respuesta de puentes frente a acciones sísmicas*, E. Maldonado, J.A. Canas, J.R. Casas, L.G. Pujades, ISBN: 84-89925-23-2, 107pp., 1998
- IS-28 Estudio de parámetros en la vulnerabilidad sísmica de puentes, E. Maldonado, J.A. Canas y J.R. Casas, ISBN: 84-89925-16-X, 97pp., 1998
- IS-29 *Metodologias para o cálculo sísmico não-linear de barragens de betão*, R. Faria  
ISBN: 84-89925-25-9, 113pp., 1998
- IS-30 *Acciones para el diseño sísmico de estructuras*, R. Aguiar, ISBN: 84-89925-27-5, 122pp., 1998
- IS-31 *Avaliação do comportamento sísmico de barragens de betão*, R. Faria,  
ISBN: 84-89925-28-3, 88pp., 1998

Los autores interesados en publicar monografías en esta serie deben contactar con el editor para concretar las normas de preparación del texto.