

The Institution of Civil Engineers (Reino Unido)

Estructuras resistentes a desastres



Intermediate Technology Development Group, ITDG Perú

Estructuras resistentes a desastres / The Institution of Civil Engineers; Intermediate Technology Development Group.- Lima: ITDG, 1999
xiv, 185 p.; ilus.

DESASTRES NATURALES / CAPACITACIÓN / CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS / INGENIERÍA CIVIL / POLÍTICA DE VIVIENDAS / SISMOS / GESTIÓN DE LOS RIESGOS / TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN

712 / 159

Clasificación SATIS / Descriptores OCDE

Traducción del original en inglés: "Structures to Withstand Disasters"

© The Institution of Civil Engineers, 1995.

Londres: Thomas Telford Services Ltd, 1 Heron Quay, E14 4JD.

ISBN: 0 7277 2067 8

ISBN de la presente edición 9972 47 056 3

Hecho el depósito legal N° 99-3310

Razón Social: Intermediate Technology Development Group, ITDG-Perú

Domicilio: Av. Jorge Chávez 275, Miraflores, Lima 18, Perú. Casilla Postal 18-0620.

Teléfonos: 4475127, 4447055, 4467324. Fax: 4466621

postmaster@itdg.org.pe www.itdg.org.pe

Primera publicación: 1995

Primera edición en español: 1999

© 1999, Intermediate Technology Development Group, ITDG-Perú

Coordinación de la edición: Andrew Maskrey / Fernando Ramírez

Traducción: Alberto Zavala

Asistente de edición: Ivonne Chiroque

Producción editorial: Soledad Hamann

Corrección: José Luis Carrillo M.

Diagramación e impresión: Punto y Coma editores eirl / 467-0707

Presentación a la edición en español

El libro *Structures to Withstand Disaster* fue publicado en su versión inglesa en 1995 como una contribución al trabajo del Decenio Internacional para la Reducción de Desastres Naturales (DIRDN).

Al igual que *Megaciudades: reduciendo la vulnerabilidad a los desastres*, ya traducido al español por ITDG, este aporte de Instituto de Ingenieros Civiles (ICE) del Reino Unido presenta un notable interés para el lector latinoamericano preocupado por la gestión de riesgos y el manejo de desastres.

Tomando dos tipos particulares de eventos, los fuertes vientos y los sismos, por los daños significativos que causan en diversos tipos de estructuras y edificaciones, los autores describen, en una primera parte del libro, una serie de elementos que contribuyen a un enfoque de planificación a largo plazo del tipo de medidas de intervención necesarias para la mitigación de desastres futuros, al mismo tiempo que establecen recomendaciones sobre aquellas medidas necesarias en situaciones de post-emergencia y reconstrucción, y que contribuyan a la mitigación en el futuro.

En la segunda parte del libro se presentan, a manera de ilustración, una serie de estudios de caso en los cuales se han aplicado algunas de esas medidas o han permitido una reflexión para formularlas. Estos casos abarcan experiencias en Jamaica, Egipto, Turquía, Filipinas, Colombia y Grecia.

Aunque es un texto escrito por ingenieros y con un cierto nivel de especialización, está dirigido también a administradores, planificadores y, en general, a un público preocupado por la ocurrencia de desastres naturales y por las medidas de intervención que pueden llevar a su reducción y mitigación.

Como se dijo ya en la presentación de *Megaciudades: reduciendo la vulnerabilidad a los desastres*, "uno de los retos en la traducción del presente volumen fue decidir hasta qué punto era importante adecuar algunos conceptos, los ejemplos y el lenguaje a la realidad americana...". Nuestra estrategia en este caso ha sido tratar de ser lo más fiel posible a la versión original, aun cuando pueda haber contradicciones con la visión latinoamericana del problema. Por ello creemos que el libro conservará su frescura original y esperamos sirva para provocar el debate y la polémica en torno a las propuestas en él contenidas.

Además de agradecer al Sr. Stuart Muslow, quien como Presidente del Instituto de Ingenieros acogió la idea de la traducción al español y fue responsable de concretar el proyecto, queremos agradecer a las siguientes personas que contribuyeron a la culminación de la presente edición: A Rogeer Clarke de DFID-CHAD, quien apoyó decididamente el proyecto y aprobó los fondos correspondientes. A Paytiti Consultores, que se encargó

de la traducción a veces complicada. A Ivonne Chiroque, quien revisó los borradores y se encargó de la coordinación de la edición y a Soledad Hamann y el equipo de comunicaciones de ITDG – Perú, que tuvo a su cargo todo el proceso de producción editorial.

Con esta nueva publicación, ITDG – Perú pretende contribuir a la reducción de riesgos en América Latina y el mundo hispanohablante.

Fernando Ramírez

Resumen ejecutivo

Este libro trata sobre los edificios y los desastres, y está dirigido al administrador-funcionario público, propietario, ocupante, compañías privadas o proveedores de servicios interesados o responsables de los edificios que puedan encontrarse en riesgo por amenazas naturales.

Se han identificado dos tipos principales de amenaza que pueden ocasionar daños a los edificios: la acción de vientos y los sismos.

La primera parte del libro describe la secuencia de acciones que van desde el planeamiento y diseño a largo plazo, hasta las medidas de emergencia y rehabilitación en la etapa posterior al desastre. Esta parte concluye con recomendaciones y objetivos para la práctica de la mitigación de desastres en el futuro.

La segunda parte tiene como propósito informar, a través de una serie de casos estudiados, a los administradores municipales, quienes muchas veces no han tenido experiencia acerca del manejo de los desastres o no han vivido una situación posdesastre. Esta parte está focalizada en áreas vulnerables a fuertes vientos y a los sismos –Jamaica, Egipto, Turquía, Colombia, las Filipinas y Grecia–.

Los estudios de caso servirán para sustentar y apoyar las recomendaciones y objetivos planteados en la parte 1. Tienen por finalidad ilustrar algunos de los problemas que pueden encontrarse, así como sus posibles soluciones. Los estudios de caso recomiendan algunos recursos técnicos que pueden aplicarse en las etapas de preparación, emergencia y rehabilitación.

También son analizados los aspectos de política pública, así como la naturaleza específica de los vientos huracanados y de los sismos; igualmente, se examinan los diversos aspectos de la mitigación de desastres bajo los títulos pertinentes.

La evaluación de riesgos trabaja conjuntamente con la metodología ingenieril disponible para evaluar y comprender la naturaleza de un desastre potencial. Este libro pone el énfasis en la necesidad de que los administradores comprendan la naturaleza del riesgo a que están expuestas áreas específicas de los edificios que son de su responsabilidad, de manera que sean capaces de desarrollar medidas apropiadas para la mitigación y la planificación de la emergencia.

Para ello se toma en consideración la relación entre el proceso de diseño y construcción con respecto al riesgo, así como el papel que juegan los códigos de diseño. Se ha puesto especial énfasis en la aplicación de los altos estándares, dado que la experiencia ha mostrado, en muchos casos, los serios daños que se pueden sufrir como resultado del incumplimiento o evasión de los códigos.

Se destaca, asimismo, el papel de la educación y de la capacitación para lograr la puesta en vigor de las medidas preventivas, así como aspectos relacionados con edificios no diseñados de acuerdo con los códigos.

Los estudios de caso presentan procedimientos efectivos, con base en la experiencia obtenida a partir de las acciones emprendidas en la fase posterior a un desastre en los edificios dañados. Estas medidas o acciones planificadas deben adaptarse al ambiente local particular.

En la parte de las conclusiones, este libro presenta una perspectiva del proceso de gestión de desastres. De la misma manera, propone medidas mediante las cuales la comunidad internacional podría avanzar de una forma más efectiva en la implementación de la gestión de los desastres.

La capacidad, el conocimiento y la experiencia para el manejo de desastres existen ya en buena medida, y este libro muestra la necesidad de aprovecharlos así como de incrementar la conciencia de la población respecto de lo que es posible lograr.

Se proveen una serie de referencias y bibliografía, junto a una lista de agencias internacionales que apoyan iniciativas durante la fase anterior y posterior a un desastre.

Contenido

Prólogo

xi

Introducción

xiii

Parte 1 *Procesos de gestión de desastres*

1

CAPÍTULO 1 *Desastres y políticas públicas*

3

CAPÍTULO 2 *Riesgo*

7

CAPÍTULO 3 *Mitigación de desastres: manejo y evaluación del riesgo*

27

CAPÍTULO 4 *Mitigación de desastres: diseño y construcción*

33

CAPÍTULO 5 *Educación, capacitación y diseminación de información*

49

CAPÍTULO 6 *Acciones después del desastre*

53

CAPÍTULO 7 *La vía hacia adelante*

63

Parte 2 *Estudios de caso*

67

CAPÍTULO 8 *Mitigación de las amenazas en Jamaica*

69

CAPÍTULO 9 *Riesgo sísmico y preparación en Egipto*

87

CAPÍTULO 10 *Preparación para desastres en Turquía y terremotos recientes en Erzincan*

107

CAPÍTULO 11 *Resistencia a terremotos y tifones de las viviendas de bajo costo en las Filipinas*

125

CAPÍTULO 12 *Evaluación de la tendencia a la falla de edificaciones inducida por terremotos en Buenaventura, Colombia*

137

CAPÍTULO 13 *Aplicación de las medidas de protección contra terremotos en la construcción de casas de concreto armado: un estudio piloto en Grecia*

153

CAPÍTULO 14 *Competencia para el diseño de un puente resistente a la licuación*

171

Referencias y direcciones

177

Prólogo

Este libro es una contribución al trabajo que se está desarrollando con motivo del Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales, y se presenta en dos partes. La primera parte es una guía para administradores y otros profesionales sobre el manejo de los desastres en edificios y en estructuras, y ha sido escrita con el objeto de proveer información sobre los principios y la práctica que tal manejo involucra. La segunda parte consiste en una colección de estudios de caso en áreas en riesgo de ser afectadas por sismos y vientos huracanados.

Los autores son todos ingenieros, de manera que su influencia va a ser inevitable a lo largo del libro. No obstante, se ha tratado de presentar los problemas que involucran el manejo de los desastres, incluyendo la evaluación y los procesos de aprendizaje, dentro de una perspectiva más amplia.

Los comentarios que se refieren a la forma como se han llevado a la práctica los procesos de mitigación de desastres en los diversos países estudiados, han sido elaborados con un sentido constructivo. El proceso completo que involucra la mitigación de desastres maneja numerosas incertidumbres, y el avance es únicamente posible a través de un proceso de revisión y de adaptación a las inevitables limitaciones. En cada caso de estudio se obtienen enseñanzas sobre el gran esfuerzo realizado en el mundo para reducir el impacto de las amenazas naturales sobre las vidas de las poblaciones en riesgo.

Además de contar con la ayuda individual de cada autor en los casos estudiados, se agradece también la colaboración de amigos y colegas en la preparación del texto e ilustraciones. Asimismo, fueron de gran ayuda el personal de la biblioteca del Instituto de Ingenieros Civiles y el de la Biblioteca de la Universidad de Bristol. En la preparación de las fotografías e ilustraciones se contó con el apoyo del Instituto de Ingenieros Estructurales, representado por Tony Gibbs de Barbados, del Dr. Brian Ellis del Estamento de Investigación de Edificaciones y del Dr. W. Aspinall del Instituto Británico de Geología, Geofísica y Geodesia, quienes participaron en el Equipo de Investigación de Campo en Ingeniería Sísmica. Se agradece, asimismo, la ayuda suministrada por Ian Moore y la inestimable paciencia de la secretaria del proyecto, June Taylor, del Instituto de Ingenieros Civiles.

Las contribuciones del Dr. M. Culshaw y R. S. Narayanan aportaron valiosa información en las distintas secciones especializadas. Finalmente, se agradece a los autores de los casos estudiados por su revisión constructiva de la primera parte.

Introducción

Ha llegado el momento de ver a las amenazas naturales como un problema mundial, pero uno que los avances científicos y tecnológicos tienen ahora una oportunidad única de enfrentar.

Frank Press, Presidente de la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos

El presente estudio ha sido elaborado por la Institución de Ingenieros Civiles del Reino Unido con el apoyo de la Administración de Desarrollo en Ultramar (ODA) y bajo los auspicios de la Federación Mundial de Ingeniería y la Unión Internacional de Asociaciones Técnicas. El libro es parte de las actividades que contribuyen al Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales (1990-2000) (DIRDN).

Existe un proyecto paralelo denominado "Urban Developments and their Vulnerability to Natural Disaster, with Particular Reference to Megacities", que también ha sido llevado a cabo por la Institución de Ingenieros Civiles dentro del mismo marco organizacional. El volumen que acompaña a este libro, denominado *Megaciudades: reduciendo la vulnerabilidad a los desastres naturales*, es resultado de ese proyecto. Presenta la vulnerabilidad de la infraestructura física dentro de áreas urbanas, y suministra una guía a los administradores sobre el proceso de gestión de desastres, relacionándolo con la provisión de infraestructura y de servicios. Asimismo, pone el énfasis en la necesidad de una estrategia integral de medidas de mitigación en las ciudades en riesgo.

En Housner (1989) se presenta el desarrollo y funcionamiento del DIRDN. Propuesto originalmente por el Dr. Frank Press en 1984 durante la Octava Conferencia Mundial sobre la Ingeniería Sísmica en San Francisco, se lanzó internacionalmente en 1987 cuando la Asamblea General de Naciones Unidas adoptó una resolución que designa el decenio de 1990 como una década en que la comunidad internacional fomentará de forma especial las actividades en el campo de la reducción de los desastres naturales. Se decidió que sus objetivos son:

- Recolectar la experiencia y la práctica respecto de la mitigación de amenazas, identificando vacíos en el conocimiento actual.
- Acelerar la ejecución de los enfoques conocidos de mitigación y preparación.
- Desarrollar un conocimiento científico e ingenieril que proporcione un potencial substancial para mejorar la práctica de mitigación de las amenazas.

El objetivo se cumple a través de:

- La investigación compartida.
- Proyectos demostrativos.
- Diseminación de la información.
- Asistencia técnica.

- Transferencia de tecnología.
- Educación y capacitación.

Estas actividades deben adaptarse a su ubicación y tipo de amenaza, para permitir la diversidad cultural y económica.

xiv

En este trabajo, referido a edificios y estructuras, el objetivo se centra en el estudio del impacto generado por los vientos huracanados y por los sismos, con base en la experiencia internacional de desastres pasados y el propósito de determinar qué tipo de asesoramiento se les puede dar a los ingenieros y administradores para que el diseño y construcción de los edificios y estructuras sean más seguros.

Aun cuando hay otras amenazas naturales importantes que pueden causar desastres, como las inundaciones, los incendios y los deslizamientos, existen motivos importantes para concentrar el estudio en los vientos huracanados y en los sismos: según las estadísticas, son estos dos tipos de amenazas las que han causado más daños a las estructuras y edificios.

El proyecto ha sido diseñado con el objetivo de proveer a los administradores una guía que los apoye en el proceso de toma de decisiones sobre la mitigación de desastres en edificios, tanto antes del evento como después de él. Este proceso es complejo, por lo que es necesario sopesar cada amenaza con el propósito de equilibrar las medidas requeridas y para mitigar el nivel potencial de desastre.

Como apoyo a la guía del administrador se presentan seis estudios de caso y un concurso de diseño vinculados a edificios y estructuras sometidos a la fuerza de los vientos y de los sismos. El objetivo es ilustrar los estudios actuales sobre desastres y extraer las lecciones que de ellos se desprenden, con el fin de mostrar los diferentes enfoques con los que se trabaja para enfrentar las amenazas en países con diversas condiciones económicas, culturales y sociales; asimismo, se pretende abrir una ventana a la investigación actual que señale en qué forma nuevos recursos pueden convertirse en una herramienta de trabajo para la evaluación y la gestión del riesgo.

El objetivo principal de este estudio es llegar al administrador que tiene alguna responsabilidad respecto de los edificios y las estructuras que puedan estar expuestas a algún tipo de riesgo. También se incluye a directores y ministros de gobierno, gerentes de compañías públicas o privadas, administradores civiles, compañías de seguros y dueños de edificios. No obstante, la relación entre el proceso de diseño y la amenaza es analizada de la forma más amplia posible, debido al gran interés que también tienen los diseñadores de edificios (ingenieros estructurales y civiles, arquitectos, constructores y contratistas). Finalmente, se presenta un caso para los usuarios de los edificios cuyo negocio, propiedad y vida podrían estar expuestos a algún riesgo, de manera que puedan evaluar el nivel de éste y las medidas que podrían tomar para enfrentarlo de manera apropiada.

Parte 1

Procesos de gestión de desastres

D. E. Key

Desastres y políticas públicas

1

3

No puedo pensar en una tarea más valiosa que la de crear herramientas para la cooperación internacional y trabajar para beneficio de los seres humanos.

U. Thant, Secretario General de Naciones Unidas

Un desastre es el producto de un fenómeno natural –un sismo o los vientos huracanados– en complicidad con un sistema vulnerable –una ciudad, una comunidad o un edificio–. Cada componente requiere necesariamente del otro: sin un sistema vulnerable no hay desastre.

La palabra ‘desastre’ también implica una escala masiva de ocurrencia. Éste es, por ejemplo, mucho peor que una ‘emergencia’. La tabla 1.1 presenta las cualidades esenciales de un desastre y de una emergencia según Handmer y Parker (1991).

La naturaleza de los desastres naturales

Tabla 1.1: Propiedades comparativas de una emergencia y un desastre

Emergencia (rutina)	Desastre (no-rutina)
Número pequeño de personas.	Gran cantidad de personas.
Ninguna interrupción en el sistema de infraestructura social.	Algún tipo de destrucción del sistema de infraestructura social.
Mínima destrucción/interrupción del transporte, comunicaciones y otros servicios.	Destrucción generalizada/interrupción.
Absorbido por la capacidad de supervivencia de la comunidad.	El proceso de recuperación de la comunidad puede alterar su desarrollo por muchos años y, además, requerir un aporte externo considerable.
La respuesta es dirigida sobre todo por los servicios de emergencia.	Respuesta inmediata (y efectiva) por personal no profesional.
En general, procedimientos y tareas familiares implementados por los servicios de emergencia.	Situaciones desconocidas. Los profesionales necesitan mayor flexibilidad y adaptabilidad.

Otra propiedad importante de un desastre es su duración, que abarca la alerta, impacto, aislamiento, rescate, recuperación y remedio. Los valores comparativos posibles para un sismo y un huracán se muestran en la tabla 1.2.

La tabla 1.2 debe ser vista a la luz de la respuesta humana al desastre; de la misma manera, debe apreciarse que las etapas de recuperación y rehabilitación están más en función de la voluntad que de los recursos con que se cuenta. Key (1988) presentó en una tabla la respuesta humana frente a sismos en términos de tiempo (tabla 1.3).

Tabla 1.2: Duración de un desastre

Etapa	Terremotos	Huracanes
Alerta	Ninguna	5-10 horas
Impacto	1 minuto	5 horas
Aislamiento	2 días	2 días
Rescate	10 días	10 días
Recuperación	1-10 años	1 año
Remedio	10-50 años	1-5 años

Tabla 1.3: Respuesta humana a largo plazo a sismos

Tiempo de reacción	Evento	Reacción positiva	Reacción negativa
1. 0-1 min	Sismo mayor	Preocupación	Pánico
2. 1 min-1 semana	Réplicas luego del sismo	Rescate y sobrevivientes	Temor
3. 1 semana-1 mes	Disminución de réplicas	Reparaciones de corto plazo Evaluación de daños	Culpar a los constructores de edificios, diseñadores, etcétera
4. 1 mes-1 año		Reparaciones de largo plazo Acción para estándares más altos	
5. 1-10 años			Disminución del interés
6. 10 años hasta el próximo evento			Renuencia a asumir los costos de estipulaciones sísmicas, la investigación, etcétera. Incremento de incumplimiento de reglamentos
7. Próximo evento	Sismo mayor	Repetición de las etapas 1-7	Repetición de las etapas 1-7

El capítulo 8 describe la ocurrencia de huracanes en Jamaica. Aunque se trata de una de las áreas más propensas, hubo un período de 37 años en los que no se presentó ningún huracán, lo que generó que aproximadamente dos generaciones no lograran tener experiencia para enfrentarlos. En el capítulo 13 se hace referencia a que ocho años después del último sismo “se había reducido la fuerte percepción inicial que se tenía del riesgo”. Con la ocurrencia esporádica de los fenómenos naturales, el comportamiento descrito en la tabla 1.3 llega a ser inevitable a menos que se realicen grandes esfuerzos para crear conciencia al respecto.

Consideraciones respecto de política pública

Petak y Atkisson (1982) enumeraron diez categorías de políticas públicas que están relacionadas con las amenazas y se resumen en las siguientes:

- Políticas que fuerzan acciones: la jurisdicción de alto nivel fuerza acciones en los niveles inferiores de la administración.
- Políticas de atención focalizada, que estimulan el interés público, privado y el del administrador respecto de las amenazas, y promocionan la mitigación del riesgo.

- Políticas de recuperación de desastres, tendientes a apoyar a todos los niveles de acción durante el proceso de recuperación.
- Políticas de desarrollo tecnológico, tendientes a la generación de un nuevo conocimiento y una nueva tecnología. Esto incluye estudios que establecen los niveles de daño potencial y los escenarios de desastre que puedan apoyar el desarrollo de políticas públicas.
- Políticas de transferencia de tecnología, tendientes a apoyar la diseminación de técnicas existentes y del nuevo conocimiento que contribuyen con el proceso de mitigación de riesgos.
- Políticas reguladoras, cuya aplicación establece los requerimientos de todas las medidas que conducen a la preparación, el rescate y la recuperación.
- Planificación de políticas financieras, que definen la fuente y la asignación de los recursos para apoyar las políticas públicas. Esto incluye la consideración del uso apropiado de los seguros públicos y privados.
- Políticas de gestión y manejo del sistema, que asignan responsabilidades, los medios a ser usados y las restricciones.
- Políticas de optimización del sistema, que monitorean, controlan y aseguran que todas las políticas relacionadas con las amenazas sean efectivas, internamente uniformes y compatibles con sus objetivos.
- Políticas encargadas de dirigir la acción directa de la administración (por ejemplo, la construcción física y la demolición).

Muchas de las medidas detalladas, que forman la matriz total de las posibles acciones definidas por estas diez categorías, requieren un fino balance con respecto a su total aceptabilidad. No es suficiente decir que una medida es única y es deseable cuando su conveniencia está en función de su factibilidad, de los efectos económicos, de la aceptación y de la compatibilidad con la matriz menor de medidas que van ser final y realista-mente adoptadas.

Si la política puede definirse como “el arte de lo posible”, entonces también es posible desarrollar políticas de mitigación de desastres.

Existe un fuerte argumento sobre este desarrollo de políticas sobre desastres en un nivel cercano del lugar donde éstas van a ser aplicadas. La tecnología puede importarse cuando sea necesario –existen centros internacionales de excelencia cuyos recursos pueden ser inestimables–, pero la palabra final sobre las acciones por tomar está física y culturalmente cerca del corazón del problema.

Un aspecto político crucial para todas las medidas por tomar es si resulta o no necesario crear una agencia administrativa especial dedicada a los desastres, o si se debe dejar a los servicios de emergencia existentes cumplir con su papel tradicional. Las opiniones sobre este punto varían: la primera opción implica la centralización del control, lo que lo haría más distante, mientras que en la segunda se concentra el esfuerzo y la experticia. Es posible que en las primeras fases la agencia sea más efectiva, ya que en ellas las organizaciones locales son incapaces de funcionar adecuadamente y deben delegar el control a los grupos locales en la fase de la recuperación.

En el capítulo 9 se hace referencia al uso de medidas legales para el establecimiento de una agencia central que maneje los desastres. Sin embargo, en el capítulo 10 se describe la estructura legal existente en Turquía, que deja claro que se requiere más que el decreto de una ley para que se pueda implementar con seguridad. También son necesarios los recursos, la comunicación, la motivación y la implementación para culminar con éxito el proceso.

El 28 de julio de 1976 a las 3:42 a.m. un sismo de magnitud 7,8 ocurrió en Tangshan, en la parte noreste de China. El epicentro fue directamente debajo de la ciudad de Tangshan a una profundidad de 11 km. La intensidad sísmica en el epicentro fue cuantificada como de XI. La gente estaba dormida en el momento del sismo. Un relámpago resplandeció en el cielo y la tierra rugió antes del inicio del remezón. En cuestión de segundos una ciudad industrial de un millón de personas se redujo a escombros. Cerca de 240 000 personas perecieron y 7000 familias desaparecieron completamente. Esta catástrofe no solamente impactó China, sino al mundo entero.

Segundos después del sismo, Tangshan desapareció de la faz de la tierra. En su lugar había un mar de escombros. Cerca del 93% de edificios residenciales y el 78% de edificios industriales fueron destruidos. Casi todas las estructuras altas, tales como torres de agua y chimeneas, se desplomaron. La ciudad entera destruida quedó envuelta en un mar de polvo. Debajo de los edificios y las paredes derrumbadas se encontraban cadáveres y personas heridas. El ambiente estaba lleno de gritos y gemidos pidiendo ayuda. Los que lograron escapar hacia campos abiertos, observaban con la mirada vacía, demasiado impactados como para actuar. Un velo de obscuridad envolvió la ciudad, todas las líneas vitales estaban fuera de servicio. El trabajo de rescate era imposible.

Chen Yong y otros, editores: *El gran sismo de Tangshan de 1976.*

Una **amenaza** es un evento potencialmente peligroso o dañino; lo son los vientos huracanados, los sismos o las erupciones volcánicas. Estos ejemplos corresponden a amenazas de origen natural, y se distinguen de las amenazas antrópicas; entre estas últimas, originadas por la intervención humana, están las explosiones químicas o el vertimiento de petróleo. Una amenaza se mide a partir de su probabilidad de ocurrencia, para cierto nivel de impacto dentro de un período específico y en un área determinada.

La **vulnerabilidad** es el nivel de daño o pérdida de un elemento en riesgo asociado con un nivel particular de amenaza. La vulnerabilidad puede expresarse como la razón entre la pérdida esperada y la pérdida máxima posible. El elemento en riesgo puede ser, por ejemplo, un edificio, un conglomerado de edificios, un área o un servicio público. En general, esto sólo puede ser definido en términos probabilísticos. La figura 2.1 muestra un ejemplo de una curva de vulnerabilidad para los daños ocasionados por un sismo. La curva presenta los daños expresados como un porcentaje del valor de la propiedad en función de la intensidad del sismo. La naturaleza probabilística de la vulnerabilidad es indicada por las curvas plateadas para los diferentes niveles de confianza.

El **riesgo** es la resultante de combinar la amenaza con la vulnerabilidad. Se expresa en términos de los daños o las pérdidas en un tiempo futuro, y su significado depende tanto del evento (la amenaza) como del elemento en riesgo (la vulnerabilidad) identificados.

Amenaza,
vulnerabilidad
y riesgo

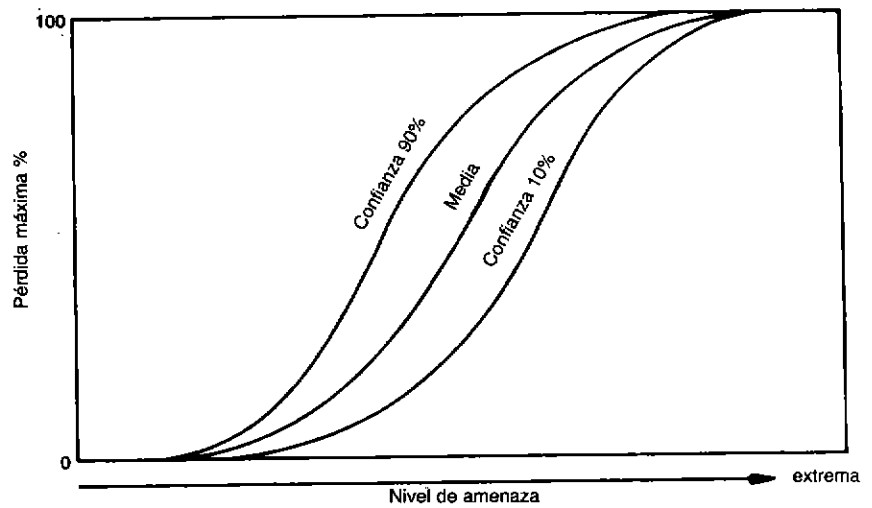


Figura 2.1: Función de vulnerabilidad.

El riesgo también se define en términos probabilísticos en función de la vulnerabilidad. Algunas veces también es definido en términos de las pérdidas o los daños esperados, correspondientes a un nivel particular de amenaza.

Los sismos
Terminología

Las descripciones de la ocurrencia y los parámetros esenciales de los sismos son presentados por Key (1988) y Bolt (1978); la figura 2.2, tomada de la misma referencia, muestra los principales elementos en la transmisión de un sismo.

Luego de un gran período de acumulación de esfuerzos de confinamiento en el plano de falla, el sismo es ocasionado por un deslizamiento súbito que causa una liberación masiva de energía dentro de la corteza terrestre. Esta energía es irradiada desde la fuente en forma de ondas de compresión (P) y ondas de corte (S). En la superficie se generan ondas secundarias del tipo Love y Rayleigh. Cada onda viaja a su propia velocidad, y las ondas P y S son refractadas y reflejadas en las discontinuidades y se manifiestan en la superficie. En cualquier punto de ésta, una combinación compleja de las formas de las ondas ocurre en un período que se extiende de 5 segundos a 1 minuto –para un sismo más severo, la duración será mayor–.

Las escalas de los sismos

La **magnitud** (M) de un sismo fue propuesta originalmente por C. F. Richter mediante la medida de las perturbaciones en las profundidades de la corteza terrestre. Ésta es calculada a partir de los datos registrados por un sismógrafo. Existen diferentes definiciones de magnitud (descritas en Housner y Jennings 1982) que sólo son de interés para los especialistas. Las magnitudes pueden ir a valores sobre 8,9, que es el valor más alto registrado. Las escalas no son lineales: una unidad de la escala representa un aumento en la liberación de energía por un factor de 32.

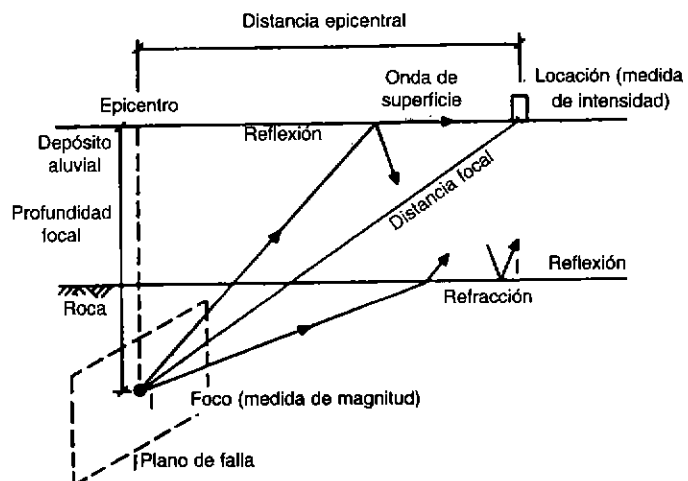


Figura 2.2: La transmisión de un sismo. Fuente: Key (1988).

La **intensidad** (I) de un sismo mide el efecto del sismo en un punto de la superficie de la Tierra. Los valores se derivan de factores subjetivos tales como los daños ocasionados en un edificio, el comportamiento de los objetos colgados y cómo las personas sientan el temblor. Las escalas de intensidad desempeñan una función útil en la evaluación de los daños y en la asignación de niveles a los diferentes eventos históricos donde no existían datos disponibles.

La grabación instrumental de los movimientos y aceleraciones de un sismo, que han sido registrados durante los últimos 60 años, han proveído a los ingenieros información de gran valor. Las formas en que estos datos se aplican son:

- El **espectro de respuesta** plotea la respuesta de un sistema de un grado de libertad frente a la excitación de un sismo mediante un espectro de frecuencias. Éste se presenta en forma de un porcentaje y una trama lisa, y ha sido por muchas décadas el medio primario para describir la forma en que se producen los sismos.
- La **aceleración del punto máximo** en el terreno (PGA) es una medida de la máxima aceleración absoluta registrada en el terreno. No es utilizada directamente en el diseño, pero sí como un valor para categorizar o zonificar el nivel de sismo.
- El **período predominante** define el período de vibración en el cual el espectro de respuesta de aceleración alcanza su máximo punto. Esto es importante en la definición de la clase de estructura que se encuentra en mayor riesgo durante un sismo. Por ejemplo, cuando el período dominante es de 0,3 s, los edificios de tres pisos de altura serán particularmente vulnerables, mientras que si el período dominante es de 2,0 s, los edificios con 20 pisos de altura van a ser probablemente vulnerables, si es que en cada caso el período natural de vibración del edificio se acerca al período predominante.
- El **acelograma de un movimiento sísmico severo** provee un registro basado en el tiempo (conocido como tiempo-historia) de la aceleración del terreno. Esto puede usarse en el proceso de diseño con un modelo estructural apropiado para desarrollar una simulación por computadora del comportamiento de la estructura desde el inicio hasta el final del sismo.

El movimiento del terreno se atenúa cuando se aleja del epicentro. El PGA y la intensidad se reducen al alejarse de la fuente de origen, pero la forma del espectro cambia cuando el contenido de las altas frecuencias es atenuado rápidamente en comparación con las bajas frecuencias, y la duración del sismo aumenta. La forma del espectro es también influida por las condiciones de los suelos, especialmente aquellos que subyacen en el sitio de interés.

La distribución mundial de sismos, ilustrada en la figura 2.3, define claramente las zonas asociadas con importantes accidentes geográficos, tales como los bordes continentales y los arcos de las islas. La accidentada litósfera, superficie exterior de la Tierra, comprende un número de placas rígidas separadas que se mueven lentamente una contra la otra, y los movimientos sísmicos se localizan en estas zonas con fuerte concentración de esfuerzos de borde. Hay diversos tipos de movimientos, cada uno con su propio patrón de actividad sísmica (y actividad volcánica). Dentro de estas placas existe generalmente un nivel inferior de sismicidad, aunque en muchos casos está lejos de ser insignificante.

Los sismólogos estudian los sismos más antiguos y recientes con el propósito de que éstos los ayuden a predecir la probabilidad de recurrencia de futuros sismos de una magnitud determinada. Los resultados de sus estudios se plasman frecuentemente en mapas de amenazas sísmicas, los cuales expresan, en términos probabilísticos, la magnitud de un sismo en términos del máximo PGA esperado. Los ingenieros especialistas en diseño a

*Otros datos
y parámetros
de los sismos*

La sismicidad global

*Sismicidad local
y geología:
amenazas
secundarias¹*

¹ Contribución de M. G. Culshaw y D. A. Gunn: Engineering Geology and Geophysics Group, British Geological Survey.

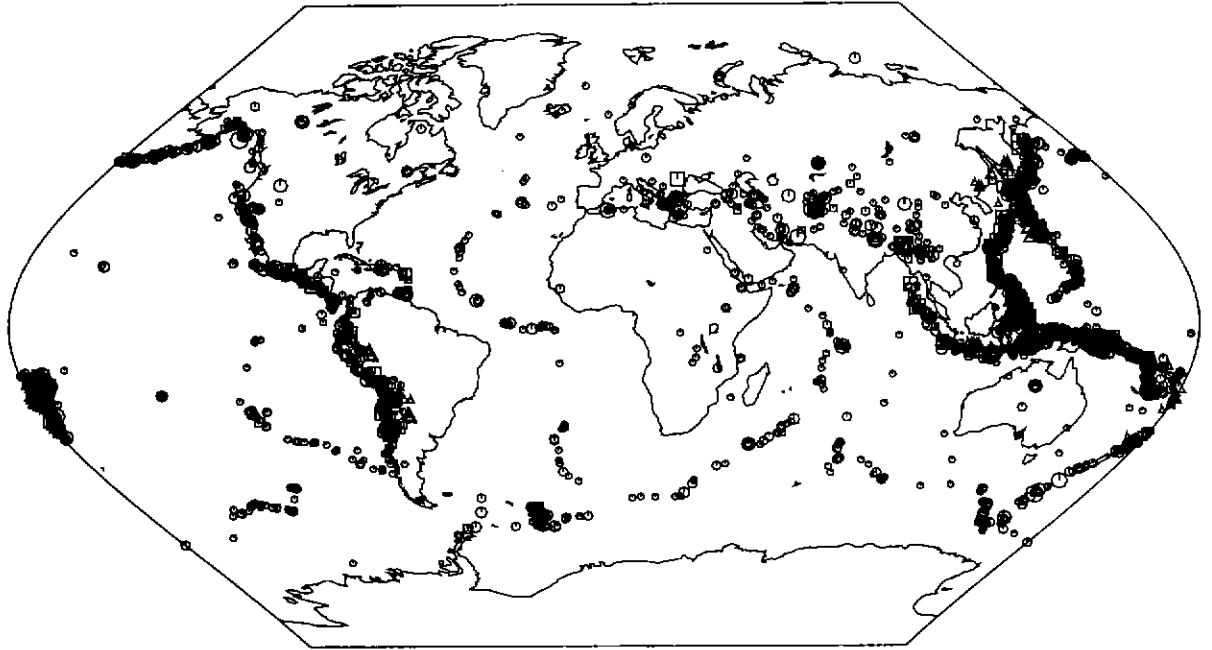


Figura 2.3: La sismicidad mundial: una década de sismos. Este mapa muestra todos los sismos de magnitud 5,5 y más durante el decenio de 1980. Fuente: Global Seismology Group, British Geological Survey.

prueba de sismos utilizan los pronósticos de los sismólogos del PGA para el diseño de los edificios. Se trata de que éstos puedan resistir los daños causados por un sismo, lo que ayuda a reducir las pérdidas de vidas. Los ingenieros también evalúan las propiedades dinámicas del terreno sobre el cual van a construir, para obtener información adicional sobre el movimiento del terreno y cómo se encuentra influido por efectos locales y la interacción de la estructura con el suelo.

El trabajo basado en los estudios sismológicos sobre la actividad sísmica pasada no toma en cuenta todas las variaciones locales en condiciones geológicas, particularmente en cuencas aluviales donde se encuentran ubicadas muchas de las ciudades más vulnerables del mundo. Al respecto, la geología aporta una gran contribución para los planificadores en el momento de identificar aquellas áreas más vulnerables a los sismos debido a las condiciones geológicas locales.

Desde un punto de vista geológico, es razonable comenzar suponiendo que, en regiones propensas a sismos, un movimiento sísmico potencialmente dañino ocurrirá dentro de la vida útil de la mayoría de las estructuras. Por lo tanto, una estructura no sólo debe ser diseñada para resistir sismos; es necesario, además, que el proceso planificador que ubica la estructura tome en cuenta la susceptibilidad del terreno a las diferentes amenazas geológicas que son provocadas por sismos. Éstas pueden ser llamadas amenazas sísmicas secundarias; las principales son:

- Licuación.
- Amplificación sísmica en el terreno.
- Deslizamientos.
- Ruptura del terreno/cambios en el nivel del terreno.
- Tsunamis/seiche.
- Hundimiento del terreno/colapso.

La ocurrencia de una licuación es muy probable en un estrato cercano a la superficie constituido por arena fina a media debajo del nivel freático. Estas condiciones se presentan en las cuencas aluviales cuaternarias, particularmente cerca del mar y de los lagos. Durante la ocurrencia de un sismo, la presión de las aguas subterráneas puede incrementarse localmente hasta lograr que las partículas de suelo aparezcan flotando y el suelo se licue. Ebu-

lliciones de arena pueden aparecer sobre la superficie si la presión del agua se eleva mediante un debilitamiento del suelo. Donde la licuación es más generalizada, es muy probable que cualquier estructura levantada sobre bases débiles sufra deformaciones diferenciales. Para propósitos de planificación deberían identificarse como las más vulnerables zonas de suelos compuestos de arenas finas superficiales o saturadas. Si no pudieran evitarse estas condiciones, las bases necesitarían ser diseñadas para adaptarse a los efectos de la licuación; si aun esto no es posible, deberían emprenderse medidas para mejorar las propiedades del suelo. La potencialidad de la licuación puede ser identificada a través de calicatas en el suelo y pruebas geotécnicas de laboratorio e *in situ*. La importancia de la licuación como una amenaza en las Filipinas se describe en el capítulo 14, y la figura 2.4 muestra el efecto de la licuación sobre las bases de un puente en un carretera importante.

El fenómeno de la amplificación del movimiento sísmico es más evidente en cuencas aluviales cuaternarias. La velocidad del movimiento se reduce cuando pasa de roca dura de alta velocidad hacia sedimentos poco consolidados de baja velocidad. La reducción posterior de la velocidad tiene lugar mediante la columna de sedimento como una disminución de la densidad hacia la superficie. Esta reducción en la velocidad es acompañada de un aumento en la amplitud de la onda sísmica que hace que los desplazamientos de tierra sean mayores y, por ello, que el nivel de amenaza aumente. La distribución de la amplificación también es influida por la forma del lecho terrestre de la cuenca que contiene los sedimentos, lo que produce algunos "efectos localizados". La distribución de la amplificación del movimiento sísmico modifica la intensidad sísmica en una cuenca aluvial y puede ser el factor controlador en la ocurrencia de daños en la región. Por eso, la ubicación de los edificios y las estructuras debería planificarse tomando en cuenta la distribución de las zonas de ampliación más altas. Para hacer esta identificación es importante la geología, particularmente el perfil de la roca aflorante a la superficie. Esto puede determinarse a partir de excavaciones, registros geofísicos de la superficie y de profundidades.

Los deslizamientos conllevan un movimiento masivo de tierra, roca o una mezcla de ambos, y siguen la pendiente del terreno. Esto puede ocurrir en el caso de las arcillas cuando existen pendientes mayores de 7° y en pendientes de rocas sueltas. En situaciones donde se presenta la licuación de estratos, los deslizamientos pueden ocurrir aun en zonas de poca inclinación. De esta forma los deslizamientos se restringen a áreas montañosas, incluidas las márgenes de las cuencas aluviales. Los sismos aumentan la posibilidad de ocurrencia de deslizamientos en terrenos de por sí susceptibles a ellos. Los huracanes y las lluvias intensas pueden provocar también deslizamientos. En general, los deslizamientos pueden dañar las estructuras tanto por el impacto de su caída como también por la remoción de sus bases. El desarrollo de mapas geológicos es necesario para identificar los deslizamientos ocurridos, así como las áreas vulnerables a deslizamientos, debido a sus condiciones



Figura 2.4:
 Puente de Magsaysay,
 Dagupan: desplome de varios
 tramos ocasionado
 por movimientos bruscos
 de las bases de los estribos
 del puente. Luzón, terremoto
 de Filipinas en 1990.
 Foto: EEFIT.

geológicas y ambientales. La figura 2.5 muestra una de las fallas de mayor importancia en una pendiente sobre el camino de Kennon hacia Baguio en la provincia central de Luzón, después del terremoto de las Filipinas en 1990. Esto ocasionó la pérdida total del camino de acceso durante la fase de emergencia.

La rotura del terreno ocurre cuando los movimientos que se producen a lo largo de la falla interceptan la superficie de éste. La figura 2.6 muestra los cinco tipos básicos de movimiento. Cuando se presenta el movimiento vertical, se pueden generar cambios en el nivel del terreno de un metro o más sobre áreas de varios kilómetros cuadrados. Las fallas pueden detectarse más fácilmente en áreas donde la roca aflora a la superficie que en áreas aluviales. Es muy probable que las roturas en el terreno ocasionen daños sobre estructuras lineales tales como carreteras y ferrocarriles, así como en servicios públicos como la electricidad y líneas de servicio telefónico, tuberías de gas, agua y alcantarillado. Para reconocer las líneas probables de rotura en un sismo es necesario identificar y clasificar los lineamientos geológicos estructurales. Para esto son útiles la fotografía aérea y los sistemas de mediciones por satélite.

Los tsunamis (popularmente conocidos como maremotos) son ocasionados por terremotos localizados mar adentro, donde se presenta un cambio abrupto en el nivel del lecho marítimo. La ola generada puede viajar miles de kilómetros a una velocidad de 800 km/h. Los daños que ocasiona el maremoto se deben a la elevación del tamaño de olas en la costa, que llegan a alcanzar alturas de hasta 30 metros por encima del nivel del mar. La interacción de la ola con la batimetría y la topografía de la región costera determina la distribución y severidad de la inundación. Los daños van a depender del tamaño y la velocidad de la ola, y pueden ir desde una inundación hasta la destrucción de edificios y el desprendimiento de árboles. Las oscilaciones de superficie (seiches), que ocurren en los lagos debido a que el agua responde ante un movimiento del terreno que origina resonancia sobre ésta, son comúnmente menores que los tsunamis pero pueden ocasionar daños cerca de la línea costera. Para la identificación de las posibles áreas propensas a tsunamis es necesario un análisis y un estudio detallado del efecto de una ola de este tipo sobre la región costera utilizando técnicas de modelación en computadora. Tinti (1993) provee una descripción del proyecto GITCE (en castellano, Génesis e Impacto de los Tsunamis sobre la Costa Europea) planteado con el objetivo de obtener una evaluación de la amenaza de tsunamis, así como del tipo de alerta para la costa europea.

El hundimiento o el colapso del terreno puede ser acelerado por la ocurrencia de un movimiento sísmico en áreas ya vulnerables. Las áreas de material clástico son un ejemplo. Un mapa geológico ingenieril y la investigación de la estratigrafía del suelo pueden ayudar a identificar aquellas áreas que son más vulnerables a hundirse o colapsar.



Figura 2.5:
Falla en una ladera en la provincia de Luzón, durante el terremoto de las Filipinas en 1990. Estos deslizamientos ocasionaron la interrupción del sistema de transporte. Foto: EEFIT.

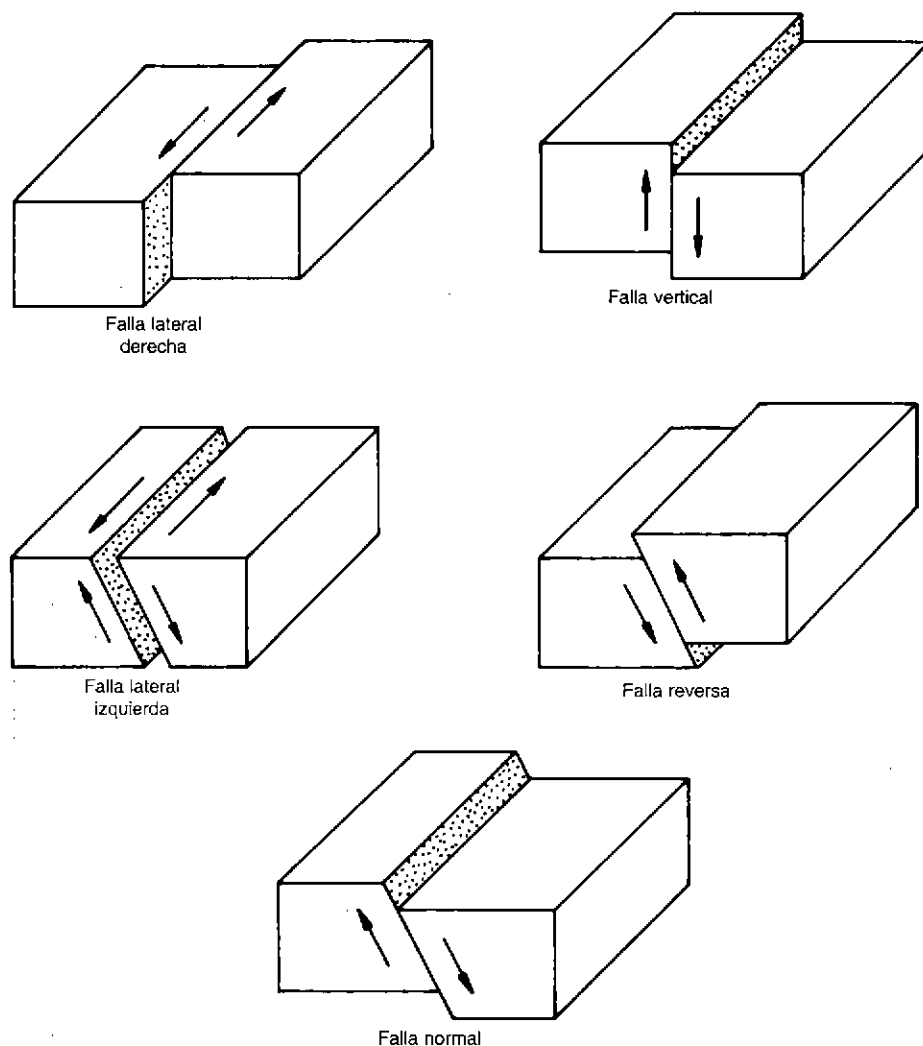


Figura 2.6:
Tipos de movimiento
en fallas.

En general, para mitigar los efectos de este tipo de amenazas se deben entender los procesos geológicos que están involucrados, así como la distribución de los estratos geológicos susceptibles a cada amenaza, información que puede ser utilizada como una herramienta planificadora. Los ingenieros civiles, estructurales y geotécnicos deben estar conscientes de todas estas amenazas potenciales que pueden afectar tanto edificios como estructuras. El papel de un geólogo o ingeniero geotécnico es evaluar la respuesta del terreno frente a un sismo de manera que esta información esté disponible.

Existe una amplia bibliografía en torno a los daños causados por los terremotos, como el análisis que Key (1988) hace sobre los daños que sufren los edificios por causa de un sismo. Un movimiento de tierra produce que fuerzas de inercia se apliquen sobre todos los elementos de una estructura y sobre sus contenidos. El daño se debe tanto a la deformación del terreno que sirve de apoyo como al impacto que sufren las estructuras contiguas cuando chocan entre sí. En los capítulos 8, 10 y 13 se describen los daños ocasionados por sismos en eventos específicos.

*Daños causados
por un terremoto*

El **colapso** puede ser total, tanto por el desplome como por las fallas en la estructura entre los pisos, y conduce al desplome de los pisos uno sobre el otro, separados por escombros y cuerpos. Un ejemplo de esto se muestra en la figura 2.7. El desplome durante los terremotos de viviendas rurales de albañilería diseñadas sin criterio ingenieril (por ejemplo, paredes de piedra o adobe sin confinamiento combinadas con techos pesados) ha sido responsable de 60% de las muertes en lo que va de este siglo. El colapso parcial de edificios de varios pisos aparece con frecuencia; los pisos superiores, intermedios e inferiores pueden derrumbarse dejando el resto del edificio en pie. La figura 2.8 muestra el



Figura 2.7:
*Hotel Hyatt Terraces,
 Baguio. Trabajadores
 excavan en busca de cuerpos
 dentro del edificio
 derrumbado. Luzón,
 terremoto de 1990
 en Filipinas. Foto: EEFIT.*

desplome del segundo piso de un hospital en Erzincan que fue acompañado de daños severos en el tercer y sexto piso. Las cimentaciones fracturadas no necesariamente conducen al derrumbe del edificio; los edificios se han dado a conocer más por haberse hundido que por no haber colapsado. La realización de diseños sismo-resistentes modernos ha conducido a la construcción de estructuras capaces de absorber serios daños sin colapsar, aunque requieran ser demolidas después del sismo.

Los **elementos no-estructurales** de un edificio son aquellos que no están encargados de resistir cargas como la gravedad, el viento o los sismos. Paneles prefabricados y tabiques de mampostería son frecuentemente elementos no-estructurales, como lo son también las ventanas, falsos ciellorrasos, artefactos de iluminación y parapetos. Sin embargo, éstos pueden dañarse por el movimiento del sistema estructural de pórticos al que ellos están sujetos, por las fuerzas de inercia o por una combinación de ambos. Su comportamiento es importante, tanto por su función como por el costo de reemplazo, además del daño que éstos pueden ocasionar cuando se desploman o cuando bloquean rutas esenciales de escape durante el sismo.



Figura 2.8:
*Hospital Militar de Erzincan.
 No se reportó ninguna
 pérdida de vida. Erzincan,
 terremoto de Turquía,
 13 de marzo de 1992.
 Foto: EEFIT.*

La **principal amenaza contra la vida humana** proviene del colapso de la estructura y, en menor grado, de la falla en elementos no-estructurales.

Como los elementos no-estructurales del edificio, su **contenido** también es responsable de los daños. El valor de éste puede ser mayor que el costo del edificio completo, como ocurre en el caso de bancos importantes, laboratorios o centros de cómputo; lo es también en aquellas estructuras donde el daño es de mucha importancia en la fase posterior al desastre, como son los hospitales, centrales telefónicas y subestaciones eléctricas, o en lugares irremplazables como galerías o museos. La figura 2.9 muestra el desplome de tanques de almacenamiento de líquidos externos a un hospital. Esto fue ocasionado por fallas en la estructura de soporte.

La **interacción** entre edificios puede ser causa de daños debido al choque de uno contra otro cuando la distancia entre ambos es insuficiente. De igual manera, pueden ocurrir serios daños cuando edificios de diferentes alturas lindan entre sí, lo que crea una irregularidad que puede producir un comportamiento dinámico indeseable y daños.

La **irregularidad** en un edificio, tanto visto en planta como en elevación, conduce a una pobre respuesta dinámica y contribuye casi siempre a la generación de daños (capítulo 13). Un caso especial de irregularidad ocurre en apéndices de techos tales como tanques, parapetos y departamentos localizados en el último piso, que se desempeñan mal durante la ocurrencia de un sismo a menos que hayan sido especialmente reforzados.

Las **grandes fuerzas de torsión** se generan en estructuras diseñadas con una irregular distribución de masa o rigidez. La debilidad torsional se produce en un número de configuraciones de planta tales como formas 'H', 'L' y 'U'. La combinación de grandes fuerzas y una debilidad torsional en la configuración genera daños. Un ejemplo típico es la estructura de albañilería de un garaje donde en un lado se encuentra una puerta que no contribuye a la rigidez. En la figura 2.10 se muestra cómo los pisos tres y cuatro se derrumbaron debido a la distribución irregular de la masa y rigidez, que condujo a una falla por torsión.

La **interacción** entre los elementos estructurales y no estructurales puede presentarse cuando se ignoran las características de resistencia y rigidez de los elementos no estructurales que colindan con los elementos estructurales. La interacción puede dar como resultado una redistribución de las fuerzas no planeada, que es de suma importancia en el comportamiento de tabiques de mampostería en sistemas aporticados.



Figura 2.9:
Hospital de Vali-asr, Rudbar.
Desplome de tanques
de almacenaje de líquido
debido a fallas en
los soportes. Terremoto
de Manjil, Irán,
20 de junio de 1990.
Foto: EEFIT.



Figura 2.10:
 Casa de tres a cuatro pisos
 con marco de acero, Manjil.
 Terremoto de Manjil, Irán,
 20 de junio de 1990.
 Foto: EEFIT.

Entonces, las juntas en las estructuras deben adaptarse a los movimientos pequeños que ocurren debido a cambios de temperatura o asentamiento en las bases, así como por lentas variaciones en los materiales tales como la contracción. Los daños pueden presentarse en juntas donde el espacio provisto para el movimiento es insuficiente, sea cuando una estructura choca con la otra, sea en el caso de puentes, donde una estructura se desprende de su soporte.

En un mundo perfecto, las estructuras diseñadas empíricamente no deberían existir, pero la realidad no es así. Esto es analizado en detalle en el capítulo 13. En el mundo entero, sólo una pequeña fracción de viviendas son construidas debidamente. Esta situación se manifiesta con mayor claridad durante un sismo cuando la mayoría de la población está en sus casas. De ahí que se presenten grandes daños aun cuando posean techos livianos y estructuras de muros de soporte rígidos. Adicionalmente, existe una proporción importante de edificios grandes que no se han diseñado conscientemente para resistir ningún tipo de amenaza. Las estructuras no planificadas debidamente resultan ser una categoría importante a considerar en la gestión de desastres, especialmente en aquellas zonas rurales del mundo donde los edificios poseen techos pesados, especialmente en Turquía, Irán, Afganistán, Pakistán, las Repúblicas Asiáticas Centrales de la antigua URSS, India y Nepal.

La distribución de los daños es discutida en el capítulo 13, y puede ser expresada en términos específicos en una inspección de los daños en la etapa posterior al sismo y en términos probabilísticos que ayuden a establecer una proyección de daños. Ésta va a depender del tipo de amenaza, de la distribución de los tipos de edificios y de sus vulnerabilidades.

Una de las consecuencias de un sismo puede ser los incendios. En áreas urbanas esto es capaz de ocasionar mayores pérdidas a la propiedad que el propio sismo. El mejor ejemplo conocido es el del terremoto de San Francisco en 1906, cuando los incendios fueron responsables de 80% de los daños totales. Hoy en día las áreas urbanas son generalmente más resistentes a los incendios de lo que era San Francisco en 1906, aunque mantener el abastecimiento de agua operativo durante la ocurrencia de un sismo sigue siendo prioritario.

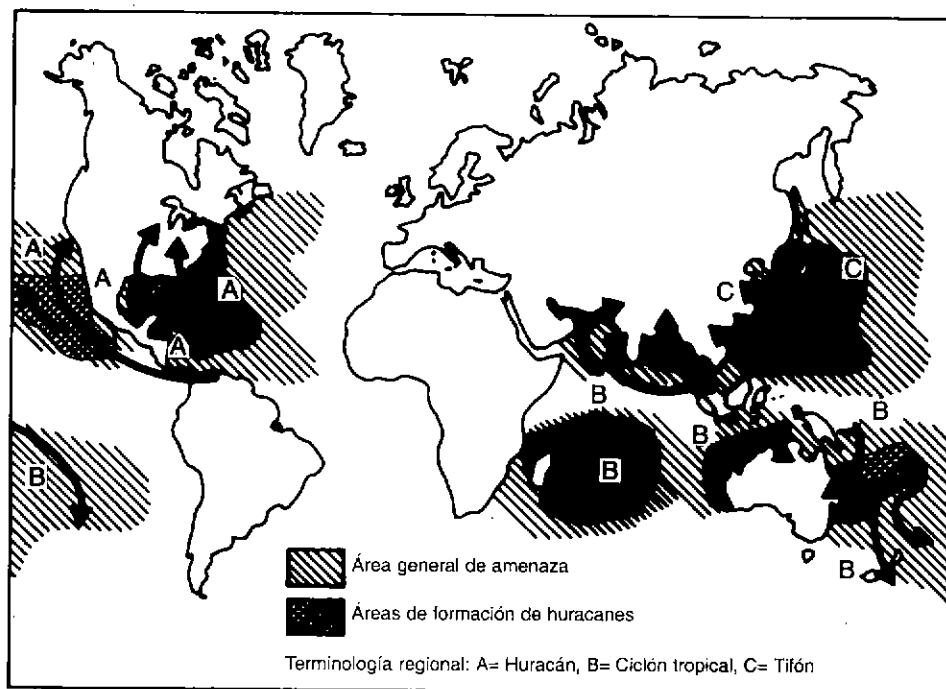


Figura 2.11:
 La distribución mundial
 de los huracanes.
 Fuente: Alexander (1993).

La figura 2.11 muestra la distribución mundial de los huracanes, tifones y ciclones tropicales. Los tres términos se aplican a idénticos sucesos meteorológicos en diferentes partes del mundo. Para mayor claridad, en este libro nos referiremos a ellos simplemente como huracanes.

Los huracanes se forman en el mar. Extraen su energía de la calidez de los océanos tropicales, y desaparecen gradualmente al acercarse a la costa cuando se alejan de su fuente de energía. Los fuertes vientos ocurren hacia el centro del huracán y rotan de derecha a izquierda en el norte y de izquierda a derecha en el hemisferio sur (visto desde arriba). Los vientos bajan abruptamente a cero en el ojo del huracán, que puede llegar a alcanzar hasta 50 km de diámetro. La perturbación ocasionada por el huracán puede extenderse hasta a 1500 km en diámetro, con los vientos concentrados en el centro.

Aunque durante un huracán ocurren fuertes vientos —sólo han sido registrados los que han llegado a 320 km/h—, la velocidad que lleva el ojo del huracán al entrar a la superficie de la tierra va de 0 (en ocasiones los huracanes paran completamente) hasta 60 km/h.

Constituyen una segunda forma de vientos huracanados, y son vórtices de aire desarrollados dentro de una fuerte tormenta. En comparación con la de un huracán, cubre un área pequeña —normalmente de 300 m de diámetro—, y contiene vientos más severos que toda la tormenta y calculados hasta en 350 km/h. El tornado se mueve típicamente a velocidades que van de 30 a 100 km/h sobre la superficie.

La mayoría ocurre sobre la superficie terrestre, pero cuando tienen lugar sobre el agua, la baja presión en el centro succiona una columna de agua creando un efecto de fuente. Geográficamente, los tornados son muy comunes y más severos en el centro, este y noreste de los Estados Unidos, donde ocasionan daños por aproximadamente 100 millones de dólares anuales. Tornados menos violentos han sido registrados en Australia, Europa, India y Japón. Los tornados se generan también dentro de huracanes, creando áreas localizadas severamente dañadas.

Los fuertes vientos están asociados con perturbaciones ciclónicas globales, y pueden verse simplemente como huracanes de baja escala. Aunque los vientos y la precipitación sean menos severos, estas perturbaciones son considerablemente más frecuentes.

Fuertes vientos²

Los huracanes

Los tornados

Otros tipos de vientos huracanados

2 Esta sección ha sido elaborada con la asistencia de R. S. Narayanan, Tietz & Socios.

Amenazas secundarias

Tanto los huracanes como los tornados pueden ser acompañados por una precipitación torrencial. Si el huracán afecta un área muy grande, pueden presentarse desbordes en los ríos y erosión de bancos fluviales. Los escombros provenientes de los árboles, arbustos y casas derrumbadas ocasionan bloqueos en los puentes, al punto que es posible que éstos se desplomen sobre el río. Cuando el bloqueo produce un embalse del río, el agua busca rutas alternativas y ocasiona severas inundaciones y erosiones.

Un factor más severo de inundación costera o de áreas de bajo nivel es ocasionado por el fuerte oleaje causado por los huracanes. Los efectos combinados de fuerza cortante del viento sobre la superficie del mar y la baja presión del centro de la tormenta pueden ocasionar que el nivel del mar suba hasta 5 m . Las inundaciones resultantes de este fenómeno son la principal causa de muertes y destrucción.

Los vientos huracanados que actúan sobre superficies de agua en bahías y lagos pueden ocasionar movimientos oscilatorios del agua parecidos a los provocados por sismos. Éstos tienen la capacidad de producir daños importantes en la línea costera, especialmente donde ésta presenta un bajo nivel. Los huracanes y los tornados pueden generar vientos y grandes olas capaces de dañar embarcaciones y estructuras costeras como puertos y malecones.

Se cree que es la baja presión del centro del tornado la que ocasiona el desplome de las casas, debido a la reducción súbita de la presión sobre ellas. Esto es analizado con mayor profundidad en el capítulo 4. La baja presión en los huracanes, combinada con la fuerte precipitación, es un generador potencial de deslizamientos.

Los fuertes vientos provocados por cualquier fenómeno pueden generar proyectiles por escombros provenientes de las edificaciones, guijartos, cocos, madera floja, que circulan por el aire y que contribuyen a producir considerables daños, especialmente a vidrios. De igual forma, los techos de aluminio o teja que salen volando, y que pueden viajar grandes distancias, representan una amenaza contra la vida y la propiedad. Los escombros dejados por los tornados, tales como los objetos pesados, son absorbidos por la baja presión generada en el centro del tornado y transportados a distancias considerables.

También los incendios pueden representar una amenaza durante o después de la ocurrencia de un huracán. Éstos pueden iniciarse por fallas eléctricas, por la rotura de tuberías de gas, la filtración de tanques que contienen líquidos inflamables y debido a accidentes domésticos que se presentan bajo condiciones caóticas producidas por la lluvia y los fuertes vientos.

Zonificación regional y local

Existe mayor información estadística sobre el comportamiento del clima que sobre los sismos; la estimación de períodos de recurrencia de los vientos fuertes es mucho más confiable que la que se realiza para el caso de los sismos, y la posibilidad de excedencia dañina de los valores de diseño es mucho más baja. Los datos regionales sobre el comportamiento de los vientos suelen estar disponibles con mayor facilidad y confiabilidad, aunque en el caso de las áreas remotas y montañosas los datos pueden no serlo tanto.

Sin embargo, la velocidad de los vientos es afectada en gran medida por las irregularidades de la topografía y de la superficie del terreno sobre el cual circulan, efecto que no es muy conocido. Los códigos de práctica trabajan con este factor y clasifican las zonas desde el punto de vista del terreno, de manera que la velocidad es afectada por la turbulencia de la corriente de aire, la altura y la topografía (colinas, valles, acantilados, laderas empinadas y picos de las montañas). Este puede ser un factor arbitrario, pero resulta un enfoque útil para la zonificación local con propósitos reguladores que, con el tiempo, puede ser reemplazado por programas de computación y estudios sobre el comportamiento de los vientos para casos críticos.

Fuerzas del viento

La figura 2.12 muestra un registro típico de la velocidad de los vientos. En ella es posible observar que el viento puede ser representado en un registro como una fuerza estacionaria, y la fase turbulenta como una fuerza dinámica fluctuante. El espectro de frecuencia de la porción dinámica es tal, que sólo un pequeño rango de estructuras son

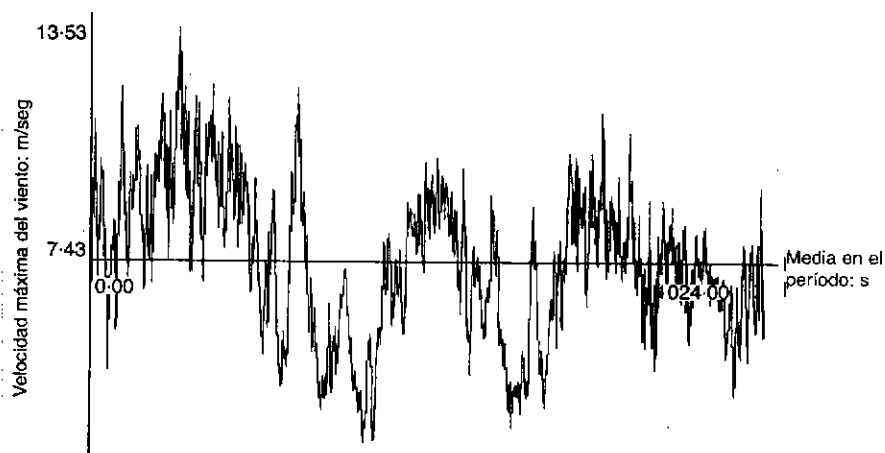


Figura 2.12:
Registro de la velocidad
del viento sobre un período
de 1024 s.

afectadas por ella, por lo que el diseño se efectúa normalmente con base en las fuerzas estáticas derivadas de la velocidad máxima de una ráfaga. Las fuerzas son proporcionales al cuadrado de la velocidad del viento; por ejemplo, 20% de incremento en la velocidad del viento de 100 a 120 km/h representa un 44% de aumento en la fuerza del viento.

Las fuerzas ejercidas sobre los edificios varían según la forma del edificio y la orientación del viento, y pueden ser presiones o succiones. La figura 2.13 ilustra algunas de las concentraciones de presión que ejercen los vientos fuertes sobre las viviendas residencias, ocasionadas por la formación de vórtices donde el viento fluye sobre los bordes y las esquinas. Para estructuras de mayor envergadura o inusuales es común utilizar la prueba del túnel del viento para obtener la distribución de la presión de éste.

Las estructuras que probablemente experimenten la vibración inducida por el viento son más livianas, con formas esbeltas y con un bajo amortiguamiento estructural. Algunos ejemplos son los puentes suspendidos y puentes tensionados, mástiles, torres y chimeneas altas. Las vibraciones provienen de la turbulencia producida por la fuerte circulación del aire o por la inestabilidad desarrollada por las corrientes de viento que fluyen alrededor de la estructura, que puede dar origen a vibraciones a ángulos rectos o en línea con la dirección del viento.

Este estudio trata sobre edificios y estructuras. Sin embargo, es importante incluirlo en un marco integral del desastre, cualquiera que sea el escenario posdesastre. Esto requiere que se considere la estructura en un ambiente posterior a un evento de vientos huracanados, donde los servicios pueden no estar funcionando. Las líneas telefónicas y los centros de energía pueden haberse desplomado por la caída de árboles o por la ocurrencia de deslizamientos. Las tuberías subterráneas que suministran agua, gas, electricidad y comunicación telefónica pueden ser dañadas por deslizamientos e inundaciones. Igualmente, es posible que el acceso por carretera o ferrocarril esté bloqueado debido a deslizamientos, desplome de los árboles o porque los puentes han sufrido averías. Los puentes más importantes pueden ser dañados por los vientos, mientras que los puentes menores pueden ser destruidos o bloqueados por escombros arrastrados por los ríos o aislados por

Daños por vientos

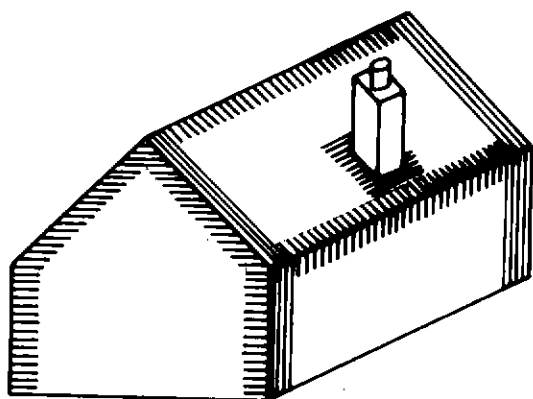
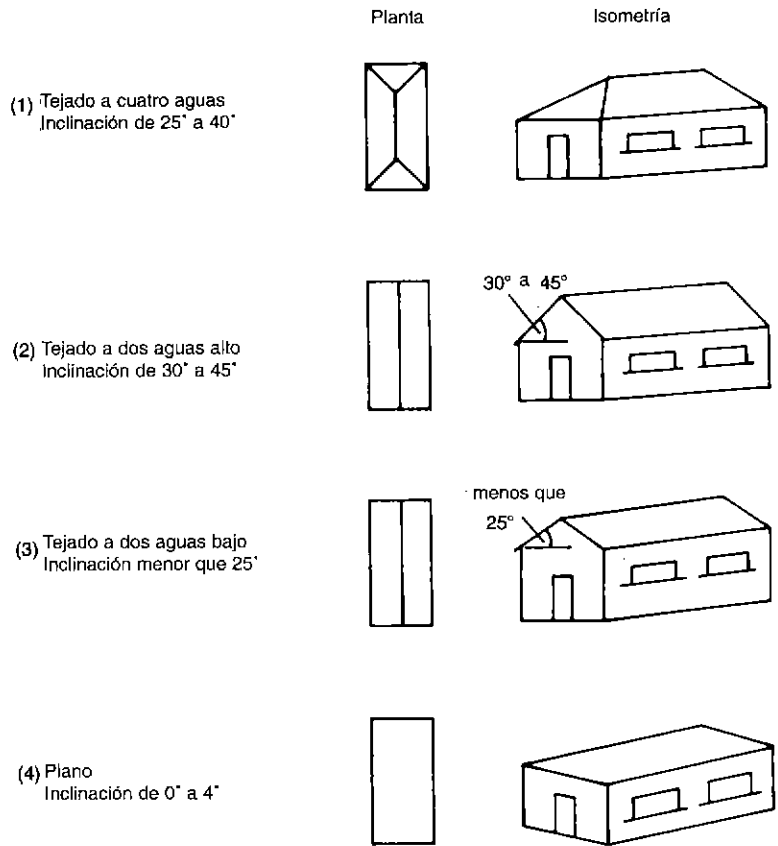


Figura 2.13:
Áreas de presiones de succión
alta debido a los vientos.

Figura 2.14:

La forma del edificio, especialmente la forma del techo, influye en la magnitud del impacto del viento sobre la estructura. Cuanto más fuerte sea la carga del viento, mayor es la posibilidad de que el edificio sufra daños. La experiencia y la experimentación han mostrado que las viviendas con techos a cuatro aguas tienen la mejor resistencia. Otros tipos de techo que también son resistentes son los de pendiente elevada, con una inclinación de 30-45°. Los techos de poca pendiente y los techos planos son los que tienen el peor registro de resistencia frente a la presión de los vientos. Fuente: Gibbs y Browne (1982).

Forma del techo en orden de preferencia



la erosión de los bancos fluviales. Ejemplos de estos casos son presentados en el capítulo 8, que describe los daños producidos por los vientos huracanados en Jamaica.

En la fase posterior a un evento de vientos huracanados, las consecuencias sobre los edificios son:

- Los servicios y comunicaciones del edificio pueden dejar de funcionar.
- Los servicios de mantenimiento pueden no estar disponibles por días, semanas o hasta meses. Los vidrios rotos y los techos con huecos permitirán que la lluvia siga entrando. Es posible, asimismo, que los ascensores, el aire acondicionado y la calefacción dejen de funcionar. Pequeñas fallas pueden originar pérdidas importantes y dejar inutilizable el edificio.

Los mayores daños que sufren los edificios, especialmente las viviendas, se localizan en los techos. Los techos livianos son particularmente vulnerables; su peso es insuficiente para balancear el efecto aun en el caso de vientos moderados, lo que determina que la resistencia de la estructura del techo esté en función de la forma de sujeción a la estructura principal que evite su desprendimiento. En el caso de las viviendas, esto se puede traducir en un trabajo de reforzamiento con acero desde el nivel de la cubierta del techo hasta los cimientos.

La fuerza del viento sobre los techos y paredes depende sobre todo de la forma del edificio. En la figura 2.14 se ilustran algunas de las ventajas y desventajas de formas de edificaciones frente a la fuerza de los vientos. Los volados y las salientes son especialmente vulnerables, lo que puede ser contrarrestado con techos de cuatro pendientes en sus cuatro lados y recortando los aleros de manera que funcionen bien frente a la fuerza de los vientos. La sombra para las ventanas puede lograrse aun mediante sombrillas individuales en cada ventana, que pueden dañarse sin perjudicar la integridad del edificio en su conjunto.

Los techos livianos son normalmente afectados de manera severa por los vientos. Es casi imposible conseguir un perno que vaya a sostener un techo de lámina de aluminio de poco calibre durante un huracán, ya que el material de la plancha se desgarrará. El cam-

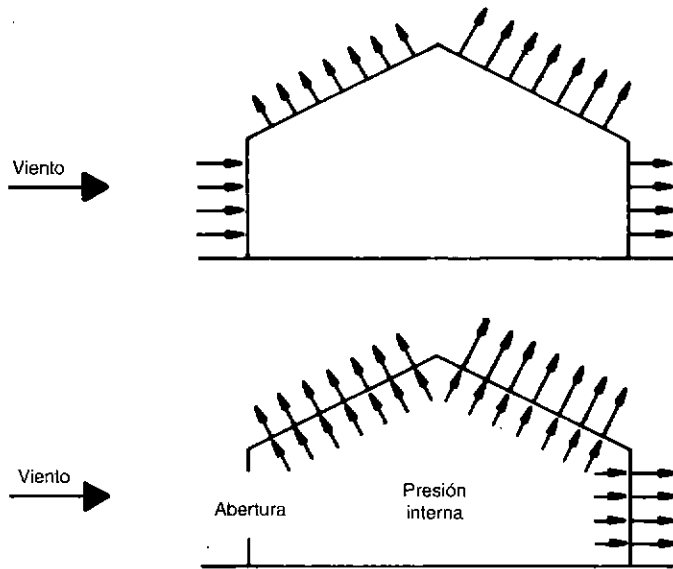


Figura 2.15:

Los efectos de una abertura en la parte contra el viento. La presión interna refuerza la acción del viento sobre el techo y la cara opuesta.

bio por aluminio de mayor calibre o láminas de acero galvanizado transfiere el problema a los pernos que conectan las láminas con las viguetas. Éstas son vulnerables a fracturas por fatiga debido a los fuertes movimientos ocurridos durante la tormenta. La fallas en el sistema del techo –o, más específicamente, el cierre lateral del edificio– pueden incrementar de manera considerable las fuerzas que se ejercen sobre toda la estructura debido a la fuerza del viento, como se puede observar en la figura 2.15. La abertura ocasionada por la falla permite que el viento penetre en el edificio creando una presión interna hacia afuera que se suma a las fuerzas de succión que ya se están presentando. El diseño de viviendas expuestas a eventos extremos necesita tomar en cuenta la posibilidad de que se incremente el peso debido a fallas del cerramiento.

Este efecto es particularmente importante en edificios con cubierta externa de planchas; fábricas y depósitos, por ejemplo. En este caso el efecto está agravado por fallas en puertas enrollables, las que casi nunca están diseñadas para resistir la fuerza del viento de forma apropiada (aunque podrían ser modificadas con facilidad). Este tipo de estructura es particularmente vulnerable a los vientos fuertes, por lo que se requiere un especial cuidado que asegure que el sistema sea consistente como un todo para la fuerza del viento en cualquier dirección, y que los elementos que lo componen (amarre de aleros, por ejemplo) y que vayan a ser sometidos a compresión estén diseñados para resistir.

Las viviendas pequeñas, especialmente en climas calientes, están a menudo construidas con material muy liviano, divisiones de madera y techos de láminas livianas. Con frecuencia éstos tienen poco o ningún anclaje al terreno, por lo que pueden desprenderse ante la acción del viento, que las reduce a escombros. Sujetar las láminas colocando piedras pesadas sobre ellas es totalmente ineficaz cuando un viento severo ejerce la fuerza suficiente para hacer resbalar o rodar las piedras.

Estas estructuras sensibles a la acción de vientos requieren de la destreza de ingenieros estructurales experimentados, aun cuando hayan sido adquiridas por la modalidad de paquete (figura 2.16). No es ético –pero sí práctica común– que los proveedores dejen que el comprador especifique cargas de viento u otros factores ambientales, y no hacer ningún esfuerzo por realizar una evaluación apropiada de las condiciones locales. Además, como se analiza en la parte correspondiente a la evaluación de amenazas, el término 'velocidad del viento' tiene distinto significado para diferentes personas, con lo que se constituye en una fuente potencial de confusión (esto también se aplica al término "diseñado para"). La clase de estructuras consideradas como vulnerables a los vientos –como mástiles, puentes de grandes luces, chimeneas de gran altura– tiene por lo general formas de falla vinculadas a su respuesta dinámica frente a la fuerza del viento. Es digno de mencionar el caso de los postes con tensados con cables, de uso generalizado en las telecomunicaciones, que pueden, como frecuentemente sucede, sufrir de fractura total debido a la rotura de un solo cable o debido al movimiento del bloque de anclaje de cable sobre la superficie del terreno.



Figura 2.16:
Una casa "chattel" en
Montserrat que no fue
afectada por el huracán
Hugo (1989). La forma
del techo minimizó
la fuerza del viento
sobre su frágil estructura.
Foto: T. Gibbs, Barbados.

El vidrio es vulnerable tanto a la presión del viento como al impacto de los proyectiles que el viento traslada. Los efectos dinámicos sobre el vidrio son de especial interés cuando están localizados cerca de las esquinas de los edificios altos. En el caso de las viviendas, es posible protegerlas utilizando contraventanas metálicas o de madera. Parasoles metálicos resistentes a impactos han sido también utilizados para edificios de oficinas en áreas tropicales. Con un costo más alto, están asimismo disponibles vidrios resistentes al impacto o también láminas plásticas transparentes.

Las paredes de albañilería no reforzada pueden también ser dañadas por la presión de los vientos fuertes, en especial cuando cuentan con aberturas o están parcialmente confinadas. Los muros libres de albañilería sin confinar son particularmente propensos a fallas por volteo.

Cuando están vacíos o parcialmente llenos, los tanques y silos a menudo no se encuentran debidamente anclados a una cimentación, por lo que se vuelven objetos propensos a volteo por causa de los vientos. Como medida de prevención, el propietario puede proceder a llenar el tanque o silo antes de que los vientos se presenten. (En el caso de sismos, por el contrario, son más vulnerables cuando están llenos.)

La figura 2.16 muestra una casa "chattel"³ en Montserrat que no fue dañada. A pesar de su débil construcción, el huracán Hugo no la afectó, lo que se explica sobre todo por la forma del techo y su fuerte pendiente. En comparación, la figura 2.17 muestra una casa de diseño arquitectónico moderno después del huracán David en Dominica. La pérdida de las láminas del techo se debería parcialmente a su poca pendiente de techo, forma de tejado y saliente.

La figura 2.18 muestra una torre de radio con "diseño estándar" destruida por el huracán David en Dominica. La torre se diseñó para vientos con velocidades de 33 m/s: aproximadamente la mitad de la velocidad apropiada de diseño.

La figura 2.19 muestra el efecto del viento sobre una pared de concreto no reforzada a pesar de estar apoyada, en parte, por un marco estructural de acero. Un refuerzo de acero seguramente habría evitado que la pared sufriese algún daño. En la figura 2.20, la pérdida de las láminas del techo en una fábrica en Jamaica es atribuida a la pendiente poco pronunciada del techo, puesto que otras estructuras similares cercanas no perdieron su revestimiento.

3 La característica de una casa "chattel" es que no está unida al terreno, por lo que se convierte en parte de las pertenencias del propietario (bajo algunos sistemas tributarios) que no está sujeta al pago de impuestos aplicables a una residencia.



Figura 2.17:
 Vivienda con diseño
 arquitectónico moderno
 dañada fuertemente
 por el huracán David
 (Dominica, 1979). La poca
 pendiente y la forma
 del tejado deben haber
 contribuido a la pérdida
 de las láminas del techo.
 Foto: T. Gibbs, Barbados.

23

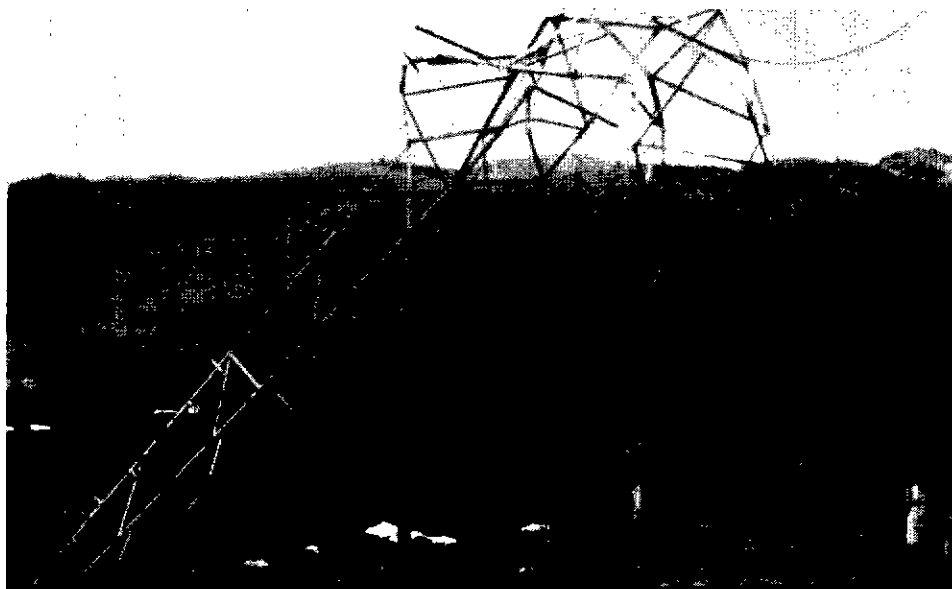


Figura 2.18:
 Torre de radio de policía
 destruida por el huracán
 David en Dominica (1979).
 Ésta era una estructura
 diseñada para velocidades de
 viento de 33 m/s (75 mph).
 Foto: T. Gibbs, Barbados.



Figura 2.19:
 Paredes de concreto no
 reforzado de un depósito en
 Dominica destruidas por el
 huracán David (1979).
 Foto: T. Gibbs, Barbados.

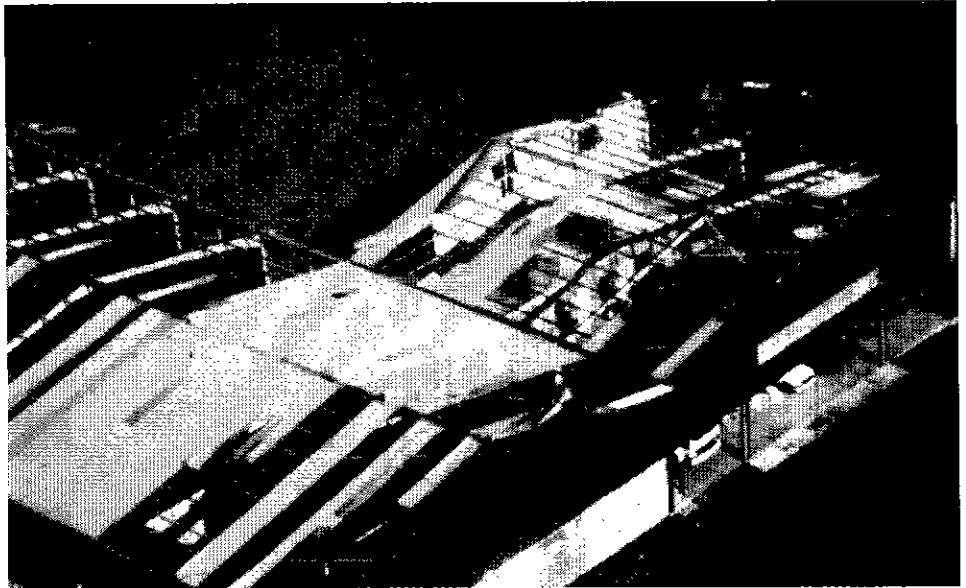


Figura 2.20:
Fábrica en Jamaica con pérdidas importantes del techo después del huracán Gilbert (1988). La inclinación del tejado era mucho más plana que la de otros edificios cercanos que tenían techos con pendientes más fuertes. Foto: T. Gibbs, Barbados.

La figura 2.21 muestra la estructura dañada de un depósito en el que la totalidad del cerramiento fue virtualmente destruida durante el paso del huracán. La falla ocurrió, sin duda, cuando el daño al cerramiento permitió un incremento en la presión interna del viento.

Evaluación de amenazas, pronósticos y alertas

La evaluación de la amenaza está graficada en la figura 2.22. La línea vertical puede ser cualquier medida que represente una amenaza (la magnitud o intensidad de un sismo o la velocidad del viento, por ejemplo). Valores de confianza son indicadores útiles de la incertidumbre involucrada en la estimación; mientras más amplia sea la discrepancia, mayor será la incertidumbre.

La amenaza sísmica es medida generalmente tomando como punto de referencia la intensidad, la magnitud o PGA. Para el planificador, los indicadores más útiles son la intensidad o el PGA, así como la correlación que se pueda hacer entre ellos y los niveles de daño en zonas específicas. La magnitud, siendo una medida del sismo en su origen, es un indicador de daño sobre un área muy grande y posiblemente de interés para la planificación en gran escala. Giardini y otros (1993) describen una propuesta para una evaluación global de la amenaza sísmica patrocinada por las Naciones Unidas.



Figura 2.21:
Colapso total de un cobertizo de plátanos en Dominica después del huracán David en el punto de agua Roseau (1979). Foto T. Gibbs.

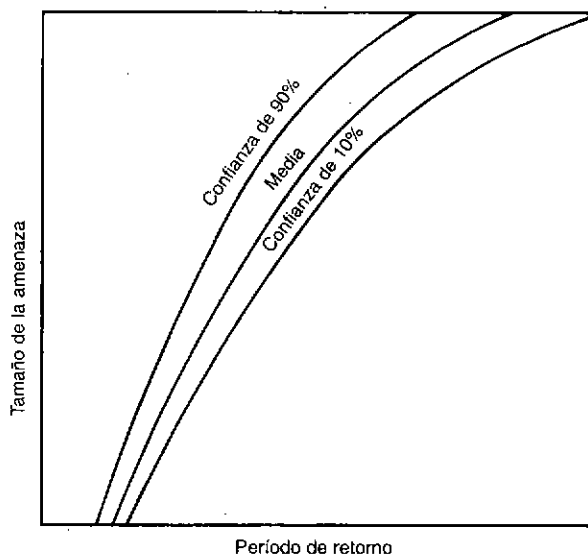


Figura 2.22:
Evaluación probabilística
de las amenazas.

La amenaza por vientos es definida normalmente tomando como base la velocidad de viento, aunque es importante distinguir entre huracanes y tornados. Debido a que la velocidad del viento cambia constantemente (figura 2.12), inclusive en la escala de unos pocos segundos, ésta se define como el valor promedio en un período. Para el mismo fenómeno, la velocidad de la ráfaga promediada sobre 3 segundos es considerablemente mayor que la velocidad de viento promediada sobre una hora. La figura 2.23 muestra la relación entre las velocidades de viento promediadas sobre períodos diferentes. La información sobre la intensidad de los vientos algunas veces se da en términos de la velocidad máxima por milla, que significa un promedio en el tiempo requerido para que una columna de aire de una milla de longitud pase un anemómetro. La forma de la curva de la figura 2.23 va a variar según la turbulencia del viento.

En el caso de la evaluación tanto de la amenaza sísmica como del comportamiento de los vientos, se presume generalmente que éste es estadísticamente constante en el tiempo. Tratándose de los vientos, es posible que ello no ocurra si la influencia del cambio climático se vuelve importante.

Las amenazas secundarias –tsunamis, deslizamientos, licuación, grandes oleajes e inundaciones costeras– son definidas en forma más útil para los planificadores en términos de riesgo y representadas en forma de mapas. Éstos pueden ser mapas generales o detallados, dependiendo de la información disponible y de los períodos de retorno definidos. Estos estudios de mapas son apropiados para ser incorporados en los sistemas de información geográfica (SIG) que se analizan en el capítulo 3.

Las fuentes de información sobre los niveles de amenaza se presentan en las tablas 2.1 y 2.2. Las divisiones entre las disciplinas no están siempre claras.

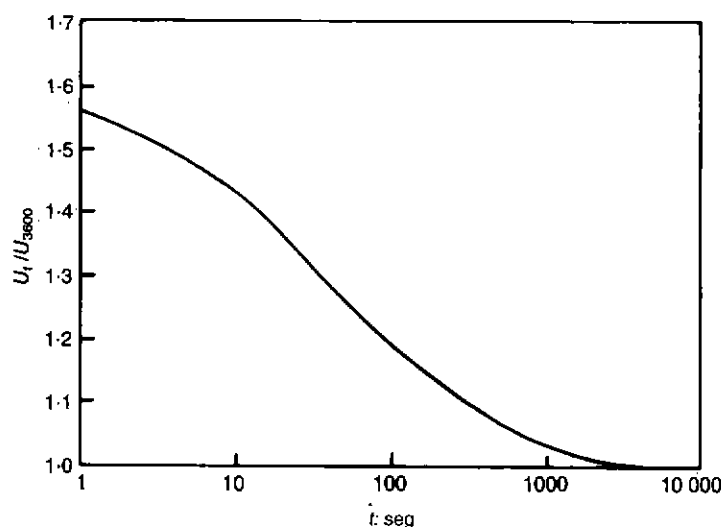


Figura 2.23:
La relación de la velocidad
máxima probable del viento
promediada sobre t segundos,
frente a la promediada sobre
una hora. Fuente: Simiu y
Scanlan (1986).

Amenazas,
pronósticos
y alertas

Tabla 2.1: Fuentes de información sobre diferentes niveles de amenaza sísmica

	Geólogo	Sismólogo de ingeniería	Ingeniero geotécnico*	Ingeniero sísmico**
Terremotos	✓	✓	✓	✓
Tsunamis	✓	✓		
Deslizamientos	✓	✓	✓	✓
Licuación	✓	✓	✓	

* Ingeniero geotécnico especializado en diseño sísmico.

** Ingeniero civil o estructural especializado en diseño sísmico.

Tabla 2.2: Fuentes de información sobre la amenaza de vientos huracanados

	Meteo-rólogo	Ocea-nógrafo	Geólogo	Ingeniero geotécnico	Hidrólogo	Ingeniero eólico*
Velocidad del viento	✓					✓
Ola de tormenta	✓	✓				
Deslizamiento		✓	✓			
Inundación	✓				✓	

* Ingeniero civil o estructural especializado en diseño para vientos.

La estimación de la amenaza es normalmente hecha sobre una base probabilística y a partir de datos históricos y modelos físicos. El pronóstico implica una declaración mucho más definitiva que cotiza el nivel de amenaza, tiempo y ubicación aproximados.

En el caso de los huracanes, las tormentas se forman sobre el océano y pueden ser frecuentemente observadas e investigadas pocos días antes de que se aproximen a la costa. Sobre esta base, se puede alertar con suficientes días y horas de anticipación antes que el evento se presente, lo que brinda la oportunidad de tomar medidas de corto plazo para mitigar los efectos. Los tornados sólo se pueden predecir en términos del área que va a ser afectada, y con pocas horas o minutos de anticipación.

Las predicciones de sismos son todavía una esperanza para el futuro, a pesar del éxito chino en predecir el gran terremoto en Haicheng en 1975. Mucho se hizo sobre este caso, pero al año siguiente no pudo preverse el terremoto de Tangshan (Chen Yong y otros 1988). Además de esto, muchos pronósticos falsos de sismos se han hecho usando la misma metodología que pronosticó el terremoto de Haicheng.

Las consecuencias económicas y sociales de pronósticos falsos pueden ser difíciles de asimilar por la sociedad; de ahí que el uso de modelos predictivos no sea aceptado hasta que se prueben y sean confiables. Aunque la investigación en esta área es activa, es probable que no dé resultados en muchos años.

El sistema más sofisticado de alerta de tsunami es japonés y ha sido descrito en el New Scientist (1994). Éste es manejado por la Agencia Meteorológica Japonesa (JMA), y cuando un sismo de 7,9 de magnitud azotó la costa nororiental de Hokkaido en octubre 1994, miles de alertas fueron transmitidas por televisión cinco minutos después de que el sismo sucedió. Sin embargo, este tiempo de emisión de alerta no es suficientemente rápido para los sismos cercanos a la costa, por lo que la JMA está tratando de reducirlo.

Mitigación de desastres: evaluación y manejo del riesgo

3

Las desgracias siempre entran por la puerta que ha sido dejada abierta para ellas.

Proverbio checo

Los encargados de la administración de las ciudades necesitan desarrollar una capacidad para evaluar los riesgos. Esto requiere de un enfoque multidisciplinario, así como de una base de información acerca de las amenazas y vulnerabilidades que, combinados, permitan un efectivo análisis del riesgo. Los recursos para la mitigación y el manejo de los desastres sólo pueden construirse sobre la base de una percepción clara del riesgo que permita entender un desastre potencial en términos de su efecto total.

Las actividades involucradas en la evaluación del riesgo necesitan ser vinculadas con el planeamiento del uso de la tierra con el fin de poner en práctica la mitigación en el nivel fundamental del desarrollo. Es en este nivel que la mitigación puede ser efectiva. El proceso de la mitigación de desastres incorpora todas las medidas planificadoras que conducirán a una reducción del riesgo, incluyendo la recolección de información, las medidas de preparación y el plan de emergencia.

Los registros de los desastres previos son de vital importancia en los procesos de manejo y mitigación del riesgo. Éstos deberían preservarse y estar a disposición de los interesados, para conformar una base de datos que será de suma importancia para los profesionales involucrados en la temática.

Los recursos disponibles para la conformación de esta base de datos son muy amplios, y van desde los reportes en periódicos viejos hasta fotografías aéreas e imágenes de satélite. La elaboración de mapas debería ser cruzada con informaciones sobre el uso de la tierra que son manejadas por los planificadores. Los documentos deberían almacenarse y reproducirse en copias de seguridad, de manera que pueda garantizarse su recuperación en caso de un desastre. El valor de esta información debe ser reconocido en la fase posterior a un desastre, de forma que se pueda registrar y guardar en la base de datos.

Allí donde exista la oportunidad, deben apoyarse y reforzarse las actividades de medición de los parámetros de amenazas, tales como la velocidad de los vientos, movimientos sísmicos y el comportamiento estructural. Por ejemplo, los acelerógrafos, para el registro de movimientos fuertes, podrían ser obligatorios en edificaciones a partir de cierto tamaño.

Los estudios sobre daños pueden derivarse a partir de datos históricos disponibles y apropiados. Para ello, dichos estudios deben ser llevados a cabo de una forma analítica que utilice las estimaciones sobre amenaza y vulnerabilidad o una combinación de ambos enfoques. El capítulo 12 presenta una metodología que actualmente está siendo desarrolla-

Introducción

Experiencia

Evaluación de daños

da para evaluar el riesgo de sufrir daños que corren los edificios en casos de sismo, con base en la información disponible. Este es un método aplicable a cualquier forma de amenaza o amenazas múltiples.

Los estudios históricos usados como base para evaluar daños son tan buenos como los datos sobre los cuales están basados, pero su uso es limitado cuando la tipología de edificaciones varía en el período de intervención. Los datos sobre los daños en edificios de albañilería de un piso no pueden producir información específica sobre el comportamiento de edificios de estructura de acero de varios pisos, ya sea que la amenaza provenga de los fuertes vientos o de un sismo. Mientras que, por otra parte, la vulnerabilidad a sufrir un deslizamiento de montaña o una inundación puede cambiar muy poco o ser fácilmente proyectada. En el capítulo 13 se ilustran funciones de vulnerabilidad, y Coburn y Spence (1992) las analizan de forma integral en su libro.

La estimación analítica de los daños puede estar dirigida hacia una única estructura, un conjunto de edificios o una amplia área como un pueblo o una isla. Diferentes tecnologías han sido desarrolladas por ingenieros estructurales de forma que puedan enfrentar este gran espectro de tareas. Así, los resultados van a ser probabilísticos, debido a la incertidumbre tanto del nivel del conocimiento que se tenga de la amenaza como de los factores que componen las estructuras; sin embargo, deberían producir una buena estimación media de los daños para un nivel determinado de amenaza.

El ATC-21 (1988) provee una metodología para la selección visual de edificios para el caso de amenaza sísmica, aunque necesita adaptaciones considerables en función de los tipos de construcción que no se utilizan en los Estados Unidos. Emmi y Horton (1993) presentan un método para la estimación de daños causados por sismos, tanto en el caso de propiedades como en el de las víctimas. Para ello utilizan un sistema de información geográfica (SIG) que resulta de gran utilidad para la planificación de comunidades grandes. El uso de los SIG es discutido en la página 29.

Algunos ejemplos de evaluación de daños ocasionados por los fuertes vientos son presentados por Murlidharan y otros (1993), quienes utilizaron un enfoque de lógica difusa (*fuzzy logic*) para trabajar con la incertidumbre. Igualmente, Mehta y Veshire (1993) presentaron un sistema experto basado en conocimientos para que fuese usado por compañías de seguros.

La principal información requerida para la evaluación de daños está correlacionada con la información que se tenga de sucesos previos. La importancia de los registros y encuestas rápidas y bien organizadas en la etapa posterior al desastre es discutida en el capítulo 6.

El estudio de los escenarios

El estudio de los diferentes escenarios presenta una perspectiva total de todos los aspectos de un desastre, y permite a los planificadores y administradores prever los problemas particulares que se podrían presentar en su área de riesgo. La complejidad del ambiente construido moderno es tal que resulta casi imposible prever, por ejemplo, cuándo las comunicaciones quedarán destruidas, los caminos bloqueados por el colapso de los edificios o cuándo se producirá un incendio, a no ser que se haga un modelo del proceso.

Los estudios de escenarios son proyectos especializados y multidisciplinarios que pueden llevarse a cabo con varios niveles de precisión. Los productos pueden ser geográficos, estadísticos o financieros y pueden extenderse en el tiempo cubriendo todas las etapas del desastre: antes, después y durante la fase de recuperación.

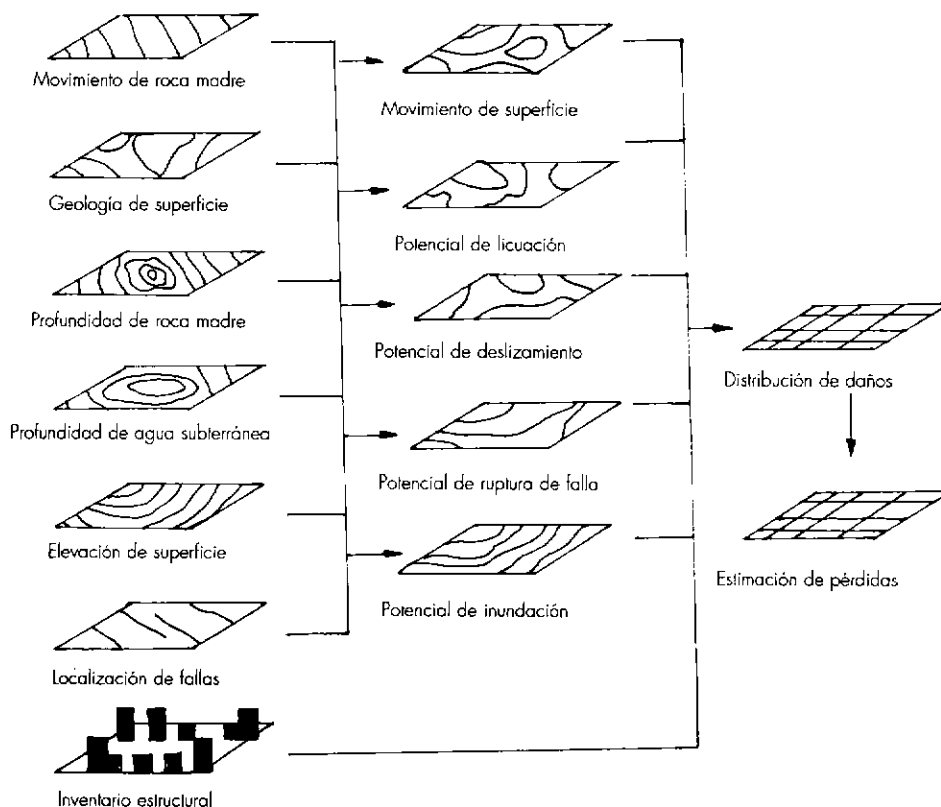
La metodología de modelación de sistemas descrita en el capítulo 12 es potencialmente un instrumento poderoso de trabajo con estudios de escenarios, ya que permite estudiar los sistemas de funcionamiento en su totalidad. Muchos de los sistemas con que se trabaja en el manejo de los desastres son complejos, y no siempre es posible ver los efectos generados por los cambios. Con un modelo suficientemente bueno, el enfoque de sistemas puede ser utilizado para estudiar el impacto total de cambios hechos por el proceso de manejo.

Como se ha dicho, los procesos de planificación y zonificación tienen un nexo esencial con la evaluación de daños. El desarrollo necesita, en general, estar dirigido hacia áreas de menor riesgo, así como ser categorizado en términos de compatibilidad con áreas en particular. Por ejemplo, es posible que sea poco apropiado ubicar residencias sobre suelos blandos donde la amplificación del movimiento de un sismo puede ser alta; sin embargo, puede ser apropiado para la ubicación de edificios altos siempre y cuando puedan construirse con cimentaciones con pilotes.

Los SIG constituyen una fuente importante de cartografía por computadora para la presentación del riesgo en términos claros y manejables. La figura 3.1 muestra el principio básico de superposición de mapas dividido en planos, cada uno de los cuales contiene diferentes clases de datos. Todos los factores constituyentes involucrados en el riesgo para una determinada amenaza se encuentran disponibles para cada plano, de manera que éstos pueden combinarse para producir un mapa de riesgo que muestra cómo varía éste en el área del mapa.

Para dar un ejemplo simple del uso de SIG, el riesgo a daños por sismos puede depender de la intensidad del movimiento en la roca subyacente, de la profundidad de la capa rocosa aluvional y de la vulnerabilidad que caracterice el tipo de propiedad en cada elemento del plano. Todo esto puede entonces combinarse para producir una evaluación total del daño a propiedades, desde el punto de vista del costo económico o en términos de vidas humanas. De forma alternativa, los daños podrían ser divididos en diferentes categorías de uso de edificaciones –residencias, oficinas, fábricas, hospitales, administración pública y otras–. La zonificación para el caso de sismos se ilustra en el capítulo 13.

Un mundo sin riesgo no es una propuesta factible. Las sociedades han evolucionado para aceptar ciertos niveles de riesgo provocados por amenazas naturales o por amenazas generadas por el hombre. Éstas no son aritméticamente racionales (Alexander 1993). Por ejemplo, el riesgo de muerte por fumar es 50 000 veces mayor que el riesgo de muerte promedio debido a un desastre natural. Aun cuando existen considerables brechas en la percepción de la sociedad y la comprensión del riesgo, hay algún nivel tolerable de riesgo. Éste varía en función de las circunstancias económicas, sociales y culturales, y no necesita necesariamente ser definido.



Planificación y zonificación

Manejo del riesgo y preparación

Figura 3.1: Evaluación regional de pérdidas por sismos utilizando sistemas geográficos de información (SIG). Fuente: King y otros (1994).

Los enfoques utilizados en la definición del riesgo tolerado se discuten en la publicación de Alexander (1993). Aunque no nos sorprenda, en ella no se llega a ninguna conclusión. Si se acepta que el riesgo tolerable es algo que se decide localmente y que no existe ningún valor correcto absoluto, entonces podría adoptarse un doble enfoque:

- Comprender la naturaleza de los riesgos naturales y asegurarse de que éstos sean entendidos ampliamente por la comunidad.
- Hacer el mejor uso de los fondos que la comunidad puede proveer para reducir el riesgo. Esto puede involucrar un balance de riesgos a partir del concepto de amenaza múltiple.

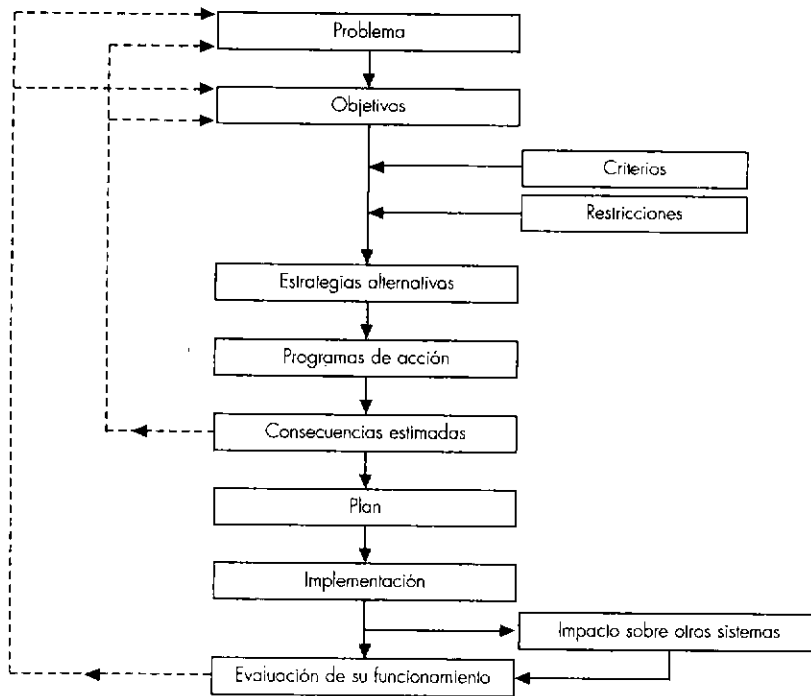
Adicionalmente, en muchos casos habrá normas o códigos nacionales y locales para el diseño y la construcción, que representarán consensos implícitos de un nivel apropiado de riesgo. Esto puede quitar a los administradores la responsabilidad de tomar decisiones, aunque existe una excepción en el caso de los diseños sismo-resistentes, donde las políticas públicas pueden jugar un papel influyente. Esto será más ampliamente discutido en el capítulo 4.

Los diseños sismo-resistentes pueden implementarse con uno o más objetivos. Los códigos se redactan generalmente con el objeto de preservar la vida durante un sismo importante, aunque existe una tendencia de opinión creciente respecto de la necesidad de reducir daños en los edificios. Otros objetivos pueden ser importantes en ciertos casos; por ejemplo:

- La necesidad de continuar operando durante el sismo (plantas de generación de energía y agua, hospitales, servicios de emergencia).
- La necesidad de minimizar el período de inoperatividad debido al sismo (centrales de comunicación).
- La necesidad de preservar las edificaciones y los objetos irremplazables de gran valor (museos, bóvedas bancarias, registros públicos).
- La necesidad de mantener en funcionamiento equipo especializado (laboratorios de investigación, centros de cómputo).

Hay muchas áreas donde las políticas públicas interactúan con los objetivos de los diseños sismo-resistentes, por lo que los administradores tendrían que darse cuenta del papel que deben jugar. Krawinkler (1994) presentó una descripción de un proceso de diseño sismo-resistente en la que puso el énfasis en la idea de que los objetivos son negociables. El diseño sismo-resistente, tanto en la etapa conceptual como en la práctica, puede estar dirigido hacia objetivos especiales como los que acabamos de mencionar. Estos objetivos sólo pueden ser identificados como resultado de una comprensión integral de la naturaleza de un desastre sísmico. El tipo de proceso de decisión involucrado se muestra en la figura 3.2.

La gestión de riesgo incorpora medidas de preparación que se diseñan para reducir el riesgo a través de la reducción de la vulnerabilidad. Un buen ejemplo de este enfoque es presentado en el capítulo 8, donde se describen las operaciones del Proyecto Pan-Caribeño de Prevención y Preparación de Desastres (PPCPPD) en el Caribe del Commonwealth, aunque con algunas limitaciones que son también anotadas. El capítulo 10 destaca también la necesidad de recursos tanto externos como locales para la gestión de los desastres. Los problemas que hay que enfrentar para el establecimiento de un plan de emergencia son descritos en el capítulo 9. Sobre esto último, a pesar de las actividades de las organizaciones locales en el campo de la capacitación para el diseño de planes de emergencia, no hay aún certeza de que se pueda aplicar un plan formal de emergencias.

**Figura 3.2:**

Proceso de toma de decisión.

Fuente: UNDRO (1991).

Inmediatamente después del desastre se presenta un estado de emergencia. Edificios seriamente dañados necesitan ser evacuados. Los edificios con niveles moderados de daños pueden necesitar reparaciones que eviten daños mayores por lluvia o la fractura de tuberías. Aquellos con objetos de valor necesitarán ser asegurados. Algunos servicios pueden necesitar ser apagados y algunas plantas mecánicas pueden dejar escapar químicos nocivos. La gente puede necesitar ser rescatada de elevadores atorados.

Todas estas actividades pueden chocar con las acciones inmediatas de rescate, por lo que es conveniente considerar la fase de emergencia tanto en el diseño de las edificaciones como en los preparativos frente al desastre.

La necesidad de una pronta evacuación en caso de incendio asegurará normalmente la existencia de salidas de escape adecuadas en los edificios que no han sido dañados. Sin embargo, el bloqueo del acceso a las salidas de emergencia ya sea por la caída de paredes, techos y otros, puede obstaculizar o no permitir el escape. El evento podría presentarse de noche, por lo que es deseable contar con adecuadas luces de emergencia.

La importancia de mantener salidas de emergencia es una buena razón para aplicar de manera rigurosa los correspondientes requerimientos de diseño a todo elemento que pueda bloquear las salidas de emergencia.

En el caso de edificios localizados en áreas propensas a tornados, la provisión de un refugio a prueba de vientos, normalmente en un sótano, es una buena y sensata medida de precaución. En el caso de huracanes esto se hace raramente, debido tanto a razones de tipo económico como a que se cuenta con sistemas de alerta que permiten evacuar con suficiente tiempo hacia construcciones más seguras. Muchas vidas se pierden dentro de casas durante la ocurrencia de huracanes. En muchos casos, cuando no están al alcance edificios seguros contra vientos, es conveniente la provisión de un refugio como medida de precaución.

En el caso de áreas vulnerables a huracanes, edificios designados como refugios "seguros contra vientos" pueden ser usados por el público cuando se presentan advertencias de una

Diseño para emergencias

Introducción

Evacuación posterior al terremoto

Refugios y medidas de mitigación para vientos huracanados

próxima tormenta. Sin embargo, la experiencia ha mostrado que a pesar de una cuidadosa preparación, algunos de estos refugios se encuentran cerrados e inaccesibles cuando se necesitan.

Servicios eléctricos y mecánicos

Los sistemas mecánicos vulnerables incluyen las calderas de agua que operan por arriba del punto de ebullición, y que pueden estallar si sufren alguna ruptura; asimismo, sistemas mecánicos de tuberías que pueden contener fluidos inflamables, tóxicos o nocivos. Algunos refrigerantes halógenos no tóxicos utilizados en el aire acondicionado pueden convertirse en gas venenoso (fosgeno) al contacto con las llamas.

Los informes sobre el terremoto de Anchorage en 1964 muestran que las edificaciones con menos daños estructurales pueden llegar a ser inhabitables y constituirse en una amenaza para la vida debido a fallas sufridas en el sistema mecánico y eléctrico. Existen cuatro aspectos de seguridad frente a sismos que deben ser considerados en el diseño de un edificio:

- Seguridad para la vida.
- Daños en la propiedad que afectan la seguridad para la vida.
- Daños en los servicios vitales que afectan la recuperación después del desastre.
- Seguridad del personal de emergencia, tales como equipos de bomberos y rescate.

El diseño de servicios mecánicos y eléctricos se conoce bien a partir de la experiencia con la industria nuclear; sin embargo, ha sido frecuentemente descuidado en el caso de edificios y estructuras industriales. Un código apropiado que cubre los requerimientos de diseño para sismos se encuentra en el NEHRP (1991). Éste incluye el diseño de componentes, su correlación, instalación y anclaje a la estructura principal.

La vulnerabilidad de las plantas a daños ocasionados por fuertes vientos se limita a los elementos expuestos, tales como tanques externos y equipos de aire acondicionado. Sin embargo, hay que considerar las necesidades de operación del edificio que se presentan en la etapa posterior al desastre, tales como abastecimiento de servicios, electricidad, gas, agua, teléfono y alcantarillado.

Seguros

Los seguros para cubrir pérdidas causadas por desastres naturales han ocasionado recientemente grandes pérdidas a la industria de los seguros, razón por la cual las compañías reaseguradoras están reacias a continuar cubriendo tales pérdidas. La Organización Panamericana de la Salud (1994), que manejó daños causados por huracanes en los estados caribeños, afirma:

“Algunos negocios decidieron renunciar a la tranquilidad que dan las pólizas de seguros y condujeron estudios de costo-beneficio de las pérdidas probables *versus* el costo de reforzar o mejorar los edificios. No fue extraño que los estudios demostraran que es más lucrativo reforzar los edificios y los sistemas, aún cuando se requiere mayor inversión, que pagar por la reparación de daños frecuentes. En otras palabras, es más económico mitigar los efectos causados por los huracanes que enfrentar las pérdidas”.

Argumentos similares pueden ser planteados en el caso de daños causados por los sismos. Las primas, especialmente en los países menos desarrollados, con frecuencia se elevan arbitrariamente después de la ocurrencia de un desastre o después de una publicidad accidental dada a un riesgo potencial.

Mitigación de desastres: diseño y construcción

4

*Luego un abogado dijo: ¿pero qué de nuestras leyes maestro?
Y él respondió:
Usted se deleita en fijar leyes.
No obstante, usted se deleita más quebrantándolas.
Khalil Gibran, El Profeta*

33

El proceso de diseño para enfrentar sismos y aquel que sirve en el caso de vientos huracanados son superficialmente similares, pero notablemente diferentes en su ejecución. El tipo de diseño para contrarrestar los vientos huracanados trabaja esencialmente con estructuras elásticas, mientras que los diseños para enfrentar sismos manejan estructuras apropiadas capaces de comportarse dúctilmente dentro de un rango inelástico con una respuesta no lineal. El capítulo 10 compara los dos procesos, y tanto en el capítulo 8 como en el 10 se destaca la importancia de los detalles en el diseño sismo-resistente.

Una diferencia adicional importante es la naturaleza de la amenaza. La posibilidad de que se excedan los requerimientos de diseño es mucho mayor en el caso de los sismos que en el caso de los vientos.

Una interesante nota de pie de página que alude a la comparación es presentada en el capítulo 11, donde, en un área expuesta a sismos y a fuertes vientos, los profesionales dieron mayor importancia al diseño sismo-resistente que al diseño frente a los vientos huracanados. En este contexto, la consecuencia parece ser que la fuerza generada por un sismo tiene mayor influencia en los procesos de diseño para algunas categorías estructurales.

La localización de un proyecto se determina en función de un número de parámetros que frecuentemente se encuentran en conflicto. En las áreas vulnerables es esencial que el riesgo y las políticas públicas sean tomadas en cuenta mediante la planificación y la administración del uso de la tierra.

Los parámetros de riesgo sísmico son determinados frecuentemente en dos niveles diferentes de precisión. Primero, el área sísmica puede ser establecida sobre la base de períodos de retorno y picos de aceleración del terreno, intensidades o algún otro parámetro de diseño. Esta información se basará en los registros históricos de los sismos, así como en la información sísmológica y geológica. La figura 4.1 muestra un estudio típico de un área sísmica con base en el cual se puede preparar un mapa.

Los mapas sísmicos pueden tener una cobertura mundial (Tiedemann 1992; Hays y Roubhan 1992), o pueden cubrir naciones o estados. Como se ha analizado en el capítulo 2, los efectos locales tales como la profundidad del manto aluvional, la topografía y las discontinuidades geológicas, pueden producir modificaciones en el movimiento de los sue-

Introducción

Sismos Localización

Evaluación de daños

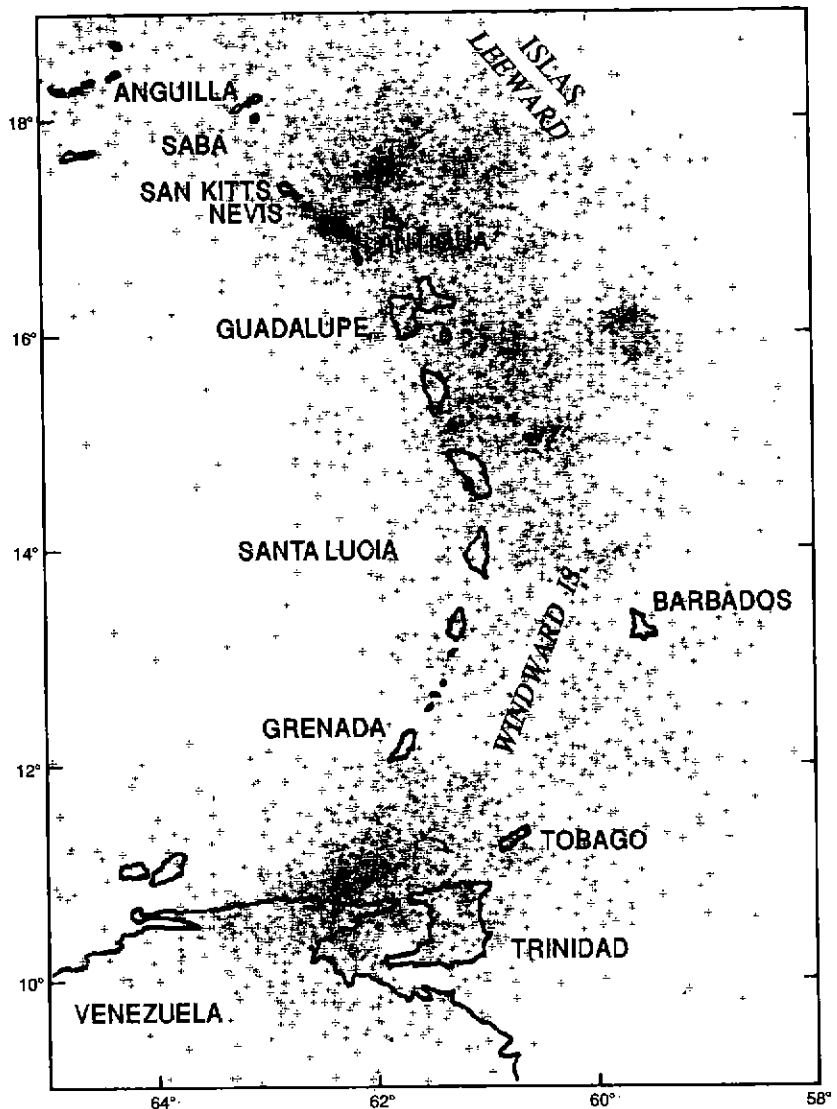


Figura 4.1:
 Epicentros de sismos instrumentales en el oriente caribeño de 1906 a 1985. Fuente: Aspinall y otros (1994).

los en distancias pequeñas. Los mapas de microzonas de diferentes niveles de amenazas resultan óptimos para áreas altamente densas, de manera tal que estas variaciones puedan comunicarse a los propietarios, diseñadores, planificadores y administradores. Una razón más para la microzonificación es la necesidad de identificar potenciales suelos inestables frente a movimientos sísmicos que pueden generar fenómenos de licuación, deslizamientos y la ocurrencia de potenciales tsunamis en áreas costeras.

Una alternativa o un enfoque complementario a la microzonificación, en el caso de la amenaza sísmica, es la utilización de datos en el nivel de las microtrépidaciones mediante el uso del microtremor. Estos eventos, de movimiento del suelo de bajo nivel, ocurren frecuentemente, y si se los compara con las amplitudes del espectro del área, es posible establecer una estimación de los efectos de un movimiento fuerte. Un ejemplo de esta técnica –aplicado a la ciudad de Perth, en el occidente de Australia– es el proporcionado por Gaul y otros (1992). Los registros se hicieron en puntos sobre un área aproximada de 3 km a la redonda y comparándolos con un punto de referencia rocoso. Los registros fueron hechos en cada sitio durante dos días. Aunque el comportamiento del terreno durante los micromovimientos difiere en algún grado de los movimientos fuertes, el estudio mostró una aproximación relativa a los efectos causados por un movimiento fuerte.

El costo de la microzonificación no se justifica, excepto en el caso de áreas densamente pobladas. Para proyectos grandes en áreas de baja densidad, resulta más apropiado el estudio del nivel de amenaza de sitio específico. Esto requeriría la inclusión del estudio tanto de la amenaza principal como de las amenazas secundarias.

Hasta la fecha, un conjunto de criterios y objetivos contemplados por los códigos de diseño sísmico son ampliamente aceptados en todo el mundo; sin embargo, a partir de los últimos sismos éstos han sido cuestionados. Los criterios son que las estructuras de un edificio deberían ser capaces de:

- Resistir sismos de poca intensidad sin sufrir daños.
- Resistir sismos de moderada intensidad sin sufrir daños estructurales, pero con algunos daños no estructurales.
- Resistir sismos de gran intensidad, de severidad equivalente al más fuerte que puede experimentarse en el área, sin colapsar pero con daños estructurales y no estructurales.

Esto es una desviación frente a otras formas de cargas de diseño —como la de fuertes vientos o la gravedad— que tienen que ver con el hecho de considerar niveles de daños aceptables durante la ocurrencia de eventos moderados y eventos extremos. Dos argumentos han sobresalido como apoyo a esta práctica. El primero es que no son económicamente factibles diseños que no sean susceptibles de sufrir algún tipo de daño. El segundo es que los propietarios no van a aceptar el costo adicional que esto implica. Ninguno de estos argumentos ha demostrado ser verdadero, por lo que esta filosofía está actualmente puesta en duda (Krawinkler 1994).

Estas objeciones han sido planteadas por los estudios post-evento de dos sismos recientes en California: Loma Prieta, el 17 de octubre de 1989, y Northridge, el 17 de enero de 1994. Ambos han ocasionado grandes daños, al punto que muchos ingenieros estructurales, propietarios y administradores han cuestionado la filosofía básica de diseño. La educación, los métodos analíticos, el control de calidad y el cumplimiento de los códigos están también bajo la mira, lo que ha conducido a considerar filosofías alternativas que puedan ser cumplidas por nuevos enfoques de diseño o los existentes.

Esta reconsideración de la práctica no debería interpretarse como una situación de caos en la industria del diseño sísmico. La re-evaluación de códigos de diseño, normas y prácticas es un proceso continuo. Lo importante es encontrar diseñadores estructurales competentes, capaces de manejar diferentes criterios de diseño tanto en el caso particular de edificios como en estructuras en general. Los niveles de diseño son negociables y no necesitan ser aceptados de forma tácita, cosa que sí ocurre con los enmarcados en los códigos actuales de diseño, que designan un rango mínimo y máximo. En la actualidad, los propietarios, los funcionarios públicos y los administradores están acostumbrados a aceptar cualquier código de diseño como si fuera el apropiado. Pero esto no tiene que ser necesariamente así. Los propietarios deberían saber qué es lo que obtienen.

Una ilustración de los diferentes niveles de comportamiento es presentada por Sharpe (1992) y reproducida en la tabla 4.1.

Tabla 4.1: Expectativas públicas de comportamiento. Niveles de daños en un sismo importante

Tipo de edificación	Occidente de EE.UU.	Oriente de EE.UU.
	Sismicidad alta	Sismicidad moderada
Residencial	III	III-V
Edificio estándar	III	III
Edificio importante de propietario	I-II	I-II
Edificio de alta ocupación	II	II
Edificio con contenidos		
Peligrosos	I-II	I-II
Edificio esencial	I	I
Infraestructura	I-II	I-II

I = Daños imperceptibles.

II = Daños menores.

III = Daños moderados (reparables).

IV = Daños mayores (irreparables).

V = Colapso.

Estos valores no son derivados de un muestreo grande ni representativo. No obstante, presentan un indicio de la variación en el desempeño que puede considerarse razonable. Es interesante notar que la única categoría donde los daños importantes se consideran aceptables en cualquier grado son las residencias localizadas en áreas de baja sismicidad, lo que puede colegirse de los códigos actuales que permiten daños importantes dentro de las categorías más comunes en un gran evento sísmico para el caso de edificios no esenciales.

Un argumento importante en el mundo en desarrollo es si una comunidad pobre puede financiar estructuras resistentes a sismos, especialmente en el caso de una amenaza poco frecuente como es un sismo. A menudo este argumento es desechado en forma entendible cuando se aduce que "no pueden afrontarlo". Pero, ¿es correcto? Si tomamos en cuenta el costo de la multa aplicada a un edificio dedicado a labores educativas por la falta de un diseño sismo-resistente, el precio es el 5% del costo de la construcción. Y si consideramos el costo total de construcción, la puesta en marcha, el equipo, el personal y el mantenimiento de una escuela, el margen de costo para financiar estructuras sismo-resistentes puede ser sólo de 2% o menos. Entonces, ¿qué es mejor: 1000 escuelas ubicadas en instalaciones sismo-resistentes? ¿1020 escuelas ubicadas en instalaciones no sismo-resistentes?

En el caso de un sismo importante, ¿cuál comunidad tiene los recursos para reconstruir las escuelas dañadas?: ¿la comunidad rica? ¿la pobre?

Esto es sólo una parte pequeña del argumento, pero a menudo no se entiende. El argumento completo también involucra las vidas de los profesores y de los niños de la escuela, así como el efecto de la interrupción de la educación sobre los niños supervivientes y sobre la comunidad si es que el sismo ocurre.

Esta tecnología ha avanzado rápidamente durante los últimos 25 años, tanto en la teoría como en la aplicación práctica. La tabla 4.2 muestra las estadísticas de su implementación en construcciones hasta 1992 en los cuatro países donde se ha aplicado.

Tabla 4.2: Proyectos que usan aislamiento y/o sistemas de amortiguación hasta 1992

País	Construcciones	Puentes
Nueva Zelanda	6	49
Japón	56	12
EE.UU.	11	21
Italia	4	68

Todos los sistemas considerados aquí son sistemas pasivos, esto es, no requieren ninguna fuente de energía o sistema independiente de control. Son sistemas robustos que contienen dos tipos de elemento, sea en combinación, sea en forma individual:

- Un elemento de apoyo deslizable o flexible, a través del cual el período de respuesta de la estructura se alarga hasta desplazarlo a un valor inferior dentro del espectro del sismo.
- Una energía disipadora o amortiguadora que va a reducir el desplazamiento a un nivel aceptable.

Algunos sistemas pueden requerir de un tercer componente que evite los desplazamientos excesivos por sismos o vientos de baja intensidad.

Skinner y otros (1993) han hecho un estudio detallado del aislamiento de la base utilizando apoyos elastoméricos; y Key (1994) ha propuesto una descripción de toda la tecnología, incluyendo sistemas de amortiguamiento. Una gama amplia de sistemas se encuentra disponible, e incorpora diversas configuraciones de elementos de apoyo y sistemas de amortiguamiento.

Las pruebas y simulaciones computarizadas han mostrado que el aislamiento de la base (figura 4.2) es efectivo en el caso de estructuras de baja o mediana altura sujetas a movimientos de tierra grandes o moderados. Sin embargo, éste es sensible a las variaciones en el espectro del movimiento del suelo, por lo que requieren atención para el movimiento sustancial entre la estructura y el terreno. Cuando se trata de reducir la transmisión de los efectos producidos por el sismo a la estructura, los sistemas de tipo amortiguador son menos sensibles a las variaciones en el espectro, pero ligeramente menos efectivos que el sistema de aislamiento. El aislador en la base que contiene elementos deslizables puede ser más efectivo para reducir la transmisión de aceleraciones altas.

La confianza en los sistemas de aislamiento de base descansa sobre un aspecto generalmente descuidado. Al cortar la edificación de su cimiento, se introduce una debilidad y una falla en el elemento aislante que podría provocar daños serios. Considerando la incertidumbre de los valores dentro del espectro de movimientos del terreno, así como las propiedades del aislador en sí, la confianza en el sistema requiere un examen cuidadoso en cada caso. Es muy fácil para los ingenieros presumir que la carga en el diseño sísmico es fija y representa una correcta estimación de la carga para un sismo severo sólo mediante el uso del espectro.

Los sistemas tipo amortiguador son particularmente apropiados para reforzamientos, pues mejoran la resistencia sísmica de las estructuras existentes. En algunos casos se requiere el reemplazo de elementos disipadores de energía dañados después de un sismo importante; sin embargo, esto es generalmente una tarea simple. La capacidad de la mayoría de las configuraciones para reducir las fuerzas aplicadas sobre la estructura las hace particularmente convenientes para edificios que albergan objetos valiosos o esenciales, al reducir también las fuerzas que se pudieran ejercer sobre estos contenidos.

Una rama especializada en ambos sistemas es la aplicación del control activo. La posibilidad de introducir un control de realimentación proveniente de sensores en la estructura no ha escapado de la atención de los investigadores, y numerosos sistemas y algoritmos de control han sido examinados para mitigar el comportamiento sísmico. Éstos han mostrado el beneficio considerable que puede derivarse del uso del control activo.

El progreso en la implementación depende de resolver el problema de confianza en un sistema que puede funcionar tal vez para dos o tres generaciones. Si la ingeniería inherente y los problemas de manejo se resuelven, es posible que el control activo sea el sistema a seguir.

Un argumento diferente se aplica con respecto al control activo para mitigar la fuerza de los vientos, donde el criterio es la comodidad o la operación continua más que la seguridad estructural.

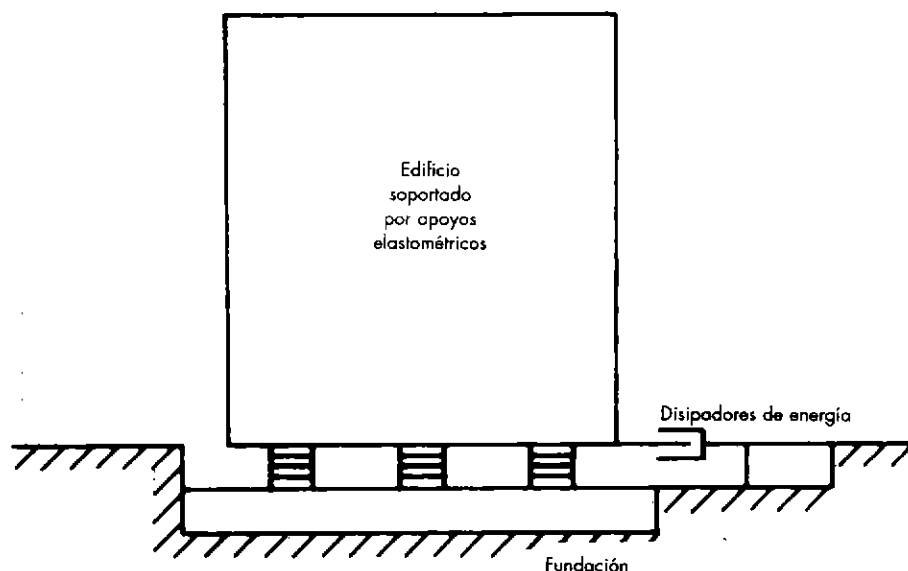


Figura 4.2:
Elementos de un edificio con un sistema de aislamiento de la base.

Códigos sísmicos

Se han presentado algunas discusiones respecto de la filosofía de los códigos sísmicos y sobre la corriente de pensamiento que respalda su adecuación. Los códigos sísmicos de diseño se producen en cerca de 100 países, y algunos de éstos tienen más de un código en funcionamiento con el fin de trabajar con diferentes estados, zonas sísmicas, tipos de construcción e instalaciones de alto riesgo tales como plantas nucleares, plantas químicas y plantas de petróleo, así como plataformas marítimas. Estudios comparativos detallados respecto del uso de códigos son publicados de vez en cuando (por ejemplo, Luft 1989; Naeim 1989; Uang 1991).

La clasificación de los sismos en menores, moderados o importantes es variable, pero está generalmente relacionada con la vida de la estructura y las consecuencias de su falla. El sismo de mayor nivel de importancia definido en el código de NEHRP (1991) tiene un intervalo de recurrencia de 475 años. Éste corresponde a un 10% de probabilidad de excedencia en 50 años, lo que representa la expectativa de vida de un edificio comúnmente aceptada. El sismo de nivel de servicio correspondiente para una edificación típica tendría un intervalo de recurrencia de 10 años y una probabilidad de 99,3% de ser excedido en un período de 50 años (Uang 1991).

La aplicación práctica de esta filosofía es que el diseño se efectúa generalmente a un nivel elástico (ningún daño), de manera tal que las fuerzas generadas por un sismo puedan tratarse en forma similar a otros tipos de fuerzas como la gravedad y los vientos. Para trabajar con el segundo requerimiento, en el caso de daños no estructurales durante la ocurrencia de sismos moderados, las condiciones para limitar los desplazamientos están incluidas en los códigos sísmicos de diseño. Con el propósito de manejar requerimientos de manera que no haya colapso, estas necesidades de ductilidad están estipuladas de forma que la estructura sea lo suficientemente flexible, sin desplomarse. Esta flexibilidad está acompañada inevitablemente de daños. Los niveles de diseño son presentados en la figura 4.3.

El desarrollo de los códigos sísmicos de diseño es un fenómeno sociológico interesante. La fuerza impulsora que producen los códigos puede venir de diferentes fuentes:

- A través de la profesión del diseño estructural, con el propósito de regular la práctica y obtener un grado de aceptación pública para ello. Los ejemplos de esto son presentados en los casos caribeño (capítulo 8) y filipino (capítulo 11).
- Como medida gubernamental, generalmente después de un sismo importante.
- Como parte de un programa general de normas en común acuerdo con el gobierno y la industria.

En los estudios de caso se identifican un sinnúmero de problemas con los códigos que se encuentran en práctica. En Jamaica, por ejemplo (capítulo 8), existen problemas en el uso de una multiplicidad de códigos, y en Egipto (capítulo 9) los diferentes códigos no están armonizados. Los códigos extranjeros frecuentemente entran en uso cuando los ingenieros estructurales encuentran que los códigos locales son inadecuados o inexistentes, o cuando las firmas extranjeras asumen la responsabilidad de un diseño. El capítulo 11 informa sobre los diferentes usos de los códigos extranjeros en las Filipinas. Los peligros inherentes a esta práctica se destacan en el capítulo 9, donde se anota que el control de calidad de las normas es más bajo en Egipto que en los Estados Unidos o Europa.

El capítulo 13 comenta la evolución del código sísmico en Grecia. El mejoramiento es inevitable si se quieren mantener los códigos actualizados, aunque pone sobre el tapete el problema de las viejas edificaciones dejadas atrás, que en algunos casos requieren readecuación. El capítulo 9 presenta un interesante aspecto referido a la percepción de la necesidad de códigos; en Egipto, por ejemplo, no existía ningún código sísmico de diseño hasta 1989, a pesar de que ese país contaba con una larga historia de sismos.

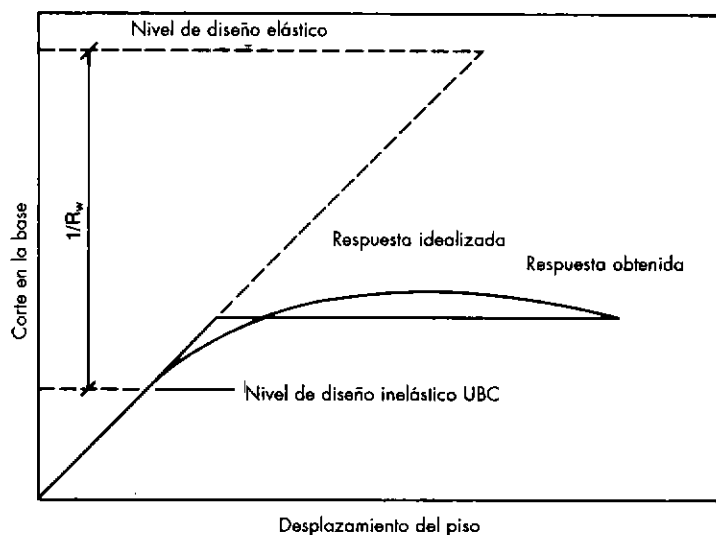


Figura 4.3:
Niveles en el diseño sísmico.

La aplicación de los códigos varía tanto en la manera en que un código puede seleccionarse como en la forma como puede ponerse en vigor:

- Los códigos pueden ser legalmente puestos en vigor.
- Los códigos pueden ser un requerimiento de un cuerpo regulador.
- Los códigos pueden tener la condición de una “práctica aceptada” y, por lo tanto, representar una presión para que los ingenieros estructurales los apliquen.
- El ingeniero estructural puede ser libre de seleccionar el código sísmico que él considere apropiado.

(Todas estas situaciones existen, y los beneficios de cada una pueden ser discutidos. Desgraciadamente, en la práctica se presenta otra categoría que no posee mérito alguno.)

- No existe un requerimiento legal para el diseño sísmico; por lo tanto, no hay necesidad de tomar en cuenta las fuerzas sísmicas.

La mayoría de las estructuras con resistencia sísmica están diseñadas con base en métodos lineales elásticos. La ductilidad que se aplica es arbitraria y aproximada. Las fuerzas elásticas equivalentes (ELF) se derivan de los factores Z (sismicidad), I (importancia de la estructura), C (forma del espectro del movimiento del terreno), S (condiciones del suelo), W (masa) y R_w o q (ductilidad y tipo de edificio). Las fuerzas derivadas son altas para estructuras con poca ductilidad y bajas para estructuras con ductilidad alta. Los enfoques alternativos están disponibles ya sea usando el análisis dinámico elástico o el inelástico, que proveen mayores ventajas en el comportamiento estructural, aunque cada uno de ellos se suma a la complejidad y al costo del proceso de diseño.

R_w es un factor utilizado en el Código de Construcción Uniformizado de Edificios (UBC94, 1991), destinado a tomar cuenta la disipación de la energía mediante la deformación inelástica y que es referido como un “factor de calidad estructural”. Los valores son empíricos y se tabulan en forma de códigos para diferentes clases de estructuras de construcción. No toman en cuenta el período del edificio, aunque los efectos de la ductilidad son dependientes en gran medida del período. Los factores q equivalentes usados en Eurocode 8 (1993) son sustancialmente más conservadores y en alguna medida toman en cuenta la dependencia en el período.

La debilidad de cualquier enfoque elástico para diseños sísmicos consiste en que no están directamente dirigidos al problema del comportamiento no lineal e inelástico, pues suponen que las fuerzas asignadas sobre la base del análisis elástico van a ser adecuadas en el momento preciso. Esto no es generalmente cierto.

La filosofía del diseño por capacidad apunta directamente al problema, y obliga al ingeniero a diseñar la estructura para su buen desempeño, de manera que la fluencia de su es-

estructura sólo pueda ocurrir en posiciones predeterminadas. Es un procedimiento del proceso de diseño en el que las fuerzas y las ductilidades se encuentran asignadas y los análisis son interdependientes. La importancia del análisis elástico pierde relevancia, y las fuerzas laterales estáticas del código, combinadas con el análisis elástico, son utilizadas para asignar la fuerza a lo largo de la estructura de una manera racional. El proceso estipula el margen de fuerza necesaria para elementos no flexibles que puedan asegurar que su comportamiento va a permanecer elástico.

Paulay y Priestley (1992) han hecho una descripción general del proceso. La razón para el nombre es que, en la condición de fluencia, la fuerza desarrollada en un miembro más débil está relacionada con la capacidad del miembro más fuerte. Al determinar que la fluencia no debe ocurrir en las columnas, un patrón de columnas fuertes y vigas débiles asegura la posibilidad de evitar la falla local, como se muestra en la figura 4.4.

Algunos problemas importantes se presentan en los códigos sísmicos de diseño que incluyen el trabajar con la irregularidad y la influencia de tabiques de relleno en los sistemas aporticados. Estos problemas tienen su origen principalmente en la dificultad para codificarlos de una manera formal. Otros problemas de los códigos sísmicos de diseño son analizados en los capítulos 10 y 13.

El establecimiento de un concepto adecuado al inicio del proceso de diseño sísmico es de gran importancia. Un subconjunto de este requerimiento es la creación de una regularidad en planta y distribución vertical de masa y rigidez. Muchos códigos están dirigidos a definir los límites entre "regular" e "irregular", y estipulan que el diseño de la fuerza estática puede ser utilizado sólo sobre estructuras regulares. Esto se hace con gran dificultad y frecuentemente de forma controversial. Existe un fuerte argumento para el uso del análisis lineal y el análisis no lineal de modelos estructurales simples, cuyo objetivo consiste en establecer el significado de la irregularidad contra una clasificación arbitraria de "regular" o "irregular".

El ingeniero estructural no es siempre consciente de la ubicación de los paneles de tabique de relleno en los pórticos estructurales en la etapa de diseño, y usualmente no tiene ninguna influencia sobre las modificaciones en su ubicación después de su finalización. Más aún: estos paneles influyen de manera importante sobre el desempeño estructural del pórtico bajo la acción de un sismo. Los tabiques de relleno cumplen la función de "rigidizar" el pórtico hasta el punto que sea capaz de modificar las fuerzas aplicadas a la estructura en su totalidad. Donde los tabiques de relleno son utilizados de una manera continua, la situación es generalmente aceptable; sin embargo, las discontinuidades pueden conducir a una sobrecarga en un nivel elástico y una pérdida de ductilidad en uno inelástico.

A pesar de que una perspectiva mundial de los numerosos códigos de diseño sísmico no es factible, el siguiente sumario nos provee la situación de al menos tres de los más significativos:

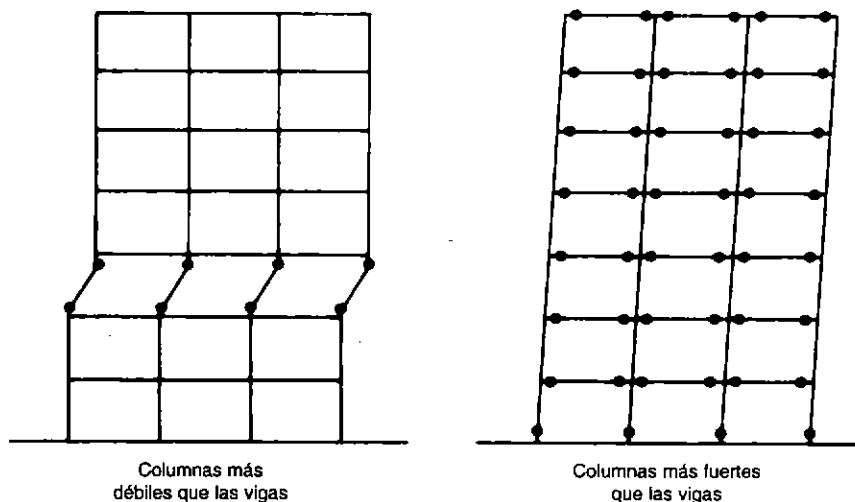


Figura 4.4:
Diseños sísmico-resistentes.
El sistema de columnas fuertes evita un colapso local.

- **El Código de Construcción Uniformizado (UBC94).** El UBC 1991 contiene una riqueza de información en la práctica del diseño de edificios. Un nivel único de diseño es utilizado en el diseño sísmico con una provisión arbitraria de ductilidad para estructuras donde sea apropiado. Un nivel simplificado de diseño es permitido para zonas de baja sismicidad. Los métodos de diseño incluidos son las fuerzas laterales estáticas, espectro de respuesta o el análisis tiempo-historia. Se dan normas para definir la irregularidad.
- **El Eurocode 8, borrador de 1993.** Las secciones sobre construcción (partes 1.1, 1.2 y 1.3) fueron emitidas en diciembre de 1993.

Los requerimientos de diseño para edificios están en dos niveles: servicio y estado último. Los criterios de ductilidad están divididos en tres clases –bajo, mediano y alto–, y los requerimientos se encuentran en función de la capacidad de calcular la ductilidad del miembro para cada una de las tres categorías.

Los enfoques de diseño utilizados se caracterizan por tener seudofuerzas estáticas laterales, un espectro de respuesta, estudio de probabilidades (espectro de poder), tiempo-historia y diseño por capacidad. Los factores de sobrepeso están dados para el diseño por capacidad, pero ningún límite se ha establecido en el caso de haber incertidumbre respecto de la respuesta del comportamiento inelástico. Se dan normas para definir la irregularidad. El Eurocode 8 no provee reglas específicas para manejar los efectos de los tabiques de albañilería en pórticos estructurales, ni incorpora un requerimiento para garantizar su calidad.

- **Código de Nueva Zelandia NZS 4203:1992.** Este código usa criterios de diseño por servicio y capacidad última. El espectro de respuesta del terreno está basado en una metodología uniforme del espectro de la amenaza.

El uso del diseño estático con fuerza lateral se limita a estructuras por arriba de los 15 m de altura y que posean un primer modo de vibración menor de 0,45 s, o para edificios regulares de primer modo de vibración con un período menor de 2 s. Existe una clase de estructuras con una ductilidad de 3 o menos, y fuera de esta categoría se estipula el diseño por capacidad. El espectro de respuesta y el análisis tiempo-historia también están permitidos como alternativas al diseño con fuerzas estáticas.

Están estipulados también los factores en caso de sobreesfuerzo e incertidumbre en la respuesta no lineal para el uso en el diseño por capacidad.

Los vientos provenientes de sistemas ciclónicos climáticos no soplan en direcciones predecibles. El paso de una tormenta puede producir vientos desde todos los puntos cardinales. En el caso de los fuertes vientos la microzonificación es difícil, y no tiene la misma relevancia para la planificación que para el caso de los movimientos sísmicos.

No obstante, una simple guía con las máximas velocidades de los vientos puede derivarse a partir de cualquier código de cargas de diseño que especifique los factores aplicados a la velocidad básica del viento y permita determinar la ubicación geográfica de la estructura y su altura.

La velocidad de referencia del viento está definida para una condición estándar. Por ejemplo, en el nuevo Código Europeo sobre Presión de los Vientos, Eurocode 1, se la define como el promedio de 10 min a 10 m sobre el nivel del mar. Estas velocidades están definidas en los mapas nacionales de vientos, y son modificadas según el proyecto a partir de:

- La altura del sitio sobre el nivel del mar (aumentan con la altura).
- La aspereza del terreno en pendiente con el viento, que determina la turbulencia en el sitio. A mayor turbulencia, mayor la relación entre la velocidad máxima de la ráfaga y la velocidad de referencia del viento.

Los vientos
huracanados
Localización

- La topografía, que determina el efecto de forma del terreno sobre la velocidad del viento. Ésta se incrementa localmente en sitios muy expuestos, tales como las cimas de las colinas. La velocidad del viento también aumenta con la altura sobre el terreno.

Existen dos posibles enfoques para la microzonificación de los vientos. En primer lugar, los modelos de terreno de islas, que han sido puestos a prueba en túneles de viento, aunque su utilización no se justifica económicamente para propósitos normales de planificación. En segundo lugar, está emergiendo el uso de modelos computarizados para lograr un propósito similar, y puede ser capaz de producir buenos resultados en el futuro previsible.

La justificación económica para el aumento de la precisión en la evaluación de la amenaza para el diseño de viento es mucho más débil de lo que es para el diseño sísmico, excepto donde la amenaza de viento es relativamente mucho mayor que la amenaza sísmica.

La filosofía del diseño para vientos sigue la misma línea que para las cargas de gravedad. Se anticipa que las estructuras que están diseñadas de acuerdo con los códigos para vientos y sujetas a una velocidad del viento de diseño no sufrirán daño alguno.

Filosofía del diseño para vientos

42

La velocidad del viento de diseño tiene por lo general un período de retorno de 50 años, así que existe una pequeña posibilidad de que éste sea excedido durante el período de vida de la estructura. Por ejemplo, si un factor de presión de 1,4 es aplicado en el proceso de diseño, la estructura no alcanzaría un sobreesfuerzo nominal hasta que la carga logre una proporción de 1,4 veces la carga del diseño, correspondiente a un incremento de 18% en la velocidad del viento. De este modo, queda sólo una pequeña posibilidad de que se exceda el nivel de daño, pero generalmente los códigos consideran que esto no ocurrirá y en el proceso de diseño no se toman las estipulaciones para el comportamiento estructural en este rango.

Esto no significa que si la velocidad del viento del diseño es excedida en 18%, la estructura será dañada, ya que las estipulaciones estructurales dan márgenes de sobreesfuerzo para la estructura. Además, la peor combinación de gravedad y carga de viento no ocurre necesariamente.

Davenport (1994) hizo un comentario sobre el daño ocasionado por el huracán Gilbert en Jamaica en 1988:

"La mayoría de las fallas en las edificaciones parecen ser el resultado de un control inadecuado de la calidad... La mayoría de los errores pudieron haber sido corregidos fácilmente... La intensidad de los vientos de la tormenta casi igualaron el 'viento de diseño' propuesto para Jamaica... Si las edificaciones hubieran sido diseñadas con los factores de seguridad apropiados para resistir la presión del viento y se hubieran construido acordes con ellos, hubiera ocurrido un daño mínimo... El costo agregado de construcción con estos estándares hubiera sido marginal a corto plazo y un ahorro a largo plazo".

Es claro que Davenport asocia el cumplimiento del código de diseño con los daños menores que podían haber sufrido las edificaciones en ese contexto.

La metodología del diseño para enfrentar los tornados incluye considerar la caída súbita de la presión atmosférica mientras pasa el ojo de la tormenta. Simiu y Scanlan (1986) proveen un método de diseño para manejar esta situación, aunque la permeabilidad de la cubierta del edificio al aire permanece como una variable difícil de estimar. Si la permeabilidad es muy baja, el reforzamiento de la presión ejercida puede acercarse a la baja real de la presión, y si la permeabilidad es alta no habrá reforzamiento alguno de la presión. Sin embargo, los estudios de Marshall (1993) indican que el daño no ocurre debido al reforzamiento de la presión atmosférica ejercida, y que la falla explosiva de las edificaciones se debe al daño en el lado del edificio que recibe el viento, que crea un reforzamiento de presión dentro de la edificación, como se muestra en la figura 2.15.

El daño en ventanas, puertas y otras aberturas de las edificaciones es causado comúnmente por proyectiles acarreados por el viento. Las más altas velocidades de viento ocurren en los tornados, y éstos se asocian con proyectiles impulsados por el viento; sin embargo, no están limitados sólo a los tornados, ya que ocurren del mismo modo durante los huracanes. Ken (1979) describe una metodología de diseño y Simiu y Scanlan (1985) catalogan algunas categorías del tipo de proyectil impulsado por el viento que se reproducen en la tabla 4.3.

Los valores catalogados representan casos inusuales pero no desconocidos. Claramente, existe un límite en los niveles económicos del diseño capaces de resistir proyectiles de esta naturaleza, y es común aceptar que en las edificaciones ligeras se corre el riesgo de daño proveniente de estas fuentes. Sin embargo, estos proyectiles pesados son inusuales y el grueso está generalmente compuesto por láminas de cubierta de techos, escombros, cocos, macetas, tarros de basura, piedras pequeñas y materiales similares, para los cuales los protectores metálicos contra el sol o contraventanas son una medida de protección sustancial.

Tabla 4.3: Velocidades máximas de ciertos proyectiles durante la ocurrencia de un tornado tipo 1*

Tipo de proyectil	Momentum (kg/m)	Velocidad (m/s)
Tabla de madera	14,3	83
Tubo de acero de 150 mm	28,2	52
Automóvil	1810 kg (total)	59
Barra de acero de 25 mm	4,0	51
Poste de servicios	47,5	55
Tubo de acero de 300 mm	73,6	47

* Los Estados Unidos tienen tres niveles de tornado; el tipo 1 es el más severo.

Bell y Shears (1980) sugieren criterios de diseño para resistir las cargas del viento, los que se muestran en la tabla 4.4 para las edificaciones altas.

Tabla 4.4: Criterios de diseño utilizados para enfrentar vientos en edificios altos

Efectos	Nivel de diseño	Promedio de recurrencia (Davenport 1994)
Esfuerzos en la estructura primaria	Fallas serias (colapso)	Menos de 10 ⁻⁶ en 100 años de vida
Fuerzas en la superficie exterior	Falla local de vidrios o revestimientos	Menos de 1% en 10 años
Deflexión	Daño a los acabados	Menos de 10 ⁻² en 10 años

El daño en las estructuras sensibles al viento se discute brevemente en el capítulo 2. El diseño de éstas involucra los efectos dinámicos del viento –golpes, vórtices, ráfagas– y los sistemas aerolásticos en los que el movimiento estructural obra recíprocamente con los efectos aerodinámicos del viento. Los tipos de estructura involucrados son importantes en la etapa de recuperación –puentes de grandes luces, líneas de electricidad y teléfono y las torres que las sostienen, torres y postes de comunicación y las altas chimeneas de las estaciones de energía–. El diseño de tales estructuras debería tomar en cuenta su importancia y tratar de ser más conservador. Los recursos para lograrlo existen dentro del actual estado del arte en ingeniería de vientos, pero se encuentran principalmente en el dominio del ingeniero especialista. Bell y Shears (1980) clasifican las estructuras para propósitos de diseño por cargas de viento, lo que se muestra en la tabla 4.5.

Tabla 4.5: Clasificación de estructuras para diseño frente a vientos

Clase	Descripción de la estructura
A	Estructuras y/o los elementos que son lo suficientemente rígidos para que los efectos de los vientos sean determinados por estática y suficientemente pequeñas como para poder especificar como información relevante la velocidad del viento en un punto dado.
B	Estructuras que son lo suficientemente rígidas para que los efectos de los vientos sean determinados por estática, pero tan grandes que requieran que la información sobre vientos sea especificada en la forma de datos en diferentes puntos.
C	Como A y B, pero con la complicación adicional que la forma de las líneas de influencia de carga en la estructura deben ser consideradas en conjunto con información en diversos puntos.
D	Estructuras que no son lo suficientemente rígidas para ser tratadas por métodos estáticos, por lo que requieren un tratamiento dinámico completo.
E	Estructuras generalmente llamadas "aeroelásticas", para las cuales el viento, la aerodinámica y el movimiento estructural se encuentran inseparablemente combinados para producir el efecto total de los vientos.

Códigos de diseño para el viento

Todos los códigos para resistir la fuerza de los vientos siguen esencialmente el mismo enfoque global en el proceso básico de diseño, donde las velocidades del viento son convertidas en fuerzas estáticas. Primero, la velocidad de viento del diseño se deriva, como se discutió anteriormente, tomando en cuenta la altura sobre el nivel del mar, la velocidad climática básica del viento, la naturaleza del terreno y la topografía. Segundo, las presiones totales y locales de la estructura son derivadas de la velocidad de viento del diseño, y los coeficientes relacionados con la forma del edificio y el componente que está siendo diseñado. La figura 4.5 muestra un ejemplo tomado del borrador del Estándar Internacional ISO/DIS 4354 (1991).

Es necesario tomar en consideración varias configuraciones del edificio (por ejemplo, con o sin puertas grandes abiertas en el caso de las edificaciones de tipo cobertizo) y diversas direcciones del viento, de manera que pueda analizarse un número de casos de diseño.

Las áreas pequeñas de una superficie expuesta al viento necesitan ser diseñadas para mayores presiones, ya que para ellas no deriva el beneficio de la fuerza promedio sobre un área sustancial. Los elementos individuales del techo o el revestimiento lateral pueden requerir un diseño para mayores presiones que la superficie total de las cuales ellas forman parte. Diferentes zonas en la misma superficie van a requerir diferentes presiones para determinar los efectos del viento sobre los bordes.

Consideraciones especiales en los códigos para estructuras sensibles al viento deben darse por separado en lo referente a su clasificación y a su metodología de diseño.

Las preocupaciones actuales en la formulación de códigos son expresadas por Saffir (1993), quien tuvo que trabajar con el Código de Construcción del Sur de la Florida, y por Lee (1993), que tuvo a su cargo la investigación de necesidades. De la misma forma en que los códigos de diseño sísmico están constantemente bajo revisión a la luz de la evidencia de los daños ocasionados por los terremotos, los códigos para vientos son revisados a partir de los serios daños ocasionados por los vientos huracanados. Ambos autores se enfrentan a la necesidad de implementar mejoras y procesos de inspección que han sido discutidos anteriormente. Algunas cuestiones específicas sobre construcción ingenieril son:

- Techo y revestimiento de pared. Se necesita una mejora en el diseño y las técnicas de construcción para mantener el recubrimiento de la edificación. Una falla en el recubrimiento introduce presiones internas del viento dentro de la edificación, lo que puede provocar una mayor presión que exceda los requerimientos bajo los cuales fue construida.

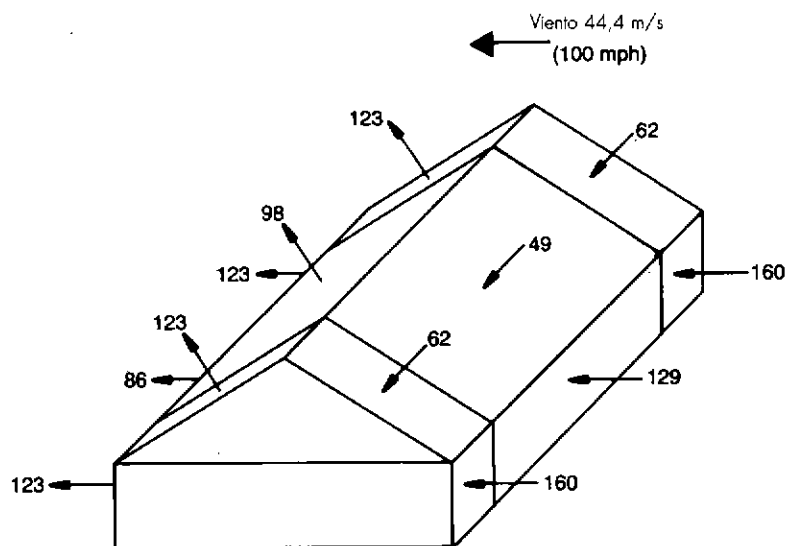


Figura 4.5:
Las presiones del viento (kg/m^2) sobre el pórtico estructural de un cobertizo bajo. Donde sea aplicable, la presión interna también actuará.

- Cuando se puede contar con contraventanas para protección contra tormentas. Cerrarlas constituye una acción de preparación.
- Debería existir una mayor participación de los ingenieros estructurales en el diseño de viviendas y estructuras livianas.
- Las cubiertas de techos como las tablillas y las tejas deberían ser probadas como sistema y debería incorporarse un estándar de prueba dentro del código.
- Se deberían diseñar arriostres cruzados para resistir la fuerza del viento sin confiar en la acción de diafragma del revestimiento de la pared o del techo.
- Las puertas deberían asegurarse a los pórticos estructurales en su posición cerrada. Esto se aplica en especial a las puertas enrollables.
- El revestimiento de pared debería ser examinado por impacto siguiendo un estándar específico recomendado por un código.
- Se debe dar un rango de tolerancia para el impacto de objetos en el proceso de diseño.

Existe un proceso continuo de aprendizaje del viento y los terremotos. Esto proviene de los estudios de daños, mediciones de campo, investigación y práctica de diseño y de la mejora continua de los códigos de diseño. Se necesitan modificaciones adicionales para adaptarse a las nuevas técnicas y materiales de construcción. Se debe mirar hacia atrás de vez en cuando, para ver en qué punto las edificaciones y estructuras antiguas construidas bajo códigos obsoletos necesitan ser mejoradas para cumplir con los nuevos estándares.

El proceso continuo de aprendizaje es de gran importancia para la comunidad, por lo que los administradores deben ser comprensivos con los grupos profesionales y con los investigadores que requieren de acceso e información durante la etapa de recuperación. El mencionado proceso es una prioridad menor comparada con las operaciones de rescate, pero es necesario tener acceso rápido a él antes que la evidencia crítica se pierda.

La experiencia ha demostrado que la existencia de los códigos de diseño es en sí misma insuficiente para producir edificaciones resistentes a los terremotos y a los vientos. Los códigos requieren una posición legal, verificación y aplicación. La construcción necesita la inspección y una mejora en su cumplimiento. Alcanzar estos objetivos no es fácil, y requiere personal competente y entrenado o la colaboración de profesionales independientes que revisen los dibujos y cálculos, así como realizar las inspecciones en el sitio de la construcción en progreso.

Mantenimiento de los estándares de diseño sísmico y de vientos

Verificación de diseño y construcción

Para hacer realidad estos objetivos es necesario que los responsables del diseño y la construcción, y los interesados en la capacitación y la educación, tengan una buena comunicación respecto de los estándares de diseño. En el campo de la ingeniería sísmica, un buen ejemplo de esto es el Decreto de Campo que se aprobó en 1933 en California, después del terremoto de Long Beach. Éste disponía que todas las edificaciones escolares del estado deberían ser diseñadas de tal modo que ninguno de sus ocupantes sufriera daño. El Decreto requería que:

- Todos los diseños fueran realizados por personas calificadas y revisados por una agencia estatal independiente.
- Toda construcción escolar fuera inspeccionada continuamente por una persona calificada contratada por la directiva de la escuela.
- Todos los profesionales, incluyendo al arquitecto, el ingeniero, el inspector y el contratista, deberían entregar reportes verificados de que los planos y especificaciones aprobados habían sido cumplidos.

El Decreto de Campo ha sido de mucho éxito en los años transcurridos, pues ha permitido preservar las vidas de los niños escolares de California a lo largo de la ocurrencia de muchos terremotos devastadores.

Es significativo que los estudios de caso identifiquen la puesta en vigor como un problema en Egipto, Filipinas y Grecia. En Grecia existe una categoría en particular de “edificaciones ilegales”; las razones para esta situación son discutidas en el capítulo 13.

Muchos daños y pérdida de vidas a causa de los vientos huracanados y los terremotos se deben a la vulnerabilidad de las casas y las edificaciones comerciales pequeñas que no han sido diseñadas para enfrentar a estos fenómenos naturales. Mientras que una solución podría ser una mayor participación de los ingenieros en el diseño y construcción de esta clase de estructuras, existen muchas otras razones prácticas, culturales, económicas y sociales por las cuales esto no puede llevarse a cabo si no en las comunidades más sofisticadas y desarrolladas.

En muchos casos, el enfoque más apropiado es desarrollar diseños y detalles estándares para una localidad en particular. Existen muchos buenos ejemplos de este método. Lo siguientes ejemplos nos ilustran al respecto:

- Guías de Edificación de Santa Lucía (1992), Sociedad Consultora de Ingenieros Ltda., A. T. Wason.
- La Guía de Construcción Casera para Diseño Sísmico (Consejo de Tecnología Aplicada, 1980), que trata sobre la vivienda en los Estados Unidos.
- Mathur (1993), que trata sobre casas resistentes a ciclones con techos de paja y paredes de barro en las regiones costeras de la India.
- Norton y Chantry (1993), que trata sobre viviendas pequeñas resistentes a los tifones en Vietnam.

La figura 4.6 ha sido extraída de la última referencia y es un buen ejemplo de la aplicación de principios básicos al problema. En la bibliografía se incluye literatura general sobre el tema, particularmente el IAEE (sin fecha) y Coburn y otros (1994).

Cada uno de estos principios básicos trabaja esencialmente con un problema local o nacional pero manejado también en un nivel local. Éstos no pueden ser intercambiados—las casas de madera de Barbados, las casas con techos de paja de Vietnam y las casas de paredes de barro con techos de paja de la costa de India tienen muy poco en común una con la otra, y mucho menos con los suburbios o poblados pequeños de los Estados Unidos—. El medio ambiente, las fuerzas naturales, las condiciones económicas, sociales y culturales, varían tanto y tienen una influencia tan significativa sobre el problema, que éste

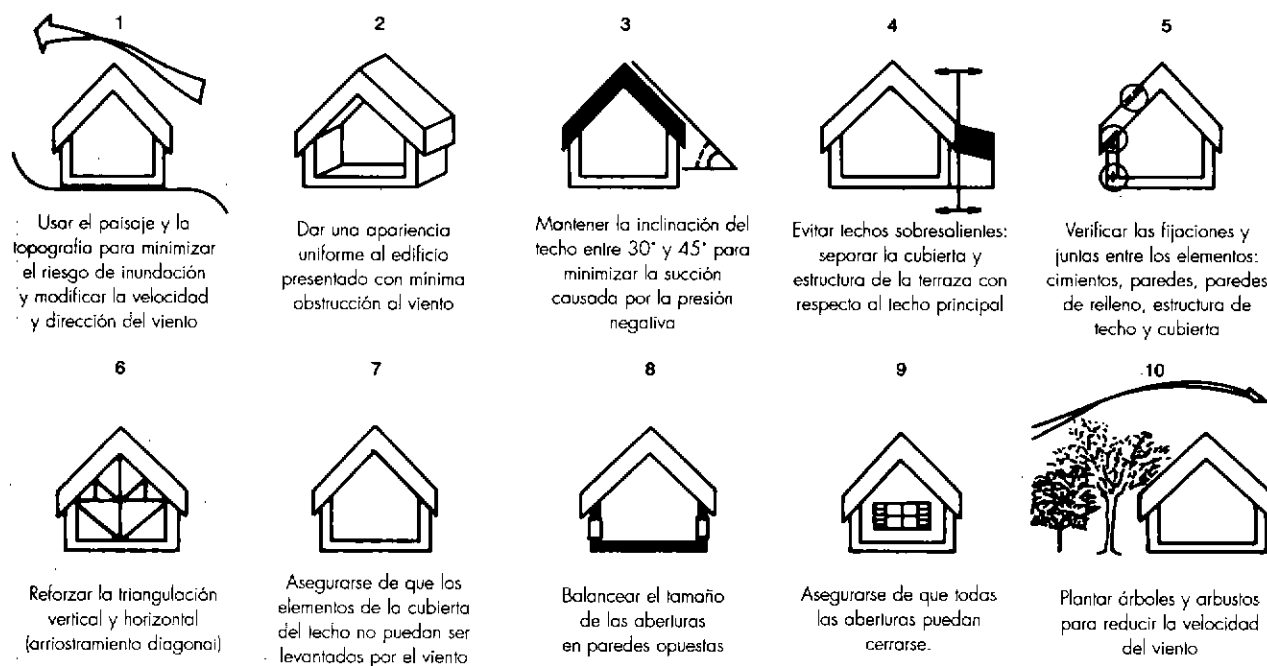


Figura 4.6:

Principios de construcción resistente a los ciclones. Fuente: Norton y Chantry (1993).

debe ser enfocado localmente. El capítulo 8 describe el enfoque del Proyecto Pan-Caribeño de Prevención y Preparación para Desastres en Jamaica (PPCPPD, aplicado en todo el Caribe), el cual puede ser un modelo para manejar los problemas de las edificaciones pequeñas sujetas a los altos niveles de fuerza ambiental. Debe notarse que, además de producir una guía para los constructores de edificaciones no-ingenieriles en un área propensa a vientos fuertes y terremotos, el enfoque del PPCPPD también difunde la información a aquellos que la necesitan.

También se mencionan otras iniciativas en los estudios de caso. El capítulo 8 también se refiere al trabajo del Centro de Recursos y Desarrollo en Jamaica para “promover los principios simples fundamentales de diseño de resistencia a huracanes y terremotos entre los constructores pequeños y locales”, y agrega: “Este esfuerzo puede traer el beneficio más grande por dólar gastado para reducir el impacto de las amenazas naturales”. El capítulo 11 describe una iniciativa similar presentada por el Proyecto de Asistencia Central para Albergues en las Filipinas, que incluye el desarrollo de una demostración de un albergue de bajo costo y subraya también los problemas de la difusión de información.

La difusión y la educación de los constructores, inspectores y administradores que están interesados en la construcción de viviendas pequeñas son un enlace esencial en la cadena de eventos.

La reparación y el refuerzo son actividades que difieren pero no están necesariamente separadas. Las decisiones para demoler, reparar y/o reforzar involucran una variedad de factores (Bertero 1992); entre ellos:

- Evaluación de la amenaza.
- Vulnerabilidad.
- Naturaleza, función y edad de la edificación.
- Niveles requeridos de comportamiento para la mejora de la edificación.
- Consecuencias de los cambios durante el proceso de reforzamiento y reparación.
- Selección de la mejor estrategia.
- Análisis costo/ beneficio.
- Impacto socioeconómico.

Mejora
o reforzamiento
de estructuras
para resistir
vientos
y terremotos

Para las estructuras donde la consideración principal es el reforzamiento frente a las cargas del viento, esto equivale más o menos a la “rigidización” y a la minimización de las fuerzas del viento (por ejemplo, sembrar árboles, colocar contraventanas para las tormentas), y serán de interés para las edificaciones pequeñas. Para las estructuras sujetas a los efectos de los terremotos el tema puede ser más complejo, ya que cualquier cambio en el sistema estructural está acompañado por un cambio en la respuesta sísmica. Un ejemplo simple de esto es “rigidizar” la estructura agregando muros de corte, lo que puede aumentar mucho la acción de las fuerzas sísmicas que actúan sobre la estructura. El reforzamiento involucra la consideración de cambios en la masa, rigidez, amortiguamiento, patrón de cargas y ductilidad, y puede implicar cambios radicales tales como la introducción de dispositivos de absorción de energía y los sistemas de aislamiento en la base.

La reparación y el reforzamiento por causa de terremotos es una tecnología avanzada y compete a especialistas experimentados en ingeniería sísmica. La reparación y el reforzamiento por causa del viento también requieren la participación de ingenieros estructurales, aunque para las viviendas los constructores no especializados pueden hacer mucho siguiendo guías simples. Ya sea para el viento o para los terremotos, la intervención de la ingeniería brinda un aporte significativo al proceso de decisión. Sin embargo, la decisión de si se justifica o no requiere de un enfoque holístico.

La reparación, el reforzamiento y la restauración de monumentos históricos es un área especializada de la tecnología en la cual el sismo y los vientos representan sólo una parte del problema. Esto involucra a otras fuerzas y acciones agresivas, incluyendo las vibraciones de tráfico y ataques químicos. Cada monumento requiere de consideraciones para cada una de las amenazas, y las medidas tomadas son usualmente un compromiso entre las diversas vulnerabilidades y riesgos, tomando en cuenta valores culturales y una fuerte preferencia por las técnicas tradicionales.

El capítulo 8 discute el tema del reforzamiento de edificaciones en Jamaica, tanto para terremotos como para huracanes, además de los problemas de mantenimiento. Corsanego y D’Agostino (1992) elaboraron un esquema del enfoque usado en Italia pero considerado de utilidad para otros países. El Comité Nacional Italiano de Protección Sísmica de Monumentos y Herencia Cultural ha publicado guías para la restauración de monumentos que apoyan fuertemente el enfoque multidisciplinario (CNPPCRS, 1989). Existe también un grupo de trabajo de la Asociación Europea de Ingeniería Sísmica para la preservación de monumentos, reportado por Symakezis y otros (1992).

Contenidos y servicios de las edificaciones

Los contenidos de las edificaciones son frecuentemente de gran valor e importancia y pueden sufrir daño a causa de los terremotos. El diseño de las edificaciones necesita tomar en cuenta la naturaleza de los contenidos, su vulnerabilidad a las aceleraciones o a desviaciones (desplazamiento de entrepisos) y el nivel de comportamiento requerido.

Con frecuencia son efectivas medidas simples tales como fijar los anaqueles y despensas a las estructuras principales para evitar que se vengán abajo, y la colocación de barreras para evitar que los objetos almacenados caigan. Se encuentran disponibles sistemas de aislamiento/amortiguamiento para equipos, que reducirán las fuerzas sísmicas aplicadas en ellos.

Los servicios y la planta de las edificaciones también son vulnerables a las fuerzas de los terremotos. En el ATC-29 se ofrece una guía para éstos y la protección de contenidos.

Educación, capacitación y diseminación de información

5

Pero el Señor no estaba en el viento; y luego del viento un terremoto; pero el Señor no estaba en el terremoto; y luego del terremoto un fuego; pero el Señor no estaba en el fuego; y luego del fuego una voz pequeña calmada.

Reyes 11

Uno de los cuatro objetivos del Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales es la aplicación de medidas de mitigación mediante programas de educación y capacitación, adaptados todos ellos a zonas específicas y tipos de amenaza y cuya eficiencia ha sido evaluada. Este es un componente vital en cualquier estrategia de mitigación.

El objetivo general es la transferencia de información, conocimiento, experiencia y habilidades entre investigadores, profesionales y personas con poder de decisión. A menudo se presume que éste es un proceso jerárquico; sin embargo, para alguien que haya asistido a un curso sobre algún aspecto del proceso de mitigación de desastres, es claro que el flujo de información no se dirige solamente en una dirección. El expositor puede aprender más que su auditorio. Un ingeniero estructural puede decirle al constructor de casas cómo amarrar las vigas a los muros para que puedan resistir un huracán. El constructor, por su parte, puede darle al ingeniero alternativas para hacer la misma cosa o indicarle algunos problemas prácticos en la instalación. Ambos van a aprender. Y lo harán también los otros participantes.

Los obstáculos que se presentan en este proceso (Hays y Roubhan 1993) son:

- Resistencia al cambio.
- Falta de comunicación y coordinación, especialmente en los puntos de encuentro entre disciplinas.
- Falla de los usuarios finales en la apropiación de la nueva tecnología.

Los objetivos de la educación, capacitación y del proceso de diseminación de información son:

- Social: aumento de conciencia pública.
- Técnico: mejor comprensión de la problemática.
- Administrativo: mayor responsabilidad y contabilidad.
- Legislativo: mayor responsabilidad.
- Económico: aumento de la inversión en políticas eficaces en función de los costos.

Los objetivos principales en este proceso son:

- El público.

El objetivo

- Contratistas y constructores.
- Trabajadores hábiles.
- Los profesionales.
- Los administradores.
- Personas con poder de decisión.

La lista de temas en los que la educación y la capacitación son requeridas cubre todos estos aspectos a través del manejo de la mitigación, preparación, respuesta ante la emergencia y la recuperación frente a amenazas específicas, de manera apropiada a cada comunidad.

En este proceso yace la necesidad de la transferencia de tecnología, que por definición involucra un proceso de traspaso de información de alguien que la posee hacia otra persona que no la tiene. Este concepto no se encuentra dentro del estrecho marco que entiende esta transferencia como un flujo de información que va de los países desarrollados a los países en desarrollo. De hecho, es una acción que puede tener lugar entre cualquiera de las partes interesadas en la mitigación de desastres. Así, dos puntos importantes deben ser tomados en cuenta:

- La transferencia de la tecnología rara vez es un proceso en una sola dirección.
- La tecnología no puede ser transferida a menos que la parte receptora sea capaz de manejarla por sí sola.

La necesidad de iniciativas en el campo de la educación y la capacitación ha sido dejada de lado en varios estudios de caso. Tanto en el capítulo 8 como en el 9 se describen las acciones desarrolladas por los ingenieros en el campo de la educación y la preparación en Jamaica y en Egipto. El capítulo 9 también recomienda carreras cortas para la educación de ingenieros. El capítulo 11 hace una recomendación en favor de la educación que pueda ser canalizada mediante las sociedades de profesionales ya existentes.

Fuentes de apoyo

Erdik (1992) indica que la responsabilidad de proteger la comunidad de los efectos de un desastre descansa, en última instancia, sobre el gobierno, por lo que hay una buena razón para hacer uso de sus recursos en la gestión del programa de educación. Es posible contar con especialistas de diversas disciplinas, ya sea del campo ingenieril o de las organizaciones científicas, universidades, Naciones Unidas y otras agencias internacionales.

Muchas de estas organizaciones tienen ya materiales preparados para la capacitación, como el UNDHA (anteriormente UNDR0), que cuenta con un programa de capacitación en manejo de desastres (UNDR0 1992).

Educación pública

El público requiere de información sobre cómo enfrentar una emergencia durante y después de un evento. En particular, el público debería informarse sobre:

- Medidas para reducir la vulnerabilidad de las edificaciones y crear conciencia de la relación entre la calidad de la construcción y la reducción de la vulnerabilidad.
- La naturaleza de la amenaza y el riesgo en su comunidad.
- Medidas de preparación que ellos pueden tomar, y la naturaleza de la alerta que pueden esperar.
- La capacidad de adaptación durante y después del desastre.
- La organización como apoyo en la etapa posterior al desastre.

Existe una gama de acciones que los propietarios de casas y de edificios pueden tomar, como por ejemplo cerrar las contraventanas para tormentas, apagar el abastecimiento de gas y almacenar agua y alimentos. También existen otras acciones que no deberían tomarse, tales como salir corriendo de un edificio durante un sismo, pues quienes lo hagan

pueden golpear con escombros de muros que se desploman, tejas, etcétera. Muchas vidas pueden salvarse, y muchos daños reducirse, realizando acciones simples y prácticas. La información puede diseminarse mediante organizaciones locales tales como los medios de comunicación, organizaciones de salud, grupos religiosos, escuelas, centros comunitarios y carteles.

Esto incluye a los profesionales, a los trabajadores y a los empleadores. En el ámbito profesional, hay una necesidad de comunicación entre los especialistas e investigadores, por un lado, y otros profesionales, por el otro. Esto puede hacerse a través de la organización de conferencias nacionales y regionales, seminarios y cursos cortos.

Una advertencia importante es que estas acciones en el campo de la educación y la capacitación deberían estar dirigidas a los tipos de construcción característicos de cada país. Mucha de la información técnica es importada, y esto no presenta ningún problema cuando se trata de temas de aplicación general. Este asunto está mejor analizado en el capítulo 9, donde se demuestra que, en el caso de Egipto, el clima y los requerimientos sociales producen configuraciones especiales de construcción con deficiencias particulares en lo que respecta a la resistencia sísmica.

Para el personal que trabaja en este campo, la comunicación es necesaria entre expertos profesionales, los empleadores y los trabajadores. Esto puede solucionarse mediante cursos y seminarios regionales.

Un punto que requiere atención es el problema de las adquisiciones. Existen muchos componentes que vienen en paquetes, ordenados para proyectos —edificios estándar, silos y tanques de almacenaje, puertas enrollables, contraventanas, postes de comunicación, por ejemplo— que son vulnerables a los vientos fuertes y a las fuerzas generadas por los sismos. A menos que estos requerimientos se especifiquen en forma detallada, es muy poco probable que los proveedores tomen las provisiones del caso. La comercialización común ha generado un divorcio entre los diseñadores y los comerciantes, lo que ha creado condiciones de vulnerabilidad.

La capacitación en la gestión de los desastres, ya sea organizada por las agencias internacionales o por grupos de trabajo multidisciplinarios a escala regional, propone la evaluación de la naturaleza de los desastres en la región y las acciones que son requeridas por cada disciplina. Estos grupos de trabajo incluirían representantes de cada servicio de emergencia.

La capacitación durante las acciones emprendidas en la fase de recuperación conformaría también un elemento esencial en el manejo de los desastres. Esto incluiría los procedimientos y la distribución de responsabilidades para la inspección y categorización de estructuras dañadas.

Está orientada a los administradores gubernamentales de alto nivel. La capacitación estaría dirigida a familiarizarlos en las políticas, planes y organización. La idea sería que ellos sean conscientes de las amenazas y riesgos y se familiaricen con los estudios de escenarios y riesgo regional.

La educación
en el campo de
la industria de
la construcción

La educación
en el manejo
del desastre

La educación
en los procesos
de decisión

Acciones después del desastre

6

Qué maravillosa es la manera cómo, en la figura de una persona ordinaria, el poder brinca en nuestra ayuda en cualquier momento de emergencia. Nosotros llevamos vidas tímidas, evadiendo las tareas difíciles hasta que algo nos fuerza o nosotros mismos nos determinamos a ello, e inmediatamente pareciera que descubrimos las fuerzas invisibles.

J. A. Hadfield, *La psicología del poder*

El capítulo 10 ofrece un valioso resumen de las acciones en la fase posterior a un desastre identificadas en Erzincan. Después de un desastre, la prioridad es el rescate y las operaciones de búsqueda, servicios médicos, manejo de las amenazas secundarias tales como incendios y escape de gases, la provisión de refugios de emergencia y la reposición de los servicios vitales –energía, agua, gas y comunicaciones–. Estos temas están fuera del alcance de este texto y corresponden a aspectos relacionados con la organización integral de la gestión de desastres. Sin embargo, cuando se trata de edificios y estructuras después de un desastre, se presenta la necesidad de trabajar con redes que involucran otras acciones, cada una de ellas con su propio nivel de importancia.

Los objetivos generales de las actividades durante el período de emergencia y en la etapa posterior son (UNDRO 1992):

- Asegurar la supervivencia del mayor número posible de víctimas, manteniéndolas en las mejores condiciones de salud posibles dadas las circunstancias.
- Restablecer a la brevedad la autosuficiencia y servicios esenciales para toda la población, con atención especial a aquellos cuyas necesidades son mayores: el más vulnerable y el más desvalido.
- Reparar o reemplazar infraestructura dañada y reactivar las actividades económicas viables. Esto de algún modo debería contribuir con los objetivos de desarrollo a largo plazo y reducir la vulnerabilidad a cualquier recurrencia futura de eventos potencialmente destructivos.

Las acciones tendientes a eliminar situaciones de amenaza como resultado de edificios dañados, así como de otras estructuras afectadas, caen dentro de las primeras de estas actividades. La evaluación de daños contribuye a la evaluación total del desastre, lo que determina el nivel de respuesta, en particular de las agencias nacionales e internacionales. Adicionalmente, la evaluación de daños controla el nivel y el objeto de reparación, reconstrucción y reforzamiento en la etapa de recuperación.

La evaluación de los edificios dañados se hace generalmente para las acciones que se van a realizar en la fase posterior al desastre, con miras a la probable ocurrencia de un colapso de dichos edificios que pueda generar situaciones de peligro para los pobladores. Los daños

El ambiente después de un desastre

53

Control de edificios dañados
Caso general

ocasionados por los vientos fuertes son generalmente más fáciles de categorizar y de manejar en el caso de edificaciones no ingenieriles, pero siguen el mismo proceso esencial y la misma metodología que se utiliza para evaluar los daños por amenaza sísmica.

Para evitar la pérdida de tiempo, los procedimientos para la evaluación de daños y el control de edificios afectados necesitan ser establecidos como parte del programa de preparación de desastres. El personal encargado de la evaluación de daños debería estar familiarizado con los procedimientos y formularios estándar, manuales de campo, señales de advertencia y otros equipos disponibles; de igual manera, necesitarán autoridad legal para entrar a examinar los edificios.

Los procedimientos para la evaluación de daños no deberían importarse de manera indiscriminada. Aunque aquí se haga referencia a la práctica en los Estados Unidos y en otras partes, se debe recordar que cada sociedad y sus prácticas de construcción son únicas. Los manuales de campo y las metodologías que van a ser utilizadas después del desastre deberían incluirse como parte de las medidas de preparación de desastres y adaptadas de manera que puedan ser aplicables a condiciones locales.

La demolición de edificios es un proceso delicado y requiere de una planificación coordinada si es que existen otras actividades a su alrededor. Es necesario establecer prioridades donde los recursos sean limitados, y el buen manejo debe estar dirigido a la eliminación de los escombros. De Pauw y Lauritzen (1994) presentan una guía de cómo realizar un proceso de demolición.

Organización

Es necesario que personal experimentado realice una clasificación de daños. Típicamente, ésta es efectuada en la mayoría de los casos por ingenieros estructurales y civiles, inspectores de edificios u otros profesionales conocedores de la constitución estructural de los edificios. En algunos casos particulares se requiere del apoyo de ingenieros geotécnicos que evalúen el comportamiento del suelo y de los cimientos; asimismo, se debe contar con ingenieros que opinen sobre la planta de la edificación, elevadores y los sistemas eléctricos. Este personal será requerido por los diferentes departamentos de la administración pública o del sector privado. Lo óptimo es que al menos un miembro del equipo esté familiarizado con el área bajo consideración. Las evaluaciones detalladas de los edificios serán efectuadas por ingenieros estructurales especializados y que poseen experiencia apropiada en este campo.

Los equipos de evaluación de daños necesitarán de una amplia gama de equipo de seguridad incluyendo cascos, máscaras contra polvo, equipo de iluminación y lentes de seguridad; equipo de medición, incluyendo cintas métricas, nivel de aire, brújulas magnéticas y plomadas, así como también material de información como mapas de calles y los nombres de los contactos y sus números de teléfono y/o direcciones de personal de emergencia. Para referencia, Pauw y Lauritzen (1994) presentan una lista integral del equipo necesario.

Metodología de evaluación de daños

Existen procedimientos bien establecidos para la evaluación de daños en la etapa posterior a un desastre, los cuales son revisados por De Pauw y Lauritzen (1994) en ATC-20. Es muy probable que la solicitud por una evaluación de daños se vea excedida por la capacidad de personal, por lo que lo óptimo es un enfoque multidisciplinario. ATC-20 (1989) recomienda un sistema en tres etapas que consiste en una evaluación rápida, una evaluación detallada y una evaluación ingenieril.

La evaluación rápida debería hacerse en las próximas horas o días inmediatamente después de la emergencia, y su objetivo es proveer de una forma rápida la información respecto al estado de los edificios afectados. Para este tipo de evaluación el equipo no requiere más de 20 minutos, y puede no involucrar el ingreso en el edificio. Después de esto, el edificio se empadrona de acuerdo con lo descrito en la tabla 6.1.

Los edificios clasificados como de entrada restringida se someterán a continuación a una evaluación detallada. Ésta será efectuada por ingenieros estructurales y tomará de una a cuatro horas. Incluirá una evaluación e inspección cuidadosa de todas las situaciones dudosas que se presenten. Se colocará en el edificio un aviso de acuerdo con la clasificación de la tabla 6.1, y aquéllos que requieran una evaluación ingenieril serán identificados nuevamente como de ingreso restringido.

La evaluación ingenieril será efectuada por un especialista en ingeniería estructural y tomará de uno a siete días. Involucrará un examen de los planos de construcción, información sobre los daños y nuevos cálculos estructurales. Después de esto el edificio será identificado como edificación inspeccionada o como insegura.

Tabla 6.1: Clasificación de seguridad de edificaciones (del ATC-20, 1989)

Clasificación	Color	Descripción
Inspeccionado	Verde	Ningún peligro evidente encontrado; sin embargo, puede requerir reparaciones. No ha disminuido la capacidad de carga lateral. Ninguna restricción para su uso u ocupación.
Entrada restringida	Amarillo	Es posible que presente condiciones peligrosas. Permitida la entrada por el propietario sólo para casos de emergencia y bajo riesgo propio. No se permite su uso para actividades. No se permite la entrada de público. Amenaza en caso de réplica.
Inseguro	Rojo	Extremo peligro. Puede colapsar. Inminente peligro de un colapso en caso de réplica. Inseguro para la ocupación o la entrada, con excepción de las autoridades.

Una categoría adicional que se asigna es la de identificar un área como insegura cuando existe la posibilidad del desplome o caída de escombros. En este caso el área debería señalizarse como "área insegura" y debe bloquearse su entrada.

Las figuras 6.1 y 6.2 muestran el cuestionario elaborado por la Oficina de Servicios de Emergencia de California y las matrices de decisión de daños que conducen a las tres categorías para clasificar a los edificios. La discusión detallada de los daños en diferentes clases de edificio se presenta en ATC-20 (1989).

Los daños no estructurales necesitan ser examinados particularmente por la posibilidad de que puedan caer durante réplicas. Los parapetos, apéndices, rótulos, tejas, marquesinas y revestimiento de paredes pueden estar dañados y con posibilidad de que caigan durante las réplicas del evento. Dentro de los edificios, los falsos cielorrasos, conductos de aire, artefactos de iluminación, recubrimientos y ventanales pueden representar amenazas por la posibilidad de que se desprendan. Los servicios del edificio pueden ser responsables de escape de gas o derrame de combustibles inflamables. En general, los edificios no deberían usarse a menos que el sistema de protección de incendio haya sido verificado después de un sismo. El mismo argumento se aplica a los ascensores, que están sujetos a daños debido a sismos: los contrapesos se salen de sus guías, los rieles y los frenos se deforman, el anclaje de la máquina del ascensor se rompe o los cables se separan de sus guías, los dispositivos sísmicos de protección caen en error o las puertas se atascan.

Las instalaciones esenciales son aquellas que serán más necesarias durante la fase posterior de un desastre. ATC-20 (1989) enumera las siguientes:

- Hospitales.
- Servicios de salud pública.
- Estaciones de policía y de bomberos.

Las instalaciones esenciales

ESTADO DE CALIFORNIA

OES/PEO EDIFICIO/ESTRUCTURA

Informe de evaluación N° _____

Nombre de la instalación _____ Dirección _____ Ciudad _____ Mes/día/año ____/____/____ Hora ____:____ Tipo de desastre _____	Id. OES/PEO N°s _____ Otros informes PEO _____ N° de fotos _____ N° de croquis _____ Planos de referencia _____ Daños estimados _____ Condición de la instalación _____
--	--

INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD: Debe reconocerse como amenaza potencial la posibilidad de presencia de gases tóxicos en espacios confinados o fugas de combustible.

PRECAUCIÓN: Este informe fue realizado por la Oficina de Servicios de Emergencia del Estado de California. El propósito principal de este informe es dar consejo sobre la condición de la instalación para su uso/ocupación inmediata. **SE RECOMIENDA LA RE-INSPECCIÓN DE LA INSTALACIÓN. LAS RÉPLICAS DEL SISMO PUEDEN PRODUCIR DAÑOS QUE REQUIERAN RE-INSPECCIÓN.** Las conclusiones a las que lleguen los ingenieros que re-examinen posteriormente la instalación, deben ser las que primen. El grupo de evaluación no rendirá más consejos en el caso de conflicto de recomendaciones ingenieriles.

A. COLOCACIÓN DE CARTEL

1. Existente: Ninguno Verde Dorado Rojo

2. Cartel recomendado: Verde Dorado Rojo

3. Colocado en esta evaluación: Sí No

Autoridad que coloca : _____

B. RECOMENDACIONES

1. Apuntalamiento y arriostramiento: No se necesita aparentemente Necesario para proteger al público Necesario para proteger edificios adyacentes

2. Se necesitan barricadas Sí No

3. Monitorear movimientos del edificio Sí No

4. Monitorear componentes debilitados Sí No

5. Informe estructural por CE o SE recomendado Sí No

C. COMENTARIOS

OES/PEO Ficha N° 11

II-41

- Centros de detención y cárceles.
- Centros de comunicación.
- Centros de operaciones de emergencia.

Sin embargo, las circunstancias locales pueden requerir de diferentes listados de servicios esenciales. Los requerimientos especiales sugeridos por ATC-20 (1989) para este tipo de instalaciones esenciales son:

- Debe seleccionarse con anterioridad un equipo compuesto por ingenieros estructurales capaces de realizar una inspección detallada después de la ocurrencia de un desastre. Asimismo, deberían estar familiarizados con los edificios y con la forma en que han sido diseñados.
- Los planos estructurales deben estar disponibles.
- La inspección debe tener alta prioridad.
- La inspección debe incluir la reparación de equipos que necesiten continuar en operación.
- Deben identificarse los principales problemas tales como el almacenaje de materiales radiactivos en hospitales.

Figura 6.1:
Ficha de evaluación de estructuras de la Oficina de Servicios de Emergencia del Estado de California.

D. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

Reporte de Asesoría * _____

	Sistema de soporte lateral (vertical)	Paredes exteriores	Diaphragma horizontal	Arriostre horizontal (acero)	Arriostres interiores y/o muros de corte	Divisiones no portantes	Pisos	Escaleras	Otro ()
Concreto									
Concreto prefabricado									
Mampostería confinada									
Mampostería sin confinar									
Estructura de acero									
Plataforma de metal									
Madera									
Otro									
Desconocido									

1. Número de pisos _____
2. Número de sótanos _____
3. ¿Diseño anterior a 1934? Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Desconocido <input type="checkbox"/>
4. Ocupante principal: Gobierno <input type="checkbox"/> Hotel/motel <input type="checkbox"/> Hospital <input type="checkbox"/> Comercial <input type="checkbox"/> Escuela <input type="checkbox"/> Industrial <input type="checkbox"/> Edificio de oficinas <input type="checkbox"/> Residencial <input type="checkbox"/> Otro _____

E. OBSERVACIONES DE DAÑO ESTRUCTURAL

Escala de daño	0 Ninguno (0%)	1 Ligero (1/10%)	2/3/4 Moderado (11/40%)
5 Severo (41/60%)	Total (Sobre 60%)	NA No se aplica	NO No observado D.O.

- Paredes exteriores _____
- Marco (condición general) _____
- Elementos de marco _____
- Conexiones de marco _____
- Estructura de techo _____
- Soportes interiores/muros de corte _____
- Divisiones (no portantes) _____
- Piso(s) _____
- Escalera(s) _____
- Ascensores _____
- Vidrio _____
- Soportes de equipos mecánicos _____
- Soportes de equipos eléctricos _____
- Otros _____
- Daño total % _____

F. DAÑO DE SUELO O GEOLÓGICO

	Amenaza aparente	Amenaza no aparente
1. Asentamiento	_____	_____
2. Licuación	_____	_____
3. Deslizamiento	_____	_____
4. Falla	_____	_____
5. Otro	_____	_____

OES/PEO de No. 11

G. AMENAZAS DE CAÍDAS

	Amenaza aparente	Amenaza no aparente	Desconocido
1. Muros parapetos	_____	_____	_____
2. Ornamentos	_____	_____	_____
3. Chimeneas	_____	_____	_____
4. Pisos	_____	_____	_____
5. Estructura de techos	_____	_____	_____
6. Equipos	_____	_____	_____
7. Otro	_____	_____	_____

H. Daño estimado

- Área de edificación aproximada () _____
- % de daño edificación estimado _____
- Valor aproximado de daño \$ _____

I. OBSERVACIONES Y CROQUIS

[Grid for observations and sketches]																			
--------------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

11/42

Figura 6.1: Continuación

Algunas estructuras de importancia, tales como puentes y presas, necesitan el mismo tratamiento que los edificios esenciales. Para esto es necesario seleccionar ingenieros estructurales o civiles con experiencia en esta clase de estructuras, capaces de conducir una evaluación detallada. Las acciones para este tipo de estructuras no pueden seguir las mismas categorías utilizadas para los edificios, pero sí algunos principios similares. Las presas que muestren señales de daño pueden requerir que se libere rápidamente el agua almacenada, lo cual nos lleva a subrayar la significación particular de los tanques de agua. Si éstos se encuentran dañados, su rápido drenaje puede no ser posible.

Estructuras menos importantes tales como postes de comunicaciones y chimeneas necesitarán ser tratados según su importancia, tomando en cuenta su función en el escenario luego del desastre.

Los estudios ingenieriles sobre los daños causados por los desastres constituyen un elemento vital en el proceso de diseño. Los códigos y las normas se revisan regularmente a la luz de tales estudios, de los cuales se han alimentado en gran medida. Sin embargo, éstos necesitan ser considerados en la etapa inicial antes de iniciar las actividades de demolición, reparación u operaciones de rescate en la fase posterior a un desastre; de lo contrario se corre el riesgo de perder pistas vitales.

Otras estructuras

Ingeniería y otros estudios posdesastre

COMITÉ DE SERVICIOS DE EMERGENCIA DE DESASTRES SEAONC

CRITERIO DE EVALUACIÓN DE EDIFICACIÓN DAÑADA POR TERREMOTO

BORRADOR

PREGUNTAS CLAVE A SER APLICADAS A CADA EDIFICACIÓN DAÑADA

<p>La amenaza de colapso total:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ ¿Implica esta edificación una amenaza a la seguridad de la vida o caída en caso de una réplica de igual o menor magnitud? ¿Implica una amenaza a los ocupantes o edificaciones adyacentes? ■ ¿Está el sistema de resistencia a fuerzas laterales dañado a tal punto que no puede ofrecer más resistencia al movimiento de una réplica del terremoto? ■ ¿Es inestable el sistema de soporte de carga vertical? ■ ¿Existe una amenaza de colapso parcial o total? ¿Puede ser que si hay posibilidad de colapso éste sea súbito e imprevisto por sus ocupantes? 	<p>La amenaza de colapso parcial</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ ¿Puede limitarse la amenaza a la seguridad de la vida por colapso parcial mediante la prevención del acceso a ciertas partes de la edificación? Si fuera así, la edificación puede calificarse para uso limitado (dorado). Si la edificación fuera a ser calificada para uso limitado por personal autorizado, ¿podría tal autorización ser aplicable inmediatamente? Si no fuera así, calificarla como una edificación insegura (rojo). <p>La amenaza de caída de objetos</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ ¿Existen amenazas de caída de objetos que puedan resultar en heridas significativas y bloques de salidas? Si fuera así, calificar como dorado o rojo, dependiendo de la extensión y ubicación de amenazas de caídas potenciales, y la aplicación de uso limitado para personal autorizado.
---	--

Si la respuesta a alguna de las preguntas arriba mencionadas es "sí", se recomienda que se coloque el cartel ROJO (inseguro).

LA SIGUIENTE TABLA INDICA ALGUNAS GUÍAS APROXIMADAS QUE PUEDEN CONSIDERARSE CUANDO SE LLEVA LA FICHA DE EVALUACIÓN "ESTRUCTURA" DE LA OES DEL ESTADO DE CALIFORNIA. LOS TIPOS DE DAÑO LISTADOS SON SÓLO CUALITATIVOS, Y NO PODRÁN REEMPLAZAR A UNA EVALUACIÓN BASADA EN JUZGAMIENTO INGENIERIL PROFUNDO O EN LA PREOCUPACIÓN POR LA SEGURIDAD.

Elemento ficha OES	Elemento de edificación	TIPO DE DAÑO		
		ROJO (5-6)	DORADO (3-4)	VERDE (1-2)
E1	Muros exteriores	<ul style="list-style-type: none"> Significativamente fuera de plomo Fisurado severamente Amenaza de caída Muros fuera del marco horizontal en pisos y techos (Referirse a G1) 	<ul style="list-style-type: none"> Fisuras menores Preocupación moderada Amenaza de inestabilidad no aparente Daño focalizado (Referir a G1) 	<ul style="list-style-type: none"> Fisuras menores Preocupación menor Amenaza de caídas inexistentes (Referirse a G1)
E2 E3 E4	Elementos de marco y conexiones	<ul style="list-style-type: none"> Signos de vencimiento Indicación que elementos de arriostre que sólo trabajan a tensión se han vencido o están trabajando a compresión Fisuramiento significativo total Deformación de estructuras 	<ul style="list-style-type: none"> Afectación menor en elementos, de tal forma que el nuevo marco y conexiones podrán soportar la réplica Amenaza de inestabilidad no aparente. 	<ul style="list-style-type: none"> Afectación muy menor
E5	Estructura de techo conexión techo-muro	<ul style="list-style-type: none"> Colapso parcial con razones para sospechar más colapso en caso de réplica Desplazamiento de techo con respecto al muro Daño significativo a la conexión techo-muro Daño significativo de aleras 	<ul style="list-style-type: none"> Amenaza de inestabilidad no aparente Daño menor o muy localizado sin razón de sospechar daño adicional significativo en caso de réplica 	<ul style="list-style-type: none"> Daño muy leve Daño en la conexión techo-muro no aparente

Figura 6.2:
Borrador SEAONC de criterios de evaluación de edificios elaborado por el Comité de Servicios de Emergencia por Desastres. Fuente: ATC-20 (1989).

Elemento ficha OES	Elemento de edificación	TIPO DE DAÑO		
		ROJO (5-6)	DORADO (3-4)	VERDE (1-2)
E6	Soporte interior Muro/Muro de corte	<ul style="list-style-type: none"> Significativamente fuera de plomo Fisuramiento significativo Afectación entre muro y conexiones con otros elementos de la edificación 	<ul style="list-style-type: none"> Amenaza de inestabilidad no aparente Daño menor en muros y conexiones entre muros y conexiones con otros elementos de la edificación. 	<ul style="list-style-type: none"> Daño muy leve Fisuramiento ligero
E7	Divisiones/Muros no portantes	<ul style="list-style-type: none"> Colapso parcial con posibilidad de más daño en réplica Amenaza de desprendimientos 	<ul style="list-style-type: none"> Amenaza de inestabilidad no aparente Daño moderado, pero aparentemente puede soportar una réplica Amenaza de caídas mínima o muy localizada 	<ul style="list-style-type: none"> Daño leve
E8	Pisos/Conexiones de piso a muro	<ul style="list-style-type: none"> Colapso parcial Desplazamiento lateral o vertical del piso con respecto a la pared Daño significativo o separación en la conexión piso-muro Daño significativo de aleros Esponjamiento significativo en el piso sobre declive Fisuramiento significativo en pisos de concreto 	<ul style="list-style-type: none"> Amenaza de inestabilidad no aparente Esponjamiento menor, localizado en el piso 	<ul style="list-style-type: none"> Daño leve
E9	Escaleras	<ul style="list-style-type: none"> Mayoría de salidas inseguras o bloqueadas Daño significativo en la conexión de escalera Escombros en escaleras 	<ul style="list-style-type: none"> Amenaza de inestabilidad no aparente Daño moderado en la escalera 	<ul style="list-style-type: none"> Daño leve Todos los medios de salida seguros
E10	Ascensor	<ul style="list-style-type: none"> Mayoría de salidas inseguras o bloqueadas 	<ul style="list-style-type: none"> Ascensor o su ducto dañado pero con otro medio de salida segura 	<ul style="list-style-type: none"> Daño leve al ascensor o su ducto, pero todos los otros medios de salida seguros
E11	Vidrio	<ul style="list-style-type: none"> Probabilidad de rotura de vidrios en la réplica, amenazando la seguridad pública en o alrededor del edificio Gran cantidad de vidrio en el edificio con una cantidad significativa rota 	<ul style="list-style-type: none"> Monto pequeño de vidrio roto Monto relativamente pequeño de vidrio en las salidas del edificio 	<ul style="list-style-type: none"> Monto pequeño de vidrio roto
E12 E13	Mecánica/Eléctrica Soporte de equipos	<ul style="list-style-type: none"> Equipo no andado o soportes vencidos con amenaza de equipo que puede caer Amenazas de seguridad por ductos rotos, tuberías, alambres caídos, etc., dañados por soportes de equipos caídos 	<ul style="list-style-type: none"> Afectación significativa al soporte de equipos, con posibilidad de su caída en caso de réplica Daño localizado 	<ul style="list-style-type: none"> Afectación leve al soporte de equipos, pero no hay amenaza de fuego o a la vida humana
E14	Ingresos/Doseles/Cuartos añadidos	<ul style="list-style-type: none"> Afectación significativa en conexiones Colapso parcial Amenaza de caída de objetos que limitan severamente la salida segura del edificio 	<ul style="list-style-type: none"> Amenaza de inestabilidad no aparente Daño moderado localizado, pero aparenta poder soportar una réplica Otros medios de salida seguros 	<ul style="list-style-type: none"> Daño leve No hay amenaza de caída de objetos, colapso o de salida

Figura 6.2: Continuación

Elemento ficha OES	Elemento de edificación	TIPO DE DAÑO		
		ROJO (5-6)	DORADO (3-4)	VERDE (1-2)
E14A	Columnas	<ul style="list-style-type: none"> Significativamente fuera de plomo Inclinación moderada Fisuramiento severo Signos de fluencia Amenaza de caída Dañado, al punto de no proporcionar soporte al nivel superior 	<ul style="list-style-type: none"> Amenaza de inestabilidad no aparente Fisuramiento leve 	
E14B	Cimientos	<ul style="list-style-type: none"> Daño moderado a cimientos Asentamiento moderado de la cimentación La edificación se ha deslizado fuera de su cimentación y la superestructura está amenazada 	<ul style="list-style-type: none"> Amenaza de inestabilidad no aparente Fisuramiento moderado en cimentaciones para edificaciones en pendientes Asentamiento moderado de edificación 	<ul style="list-style-type: none"> Asentamiento leve de edificación Fisuramiento leve de cimentación Evidencia de levantamiento local
G1 G2 G3 G6	Muros parapetos Ornamentación Chimenea Equipo de techo o suspendido	<ul style="list-style-type: none"> Colapso parcial Fisuramiento moderado Arriestre fallado 	<ul style="list-style-type: none"> Amenaza de inestabilidad no aparente Afectación leve en parapeto 	<ul style="list-style-type: none"> Daño no aparente
G7A	Estantes de almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> Almacenamiento pesado (libros, depósito) sin soporte o parcialmente colapsado Soportes laterales, mostrando afectación severa 	<ul style="list-style-type: none"> Amenaza de inestabilidad no aparente 	<ul style="list-style-type: none"> Amenaza no aparente a la seguridad humana
G7B	Aparatos de iluminación/cielos rasos suspendidos	<ul style="list-style-type: none"> Colapsados parcialmente Artefactos de iluminación anclados inapropiadamente Cielo rasos sin arriostres 	<ul style="list-style-type: none"> Amenaza de inestabilidad no aparente 	<ul style="list-style-type: none"> Daño no significativo Amenaza no aparente a la seguridad humana
G7C	Edificaciones adyacentes	<ul style="list-style-type: none"> Las edificaciones adyacentes son amenazas por colapso que pueden impactar al edificio en inspección 	<ul style="list-style-type: none"> Amenaza de inestabilidad no aparente en edificaciones adyacentes 	<ul style="list-style-type: none"> Amenaza de inestabilidad no aparente en edificaciones adyacentes
H1 H2	Asentamiento o licuación	<ul style="list-style-type: none"> Asentamiento o licuación significativa 		
H3	Deslizamiento	<ul style="list-style-type: none"> Posibilidad de deslizamiento durante réplica que pueda amenazar la seguridad humana o la integridad estructural Edificación elevada con daño en cimentación significativo Formación de roca inestable (cantos rodados) que pueden deslizarse hacia la edificación 	<ul style="list-style-type: none"> Fallas leves, laderas localizadas en área, donde eventos similares no son una amenaza a la seguridad humana o a la integridad estructural de edificaciones 	<ul style="list-style-type: none"> Sitio localizado en área predominantemente plana sin amenaza de deslizamiento aparente
I	Otras edificaciones Tipos de uso	<ul style="list-style-type: none"> Laboratorios químicos, fábricas, etc., con potencial de crear incendios o humos peligrosos Plantas de combustibles/materiales combustibles o cualquier edificio en donde se pueden oler químicos o combustibles 		

Figura 6.2: Continuación

La presencia de equipos de ingenieros puede convertirse en una carga para la administración, especialmente en los primeros días, cuando las operaciones de rescate se están llevando a cabo. Probablemente la mejor opción sea establecer un centro de información y coordinación para este tipo de estudios, o solicitar a una organización local de profesionales en ingeniería que ayuden a hacerlos. Controlados y administrados de forma adecuada, los estudios ingenieriles serán una valiosa contribución a los registros que realicen sobre los desastres; además, contribuirán al desarrollo de mejores normas de diseño en el futuro.

Otros estudios pueden trabajar con los aspectos sociológicos, económicos, psicológicos y médicos del desastre, y podría aplicarse un argumento similar. Cada estudio contribuirá a la mejor comprensión del fenómeno, así como al establecimiento de una base de datos disponible para la próxima oportunidad.

Además de los estudios realizados sobre diversos aspectos del desastre, un registro de la gestión del desastre servirá de apoyo a los administradores en la planificación y en la mitigación de futuros desastres. Cada suceso es único, e inevitablemente nos provee de lecciones que debemos aprender.

Además de la fuerza y la furia que conllevan los desastres, también nos traen oportunidades. Una de ellas es la oportunidad de revisar y refinar nuestra práctica de mitigación de desastres. Después del desastre surge una fuerte motivación para hacer esto, por lo que resulta muy apropiado organizar conferencias, seminarios y cursos para crear un clima de intercambio entre la comunidad local y la internacional. Éste debe traer grandes beneficios para el mejoramiento de códigos, normas, medidas administrativas y medidas legales.

La rehabilitación puede verse como una etapa de transición en la cual la comunidad trata de volver a las condiciones de vida que poseía antes de la ocurrencia de un desastre. Eso puede requerir de un acomodamiento de los estándares debido a que es una fase de transición entre la asistencia de corto plazo y la reconstrucción de largo plazo. Los edificios pueden repararse momentáneamente de manera que puedan continuar operando.

Sin embargo, durante la etapa de reconstrucción a largo plazo ya no es posible ningún tipo de arreglo para evitar los códigos o normas. Es necesario poner en práctica las lecciones que dejó a su paso el desastre, sea a través de la revisión de normas y códigos de construcción, del control y la aplicación de éstos, de la planificación del uso de la tierra y del establecimiento de medidas legales a la brevedad posible. La oportunidad de construir sobre la base de una revisión efectiva de la práctica de mitigación disminuirá con el paso del tiempo. Los desastres son sucesos políticos, y la memoria política suele ser de corta duración.

Registros y revisiones de la práctica de mitigación

Rehabilitación, reconstrucción y reparación

La vía hacia adelante

7

*El sol puede estar nublado, aun así siempre el sol
Seguirá su curso hasta cumplir el ciclo.
Y cuando al caos el sistema sea arrojado
Nuevamente el Constructor remodelará un nuevo mundo.*

Tieme Ranapiri (Mi Ley), de un poema maorí

El hilo común que une a todos los estudios de caso que prosiguen en los capítulos 8 al 14 se refiere a que existen soluciones para todo tipo de problemas. La tecnología está ahí para resolverlos; lo propio ocurre con los recursos necesarios. Pero lo que se requiere ante todo es la voluntad para hacerlo. No es sólo la voluntad del gobierno, ni la voluntad de la industria; tampoco la de los propietarios y usuarios. Ningún progreso verdadero es posible a menos que todos los interesados tengan la voluntad de avanzar.

La capacidad existe; es la voluntad de lo que se ha carecido en muchos de los casos.

El progreso requiere de la implementación de programas de manejo de desastres, y para esto se requiere de la comprensión de la industria de la construcción.

La industria de la construcción posee en todo el mundo características especiales, muchas de las cuales militan en contra del logro de una alta calidad en el campo de la construcción. Davenport (1994) provee una lista larga de recomendaciones y aspectos negativos, algunos de los cuales se enumeran a continuación:

- Cada proyecto es único. Los procesos de construcción y diseño enfrentan nuevos problemas cada vez que un nuevo proyecto se emprende.
- Los riesgos son altos en relación con la recompensa.
- Con frecuencia los arreglos contractuales dejan al contratista financieramente vulnerable al mal tiempo y a los cambios en condiciones económicas.
- Los contratos de empleo se elaboran por proyecto, lo que significa un alto nivel de recambio del personal.
- A menos que exista una buena supervisión, el contratista puede ahorrarse dinero si decide hacer recortes en la construcción.

Para lograr que disminuya la vulnerabilidad en la construcción en áreas en riesgo, los problemas de la industria necesitan ser tomados en cuenta, aun si esto significa contradecir la cultura que ha predominado en la industria.

Las acciones específicas que pueden implementarse son:

Los objetivos para un nivel aceptable de mitigación de desastres en edificios y estructuras

La industria de la construcción

- Crear conciencia entre los contratistas, propietarios, usuarios, profesionales de diseño, inversionistas y aseguradores sobre la naturaleza de las principales amenazas presentes. Hacer que tomen conciencia de su responsabilidad.
- Utilización de los recursos del sector público y del sector privado independiente para el control de calidad en la construcción y el diseño.
- Crear conciencia entre los inversionistas sobre las ventajas que tiene el costo del ciclo de vida *versus* el costo inicial a corto plazo.
- Estimular a la industria de los seguros para que reconozca la calidad de los proyectos construidos, ofreciendo reducción en las primas de los seguros contra desastres.
- Identificar el papel que juega el gobierno en apoyo de normas de diseño apropiadas para todas las formas de construcción.
- Apoyar las acciones tendientes a establecer una cultura de prevención para los edificios no ingenieriles.

Manejo de desastres para edificios y estructuras

La figura 7.1 muestra un gráfico sobre la gestión de desastre y cómo ésta afecta a edificios y otras estructuras vulnerables. Las diferentes secciones ya han sido desarrolladas en los capítulos anteriores y serán ilustradas en los estudios de caso siguientes. Es importante poner énfasis en la necesidad de la comunicación con todas las partes involucradas en el plan de desastres. Este es un proceso bidireccional: la diseminación de información sobre el plan de desastres por parte de la administración recibirá de vuelta las reacciones al plan. Los talleres y las reuniones públicas son particularmente efectivas al respecto.

Algunos de los aspectos positivos de los estudios de caso son las descripciones de las diferentes iniciativas dirigidas a poner en marcha las medidas de mitigación de desastres mediante, por ejemplo, talleres, la preparación de guías para edificaciones no ingenieriles, educación y entrenamiento, así como el mejoramiento de códigos. Sin embargo, en todos los casos este proceso trabaja sólo con parte del proceso de gestión de los desastres, no con la totalidad. El papel apropiado del administrador es el de manejar la totalidad del proceso, estableciendo un conjunto racional de prioridades más que trabajando con partes del programa de forma arbitraria, a pesar de lo atractivo que éstas puedan parecer aisladamente.

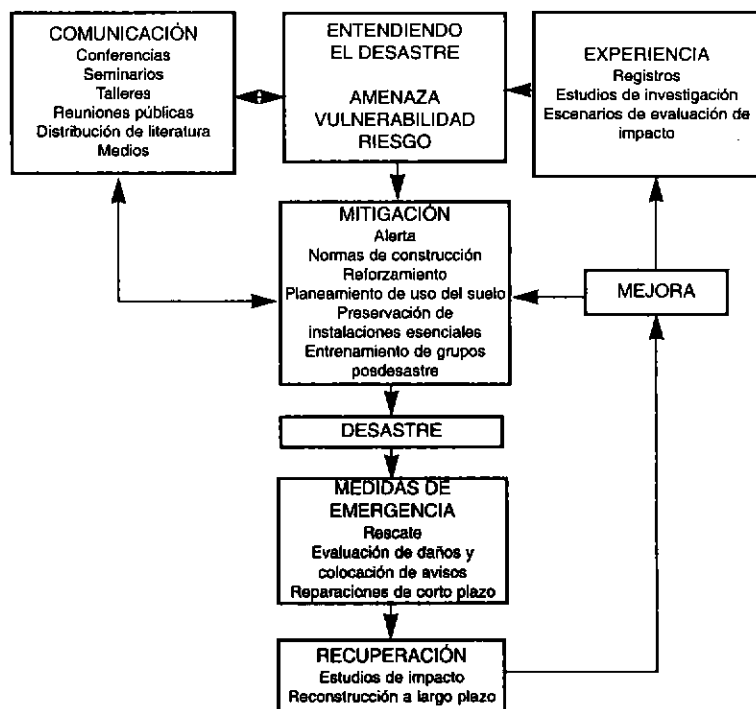


Figura 7.1:
Esquema del manejo de desastres para edificios y estructuras.

El inicio del proceso ha sido identificado como “la comprensión del riesgo”, con el objeto de que cada localidad vea necesario identificar sus amenazas, su vulnerabilidad y su propio riesgo, y, a su vez, los den a conocer. Esto se aplica en el ámbito nacional, regional y local. Con frecuencia existen motivos para hacer que el riesgo parezca bajo y la comunidad más segura de lo que realmente es. Este comportamiento puede tener móviles comerciales o políticos de corto plazo. Es injustificable en el gobierno, en las administraciones locales o en miembros responsables del sector público. En lugar de esconder al público el riesgo, un plan de mitigación de desastres, diseñado en forma realista, va a generar mayor confianza.

Se ha establecido una distinción entre las reparaciones de corto plazo y la reconstrucción a largo plazo. Las primeras son aquellas necesarias para mantener los servicios en funcionamiento, preservar las construcciones de mayores daños ocasionados por fuertes precipitaciones o para mantener la seguridad. Éstas serán frecuentemente reparaciones temporales. La segunda necesita ser emprendida tomando en cuenta las lecciones dejadas por el desastre, y esto puede involucrar cambios o modificaciones en códigos de construcción y diseño de forma mucho más rápida de lo que se haría normalmente.

La ventana política de oportunidad que se abre después de la ocurrencia de un desastre para mejorar el plan de manejo de desastres puede ser breve. Estas oportunidades deben tomarse, y es necesario buscar apoyo entre las agencias internacionales para concretarlas.

Parte 2

Estudios de caso

Mitigación de las amenazas en Jamaica

8

R. Kunar

Este capítulo presenta un estudio de caso en Jamaica. En los últimos 15 años Jamaica ha desarrollado y puesto en marcha un programa de mitigación de desastres para reducir el impacto de huracanes y terremotos. Este estudio de caso nos lleva a deducir las lecciones aprendidas de su experiencia para asistir a otras partes del mundo con programas similares.

En la primera parte del estudio se hace una revisión del desarrollo y aplicación de estándares y prácticas actuales de ingeniería para el diseño y la construcción de edificios en Jamaica. Luego se estudia el daño causado en Jamaica por el huracán Gilbert (1988) y el reciente terremoto en la capital, Kingston (enero de 1993), en relación con los estándares y prácticas de ingeniería existentes. Así, las debilidades y fortalezas de los estándares y las prácticas son identificadas, y se pueden sacar conclusiones que permitan señalar el camino para hacer mejoras en la reducción del impacto dañino de los huracanes y terremotos. Las lecciones que se aprendan de este estudio ayudarán a identificar las áreas donde la inversión y el entrenamiento sean de mayor beneficio para la mitigación de desastres.

Para esta investigación se recogió información primaria a través de entrevistas con grupos de ingenieros profesionales, organizaciones gubernamentales e instituciones educativas y de entrenamiento en Jamaica. Éstas se complementaron con una colección de material de lectura de diferentes fuentes en Jamaica.

Jamaica es la tercera isla más grande en el Caribe, con un área que cubre 4244 millas cuadradas (10 991 km²). En 1994 su población se calculó en 2,5 millones de habitantes. Setecientas mil personas viven en los condados de Kingston y St. Andrew, que incluyen la capital de Kingston. Kingston es una ciudad relativamente moderna situada en las planicies de Liguanea, al pie de las Montañas Azules. Cerca de la mitad de la población vive en las áreas urbanas con la densidad más alta de población de las tierras bajas costeras. La economía se basa principalmente en el turismo y la exportación de minerales, aunque la agricultura y la manufactura contribuyen grandemente al producto doméstico total. En 1990, la producción nacional total per cápita fue de US\$ 1510.

Jamaica tiene tres regiones fisiográficas principales: las tierras bajas costeras y los valles, la plataforma de piedra caliza y las tierras altas del interior (ver figura 8.1). La región costera está bastante cultivada y rodea la isla. Tierra adentro, las tierras bajas se levantan en una plataforma de piedra caliza que se extiende hasta la mitad del área total de la isla. El centro de la isla está dominado por la irregularidad y densidad boscosa de la cadena este-oeste de las Montañas Azules. Mientras la topografía de la isla la hace susceptible a los deslizamientos de tierra y rocas, su posición y situación tectónica la exponen a terremotos y huracanes.

Introducción

Hechos relevantes sobre Jamaica

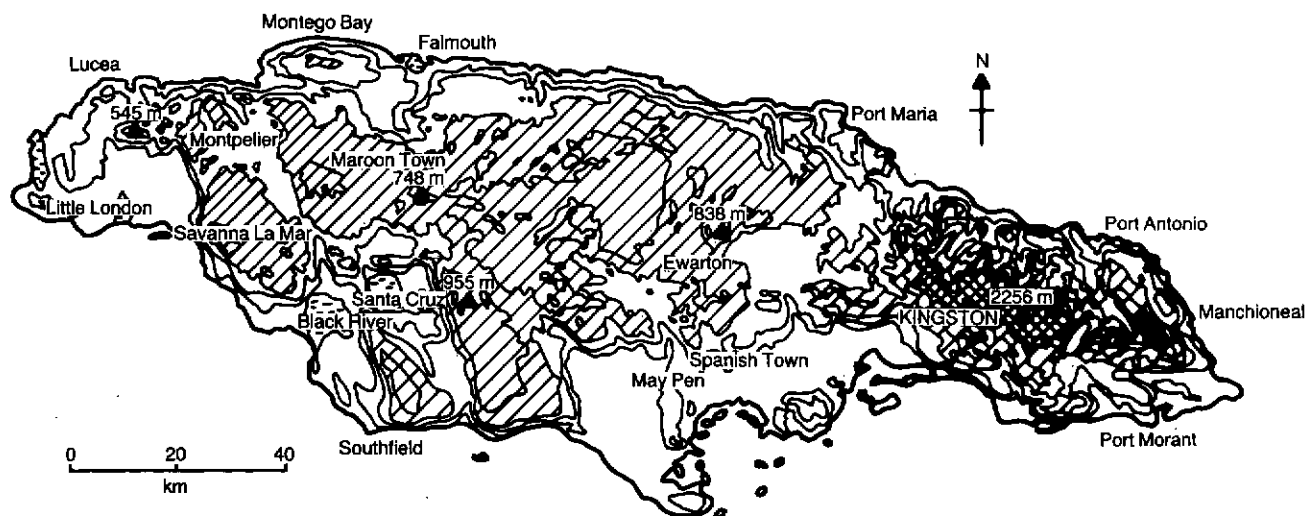


Figura 8.1: Topografía y principales centros poblados en Jamaica.

La calidad de los edificios en Jamaica varía considerablemente. En general, los edificios no residenciales modernos han sido diseñados para soportar grandes cargas extremas como las de terremotos y huracanes; a éstos se les llama estructuras ingenieriles. Sin embargo, en 1981 la Oficina de Preparación para Desastres y la Coordinadora de Asistencia para Emergencias de Jamaica determinaron que la mayoría de las viviendas en Jamaica estaban diseñadas inadecuadamente para soportar terremotos y huracanes. La mayoría de estos edificios son no ingenieriles en virtud de que han sido construidos por sus dueños o constructores locales, que tienen poca o ninguna base en ingeniería o arquitectura. La clase no ingenieril de viviendas incluye los sectores "formales" e "informales". En el sector "informal" están las viviendas temporales o improvisadas usadas por familias en asentamientos por invasión; éstas son las más vulnerables a las amenazas naturales.

Las amenazas naturales en Jamaica

Los tipos de amenazas naturales que sufre Jamaica son los huracanes, terremotos, inundaciones y deslizamientos. Está localizada en medio de una de las regiones que más huracanes sufre en el mundo. Muchas tormentas tropicales y 13 huracanes han golpeado la isla en el último siglo. Los dos huracanes más recientes, Charlie (1951) y Gilbert (1988), causaron grandes daños a la isla. Las inundaciones, no tan espectaculares como los huracanes, representan un peligro significativo para Jamaica. En 1986, las "Lluvias de Junio" causaron grandes inundaciones y fuertes daños. En el sector agrícola, el daño se calculó en 24,5 millones de dólares, y el daño a la infraestructura (camino y puentes), en 4,6 millones de dólares. Cuarenta y nueve personas murieron; 200 fueron evacuadas y 40 000 fueron afectadas directamente.

Debido a la proximidad de Jamaica con el borde norte de la placa del Caribe, que se une con la placa norteamericana, la isla se encuentra expuesta a los terremotos. Con base en información histórica de los últimos 500 años, se ha podido determinar que los dos eventos más significativos han sido el gran terremoto de Port Royal de 1692 y el terremoto de Kingston de 1907. El 13 de enero de 1993, los pobladores de la isla se acordaron de lo vulnerable que eran a los sismos cuando ocurrió un terremoto menor en Woodford, cerca del centro de Kingston, que causó algunos daños.

El huracán Gilbert y el terremoto de 1993 provocaron varios deslizamientos. Sin embargo, aunque estos eventos no hubieran ocurrido, los deslizamientos pueden ser resultado de las expansiones laterales y de movimientos lentos y periódicos de las laderas, como sucedió en marzo de 1986 cuando un deslizamiento destruyó la villa de Preston en Jamaica. El daño económico directo se calculó en US\$ 300 000.

La investigación llevada a cabo para este proyecto se basó principalmente en entrevistas directas realizadas en setiembre de 1993 a miembros del gobierno y a ingenieros profesionales. La Oficina de Preparación para los Desastres en Jamaica actuó como mediadora en la realización de las entrevistas. A continuación se presentan las organizaciones entrevistadas:

- Oficina de Preparación para los Desastres.
- Departamento de Sismología de las Indias Occidentales.
- Instituto de Ingenieros de Jamaica.
- SMADA Compañía Consultora.
- Instituto de Arquitectos de Jamaica.
- Departamento de Planificación Urbana.
- Ministerio de la Construcción y el Departamento de Obras Públicas.
- Asociación de Grandes Constructores Incorporados de Jamaica.
- Centro de Recursos para la Construcción y Desarrollo.

Las discusiones abarcaron aspectos tales como el diseño, control, código de práctica, responsabilidades, entrenamiento y educación, y la efectividad del Proyecto Pan-Caribeño de Prevención y Preparación para Desastres (PPCPPD).

El Caribe ha tenido una larga historia de desastres causados por amenazas naturales tales como tormentas tropicales, huracanes, inundaciones, sequías, deslizamientos, volcanes y terremotos. De éstos, los huracanes y terremotos pueden ser los más devastadores.

Jamaica ha experimentado la destrucción de propiedades e infraestructura a gran escala, así como la pérdida de vidas. Para mitigar estos desastres, es imperativo que las amenazas naturales sean bien entendidas, de manera que las fuerzas destructivas generadas por ellas puedan ser neutralizadas por medio de un diseño efectivo. Para este fin, la mejor información se obtiene a menudo estudiando los acontecimientos del pasado.

Esta sección resume la ocurrencia de terremotos y huracanes históricos en Jamaica, y hace una revisión de la amenaza de que tales fenómenos vuelvan a ocurrir.

La tabla 8.1 muestra los huracanes que han ocurrido en Jamaica desde 1871. Esta información se obtuvo básicamente de dos fuentes: Pielke (1990) y Tannehall (1956). La frecuencia con que los huracanes han azotado a la isla confirma que Jamaica está situada en una de las regiones de huracanes más activa del mundo. El intervalo de 37 años entre los huracanes Charlie (1951) y Gilbert (1988) fue más del doble del último intervalo entre huracanes (1886-1903). Durante este período hubo sólo uno que casi golpea la isla (1980). Más de una generación pasó sin experimentar un huracán hasta la llegada de Gilbert en 1988, en tanto que generaciones anteriores habían experimentado ya tres huracanes directos y algunas otras alertas que no llegaron a concretarse.

Los huracanes pueden causar daños directos a los edificios como consecuencia de la fuerza de los fuertes vientos. También pueden inducir a la ocurrencia de inundaciones costeras como producto de las tormentas que afectan la costa y que pueden agravarse debido a las fuertes lluvias. La lluvia, a su vez, provoca deslizamientos de tierra y de lodo. En Jamaica, las fuerzas del viento, el surgimiento de tormentas, las inundaciones y los deslizamientos de tierra amenazan con dañar las edificaciones. En la isla existen pocas áreas que no están amenazadas por estos cuatro fenómenos.

En 1951 el huracán Charlie devastó la isla. El daño total fue calculado en 30 millones de dólares, y 152 personas murieron. El huracán barrió la isla de este a oeste con vientos de 201 kph, y causó un daño mayor en las regiones sureñas de la isla. En el sector agrícola las pérdidas fueron muy severas, sobre todo en el caso de los cultivos de banano y coco.

Metodología de investigación

Los huracanes y la amenaza sísmica en Jamaica

Introducción

Los huracanes

Tabla 8.1: Huracanes que afectaron a Jamaica desde 1871

Huracanes que entraron en Jamaica	Huracanes mar afuera de Jamaica
1874 1-2 de noviembre	
1879 12 de octubre	
1880 18-19 de agosto	
	1884 7 de octubre (este)
1886 17 de setiembre	1886 20 de agosto (oeste)
	1895 19 de octubre (oeste)
	1896 25 de setiembre (sur)
1903 11 de agosto	
	1905 5 de octubre (este)
	1910 9 de setiembre (norte)
1912 18 de noviembre	
	1915 12-13 de agosto (norte)
1916 15 de agosto	
	1917 23 de setiembre (norte)
1924 7 de noviembre (tormenta tropical)	
1933 29 de octubre	
1944 20 de agosto	
1951 17 de agosto (Charlie)	
	1980 5-6 de agosto (norte) (Allen)
1988 12 de setiembre (Gilbert)	

El 12 de setiembre de 1988 Jamaica fue azotada por el huracán Gilbert, uno de los peores huracanes que ha golpeado la isla en este siglo. Se desplazó de este a oeste, ligeramente hacia el sur del centro de la isla, causando una gran devastación y grandes inundaciones. Gilbert fue clasificado en la categoría 5, la más alta. El reporte de la velocidad del viento informó que ésta fue de entre 209 y 225 kph, y que llegó hasta los 274 kph. Aunque el impacto del huracán se sintió a través de toda la isla, los poblados del este y el oeste llevaron la peor parte de la devastación. A lo largo de la isla, 100 000 casas fueron dañadas, 800 000 personas (25% de la población) quedaron sin hogar; los abastecimientos de electricidad fallaron: 40% de los sistemas de transmisión y 60% de los sistemas de distribución fueron destruidos; los sistemas de telecomunicaciones fallaron; 45 personas murieron; y los sembríos fueron arrancados. Las pérdidas en el sector agrícola se calcularon en cerca de 400 millones de dólares, con un total en pérdidas de 1400 millones de dólares. El huracán provocó fuertes lluvias, grandes inundaciones y deslizamientos.

La amenaza sísmica

Jamaica ha tenido una historia larga de terremotos. El catálogo que da cuenta de la ocurrencia de este fenómeno en Jamaica, desarrollado por Tondin y Robson, enumera 336 terremotos sentidos en la isla entre 1667 y 1971. Los más dañinos fueron el de 1692, que destruyó Port Royal, en ese entonces la ciudad capital, y el de 1907, que destruyó Kingston. Uno de los más recientes es el terremoto de Woodford, ocurrido el 13 de enero de 1993 a 10 km al norte del centro de Kingston, que causó algunos daños y un gran pánico. La figura 8.2, reproducida de un informe elaborado por Pereira (1977), muestra la distribución de terremotos de intensidad mayor a VI en el siglo, para el período 1879-1978.

El miércoles 7 de junio de 1692, un terremoto destruyó la colonia Británica de Port Royal en Jamaica: dos terceras partes del pueblo cayeron al mar. La restante fue golpeada

por un tsunami. Cerca de 2000 personas murieron. En 1959, una investigación arqueológica de los restos enterrados de la antigua ciudad descubrió que aunque muchos edificios habían quedado agrietados por los temblores, bloques enteros de tiendas y casas habían sido llevados virtualmente intactos bajo el mar por los deslizamientos de secciones de tierra. Ni la magnitud ni el epicentro de Port Royal se conocen con precisión. La intensidad tradicional asignada a Port Royal es de X.

El terremoto del 14 de enero de 1907 fue el último que causó daños severos; la ciudad capital, Kingston, fue destruida. En ese tiempo la mayoría de los edificios estaban construidos de ladrillos y quedaron seriamente dañados. Los pocos edificios con construcción de acero y albañilería armada quedaron en pie con muy pocos daños. El terremoto provocó incendios que se extendieron a lo largo de Kingston. Al final, cerca de 1000 personas perdieron la vida y 90 000 quedaron sin hogar. En Kingston se le asignó una intensidad de IX.

El 13 de enero de 1993, en la víspera del aniversario del terremoto de 1907, un terremoto de magnitud 5,4 sacudió la ciudad de Kingston. El epicentro se localizó en Woodford, 10 km al norte del centro de Kingston. La intensidad máxima asignada fue de VII, en un área de 25 km a la redonda del epicentro y restringida a las áreas de los poblados del este (de acuerdo con un reporte especial del EERI sobre el terremoto publicado en abril de 1993). Los movimientos de tierra ocasionaron un buen número de deslizamientos de tierras y rocas, desniveles localizados y hundimientos submarinos. Dos cables ópticos submarinos, algunas tuberías y caminos fueron dañados. Se reportaron daños menores y agrietamientos en edificios. Algunas casas particulares cercanas al epicentro fueron dañadas severamente, y algunos servicios eléctricos y telefónicos fueron suspendidos.

Jamaica se sitúa a 140 km al sur de la zona fronteriza de la plataforma que se encuentra en medio de la Placa del Caribe y la Placa del Atlántico Norte. Investigaciones anteriores identificaron la Fosa Caimán, una franja de 200 km de norte a sur del mar Caribe, entre Cuba y Jamaica, como una zona de terremotos (e.g., Sykes y Ewing 1965). Investigaciones más recientes sugieren que Jamaica está incorporada a la placa Norte del Caribe cuyo movimiento está representado por una flexión restringida superiormente en la parte lateral izquierda de la tectónica de placas de la región (Mann y otros 1985).

El epicentro del evento en Woodford fue determinado con exactitud sobre la superficie de la isla. Geólogos y sismólogos han sugerido que la información obtenida de este evento trae nuevos aspectos en cuanto a la localización de las fuentes de los terremotos usados para determinar el riesgo sísmico en Jamaica.

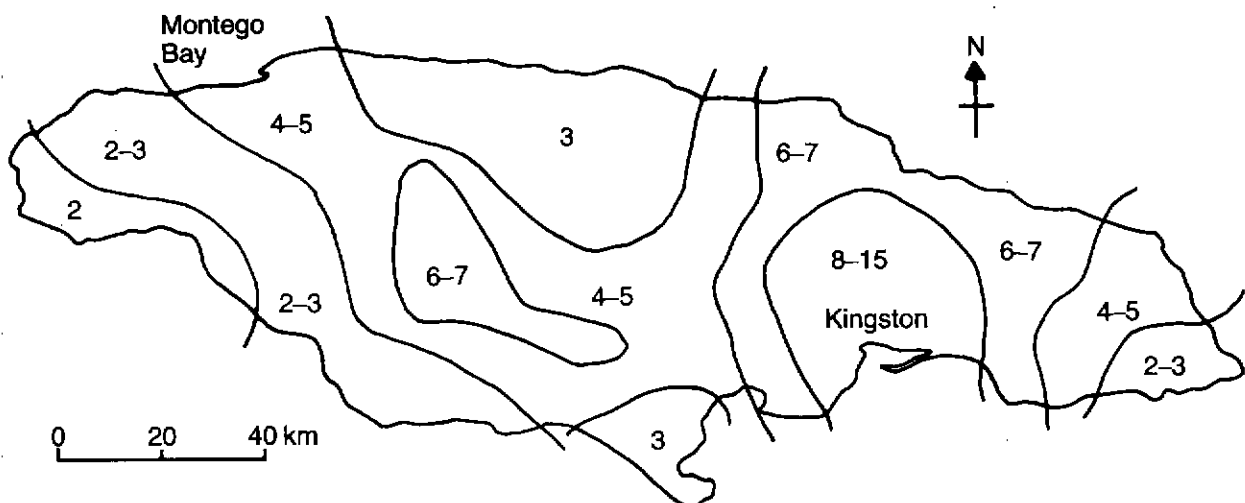


Figura 8.2:

Número de eventos de intensidad mayor o igual a VI en un siglo, correspondiente al período 1879-1978. Fuente: Pereira (1977).

Mitigación de las amenazas en Jamaica

Introducción

Al principio el desarrollo del código de diseño estructural en el Caribe fue promovido por el Consejo de Organizaciones de Ingeniería del Caribe (CCEO) en los años setenta.

Ellos patrocinaron el desarrollo de códigos para el diseño resistente a terremotos y a la fuerza del viento, y sostuvieron una serie de conferencias internacionales, seminarios y talleres sobre el desarrollo de los estándares de diseño en el Caribe. El desarrollo del programa de mitigación de desastres para Jamaica es un resultado de sus propias iniciativas, impulsadas a través del PPCPPD, que se iniciaron en el Caribe en 1981. Esta sección discute la iniciativa del PPCPPD y luego examina específicamente el enfoque jamaíquino de la mitigación de los desastres naturales.

Iniciativa del PPCPPD

Siguiendo la ola de desastres ocurridos en el Caribe en 1979 y 1980, e incluyendo los huracanes David (1979) y el Allen (1980), los gobiernos de las islas del Caribe (incluida Jamaica) y Guyana en Sudamérica promocionaron la mitigación de los desastres en reconocimiento de la importancia de los efectos de los desastres naturales sobre la salud y la economía de la región. La intención era cambiar el enfoque tradicional hacia el manejo de los desastres, del énfasis en la fase de la emergencia a la mitigación de los desastres a través de la preparación y prevención. Éste fue adoptado por varios organismos, tales como la Conferencia de Ministros de Salud de la Comunidad del Caribe, la Comisión Económica para Latinoamérica de las Naciones Unidas y la Asamblea General de las Naciones Unidas. El resultado fue el establecimiento del PPCPPD en 1981.

El proyecto cubrió 28 países en el Caribe y fue financiado principalmente por la Agencia Internacional de Desarrollo Canadiense (CIDA), la Comunidad Económica Europea (EEC) y la Agencia Internacional Norteamericana para el Desarrollo/Oficina de Asistencia Extranjera en Desastres (USAID/OFDA). El programa fue administrado por la Secretaría de CARICOM, la Liga de Sociedades de la Cruz Roja (LRCS), la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y la Oficina de Ayuda para Desastres de las Naciones Unidas (UNDRO). El objetivo establecido por el PPCPPD fue el de promover la prevención y preparación para el desastre en la región, ayudar a cada país a ejecutar programas de mitigación para reducir el daño potencial de las amenazas naturales y mejorar el manejo de desastres. Las actividades de preparación estuvieron enfocadas en el establecimiento de organizaciones nacionales de preparación y planificación en cada país para mejorar el manejo de desastres. El programa de prevención se orientó hacia un mejor diseño y construcción a través de entrenamiento técnico y apoyo en el desarrollo de códigos de construcción.

En el área de la asistencia técnica, expertos del PPCPPD apoyaron el desarrollo de planes nacionales para enfrentar los desastres naturales, el establecimiento de oficinas destinadas a la preparación para los desastres, el nombramiento de coordinadores nacionales de desastre, el establecimiento de centros de operación para emergencias nacionales, la formación de subcomités que traten con información pública, educación, evaluación de daños, provisión y distribución de comida, manejo de recursos, investigación y rescate, respuesta de emergencia en aeropuertos, manejo de pérdidas humanas, rehabilitación y reconstrucción. El PPCPPD también aseguró los fondos para proveer una cadena regional de radio para la comunicación en caso de desastres. Una gran cantidad de sus actividades estuvo dedicada al manejo de desastres. Sin embargo, fue parcialmente instrumental en el desarrollo del Código de Construcción Uniforme del Caribe (CUBIC), que aporta las consideraciones apropiadas a los efectos de las amenazas naturales como los huracanes y terremotos.

El PPCPPD jugó un papel muy importante en el desarrollo de la concienciación pública y gubernamental respecto de la necesidad de programas para la prevención y preparación para los desastres. Asimismo, estuvo directa o indirectamente involucrado en el proceso que impulsó al Gobierno y a los cuerpos profesionales de ingenieros para el desarrollo de programas nacionales dirigidos a la mitigación de desastres en el Caribe. El programa se

terminó en marzo de 1991, con la recomendación de establecer una organización permanente con una base financiera sólida para facilitar un programa a largo plazo que reduzca el impacto de los desastres recurrentes.

El Gobierno de Jamaica ha establecido una estructura de manejo de emergencias bien definida y una Oficina de Preparación para Desastres (ODP) que se hace responsable de coordinar todas las actividades relacionadas con el manejo nacional de desastres. La ODP no tiene autoridad legal y, por lo tanto, sólo puede operar con la cooperación de otros cuerpos, tales como la policía, el ejército, el departamento de bomberos y otras organizaciones gubernamentales y no gubernamentales. Un estudio publicado por Ahnad, Corby y Saunders sugirió que esta falta de autoridad legal y la fragmentación de responsabilidades obstaculizaron la provisión efectiva de ayuda en respuesta al deslizamiento que destruyó la villa de Preston en marzo de 1986.

*Preparación
para los desastres
en Jamaica*

La prevención de desastres en Jamaica está basada en el desarrollo y la aplicación de códigos de diseño para enfrentar los huracanes y las fuerzas sísmicas, y en un sistema de planificación y control de edificaciones. Además, da entrenamiento con el fin de mejorar la práctica de la construcción para mitigar los efectos de las amenazas naturales. Las construcciones ingenieriles están hechas con base en los códigos de diseño apropiados capaces de soportar los huracanes y las fuerzas sísmicas. Por otro lado, las edificaciones que no son diseñadas por ingenieros, por lo general, no consideran recomendaciones de códigos. Sin embargo, Jamaica reconoce la necesidad de entrenar y educar a los pequeños constructores de estructuras no ingenieriles, de manera que adopten una guía de principios simples para reducir el daño potencial de los terremotos y huracanes.

*Prevención
de desastres
en Jamaica*

En 1993 el Gobierno publicó una guía de diseño en el Código Nacional de Edificaciones de Jamaica (NBCJ). En caso de terremotos, la guía refiere al diseñador a los "Los Comentarios y Requisitos Recomendados para la Fuerza Lateral" de la Asociación de Ingenieros Estructurales de California (SEAOC). En el caso de Jamaica se determinó el coeficiente de la zona, que representa la intensidad del movimiento del suelo, usando los mismos principios del Código de la SEAOC, y se aceptó un valor de 0,3 (i.e., zona 3). Sin embargo, después del terremoto de enero de 1993 surgieron ciertos criterios respecto de si este valor debía aumentarse a 0,4 (i.e., zona 4). Este punto fue discutido por Adams (1993).

*Códigos de diseño
para terremotos*

Como parte de la iniciativa del PPCPPD, en 1985 se publicó el CUBIC. Éste incorporó los principales aspectos del SEAOC para el diseño sísmico. Se esperaba entonces que el Código de CUBIC fuera legalmente adoptado por los países del Caribe. Hasta el momento de la investigación para este informe, el proceso legislativo para la adopción del CUBIC no se había iniciado en Jamaica. La revisión del NBCJ de 1992 adoptó las consideraciones del CUBIC para los efectos causados por los terremotos con la mínima modificación de la nueva metodología para el cómputo de la cortante basal introducida por el código actual de la SEAOC. El NBCJ reconoce que el código de la SEAOC es más integral en su modo de tratar las irregularidades estructurales, los requisitos para detalles y materiales, los cimientos y las estructuras que no forman parte del edificio. Recomendada referirse al código de la SEAOC para tratar estos aspectos. El prólogo del NBCJ de 1992 declara: "en cualquier caso, se recomienda referirse al código de SEAOC para todas las edificaciones que excedan los 6 pisos o 65 pies de altura" (casi 20 m).

El NBCJ contiene los requisitos de diseño para vientos fuertes y huracanes. Este tipo de diseño para casos extremos se basa en la velocidad del viento de 200 kph, que corresponde a un período de retorno de 50 años para una ráfaga de 3 s. Los requisitos para este diseño específico se obtienen de los estándares apropiados de EE.UU. y Gran Bretaña, tales

*Códigos de diseño
para vientos
y huracanes*

como el Código de Seguridad Nacional de América (para el diseño de postes de madera) y el Código de Estrándares y Práctica Británico -CP3 Capítulo V, Parte II (para el diseño de edificaciones). El NBCJ se usa a menudo para el diseño contra la fuerza de los huracanes. Sin embargo, a veces se usan otros códigos; por ejemplo, el código de la Asociación Profesional de Ingeniería de Barbados (BAPE).

Prácticas de diseño para estructuras no ingenieriles

Las estructuras que no son diseñadas por ingenieros, incluyendo la mayoría de las edificaciones residenciales en Jamaica, no poseen un aporte significativo de ingeniería o de arquitectura. Para reducir el daño potencial de estas estructuras como consecuencia de terremotos o huracanes, es posible introducir a un bajo costo conceptos simples de diseño de resistencia a huracanes y terremotos. La CRDC tiene en Jamaica un papel clave en la promoción de estos conceptos simples, para lo que usa gráficos en panfletos fáciles de entender y que se pueden distribuir y utilizar en el entrenamiento de los pequeños constructores locales y propietarios de casas. Un ejemplo de este tipo de información se da en la figura. 8.3, tomada de una publicación de la CRDC titulada *Huracanes y casas: Consejos de seguridad para construir una casa de madera*.

Revisión de la práctica actual
Introducción

Para evaluar si el programa de mitigación de desastres de Jamaica fue apropiado y efectivo, es necesario analizar los daños causados tanto por el huracán Gilbert en 1988 como por el terremoto de Woodford en 1993. Estos eventos son pruebas a escala natural que indican las fortalezas y debilidades del programa. Las lecciones extraídas de la experiencia de Jamaica serán invaluable para ayudar a identificar dónde se necesita aplicar recursos para un mayor beneficio en los programas de mitigación de desastres.

Daños por el huracán Gilbert

El huracán Gilbert causó daños significativos a las estructuras ingenieriles como los hospitales y escuelas, así como a las estructuras hechas por constructores locales, como son las edificaciones residenciales. Los daños fueron documentados y estudiados por un número de profesionales que llevaron a cabo una investigación en el sitio después del evento. El punto de referencia para esta revisión tuvo como antecedente el seminario "Los efectos del huracán Gilbert sobre las edificaciones y servicios construidos por ingenieros en Jamaica", organizado por el Instituto Jamaicano de Ingenieros con la asistencia de la Sociedad Canadiense de Ingenieros Civiles. Mucho de lo que se ha reportado aquí ha sido confirmado o completado con información obtenida de entrevistas en Jamaica.

LOS LISTONES SE LEVANTARÁN SI SE CLAVAN SÓLO CON CLAVOS SIMPLES

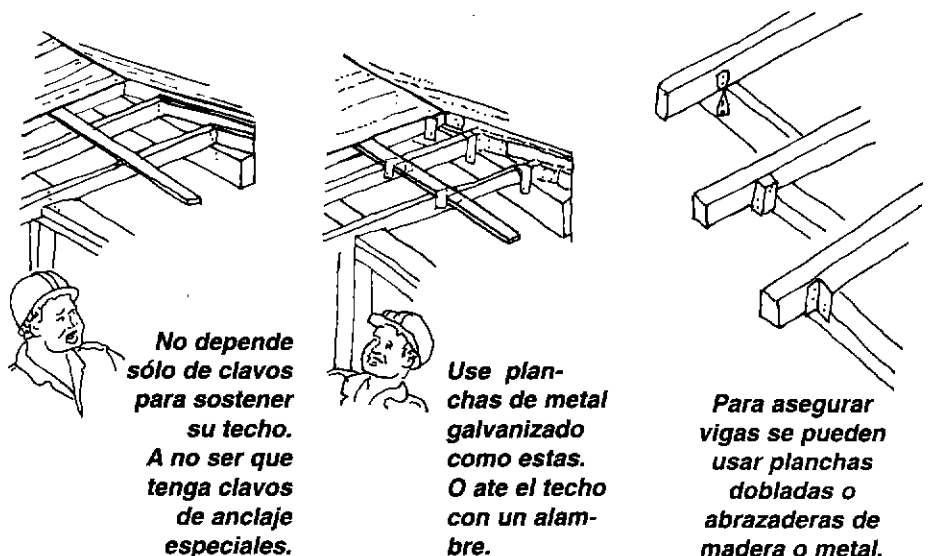


Figura 8.3:
Ejemplo de los panfletos fáciles de entender preparados por CRDC (página obtenida de Huracanes y casas: Consejos de seguridad para construir una casa de madera).

- **Sistemas de líneas vitales.** Los huracanes afectaron cerca de 50% de los sistemas de agua y desagüe en diferentes grados, que van desde daños menores a destrucción total. Fueron dañadas varias edificaciones, estaciones de bombeo, manejo de químicos y actividades administrativas; la mayoría de los techos con estructura de madera fueron completamente dañados. Los techos de las principales edificaciones en St. Andrews y St. James fueron severamente dañados. No se sabe si estas edificaciones fueron diseñadas para soportar cargas de huracanes. Hubo daños significativos en algunos de los elementos para el tratamiento y distribución de agua a lo largo del país. Las tomas de agua y tuberías fueron dañadas como resultado de los deslizamientos de lodo y tierra; en el pueblo de Vineyard, dos grandes tanques de almacenamiento fueron seriamente dañados. Cerca de 95% del suministro normal de agua fue restablecido tres meses después de ocurrido el huracán.
- **Sistema de telecomunicaciones.** El daño a los sistemas de comunicación fue relativamente pequeño. En el cerro Catherine, una torre diseñada para soportar una velocidad del viento de 200 kph fue derribada por fuertes vientos. La interrupción mayor ocurrió a consecuencia de los daños que sufrió el lugar donde se localizan los servicios telefónicos internacionales, cuando el agua entró a través de aberturas dejadas por las ventanas que habían sido desprendidas por el viento. Las edificaciones que albergaban equipo técnico, diseñadas para soportar vientos huracanados, tuvieron un buen desempeño. Sin embargo, algunas estructuras viejas perdieron sus techos; no se sabe si estas edificaciones fueron diseñadas o reforzadas de acuerdo con los códigos de diseño de Jamaica.
- **Sistemas eléctricos.** El mayor problema fue el daño a las líneas de distribución. Mientras que las torres de acero que sostienen las líneas sufrieron daños menores, cerca de 20-30% de los postes de madera fueron sacados de raíz o rotos. Los postes fueron diseñados para soportar una presión del viento de 43,6 kg/m², el estándar relevante para Jamaica, adoptado del Código de Seguridad Nacional de los Estados Unidos. Williams (1989) lo ajustó a una velocidad del viento equivalente a 96,5 kph. Tomando en cuenta los factores de seguridad, Williams concluyó que algunos de los postes que fallaron habían experimentado velocidades del viento que excedieron los 208,2 kph. Los techos de un número de servicios eléctricos a lo largo de la isla fueron dañados.
- **Edificaciones no residenciales.** Allen (1989) proporciona un excelente resumen de los daños a edificaciones causados por el huracán Gilbert. La información presentada aquí proviene principalmente de su investigación. Los daños causados por el viento a las edificaciones no residenciales fueron principalmente el desprendimiento de los techos y, en algunos casos, la pérdida de la estructura de ellos. Un número de edificaciones que fueron diseñadas para soportar huracanes, y que son vitales para las operaciones posteriores a un desastre, fueron severamente dañadas, pues perdieron sus techos; entre ellas, más de diez hospitales y un número de albergues temporales tales como las escuelas. Allen concluyó que la pérdida de la estructura de los techos se debió principalmente a la forma débil en que se encontraban sujetos; por ejemplo, la falta de conexiones adecuadas entre las vigas de madera y las estructuras de acero, y la ausencia de buenas conexiones o debilidad en pernos de anclaje o en las barras de refuerzo en las paredes de bloques de concreto. Otro factor importante que provocó fallas en la estructura de los techos fue la presencia de grandes aberturas que causaron una presión interna alta. Evaluando la evidencia de las fallas típicas en los techos, Allen concluyó que las principales fallas se encontraron en el diseño de sistemas de techado, especialmente en el sistema que ayuda a sujetarlo a la estructura del techo.
- **Edificaciones residenciales.** Aquí el daño ocurrió, en la mayoría de los casos, en el techo y sus estructuras. Algunas casas pequeñas de madera que no fueron ancladas apropiadamente volaron por los aires. Muchos de los daños a las estructuras del techo se debieron a deficiencias en el anclaje como resultado de haber utilizado clavos lisos en lugar de los clavos de espiral o correas. Los factores principales que causaron

la falla en los techos fueron de nuevo el anclaje y el uso de láminas inadecuadas, en algunos casos más delgadas que las requeridas por la NBCJ. Las fallas en las paredes de bloques de concreto fueron pocas. En Jamaica, la mayoría de estas paredes contienen un refuerzo vertical para protección contra terremotos. Este refuerzo tiene la ventaja de proveer un apoyo lateral contra vientos huracanados.

Los daños del terremoto de Woodford

El terremoto de Woodford fue moderado comparado con el terremoto de diseño correspondiente a la zona 3. Más allá de la intensidad, la aceleración máxima del suelo en el terremoto de Woodford pudo haber sido del orden de 0,1g, comparada con 0,3g para los diseños de la NBCJ. Como tal, no se esperaba que ocurrieran daños severos en las estructuras ingenieriles; el daño observado en las estructuras ingenieriles modernas fue mayor de lo que se esperaba, lo que deja entrever que existen debilidades en las prácticas de diseño actuales. La mayoría de los daños ocurrieron como resultado de malos detalles y por ignorar los principios fundamentales del diseño sísmico.

- **Edificaciones no residenciales.** El daño a las edificaciones sismo-resistentes, y en los alrededores de Kingston, fue mayor del que se esperaba de un terremoto moderado. Un informe de Adams (1993) realizó los tipos de daños que ocurrieron en el terremoto. Adams concluyó que los daños no se debieron a la severidad de las fuerzas del terremoto, sino más bien a las diferencias entre el comportamiento estructural asumido y el real; y clasificó el daño en cinco casos típicos, como se detalla a continuación:
 - a. Los cambios en la rigidez de los elementos estructurales debido a los elementos rígidos no estructurales adyacentes. Un ejemplo de esto se muestra en la figura 8.4. El efecto de las paredes externas de relleno consiste en reducir la altura libre de las columnas externas, lo que genera una rigidez elevada y fuerza a éstas a soportar cargas altas en una sección corta de la columna (denominada "columna corta"). En el terremoto, esto causó grietas en las columnas.
 - b. Pobre detalle en la ductilidad. En una situación como la que se menciona anteriormente (a), un buen detalle de ductilidad alrededor de la sección crítica de las columnas hubiera podido prevenir daños catastróficos. La figura 8.5 demuestra este principio. En el terremoto, el problema de la falta de ductilidad causó grietas de corte en las columnas.
 - c. Irregularidad vertical. Este problema de diseño se ilustra en la figura 8.6, donde una porción de un muro de corte es reemplazada por una columna aislada sobre una porción de su altura vertical. Esto lleva a una fuerza excesiva axial que aplasta la columna.
 - d. Fallas por corte de los muros de albañilería. Las aberturas en los muros de corte (puertas y ventanas) reducen el área efectiva del muro de corte. La falla en responder a esto por medio de la mejora en la calidad de la construcción provoca las grietas en el muro (figura 8.7).
 - e. El agrietamiento de las paredes no estructurales anexas o entre elementos estructurales. En el terremoto de Woodford hubo algunos casos en los que las paredes rígidas no estructurales contuvieron marcos que fueron diseñados como marcos espaciales resistentes al momento (figura 8.8). Esto tuvo como resultado el desprendimiento o agrietamiento de las paredes no estructurales.

Un factor que Adams no mencionó es el efecto generado por la falta de control de calidad en el sitio inspeccionado. Durante el terremoto, una falla en una columna en un moderno edificio alto parece haber sido causada por un cambio en la calidad del concreto de la mitad superior de la columna. No está claro si esto se debió a la falta de una inspección adecuada del sitio. Las consecuencias de todos los factores de diseño sísmico deficiente mencionados anteriormente hubieran sido desastrosas en el caso de un terremoto de mayor magnitud.

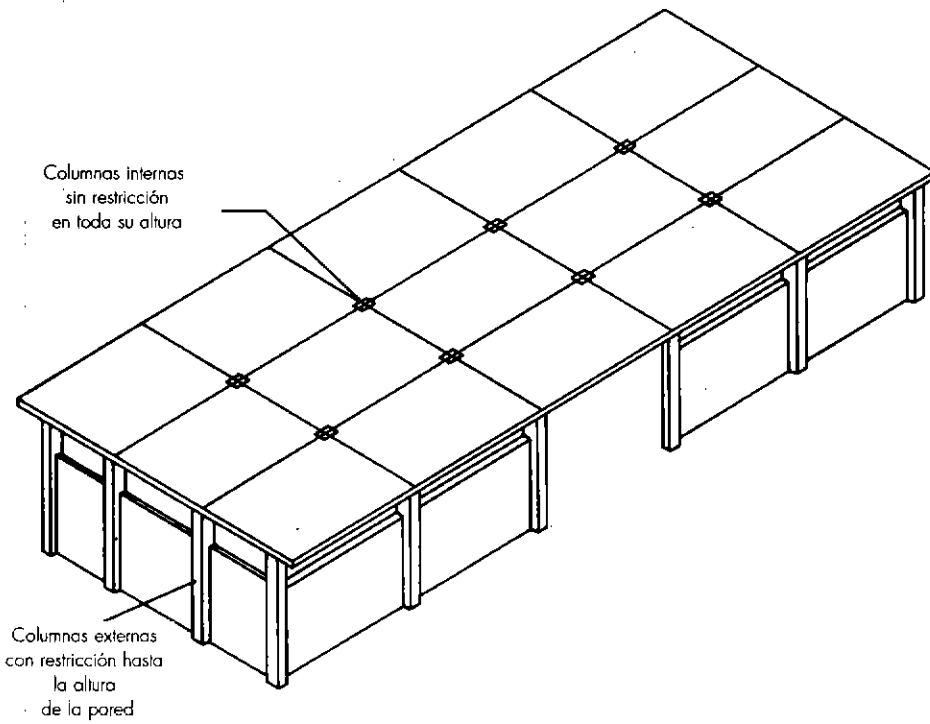


Figura 8.4 (a):
 Construcción típica de ventanas altas en paredes externas de edificación aporcionada. Fuente: Adams (1993).

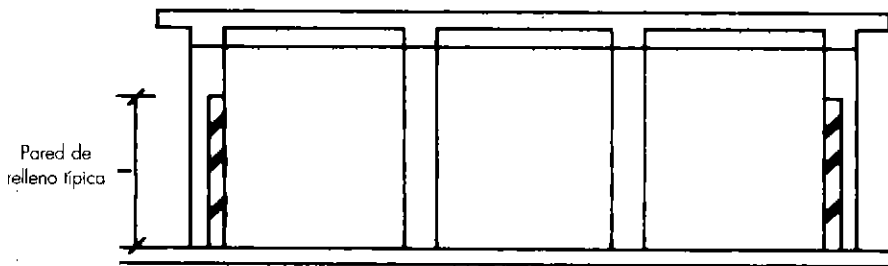


Figura 8.4 (b):
 Sección típica de construcción aporcionada con muros externos de relleno. Fuente: Adams (1993).

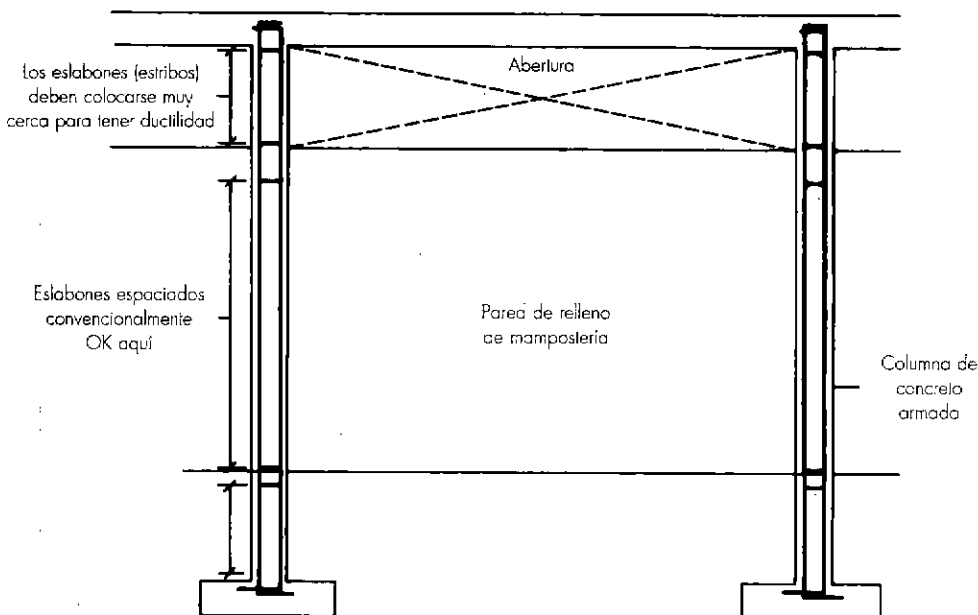


Figura 8.5:
 Diseños de ductilidad para las columnas. Fuente: Adams (1993).

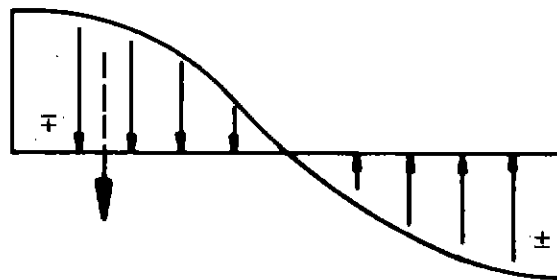
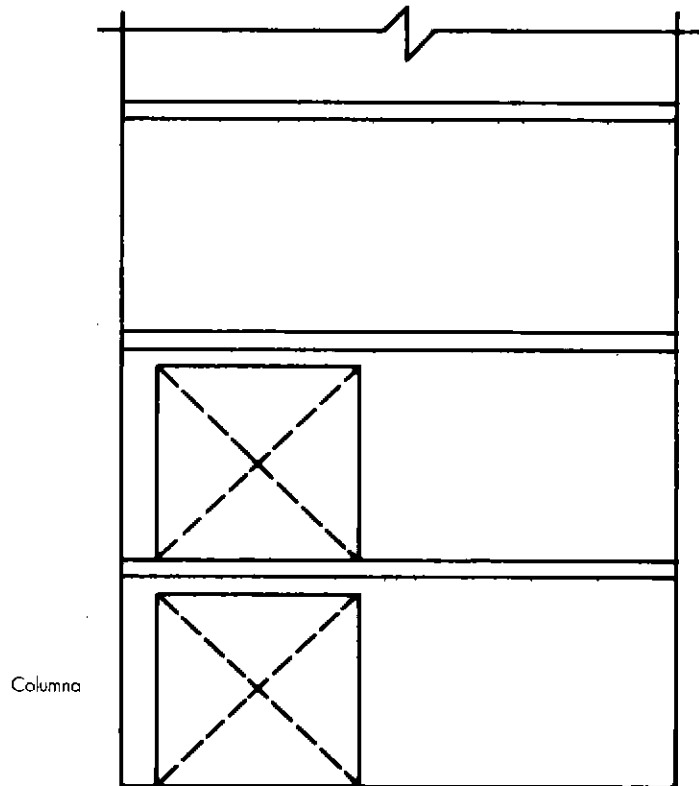


Diagrama de esfuerzo
Muro de corte de ancho total



80

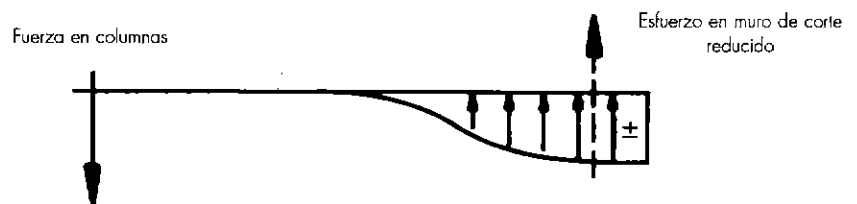


Figura 8.6:
Diagrama de tensión en la reducción del espesor del muro de corte. Fuente: Adams (1993).

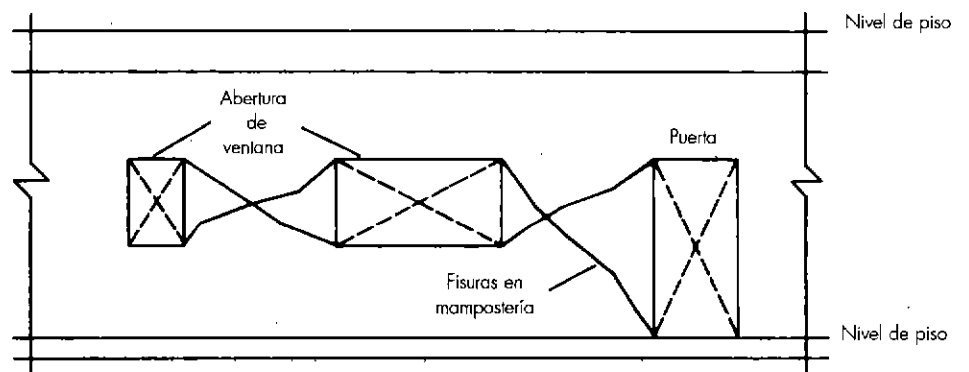


Figura 8.7:
Reducción en la fuerza del corte de los muros de albañilería. Fuente: Adams (1993).

- **Edificios residenciales.** Cerca del epicentro del terremoto, aproximadamente 50 propiedades residenciales particularmente mal construidas, sin reforzar o mal reforzadas, sufrieron daños severos. Las casas modernas en Jamaica son construidas generalmente con bloques de concreto armado de 6 pulgadas con refuerzo; hubo pocos daños sobre este tipo de estructuras, excepto en los casos de mala mano de obra, concreto débil o refuerzos laterales inadecuados.

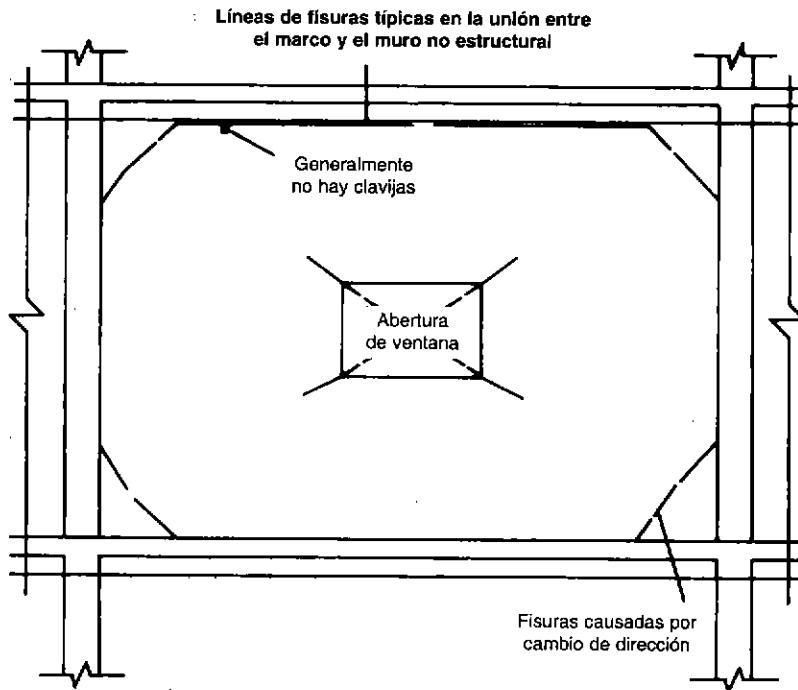


Figura 8.8 (a):
Grietas típicas en muros no estructurales circundados por marcos. Fuente: Adams (1993).

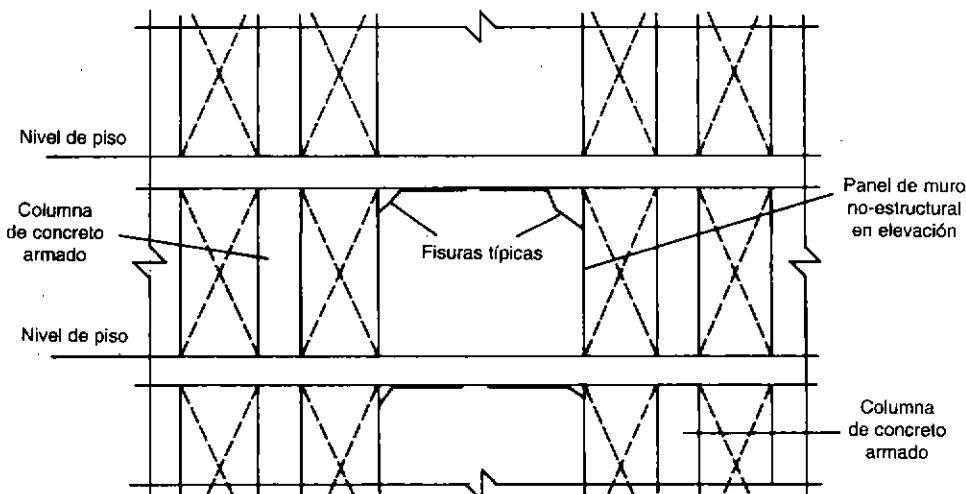


Figura 8.8 (b):
Agrietamiento de los muros no estructurales. Fuente: Adams (1993).

- **Servicios y líneas vitales.** La Comisión Nacional de Agua reportó dos tuberías rotas, mientras que algunas comunicaciones internacionales fueron interrumpidas debido al daño de dos cables ópticos submarinos causado por hundimientos de superficies bajo el mar. En algunas áreas, el abastecimiento de electricidad se perdió debido a las fallas en los transformadores y movimientos de líneas. Esto fue restaurado en 24 horas.

Lecciones, recomendaciones y conclusiones

Introducción

Desarrollo del Programa de Jamaica para la Mitigación de Desastres.

Esta sección presenta algunas lecciones importantes extraídas de la experiencia de Jamaica que podrían beneficiar cualquier programa nacional de mitigación de desastres. Se concluye en la efectividad de la iniciativa del PPCPPD como modelo para crear conciencia en torno a las amenazas naturales, así como para motivar a los gobiernos a desarrollar e implementar medidas de preparación y prevención. También se llama la atención sobre las fortalezas y debilidades del enfoque jamaicano hacia la mitigación de desastres, evaluando el programa a la luz de los daños experimentados con el huracán Gilbert y el terremoto de Woodford. No hay duda de que las lecciones aprendidas de estos dos grandes eventos van a ayudar a Jamaica a mejorar sus programas de preparación y prevención, al tiempo que pueden servir como una buena guía para otros países.

- **PPCPPD.** De acuerdo con la investigación del autor, la iniciativa del PPCPPD (1981-1991) fue calificada como exitosa. Provee un modelo importante, que podría ser desarrollado aún más y mejorado si se lo quiere usar en cualquier parte. Jamaica, como los otros países participantes, se beneficiaron grandemente de la coyuntura generada por el PPCPPD para el establecimiento de programas de desastres naturales. Quizá su mayor contribución fue generar el interés de los gobiernos regionales y organizaciones profesionales hacia los beneficios del manejo de emergencias y desastres, así como procurar recursos que motivaran a los gobiernos a establecer organizaciones de manejo de desastres. En una conferencia sobre los mecanismos de diseño para reducir la vulnerabilidad de los desastres naturales, el asesor de prevención del PPCPPD, en su discurso de apertura, estableció los objetivos del PPCPPD de la siguiente manera:

Los objetivos inmediatos del proyecto son promover y facilitar la adopción de medidas de preparación y prevención en niveles nacionales y regionales, y, en particular, proveer de cooperación técnica, a solicitud, como se indica a continuación:

1. Determinar la situación y tendencias actuales con respecto a la organización y programas de los países participantes, y evaluar el impacto de las amenazas naturales en sus economías (daños directos e indirectos) y sobre el medio ambiente.
2. Asistir a los gobiernos en la adopción de medidas de preparación y la formulación de políticas de prevención.
3. Asistir en el establecimiento y fortalecimiento de los servicios técnicos, estadísticos y administrativos necesarios para una planificación y ejecución eficiente de las actividades relacionadas con desastres.
4. Determinar los requisitos necesarios para establecer los mecanismos regionales permanentes y hacer recomendaciones apropiadas en relación con su naturaleza, funciones, localización, fuentes de financiamiento y relaciones con las agencias nacionales e internacionales existentes, tales como UNDRO, OPS/OMS, PNUD, LRCS y otras organizaciones voluntarias y gubernamentales.
5. Apoyar en la toma de acuerdos de asistencia mutua entre los países participantes relacionados con la temática de desastres.
6. Entrenar personal nacional en todos los campos relacionados con la prevención y preparación para los desastres.
7. Servir como una oficina de coordinación y banco de datos para toda la información relacionada con las necesidades de preparación para el desastre, actividades o proyectos en el Caribe.
8. Ayudar a la formación de otros proyectos de cooperación técnica para promover la preparación y prevención para los desastres y la asistencia mutua en casos de desastre, así como apoyar en la identificación de fuentes de recursos para financiar su ejecución.

Estas son metas loables, y la mayoría han sido alcanzadas. Sin embargo, el financiamiento incoherente y la gran diversidad cultural, geográfica y económica en el Caribe han generado ineficiencias y burocracia. Esto podría dar un sesgo adverso a la evaluación costo/beneficio del programa.

De un rápido repaso de los documentos relacionados con la iniciativa del PPCPPD, y de las entrevistas con los diferentes profesionales de Jamaica, parecería que el programa se enfocó demasiado en la preparación y poco en la prevención. Más se podría haber hecho con el entrenamiento y la educación para el diseño, construcción y adecuación con miras a prevenir pérdidas durante la ocurrencia de fenómenos naturales. Mientras que el PPCPPD fue instrumental en el desarrollo del Código de Edificaciones CUBIC, no logró llevar esto a la realidad a través del entrenamiento y la publicación de guías prácticas. Esto pudo haber ayudado significativamente en la reducción del impacto del huracán Gilbert y el terremoto de Woodford en Jamaica.

- **Códigos de construcción y comentarios.** La NBCJ, que se apoya principalmente en los estándares de Gran Bretaña, Canadá y Estados Unidos, funciona adecuadamente con miras al diseño frente a las fuerzas de huracanes y terremotos. Sin embargo, los profesionales usan un número de códigos diferentes; aunque éstos podrían ser similares, sería mejor estandarizarlos en un grupo de códigos que apoyen en el entrenamiento, la educación y el control de calidad. La posición de CUBIC necesita ser clarificada; en Jamaica, su uso permanece opcional y limitado. Un esfuerzo significativo se dedicó al desarrollo del CUBIC, e incluye lo mejor de la experiencia de la región y de los grupos profesionales de ingenieros internacionales. Este esfuerzo no debe ser desperdiciado.

En general, los códigos de construcción en uso en Jamaica son adecuados para enfrentar las fuerzas de huracanes y terremotos. Después del huracán Gilbert, Allen (1989) hizo una recomendación válida para que la NBCJ se pusiera al día al incluir los requisitos mínimos que aseguraran la resistencia de los techos frente a los fuertes vientos. Si esto se hubiera aplicado para cuando ocurrió el huracán, las pérdidas y daños a edificaciones hubieran sido mucho menores.

Los códigos de construcción son herramientas para el diseño, y proporcionan los principios que deben ser seguidos. En Jamaica existe la necesidad de desarrollar otros documentos que expliquen los principios del diseño para huracanes y terremotos y que sirvan como guías de construcción que ayuden a entender y estimular diseños adecuados.

- **La amenaza sísmica y los huracanes.** La NBCJ especifica que la velocidad de diseño por viento es de 200 kph. Aunque las velocidades del viento del huracán Gilbert excedieron este valor en algunas partes del país, pareciera que los diseños actuales son apropiados para la región. Comparada con la amenaza de huracanes, la del terremoto no está bien entendida. El reciente terremoto en Woodford ha cuestionado si el coeficiente de la zona debe ser aumentado de 0,3 a 0,4. Conversaciones con expertos sismólogos de la Universidad de las Indias Occidentales en Jamaica revelaron la necesidad de mejorar la comprensión de la amenaza sísmica, pero faltan recursos financieros. Comprender la amenaza sísmica es la base para la definición de los diseños que soporten cargas sísmicas. Se deben procurar los recursos para que esta investigación fundamental sea llevada a cabo. Fue desafortunado que no hubiera registros de los movimientos fuertes del terremoto de Woodford, ya que los sismómetros para medir los movimientos fuertes necesitaban ser reparados y no había dinero para hacerlo.
- **Entrenamiento y educación.** El Instituto Jamaicano de Ingenieros (JIE) considera que la falta de entrenamiento y conciencia pública contribuyeron enormemente a la realización de inadecuados diseños frente a fuerzas de huracanes y terremotos. Al reconocer la necesidad de mayor capacitación, el Instituto promueve seminarios de educación continua, algunos de los cuales tienen como fin crear conciencia en los ingenieros respecto del diseño para huracanes y terremotos. Una de las razones dadas por el JIE para limitar el uso del CUBIC es la falta de recursos financieros para copiar y distribuir el código a través de todo el país y para sostener seminarios de entrenamiento para su uso. El daño causado a las edificaciones ingenieriles en el terremoto de Woodford demuestra claramente la necesidad de entrenar a los ingenieros; aunque los códigos son adecuados, los ingenieros no son entrenados en los principios fundamentales del diseño sismo-resistente. El entrenamiento debe ampliarse para abarcar también a arquitectos e inspectores de edificaciones.

Algunos miembros del JIE expresaron su punto de vista con respecto al reciente estatuto legislativo para el registro de ingenieros profesionales, que resultaría en una mejor práctica de la ingeniería; sin embargo, ellos señalaron una falla en el sistema regulador, ya que éste no prohíbe presentar planos de construcción a una persona no calificada.

En el sector informal, la CRDC está realizando un trabajo importante al promover los principios simples fundamentales de diseño de huracanes y terremotos entre medianos y pequeños constructores, para lo que utiliza panfletos fáciles de entender y seminarios de entrenamiento. Este esfuerzo puede traer el mejor beneficio por dólar gastado, al reducir el impacto de las amenazas naturales. La CRDC es una organización sin fines de lucro con la conciencia y la capacidad técnica para influir en la construcción de las nuevas edificaciones y la readecuación del sector no ingenieril. Su enfoque podría ser de gran ventaja en un número de países en desarrollo. Desdichadamente, carece de los recursos financieros adecuados para que su misión sea más efectiva. El trabajo de la CRDC debe ser fomentado.

- **Control de la construcción.** De la limitada investigación que se llevó a cabo, ésta parece ser el área más frágil en la industria de edificación y construcción en Jamaica. En teoría, los planes de construcción son enviados al municipio local, que aprueba los planos luego de un cuidadoso escrutinio para saber si son adecuados; esto incluye el diseño para cargas extremas de huracanes y terremotos. Los municipios también son responsables de conducir visitas de inspección para asegurar que la construcción esté de acuerdo con los diseños aprobados. Las investigaciones llevadas a cabo revelaron a los ingenieros y constructores una visión general de que los municipios no poseen suficientes profesionales entrenados adecuadamente para asegurar un control de construcción apropiado. El Departamento de Obras Públicas del Gobierno de Jamaica ha sido en el pasado responsable del entrenamiento de los superintendentes de los municipios; sin embargo, el último programa de entrenamiento tuvo lugar en 1978. El área de control de edificaciones y de calidad necesita ser mejorada si se desea procurar el ambiente para que la prevención de desastres sea efectiva. Es necesario que los recursos, los entrenamientos para inspección, el control y los departamentos de planificación de los municipios sean los adecuados para llegar así a ser una parte integral del programa de mitigación de desastres en Jamaica. Para las estructuras no ingenieriles es necesario instituir un sistema de control para la planificación y construcción que vayan de la mano con el entrenamiento y la educación de constructores locales.
- **Mantenimiento y readecuación.** En los últimos 15 años se ha tomado mayor conciencia sobre la necesidad de diseño para las amenazas naturales y un programa efectivo creciente de diseño para la mitigación de desastres. Sin embargo, un gran número de edificaciones ingenieriles y no ingenieriles han sido construidas con poca consideración para condiciones extremas. Por lo tanto, existe la necesidad de readecuar las estructuras para reducir el impacto de huracanes o terremotos. Las fallas desnudadas por el huracán Gilbert implican que se puede ganar mucho al readecuar y asegurar las estructuras de los techos, lo que sería relativamente barato pero reduciría de manera considerable el daño a las edificaciones y sus contenidos. También es necesario dar atención al mantenimiento, ya que la falta de fondos para tal fin fue uno de los factores que contribuyó a algunos de los daños ocasionados por el huracán Gilbert en las edificaciones. Como resultado de la encuesta de los daños del huracán Gilbert realizada por Allen (1993), éste recomendó que el mantenimiento para reparar las conexiones y los cimientos que fueron debilitados a causa del deterioro es esencial en la búsqueda de soluciones para limitar los daños durante la ocurrencia de un huracán. Guías y recomendaciones de readecuación y mantenimiento pueden ser desarrolladas para ayudar al programa de mitigación de desastres en Jamaica. Como mínimo, se deben instituir programas de mantenimiento y reforzamiento en todos los edificios esenciales para las operaciones posteriores al desastre, tales como hospitales, escuelas, centros de coordinación de emergencias, albergues de emergencia y torres de comunicación.

- **Organización para desastres.** Hay mucho que decir con respecto a dar a una sola organización la responsabilidad y autorización legal para asegurar el desarrollo, implementación y control apropiado para el diseño de edificaciones y construcciones en Jamaica; parece ser que las responsabilidades están divididas actualmente entre diferentes organizaciones. Mientras se trata de justificar la manera en que las cosas han evolucionado, el Gobierno hace una revisión de la responsabilidad y autoridad que puedan proveer un esquema más coherente para el manejo de desastres.

En los últimos 15 años Jamaica ha desarrollado y puesto en práctica un programa de mitigación de desastres. El reciente huracán Gilbert y el terremoto de Woodford demostraron que el programa de preparación para desastres trabajó efectivamente, pero señaló las debilidades del programa de prevención. Las principales debilidades se resumen de la siguiente manera:

- A pesar del gran esfuerzo por desarrollar códigos de construcción apropiados, la disseminación de esta información y el entrenamiento necesario de diseñadores, arquitectos y contratistas son insuficientes. Se deberían destinar mayores recursos financieros a las organizaciones –como la CRDC en el sector informal y el JIE en el sector formal– para el entrenamiento y la educación. Se necesitan principios y guías de diseño que puedan ser comprendidos por la industria de diseño y construcción para complementar los códigos de edificación.
- Los códigos de diseño necesitan ser mejorados, según los resultados de las encuestas que siguieron a los dos eventos. Las recomendaciones de Allen (1989) deben considerarse, especialmente las que se relacionan con el desarrollo de los estándares mínimos para el anclaje de las estructuras de los techos y el techado; además, deben ser incorporadas a la NBCJ. Dentro del código sísmico, se necesita más investigación de la amenaza sísmica para definir la zonificación sísmica de Jamaica, especialmente después de la nueva información derivada del terremoto de Woodford.
- Es necesario reforzar el sistema para el control de construcción e inspecciones en el sitio. Se necesitan recursos adecuados y entrenamiento para asegurar que los estándares sean aplicados apropiadamente.
- Se deben expandir los procedimientos de prevención de desastres para incluir una guía para la readecuación y mantenimiento, especialmente para las edificaciones y facilidades requeridas para operaciones posteriores al desastre. La lección principal de los daños causados por el huracán Gilbert es que mucho del daño pudo haber sido evitado si se ponían en práctica medidas de readecuación de bajo costo y un buen programa de mantenimiento.

La iniciativa del PPCPPD ha funcionado muy bien en el Caribe, y debe ser considerada como un modelo para otras áreas del mundo.

La conclusión general es que Jamaica tiene un buen programa de preparación y prevención de desastres. Las lecciones aprendidas del huracán Gilbert y del terremoto de Woodford podrían ayudar a Jamaica a mejorar su programa de prevención. Parece que existe mucho entusiasmo y buenas habilidades técnicas en el país. El problema principal es la falta de recursos financieros. La experiencia de Jamaica pone en claro que un gasto relativamente pequeño para mejorar las estructuras existentes contra huracanes y terremotos reducirá considerablemente las pérdidas potenciales causadas por tales eventos.

El autor quiere agradecer a las siguientes personas en Jamaica por el tiempo dedicado a las entrevistas:

Sr. Paul Saunders, Oficina de Preparación para Desastres y Coordinación de Ayuda de Emergencias.

Sr. John Nelson, Oficina de Preparación para Desastres y Coordinación de Ayuda de Emergencias.

Conclusiones y recomendaciones

Reconocimientos

Sr. Stephen Hodges, Centro de Desarrollo y Recursos de Construcción.

Sr. Rafi Ahmad, Departamento de Geología de la Universidad de las Indias Occidentales.

Sr. John Pereira, presidente del Instituto de Ingenieros de Jamaica.

Sr. Al Adams, SMADA.

Sr. Christopher Lyew, presidente del Instituto de Arquitectos de Jamaica.

Sr. Colin Powell, planificador urbano, Departamento de Planificación de la Ciudad.

Sr. Gibson, director del Ministerio de Obras Públicas.

Sr. Malcom Housen, presidente de la Asociación de Constructores Incorporados de Jamaica.

Sr. Leslie Gabay, ingeniero civil, Corporación Kingston y St. Andrews.

Sra. Margaret Wiggins-Grandison, Unidad Sísmica de la Universidad de las Indias Occidentales.

Sr. Franklin McDonald, director ejecutivo de la Autoridad de Conservación de Recursos Naturales.

Su ayuda y amabilidad es de mucho aprecio. Un agradecimiento especial al Sr. Paul Saunders por su colaboración para arreglar todas las entrevistas y por el apoyo y la hospitalidad ofrecidos al autor durante su visita.

Gracias también al Sr. John Nelson por su permiso para usar los servicios de la ODP durante este tiempo.

Riesgo sísmico y preparación en Egipto

9

A.S. Elnashai

Este capítulo está dedicado a analizar el riesgo sísmico y las medidas de planificación y mitigación en Egipto. Primero se hace una revisión del crecimiento de la población en Egipto en general y de El Cairo en particular, junto con las estadísticas de edificaciones. Esto último confirma que existe una gran proporción de estructuras no ingenieriles o de una ingeniería pobre, las que exhiben una alta vulnerabilidad sísmica, especialmente cuando se toma en cuenta que los códigos oficiales de Egipto anteriores a 1989 no tenían consideraciones sísmicas.

La evaluación de las fuentes potenciales de terremotos en Egipto y la información histórica e instrumental disponible, tal como se presenta en este capítulo, puntualiza las severas dificultades encontradas en el análisis de la amenaza sísmica en Egipto. Se pone énfasis en que los estudios basados en un período corto, en términos geológicos, tienden a ser retrospectivos y no predictivos. Se presentan dos ejemplos para las áreas del Gran Cairo y el Mar Rojo, donde existen mejores registros comparados con el resto del país. Los catálogos elaborados son usados para estimar, conservadoramente, picos máximos de aceleraciones del suelo para diseño.

Luego de un breve repaso de la historia del desarrollo de los códigos sísmicos, se hizo una comparación de los códigos y recomendaciones actuales. Existen marcadas diferencias tanto en el alcance como en los valores de diseño, lo que causa confusión. Se brindan pequeñas anotaciones sobre la educación y entrenamiento antes y después del terremoto del 12 de octubre de 1992. Finalmente, se dan recomendaciones con respecto a la planificación para la mitigación de efectos de terremotos futuros.

Egipto es el estado árabe más grande, con una población de casi 60 millones (figura 9.1). El Gran Cairo, la capital de Egipto, comprende el Distrito de El Cairo, Giza rural y urbana (como distrito y como ciudad) y la ciudad de Shubra El Khaima, como se muestra en la figura 9.2. Las estadísticas presentadas en esta sección se basan en el censo de noviembre de 1986, tal como fueron publicadas en árabe por la Organización Central para la Movilización Nacional y Estadísticas en 1987. Esta es la encuesta oficial más reciente sobre edificaciones y población, y se lleva a cabo aproximadamente cada diez años.

Antes de El Cairo, consideremos las estadísticas de población de Egipto, como se ve en la tabla 9.1, donde se toma en cuenta que el Gran Cairo alberga actualmente a 20% del total de la población del país.

Estadísticas históricas de la población de El Cairo

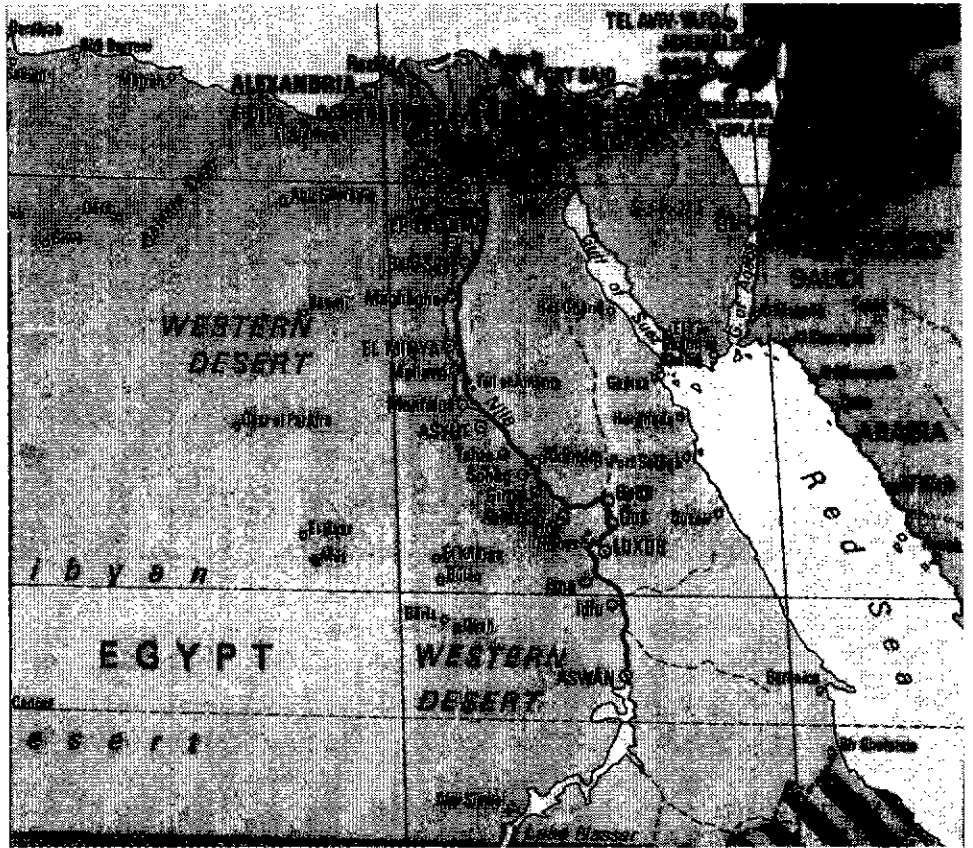


Figura 9.1:
Mapa de Egipto.

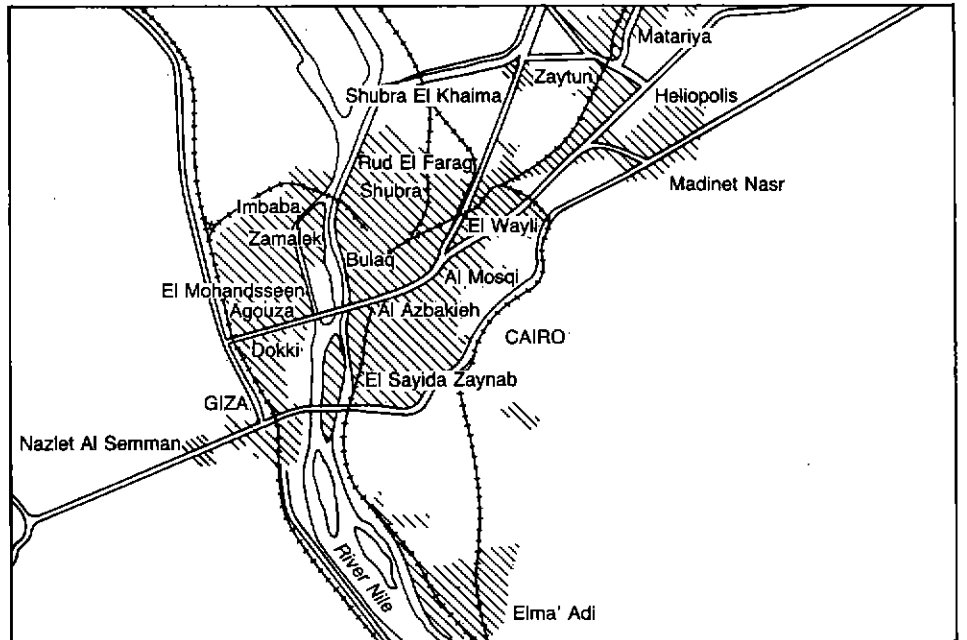


Figura 9.2:
Mapa de El Cairo.

Tabla 9.1: Estadísticas de la población histórica en Egipto

Años	1882	1897	1907	1917	1927	1937	1947	1960	1966	1976	1980
Población (millones)	6,71	9,66	11,11	12,72	14,18	15,92	18,97	26,08	30,08	36,63	48,20
Incremento (%)	-	43	15	14	11	12	19	37	15	21	31
Anual (%)	1	2,8	1,5	1,4	1,1	1,2	1,9	2,8	2,5	2,1	3,1

Nota: Se presentan distorsiones a partir de la exclusión de la población que se encontraba en el Sinaí y Gaza entre 1967 y 1975. Asimismo, la inmigración proveniente de otros países árabes, como Iraq y Libia, que afectó consistentemente los datos.

Si se considera la migración interna de la población, y que el Gran Cairo atrae a la mayoría de estos inmigrantes de áreas rurales hacia las urbanas, se aprecia la importancia de la posibilidad de que un terremoto golpee en El Cairo o sus cercanías. Otra estadística interesante son los porcentajes de los pobladores que se han transformado de rurales a urbanos, lo que revela sustancialmente la migración interna, como se muestra en la tabla 9.2.

Tabla 9.2: Distribución de la población urbana y rural (%)

Años	1960	1966	1976	1986
Población urbana	37,4	40,5	43,8	43,9
Población rural	62,6	59,5	56,1	56,1

La tabla 9.2 indica que el porcentaje de la migración rural-urbana es de aproximadamente 0,5% de la población total por año; la mayoría de estos migrantes va al Gran Cairo por razones económicas. La tabla 9.3 muestra el cambio de porcentajes de población total del Gran Cairo (Cairo y Giza) para el mismo período.

Tabla 9.3 Porcentaje de cambio en el Gran Cairo (Cairo y Giza)

Años	1960	1966	1976	1986
Porcentaje total	17,9	19,5	20,4	20,2
Porcentaje de cambio	–	+8,9	+4,6	-0,9

El censo de 1986 hace la distinción entre el área “desarrollada” del Gran Cairo y el área “regional”. La primera de ellas comprende las ciudades de El Cairo, Giza y Shubra El Khayma, además del distrito de Giza. El área “regional”, de la que es parte la “desarrollada”, incluye, además de las ciudades mencionadas, las ciudades de El Badrashin, El Hawandiah y Shebeen El Kanater; los pueblos de El Khankah, Kaliaub, El Kanater y El Khaireyah, y algunos poblados en el distrito de El Saff y Shebeen El Kanater.

Tomando en cuenta estas definiciones, en 1986 la población del Gran Cairo desarrollado era de 8,67 millones de personas, mientras que la del área regional alcanzaba los 9,75 millones de habitantes. Esta última constituye aproximadamente la quinta parte del total de la población egipcia que vive en el Gran Cairo. Si consideramos que la población aumenta a una tasa anual de 2,5%, la del Gran Cairo desarrollado habría sido de 11 millones cuando el terremoto del 12 de octubre de 1992.

Las edificaciones potencialmente expuestas a los movimientos de los terremotos comprenden una amplia variedad de materiales, sistemas estructurales, edad, condiciones de mantenimiento, uso y conceptos de diseño. Debido a que El Cairo es una ciudad antigua que se ha convertido en una ciudad cosmopolita de 11 millones de habitantes (figura 9.2), la categorización de las edificaciones existentes no es de ningún modo una tarea fácil. A continuación se hacen comentarios generales acerca de las características de las estructuras del Gran Cairo. La larga historia de Egipto y El Cairo se refleja no sólo en el número de monumentos históricos en la ciudad, que varían desde las grandes pirámides hasta las edificaciones islámicas y coptas, sino también en los artefactos guardados en construcciones más modernas.

Pueden subdividirse entre construcciones antiguas y construcciones más modernas. La mayoría de las edificaciones –como Al Mosqi y Al Azbakieh– están en los barrios de El Cairo antiguo. Fuera de El Cairo central, las localidades del Nazlet Al Semman, cerca de las pirámides, son un ejemplo de las áreas semirurales que están compuestas en su mayoría por estructuras no ingenieriles, con agregados recientes de estructuras modernas de con-

Descripción
y estadísticas de
las edificaciones
en existencia
General

*Estructuras
no ingenieriles*

creto armado. Los materiales de construcción más usados son la albañilería de piedra con mortero de cal, con dimensiones de muros en el rango de los 500 mm, pues se la consideraba como una manera efectiva de conservar las casas frías durante el largo verano. Los sistemas estructurales son bastante complejos, con muchas edificaciones anexas apoyadas en un muro común. Tales estructuras se encuentran por lo general en un pobre estado de mantenimiento.

Las estructuras no ingenieriles son todavía utilizadas en muchas partes del Gran Cairo, en la forma de casas de ladrillos de barro (adobe) en áreas que bordean la tierra rural agrícola. Así, se las puede encontrar en las cercanías del distrito del El Mohandsseen, donde muchas de las modernas edificaciones de gran altura están muy cerca de residencias familiares primitivas. En general, esta clase de estructuras no ingenieriles se encuentra en mejor estado que las casas urbanas antiguas que no fueron diseñadas por ingenieros.

Estructuras ingenieriles

El Cairo moderno incluye un gran número de estructuras de albañilería y concreto armado diseñadas de acuerdo con los códigos de práctica; muy pocas estructuras usan acero como material de construcción, con excepción de las fábricas ubicadas en las nuevas comunidades periféricas de las ciudades de El Asher de Ramadan y El Saalam.

Uno de los sistemas estructurales comúnmente usados es el de edificaciones de varios pisos de losas planas de concreto armado, debido a su versatilidad y a la ventaja del espacio abierto. Tales estructuras son diseñadas para soportar únicamente presiones verticales, con un mínimo de requisitos de rigidez transversal considerada para los edificios altos debido al efecto del viento. Aparte de éstas, la gran mayoría de las estructuras ingenieriles son estructuras de losa-viga-columnas de concreto armado diseñadas únicamente para la carga vertical; el código de práctica para las estructuras de concreto introdujo los criterios de diseño sísmico sólo en 1989.

Las condiciones climáticas y los requisitos sociales han afectado la configuración de las estructuras de pisos múltiples en las áreas de mayor afluencia de El Cairo. Desde un punto de vista arquitectónico, es muy común el requerimiento de grandes plantas abiertas para edificaciones residenciales y grandes balcones en voladizo; ambas características provocan columnas muy solicitadas y plantas irregulares. Además, la mayoría de estas estructuras albergan comercios en el primer y segundo piso, así que los muros de relleno de estas locaciones son omitidos, lo que causa distribuciones irregulares de rigideces longitudinales y primeros pisos débiles o "piso suave".

Existe un gran número de edificios de gran altura usados como modernas oficinas, y que fueron diseñados por firmas extranjeras. En el diseño de muchos de ellos –como el Ramsis Hilton– se consideró una resistencia mínima a terremotos, pues no se tomaron en cuenta los códigos de práctica egipcios.

A continuación se dan algunas estadísticas de edificaciones para el Gran Cairo (incluyendo la Ciudad de El Cairo y Giza rural y urbana).

Estadísticas de edificaciones

La tabla 9.4 indica que un gran porcentaje de edificaciones del Gran Cairo (25,2%) son estructuras de losa-viga-columna de concreto armado, casi en su totalidad sin resistencia sísmica intencional. El porcentaje más alto, 36%, es la clase de estructura construida en albañilería (u otros tipos de construcción con muros) con losas de concreto armado. Las estructuras prefabricadas son un mínimo porcentaje. De lo anterior se deduce que aunque las estructuras de concreto armado fueron diseñadas para la resistencia lateral a terremotos, 75% de ellas quedaron expuestas a muy bajos prospectos de resistencia sísmica, ya que las estructuras de muros de carga reforzados no son usadas normalmente en Egipto. Es también de notar que las estructuras hechas de tierra sin horneado y modelada constituyen 13% de las edificaciones expuestas en existencia. Mientras que estas estructuras pueden concebirse con buenos detalles para un desempeño sísmico razonable, la técnica no está establecida en Egipto.

Tabla 9.4: Edificaciones por tipo de construcción (1986)

Distrito	CA l-v-c Prefabricado (a)	Losas (b)	Otros techos (c)	Adobe (d)	Otros (e)	Total (f)	
Cairo	136 364	2199	132 169	95 525	7981	14 729	388 967
Giza urbana	54 327	594	86 162	23 672	16 411	7443	188 609
Giza rural	19 332	–	83 031	63 696	84 583	6615	257 257
Total	210 023	2793	301 362	82 893	108 975	28 787	834 833
Porcentajes	25,2	0,3	36	22	13,1	3,4	100

- (a) Estructuras losa-viga-columna de concreto armado.
 (b) Losas de concreto armado sobre muros.
 (c) Otros tipos de techado (por ejemplo, madera).
 (d) Albañilería de ladrillos sin hornear y moldeada de tierra.
 (e) Edificaciones diferentes de las anteriores.
 (f) Sin considerar edificaciones gawaziah.

Para clarificar más el panorama con relación al estado de las edificaciones en existencia en Egipto, en la tabla 9.5 se presentan las estadísticas por año de construcción.

Tabla 9.5: Edificaciones por año de construcción (terminadas o bajo construcción en 1986)

Distrito	Antes de 1940	1940–59	1960–79	Después de 1980	Total*
Cairo	66 485	65 339	154 629	106 698	393 151
Giza urbana	17 099	28 959	72 492	74 118	192 668
Giza rural	NA	NA	NA (a)	NA (a)	271 614 (b)
Total	83 584	94 298	227 121	180 816	857 433
Porcentajes (c)	14,2	16,2	38,8	30,8	100

* Incluye edificios en construcción en 1986.

- (a) Datos disponibles sólo para antes o después de 1975; edificaciones sin incluir las de adobe.
 (b) Tomado como el número total de la tabla 9.4 más los edificios en construcción en 1986.
 (c) Referidos al número total excluyendo la Giza rural.

El intervalo de 1960 a 1979 muestra un gran aumento en la construcción, principalmente a raíz del establecimiento de mayores vínculos con el mundo occidental después de la guerra de 1973. Las edificaciones de antes de 1940 constituyen 14% de las edificaciones existentes. Es muy probable que estas estructuras sean altamente vulnerables, debido a la falta de mantenimiento y de criterios de diseño sísmico, o inclusive a que no fueron utilizados criterios sobre vientos. El porcentaje de edificaciones pertenecientes al período 1960-1979 tampoco da seguridad: en ellas se usaron materiales inferiores de construcción debido a las estrictas restricciones de importación y a la baja calidad del cemento local y acero de refuerzo. Basándose en el "año de construcción", es también razonable concluir que las edificaciones que pueden estar sujetas a fuertes movimientos telúricos son bastante vulnerables.

De lo anterior es razonable concluir que la vulnerabilidad de los edificios a sufrir daños a causa de terremotos es muy alta. Esto tiene implicaciones en los planes de emergencia y en las medidas de mitigación, así como en las prioridades que deben ser tomadas en cuenta si se quiere evitar que se repitan los efectos causados por el terremoto del 12 de octubre de 1992.

Registros históricos e instrumentales confirman que Egipto ha estado sujeto a terremotos dañinos a través de los siglos, y es razonable presumir que lo va a seguir estando.

Los registros históricos para el valle del Nilo y el delta, así como para la costa del Mar Rojo, son adecuados y relativamente completos, pero carecen de detalles y a menudo su información de campo es deficiente. Para el resto del país, debido a su naturaleza desértica, los registros históricos son casi totalmente desconocidos, sin ningún medio visible para evaluar su actividad de largo plazo. Además, la parte occidental de Egipto, al oeste 30° Este, carece por completo de información de actividad en el siglo XX.

Evaluación
de la amenaza
sísmica
Material para
una evaluación de
amenazas en Egipto

Más de la mitad de los terremotos que afectaron el valle del Nilo y su delta han sido muy dañinos y tuvieron su epicentro en otras partes. Se trata por lo general de eventos de gran magnitud en el Arco Helénico, la costa este mediterránea de Egipto o el Golfo de Suez. Menos de la mitad de los terremotos sentidos en Egipto, todos ellos de magnitudes relativamente pequeñas según los estándares mundiales, parecen haber sido eventos locales. El epicentro del más fuerte de éstos se ubicó a lo largo de la costa oeste del Mar Rojo y el Golfo de Suez. Casi en ningún caso es posible definir con precisión el área epicentral de los eventos locales. Los epicentros macrosísmicos que pueden ser asignados tienden a seguir el curso del Nilo. Esto significa que son distorsionados por la distribución y densidad de la población.

Desde el punto de vista tectónico, Egipto es afectado por los límites de la placa definida por la extensión del escudo frente al Mar Rojo y sus extensiones al norte del escudo de Suez y las fallas ascendentes en la interfase (figura 9.3), así como por el Arco Helénico al norte, que concentra gran parte de la sismicidad.

La zonificación sísmica del país sólo puede obtenerse a través de conjeturas, pues existe poco conocimiento sobre los movimientos tectónicos de Egipto y su sismicidad a largo plazo. Históricamente, Egipto no ha sido bien provisto de estaciones de registros sísmológicos. Es sólo recientemente que se han establecido estas estaciones, lo que ha permitido una localización más exacta de los terremotos. Durante las dos primeras décadas de este siglo la localización instrumental tuvo un control bastante pobre, y estuvo a cargo principalmente de la cadena global de las estaciones Milne. Éstas cuentan sólo con una estación en Abbasia que más tarde se trasladó a Helwan. Aunque la cadena mundial mejoró para el período de 1920 a 1960, la localización de los terremotos en Egipto siguió siendo muy inferior que la de otras partes del mundo. Algunos adelantos recientes, descritos en secciones posteriores, han mejorado la situación significativamente. Sin embargo, hasta el terremoto del 12 de octubre de 1992 ningún acelerómetro fue colocado en Egipto, situación que ha cambiado desde entonces.

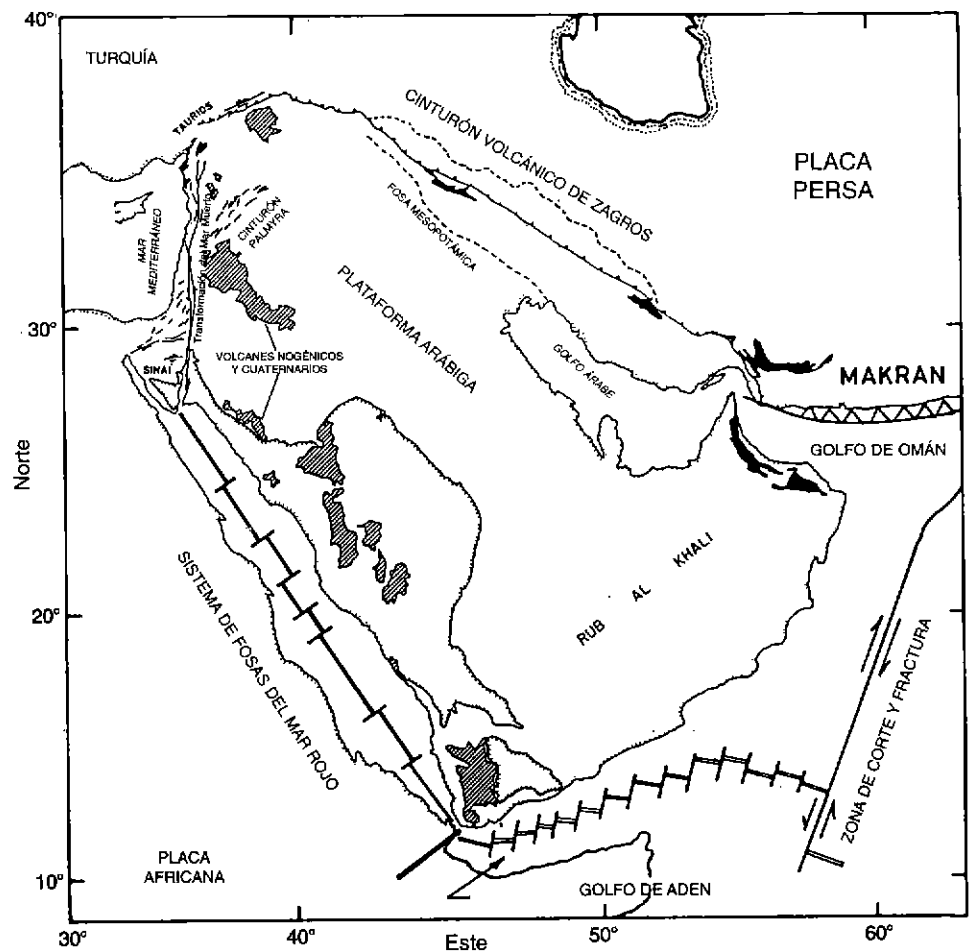


Figura 9.3:
Posición tectónica
de Egipto.

La información sobre el historial de los terremotos está documentada en los anales de la historia antigua de Egipto y la literatura árabe. En lo que sigue se describen unos pocos de los mayores terremotos históricos presentados por Said (1990):

Actividad histórica de los terremotos (2800 a.C.-1900 d.C.)

- **2800 a. C. Terremoto en la provincia de Sharquia.** Este terremoto, de localización desconocida, fue severo y causó fisuras profundas y grietas en el suelo en Tell Basta, de la provincia de Sharquia. La intensidad máxima estimada es de VII en un área confinada cerca del centro poblado.
- **1210 a. C. Cerca del evento en Abu-Simbel.** Se cree que este terremoto causó grietas en el templo de Ramsés II en Abu-Simbel, en el Egipto Superior, y que tuvo una intensidad máxima estimada en VI.
- **221 a. C. Este terremoto tuvo una intensidad estimada de VII en el oasis Siwa.** Sin embargo, causó destrucción en cerca de 100 localidades en Libia. Es muy posible que este sismo sea el gran evento que ocurrió en la Italia central, con una intensidad de X, causando allí fallas en la superficie y cambio en los cursos de los ríos.
- **27 a. C. Terremoto en Thebes, en el Alto Egipto.** Este terremoto causó grandes daños, dejando sólo cuatro centros poblados sin afectar en Thebes, Alto Egipto.
- **18 de marzo de 1068.** Terremoto de Aqaba. Este es el primer terremoto históricamente conocido, y tuvo un fuerte efecto en el área del Golfo de Suez. Fue localizado cerca de Aqaba en el norte del Golfo de Aqaba. El evento fue sentido fuertemente en El Cairo, donde dañó una mezquita.
- **8 de agosto de 1303.** Terremoto en la costa mediterránea. El epicentro de este evento fue localizado en el sur de El Cairo, donde quedaron dañadas muchas mezquitas e iglesias, entre ellas la mezquita de Amr-Ibn-El Aas. Los daños también fueron considerables en el valle del Nilo hasta Qus en el sur y Alejandría en el norte, donde muchos de los muros de la ciudad y el faro de 120 m de altura colapsaron. También se reportó que el sismo causó serios daños en Rodas y Heraklion, en Grecia. Se encontró que las ondas del sismo ocurrido en el sur de Grecia y la costa egipcia viajaron hacia el sur con muy poca atenuación, debido a la naturaleza intacta del manto. Esto explica lo inusual de los fuertes efectos de los sismos originados en esa región, incluyendo este evento.
- **7 agosto de 1847. Terremoto de Fayoum.** Este sismo fue notable y tuvo una intensidad de VII en la región de Fayoum. Ochenta y cinco personas murieron y 62 quedaron heridas; fueron destruidas 3000 casas y muchas mezquitas. También fue sentido en todo Egipto. Se reportaron daños severos en lugares tan lejanos como Assute. En El Cairo, 100 personas murieron y miles de casas fueron destruidas. Más aún: miles de personas resultaron heridas y miles de casas fueron dañadas en diferentes partes del país.
- **24 de junio de 1870.** Este terremoto costero fue ampliamente sentido en Egipto y en diferentes localidades de Grecia, sur de Turquía y Palestina. El evento tuvo una intensidad de VII en Alejandría y VI en muchas partes del delta del Nilo y Cairo.

En la tabla 9.6 se presenta la magnitud de los terremotos en Egipto y sus alrededores para este período. En ella se identifica la fuente y la distancia a El Cairo, que es la región más poblada de Egipto y sujeto primordial de este capítulo. La descripción de las características de algunos de estos sismos aparece en la tabla 9.6.

Actividad sísmica reciente (1900-1992)

- **Terremoto en la costa de Alejandría el 12 de setiembre de 1955.** Este sismo se sintió en toda la cuenca del este Mediterráneo, en Palestina y Chipre, así como en las islas Dodecanise y tan lejos como Atenas. En Egipto se sintió fuertemente y dejó 22 muertos y daños en el delta del Nilo entre Alejandría y El Cairo. Se reportó la destrucción de más de 300 edificios en Rosetta, Idku, Damanhour, Mahmoudya y Abu-

Hommos. Se asignó una intensidad máxima de VII a un área limitada en la provincia de Bihira, donde cinco personas murieron y 41 resultaron heridas. También se reportaron intensidades de V y VII en otras 15 localidades. El epicentro del evento fue localizado a lo largo de la prolongación de la placa tectónica en el Golfo de Suez, en el Mar Rojo.

- **Terremoto de Abu-Dabbab, 12 de noviembre de 1955.** El evento tuvo una magnitud de 5,5 y fue sentido en la parte superior de Egipto, en Aswan y Qena, y hasta en El Cairo, pero no se reportó ningún daño. La profundidad de este evento no está bien localizada, pero se encuentra claramente dentro de la corteza. El mecanismo focal tiene componentes de falla normal y horizontal con desplazamiento producido por una tensión comprensiva mínima norte-norte-oeste y una tensión comprensiva máxima norte-este. Los planos de falla golpean ligeramente de este a oeste, de norte a sur o de nordeste a suroeste.
- **Terremoto de la Isla de Shedwan, 31 de marzo de 1969.** La magnitud de este terremoto fue de 6,3, con una intensidad máxima de IX en una pequeña parte de la Isla de Shedwan. La población de la isla estaba dispersa, y la conformaban unas pocas unidades del Ejército. Los deslizamientos de tierra y deslizamientos y caídas de rocas fueron comunes. Se encontraron fisuras y grietas en el suelo con una dirección principal casi paralela al Mar Rojo-Golfo de Suez. A una distancia de menos de 10 km del área fracturada en el mar, uno de los arrecifes de coral submarino fue levantado unos metros encima del nivel del mar después de este evento. Este terremoto fue precedido por 35 temblores severos durante los últimos 15 días del mes de marzo de 1969, así como por otra larga serie de temblores. El epicentro del temblor principal se localizó al noroeste de la Isla de Shedwan. Parece que una ruptura se propagó al sudeste. El largo de la ruptura de falla encontrada es de 30 km. La profundidad focal fue localizada a 5-20 km aproximadamente. El punto de mecanismo focal señala hacia una falla normal que actúa hacia el noroeste con un componente de desplazamiento hacia la izquierda. Este mecanismo es consistente con los primeros datos del movimiento.
- **Terremoto de Aby-Hammad, 29 de abril de 1974.** Con una magnitud de 4,9, este terremoto se sintió muy fuerte en la región del delta del Nilo. Tuvo una intensidad de V en la provincia de Sharquia. El mecanismo focal de este evento fue un desplazamiento horizontal lateral derecho con hundimiento vertical.
- **Terremoto de Gifl El Kabir del 9 de diciembre de 1978.** Este es el terremoto más grande instrumentalmente localizado en la región sudoeste de Egipto. El epicentro se localiza en el área de Gifl El-Kabir. Este evento tuvo una magnitud de 5,3 y una profundidad focal de 7 a 10 km. La parte sudoeste de Egipto es un desierto despoblado, y la distribución de la intensidad de este terremoto no fue estimada. El plano de falla no pudo ser identificado. La estación más cercana al epicentro de este terremoto es Helwan, a 850 km de distancia, donde no se detectaron temblores antes ni después. También se reportaron muchos otros temblores en la región que no fueron registrados instrumentalmente. Los epicentros de estos terremotos se localizaron en la región estable del Sahara, donde los terremotos nunca fueron instrumentalmente reportados y que era considerada una zona asísmica.
- **Terremoto de Kalabsha, 14 de noviembre de 1981.** Este terremoto tuvo una magnitud de 5,5, y es de importancia debido a su posible asociación con el lago Nasser. A pesar de que el epicentro fue localizado en Kalabsha, cerca de 60 km al sudeste de Aswan, se sintió muy fuerte allí y en las áreas del norte hasta Assute y hacia el sur hasta Khartoum. La intensidad cerca del epicentro es de entre VII y VIII. Se reportaron muchas grietas en el banco oeste del lago y grandes caídas de piedras, además de grietas menores en el banco este. La grieta más grande de éstas medía cerca de 1 m de ancho y 20 km de largo. Este terremoto fue precedido por tres temblores principales y seguido de un gran número de temblores. Parece que este terremoto no tuvo mucha profundidad focal, pues ésta se calculó en el rango de 0 a 10 km. El evento causó alarma debido a su proximidad a la presa de Aswan.

Tabla 9.6: Terremotos en Egipto con $m_s \geq 4,0$

Fecha	Hora	Coordenadas	Magnitud m_s	Distancia de El Cairo (km)	Fuente
1900.01.18	05:29	29,0-33,0	4,1	205	GS
1900.03.06	17:58	29,0-33,0	6,2	205	GS
1906.12.26	13:43	27,0-33,4	4,8	380	EG
1911.01.26	17:35	28,0-33,7	4,3	329	GS
1911.08.22	20:23	28,8-32,6	4,3	191	EG
1920.10.01	02:10	29,5-31,3	4,6	65	EG
1922.06.18	19:39	28,8-32,0	4,2	158	EG
1922.07.29	20:48	30,3-31,2	4,1	25	EG
1922.09.07	01:07	28,0-34,0	4,2	350	SI
1923.12.08	13:32	29,2-31,4	4,3	99	EG
1925.05.20	23:27	30,0-32,0	4,4	69	EG
1927.05.02	06:20	32,5-31,0	4,6	269	MD
1930.06.24	21:47	27,3-30,9	4,0	311	EG
1935.06.14	19:02	29,9-31,3	4,1	20	EG
1938.11.06	15:36	30,2-31,8	4,0	51	EG
1941.04.28	09:21	32,4-32,0	4,2	266	MD
1942.09.21	21:29	29,3-31,0	4,1	91	EG
1947.07.03	03:30	28,9-33,1	4,2	219	GS
1947.12.10	19:18	27,5-34,0	4,2	389	RS
1949.01.06	02:18	32,0-33,0	4,4	268	MD
1951.01.30	23:07	32,4-33,4	5,5	326	MD
1952.02.25	22:48	29,6-32,3	4,0	112	EG
1954.07.24	00:52	31,8-30,6	4,8	201	MD
1954.10.28	13:39	32,4-31,4	4,6	257	MD
1955.09.12	06:09	32,3-29,6	6,4	284	MD
1955.11.12	05:32	25,3-34,6	5,3	623	EG
1962.11.24	02:08	29,4-30,7	4,0	94	EG
1964.10.18	17:31	31,5-32,5	4,2	195	MD
1964.12.09	18:21	32,0-29,5	4,2	272	MD
1969.03.31	07:15	27,6-33,9	6,6	375	RS
1970.12.19	12:15	27,4-33,9	4,3	392	RS
1970.12.19	22:44	27,5-33,9	4,6	383	RS
1971.07.08	23:40	27,5-33,8	4,7	377	RS
1972.01.12	08:15	27,5-33,6	4,6	364	EG
1972.06.28	09:49	27,7-33,8	5,5	360	GS
1973.03.05	23:59	27,7-33,4	4,3	335	EG
1974.04.29	20:04	30,6-31,6	5,0	65	EG
1978.12.09	07:12	24,0-26,4	5,0	830	EG
1981.11.14	09:05	23,8-32,6	5,5	709	EG
1981.11.18	18:50	26,6-30,8	4,0	389	EG
1982.08.20	12:57	23,6-32,6	4,4	731	EG
1983.01.12	12:00	28,5-33,0	4,7	242	GS
1983.08.06	02:07	26,7-32,4	4,2	391	EG
1983.10.30	05:35	27,4-32,1	4,3	300	EG
1984.03.29	21:36	30,2-32,2	4,8	89	EG
1984.04.06	18:30	30,4-33,8	4,0	244	SI
1984.07.02	01:46	25,2-34,5	5,0	627	EG
1985.05.26	16:39	26,2-34,4	4,2	522	EG
1987.12.14	21:15	30,6-32,1	4,1	97	EG
1992.10.12	13:09	29,9-31,2	5,2	20	EG

EG: Egipto intraplaca.

GS: Golfo de Suez.

MD: Mediterráneo.

RS: Mar Rojo.

SI: Sinaí.

- **Terremoto de Aqaba, 3 de febrero de 1983.** Aqaba, en el extremo norte del Golfo de Aqaba, fue golpeada por un terremoto de magnitud 4,9. La sacudida se sintió muy fuerte en el área del epicentro y fue seguida de 56 réplicas de magnitudes entre 1,7 y 4,85 durante los siguientes tres días.
- **Terremoto de Wadi Hagul, 19 de marzo de 1984.** Este evento se originó en el sudoeste de Suez y tuvo una magnitud de 4,7. Se sintió muy fuerte en Suez, Ismailia y El Cairo. Un gran número de réplicas fue registrado por estaciones temporales cercanas. La profundidad focal de este evento se calcula en 10 km.
- **Terremoto de Abu-Dabbad, 2 de julio de 1984.** Se sintió con una magnitud de 5,1 en Aswan, Qona y Quseir. Se operaron cinco estaciones portátiles de campo en el área de Abu-Dabbab desde el 19 de junio de 1984 hasta finales de agosto del mismo año. Se registraron un gran número de temblores antes del terremoto y una extensa secuencia de réplicas. La profundidad focal de toda la secuencia fue de menos de 12 km.
- **Terremoto de Dahshour, 12 de octubre de 1992.** Este es el terremoto más severo que ha afectado El Cairo. La magnitud de la onda de superficie, medida de un número de estaciones tal como fue estimado por el Colegio Imperial de Londres, es de 5,2 (+/-0,2). El terremoto causó 593 muertes y más de 6000 heridos. El daño a los edificios fue extenso: se calculó que 14 000 estructuras fueron afectadas, incluyendo monumentos históricos. Hubo por lo menos dos casos de colapso total que causaron muertos y heridos. Ebulliciones de arena fueron muy extensas en tierra agrícola. Una gran cantidad de réplicas fueron medidas. Debido a la importancia de este terremoto, ocurrido a 20 km de El Cairo, es descrito en detalle por el Instituto de Ingenieros Civiles (1994).

Práctica de diseño sísmico en Egipto

*Desarrollo histórico
de los códigos*

Debido al largo período de ausencia de terremotos destructivos en Egipto, sus códigos de diseño normalmente han ignorado las consideraciones sísmicas. Por eso, y tomando en cuenta las amenazas de importancia resumidas en el capítulo 3, se han construido miles de edificaciones vulnerables, de manera que se verifica la presencia de edificaciones de alto nivel de riesgo. Recientemente, después del terremoto de 1992 se ha considerado necesario el diseño sismo-resistente como un requisito a ser verificado para la construcción de nuevas edificaciones. El desarrollo del diseño sismo-resistente en Egipto se resume a continuación.

La carga dinámica fue mencionada por primera vez en el "Código egipcio de diseño y ejecución de edificaciones de concreto armado" (1969), en la sesión de cargas. Allí el código estableció que las edificaciones deberán ser diseñadas para resistir las cargas que actúan sobre ellas, incluyendo las dinámicas, si las hubiera. No se presentó en el código ninguna descripción de la naturaleza de las cargas dinámicas o el método mediante el cual pueden ser consideradas dentro del diseño. La situación continuó hasta que la Sociedad Egipcia de Ingeniería Sísmica (ESEE) encaminó el desarrollo de consideraciones de diseño sísmico en Egipto mediante la publicación del primer borrador de las "Normas para el diseño sismo-resistente de edificaciones en Egipto" (1988). Estas regulaciones han sido incluidas en las "Normas sismo-resistentes: Una lista mundial, 1988" y ediciones subsiguientes, pero no se las ha reconocido oficialmente para el diseño de edificaciones en Egipto.

A finales de 1989, el Ministerio de Desarrollo, Nuevas Comunidades, Viviendas y Servicios publicó el "Código egipcio de diseño y ejecución de construcciones de concreto armado", que es bastante diferente del publicado en 1969. Esta versión ha incluido por primera vez las fuerzas del terremoto como una carga necesaria que debe ser considerada en el diseño estructural, y contiene consideraciones oficiales de diseño sísmico que deben ser acatadas.

Poco después de la publicación de este Código se publicó el “Código egipcio de práctica para las construcciones de acero y puentes”, sin ninguna consideración sísmica para construcciones de acero. Así, se ha presentado una situación peculiar de tener que considerar las fuerzas de los terremotos para un material pero no para el otro.

A inicios de 1991 el Ministerio de la Construcción publicó el “Código egipcio de diseño y ejecución de cimientos y mecánica de suelo”; el volumen VI de este Código –“Cimientos sujetos a la vibración y carga dinámica”– incluye las consideraciones para el diseño sísmico. Estas consideraciones sísmicas son presentadas de tal manera que pueden ser aplicadas a cualquier tipo de edificación.

Se debe mencionar aquí que la presentación de dos códigos oficiales de diseño sísmico para la misma región puede dar lugar a diversas confusiones. Esto es así porque no está definido cuál puede ser seguido bajo qué condiciones, tomando en cuenta las grandes diferencias entre ellos, como se discute en las siguientes secciones. Tampoco está claro si las consideraciones presentadas en los códigos de concreto armado y de cimentaciones pueden o no extenderse a las estructuras de acero, especialmente porque el código de acero no presenta ninguna consideración sísmica.

En esta sección se consideran tres grupos de recomendaciones para la resistencia sísmica de estructuras de edificaciones disponibles para los ingenieros egipcios. Estas son las recomendaciones no oficiales de la ESEE, el Código de Concreto Armado (CCA) y el Código de Cimientos y Mecánica de Suelos (CCMS). Comparaciones totales cualitativas y cuantitativas son presentadas en Elnashai (1990). A continuación, un resumen de las principales observaciones de una comparación detallada hecha por el autor (Elnashai y Soliman 1994):

- Las recomendaciones de la ESEE son las más conservadoras entre las consideraciones existentes.
- El CCA descuida las características de construcción y actividad sísmica en el diseño de edificaciones en la Zona I, considerando una fuerza de corte en la base de 1% del peso total de la construcción. Esto es totalmente inadecuado.
- El efecto de la condición del suelo sobre la respuesta de construcción está descuidado en el CCA.
- No existen diferencias notables entre los tres documentos para determinar el período estructural y para distribuir en cada piso el corte en la base.
- Se notaron grandes diferencias en el corte en la base obtenido por los documentos considerados. El corte basal total obtenido por la ESEE es 585% y 200% de los valores correspondientes calculados por el CCA y por el CCMS respectivamente. Claramente, la ESEE es excesivamente conservadora, o los otros códigos son inseguros por un margen significativo.
- Los momentos de torsión obtenidos por las recomendaciones de la ESEE son 11,7 y 4 veces más que los valores correspondientes calculados respectivamente por el CCA y el CCMS.
- El código de la ESEE es más conservador en las limitaciones de distorsión de los entrepisos, mientras que el CCA no presenta limitaciones de desviación.
- Son necesarios límites de regularidad más claros y bien definidos en los tres documentos para ayudar al diseñador a identificar el nivel de regularidad de construcción y escoger el método apropiado de diseño.

Es importante notar que en ninguna de las recomendaciones de diseño consideradas en la comparación se dan especificaciones de detalle. Esto lleva a la presencia de edificaciones con una ductilidad limitada y, por lo tanto, poca habilidad para absorber y disipar la energía sísmica. Finalmente, un código de cargas está en desarrollo y ha circulado de una

Comparación de las consideraciones de diseño sísmico de Egipto

manera no oficial para comentarios. Se espera que este código pueda proveer la base para códigos futuros, que tengan que ver con el diseño sísmico de un modo más homogéneo y confiable que los actuales.

Para resumir, mientras que la ausencia de las regulaciones de diseño sísmico con nivel oficial no puede ser justificada en un país con una larga pero velada historia sísmica, la presencia de códigos oficiales conflictivos empeora la situación. Tomando en cuenta que existen ingenieros sísmicos en Egipto que han sido entrenados en centros de excelencia en ingeniería sísmica alrededor del mundo, es sorprendente que los códigos oficiales disponibles tengan un formato tan básico.

La diferencia principal entre las recomendaciones consideradas para el diseño sísmico se encuentra en la aceleración máxima del suelo (PGA). Se hace un intento preliminar para derivar diseños para la PGA, pero a partir de los limitados catálogos disponibles para dos importantes áreas de Egipto. Se espera que este esfuerzo preliminar provea un punto de partida para una futura evaluación de la amenaza sísmica en Egipto.

Evaluación de la PGA para diseño

En esta sección se presentan dos ejemplos de evaluación de amenaza sísmica: para el Gran Cairo y para el Mar Rojo. Se escogieron estas dos áreas porque la primera es la capital y la región más densamente poblada, mientras que la segunda es la zona más sísmica y está experimentando un amplio desarrollo. En este procedimiento las fuentes de incertidumbre son esquematizadas y discutidas, y se enfatiza su implicación para el resto del país.

Diseño de la PGA para el Gran Cairo

En este ejemplo la PGA para el diseño de estructuras en el área del Gran Cairo es investigada con referencia a los terremotos ocurridos en este siglo. Los terremotos con magnitud $m_s \geq 4,0$ son presentados en la tabla 9.6. Las ecuaciones de recurrencia de magnitud apropiadas son revisadas, y se usa una relación de atenuación derivada de los terremotos europeos.

Cerca de la mitad de estos terremotos se encuentran a distancias de menos de 100 km de la capital. La mejor interpretación de esta información lleva a la siguiente frecuencia de distribución acumulada:

$$\log(N) = 3,08 - 0,96(m_s) \tag{1}$$

donde N es el número anual de terremotos de magnitud $\geq m_s$.

En la aplicación de la ecuación (1) para la evaluación del movimiento del suelo, un acercamiento conservador sería presumir que los terremotos pueden ocurrir con una igual probabilidad dentro de un radio mucho más pequeño que sólo 75 km de El Cairo. Esta distancia se escogió para reflejar mejor el modo de las distancias observadas en la tabla 9.6.

Para predecir la PGA a partir del uso de la ecuación expuesta se requiere un límite superior en la magnitud m_s . Existe información insuficiente para realizar una evaluación racional del evento máximo. En este estudio se ha supuesto, de una manera conservadora, que la magnitud máxima es $m_s = 6,0$.

No existen adecuadas relaciones de atenuación verificadas disponibles para Egipto. De todas las relaciones de atenuación disponibles para otras partes del mundo, se hizo uso de las que son derivadas para Europa (Ambraseys y Bommer 1991). Éstas se basan en los acelerogramas registrados de terremotos superficiales, principalmente en la región oriental del Mediterráneo. También predicen valores cercanos de la PGA obtenidos para el oeste de los Estados Unidos (Joyner y Boore 1988). La relación de atenuación escogida está dada por la siguiente ecuación:

$$\log a = -1,09 + 0,238(m_s) - \log(r) - 0,0005(r) \tag{2}$$

donde $r = (d^2 + 6^2)^{0,5}$, d es la distancia a la fuente en km y a es la aceleración máxima horizontal del suelo en g. Un término de error correspondiente al percentil 50 está asociado con la ecuación (2).

Usando un análisis probabilístico de amenaza sísmica (Cornell 1968), la aceleración promedio del suelo, correspondiente a diferentes probabilidades de excedencia, puede ser calculada para un terremoto con una distribución de frecuencia dada por la ecuación (1), que ocurre en cualquier parte dentro de un radio de 75 km de El Cairo.

La tabla 9.7 muestra la PGA para una vida útil de una estructura de 50 años y la probabilidad de que esta aceleración sea excedida durante el tiempo de vida útil del diseño.

Se debe señalar que la suposición conservadora hecha anteriormente con relación al radio dentro del cual la ecuación (1) se puede aplicar, está hasta cierto punto balanceada por el hecho de que se espera que las características de atenuación en Egipto sean más bajas que las implícitas en la relación de atenuación usada [ecuación (2)]. La aceleración del suelo es menos sensible al sismo máximo determinado que a la selección de error estándar en la ecuación (2).

Es de notar que el reciente terremoto ocurrido cerca de El Cairo, que tuvo una magnitud de onda de superficie de 5,2 y un epicentro en 29,888 °N-31,223 °E, mostró un patrón de radiación no uniforme, con mucha de la energía radiando al sur y al sudeste del epicentro. Además, el momento de magnitud m_s del momento sísmico fue de 5,7, mayor que el calculado para las ondas de la superficie. El epicentro fue localizado entre los 10 y 20 km de El Cairo. Los valores de la PGA obtenidos de la ecuación (2) para este evento son 0,12 y 0,07 g, para distancias de 10 y 20 km. La aceleración en la vecindad inmediata al epicentro es de 0,23 g.

Basados en este breve estudio de la aceleración probable del suelo en un terremoto en El Cairo, se puede dar un valor de 0,15 g para el diseño de estructuras en el área del Gran Cairo. Esto es apoyado por las siguientes consideraciones:

- El uso de un área de 75 km de radio en El Cairo para la derivación de la distribución acumulativa de probabilidades de la ecuación (1) es una suposición conservadora.
- El uso de una relación de atenuación de los terremotos en Europa balancea de algún modo el anterior conservadurismo, y la atenuación de sitios intraplaca en Egipto tiende a ser menor debido a la gran rigidez del manto.
- Para un diseño de estructura de 50 años de vida se acostumbra aceptar de 5 a 10% de probabilidad de excedencia, lo que proporciona una aceleración del suelo entre 0,12 y 0,1g, de acuerdo con la tabla 9.7.
- El control de calidad en Egipto es, en promedio, menor que en los Estados Unidos y Europa.
- Las características de amplificación del suelo en el valle del Nilo no han sido estudiadas adecuadamente. Las estructuras altas pueden ser vulnerables a la excitación en períodos prolongados debido a los efectos del sitio. Por ello se justifica un acercamiento conservador.

La discusión anterior conduce a adoptar un acercamiento conservador para calcular la PGA, que nos lleva a la selección de un valor de 0,15 g. No se considera que este valor sea demasiado conservador para el área del Gran Cairo.

Tabla 9.7: Aceleración del suelo para un período de vida de 50 años

Probabilidad de excedencia (%)	84	58	37	27	17	10	2
Aceleración del suelo promedio (%)	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10	15

El área del Mar Rojo

Hurghada es un área de movimientos de placas contrastadas. La placa africana y la placa árabe convergen en la placa eurasiática; la placa africana diverge de la árabe en el centro de separación a lo largo del eje de la cuenca del Mar Rojo. Al extremo norte del Mar Rojo, la zona de falla del Mar Muerto separa la Península del Sinaí de la placa árabe, mientras que al extremo sur del Mar Rojo los centros de separación se extienden al sudoeste y al este.

Por lo tanto, la sismicidad de Hurghada es de tipo altamente contrastante y está concentrada principalmente en los límites interactuantes de placas. Así, la amenaza no sólo proviene de la actividad a lo largo del Mar Rojo, sino también de aquella que tiene lugar en el Golfo de Suez y Egipto propiamente.

Los terremotos que ocurrieron en las regiones del Mar Rojo y el Golfo de Suez de 1900 a 1986 se presentan en la tabla 9.8, que se basa en información de secciones anteriores. Los eventos listados son los de magnitud $m_s \geq 4,0$. Las magnitudes de las ondas de superficie y lugares han sido uniformemente re-evaluados para este estudio.

Los terremotos originados en la fosa principal del Mar Rojo, que se sitúa a un promedio de 100 km de tierra firme, han mostrado magnitudes de hasta 6,0, mientras que los eventos de la confluencia de la fosa con el Golfo de Suez, en las cercanías de Shedwan y Hurghada, han excedido $m_s = 6,5$, con epicentros muy cercanos a la tierra. De hecho, algunos de los terremotos más grandes en la región han ocurrido en los alrededores de la confluencia del Mar Rojo, el Golfo de Suez y el Golfo de Aqaba (e.g., 6 de marzo de 1900 [$m_s = 6,2$] y 31 de marzo de 1969 [$m_s = 6,6$]), mientras que terremotos menores tienden a ocurrir cerca o a lo largo de la costa de Egipto. La complejidad tectónica de la región y la falta de datos a largo plazo para la confluencia del Mar Rojo y el Golfo de Suez (anterior a 1900), significan que las estadísticas pueden no proveer adecuadamente una respuesta simple a la evaluación de amenaza para la región de Hurghada. La actividad sísmica de los últimos 93 años, resumida en la tabla 9.8, está distribuida de un modo desigual a lo largo de 2000 km del eje del Mar Rojo y de su extensión a través de Suez hasta el Mediterráneo. Si se acepta que los eventos son distribuidos equitativamente a lo largo de este elemento tectónico, una suposición que no es conservadora, la mejor estimación de esta información es dada por la distribución de frecuencia acumulativa de la siguiente ecuación:

$$\log(N) = 2,53 - 0,65(m_s) \tag{3}$$

En la aplicación de la ecuación (3) para la evaluación del movimiento del suelo, un enfoque conservador consideraría que los terremotos pueden ocurrir con iguales probabilidades a lo largo del Mar Rojo, dentro de la fosa de Hurghada. Para hacer uso de esta ecuación con el fin de predecir la PGA, se requiere un límite superior en la magnitud m_s . No existen datos suficientes para realizar una evaluación racional del evento máximo. En este estudio se supuso, conservadoramente, que la magnitud máxima es $m_s = 7,0$.

Como fue discutido en secciones anteriores, las relaciones de atenuación para la PGA no están disponibles para Egipto. Las usadas aquí, como se mencionó anteriormente, son las derivadas para Europa (Ambraseys y Bommer 1991). La relación de atenuación escogida está dada por:

$$\log a = -1,09 + 0,238(m_s) - \log(r) - 0,0005(r) \tag{4}$$

Aquí es pertinente el mismo argumento usado para el área del Gran Cairo con relación al conservadurismo involucrado.

La tabla 9.9 muestra la PGA para la vida útil de una estructura de 50 años y la probabilidad de que esta aceleración sea excedida durante el tiempo de vida útil del diseño.

Los valores de esta tabla pueden ser usados para diseñar estructuras destinadas a soportar, sin daños serios, el terremoto de diseño durante su vida útil. Sin embargo, debe considerarse que los valores anteriores habrían sido calculados antes del terremoto de

Tabla 9.8: Terremotos en el Mar Rojo y el Golfo de Suez con $m_s \geq 4,0$

Fecha	Hora	Coordenadas	Magnitud (m_s)	Fuente
1900.01.18	05:29	29,0-33,0	4,1	GS
1900.03.06	17:58	29,0-33,0	6,2	GS
1906.03.20	03:48	17,0-41,0	6,1	RS
1906.12.26	13:43	27,0-33,4	4,8	EG
1910.03.06	18:55	26,3-34,8	4,5	RS
1911.01.26	17:35	28,0-33,7	4,3	GS
1911.08.22	20:23	28,8-32,6	4,3	EG
1915.03.18	21:00	14,0-42,0	5,7	RS
1931.05.01	09:48	19,0-39,0	5,5	RS
1947.06.03	03:30	28,9-33,1	4,2	GS
1947.12.10	19:18	27,5-34,0	4,2	RS
1949.11.05	23:47	27,4-34,0	4,2	RS
1952.03.22	04:52	27,2-34,5	5,0	RS
1955.03.03	00:43	16,5-41,2	5,0	RS
1955.11.12	05:32	25,3-34,6	5,3	EG
1956.06.25	20:10	20,7-38,0	4,7	RS
1958.01.09	07:56	17,7-40,1	4,5	RS
1958.02.13	10:23	14,3-41,9	4,8	RS
1960.12.16	16:49	14,8-42,5	5,3	RS
1962.08.25	16:49	17,1-40,1	4,7	RS
1962.11.11	15:13	17,2-40,6	5,3	RS
1964.02.09	06:07	25,7-36,5	4,9	RS
1965.12.30	08:54	18,9-39,7	4,6	RS
1967.03.13	19:22	19,8-38,8	5,0	RS
1967.05.17	17:50	19,8-38,8	4,7	RS
1967.09.21	18:36	18,1-40,1	4,2	RS
1969.03.31	07:15	27,6-33,9	6,6	RS
1969.09.26	04:54	16,4-14,1	5,0	RS
1970.12.19	12:15	27,4-33,9	4,3	RS
1970.12.19	22:44	27,5-33,9	4,6	RS
1971.07.08	23:40	27,5-33,8	4,7	RS
1972.06.28	09:49	27,7-33,8	5,5	GS
1974.04.17	18:27	17,3-40,3	5,2	RS
1975.04.16	02:55	14,6-40,7	4,0	RS
1975.06.29	21:45	18,6-39,8	4,6	RS
1975.08.07	22:43	15,4-40,4	4,4	RS
1975.12.14	23:16	14,6-42,3	5,1	RS
1975.12.14	23:27	14,7-42,3	5,1	RS
1976.11.07	05:53	15,9-41,4	4,0	RS
1976.12.01	05:03	15,8-41,8	4,1	RS
1977.12.28	02:45	16,5-40,3	6,4	RS
1978.01.17	15:00	16,5-40,3	5,2	RS
1979.05.13	20:48	18,8-39,3	4,6	RS
1979.05.13	20:55	19,6-39,1	4,2	RS
1979.05.25	17:10	25,2-36,5	4,4	RS
1979.07.17	17:00	17,7-40,1	4,8	RS
1979.08.15	02:20	15,3-41,9	4,3	RS
1980.01.14	04:20	16,6-40,3	5,8	RS
1980.01.14	12:28	16,5-40,3	5,2	RS
1980.04.07	16:45	17,6-40,2	4,1	RS
1980.07.16	23:14	17,2-40,0	4,8	RS
1982.10.14	13:40	26,8-34,8	4,2	RS
1982.10.30	04:36	27,6-33,8	4,1	GS
1983.06.12	12:00	28,5-33,1	4,7	GS
1983.08.07	10:42	16,4-41,3	4,0	RS
1985.07.22	14:27	19,1-39,2	4,4	RS

EG: Egipto intraplaca.

GS: Golfo de Suez.

RS: Mar Rojo.

Shedwan de 1969, con $m_s = 6,6$ y a una distancia de 10 a 15 km de Hurghada. El conservadurismo dicta, por lo tanto, que se debería considerar un caso extremo en el diseño; por ejemplo, una repetición del terremoto de Shedwan del 31 de marzo de 1969. Cuando se usa este enfoque con la ecuación (4), se obtiene un diseño de PGA de 0,2 g para sitios en Hurghada, con valores ligeramente más bajos en Sharm El Sheik.

Tabla 9.9: Aceleración del suelo para un período de vida de 50 años

Probabilidad de excedencia (%)	71	51	36	26	19	14	1
Promedio de aceleración del suelo (% g)	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10	20

Educación y entrenamiento

Antes del terremoto del 12 de octubre de 1992, el Instituto Nacional de Investigación de Astronomía y Geofísica (NRIAG) y la ESEE fueron las únicas organizaciones activas en el campo de la ingeniería sísmica. El NRIAG es un instituto del Gobierno que opera bajo los auspicios del Ministerio de Investigación Científica y Tecnología. En el campo del monitoreo sísmico, el NRIAG organizó muchos seminarios de entrenamiento para sismólogos de países africanos y árabes. Los temas cubiertos en estos seminarios se relacionan con geofísica, sismología, parámetros de terremotos, magnitud, intensidad y energía, e interpretación de los registros sísmicos. Los seminarios estaban dirigidos a ingenieros sismólogos e ingenieros sísmicos. La Institución de Ingenieros Civiles presenta los contenidos del Cuarto Seminario de Entrenamiento Egipcio para Observadores de Terremotos de países Africanos y Árabes, organizado por el NRIAG del 4 al 23 de febrero de 1989.

La ESEE es una sociedad científica autofinanciada cuyo objetivo consiste en diseminar el conocimiento de la ingeniería sísmica entre ingenieros egipcios desde su establecimiento en 1983. Desde 1984 organiza cursos cortos de entrenamiento en ingeniería sísmica cada dos años. Los cursos se interesan en la sismología para ingeniería, la dinámica de estructuras y el diseño y análisis sísmico, y están dirigidos principalmente hacia los ingenieros de estructuras para motivarlos a promover su conocimiento en la ingeniería sísmica y sismología. La Institución de Ingenieros Civiles (1994) da los contenidos del Cuarto Curso Egipcio de Entrenamiento en Ingeniería Sísmica organizado por la ESEE del 12 al 14 de noviembre de 1990. La única revista científica sobre la investigación de ingeniería sísmica editada en Egipto es la *Revista Internacional de Ingeniería Sísmica*, publicada por la ESEE. Esta revista ha sido editada de manera irregular dos veces al año desde enero de 1991.

El terremoto ocurrido el 12 de octubre de 1992, a diferencia de los anteriores, causó la movilización de todas las organizaciones y las impulsó a realizar el máximo esfuerzo y a utilizar las facilidades disponibles para las operaciones de rescate y albergue temporal. Inmediatamente después del terremoto se diseñaron programas especiales para promover entre el público en general el conocimiento de estos eventos en términos de su naturaleza y efecto, así como para proporcionar a la población las instrucciones necesarias para actuar durante y después de un terremoto.

El Instituto de Ingenieros, la Sociedad Egipcia de Ingenieros Civiles y la ESEE organizaron muchos seminarios poco después del terremoto de Dashouren en 1992. Muchos profesionales fueron invitados para dar conferencias en estos seminarios. Los temas expuestos fueron sobre sismología para ingeniería e ingeniería sísmica. También se expusieron temas como la naturaleza y fuentes de terremotos, historia sísmica de Egipto, el terremoto de 1992, comportamiento de las edificaciones bajo carga sísmica y reparación y reforzamiento de edificaciones dañadas. El problema principal de estos seminarios fue que la mayoría de las conferencias trataron los temas de las edificaciones desde un punto de vista estático, debido a la escasez en Egipto de especialistas en terremotos. La sola asistencia a estos seminarios no enriqueció el conocimiento de la audiencia.

Grupos de ingenieros sísmicos extranjeros visitaron Egipto y dieron conferencias al público, principalmente a través de organizaciones que patrocinaron su visita. Muchos de estos profesionales son de origen egipcio, como el Dr. Sami Adham, el Profesor Ahmed El Gamal y el Sr. Nabih Youssif (Estados Unidos), así como el autor, quien dio una conferencia en la Academia Técnica Militar y la Sociedad de Ingenieros Civiles. Además, había un grupo grande de Japón. La ESEE continuó su papel de promover la ingeniería sísmica en Egipto, para lo que organizó la Primera Conferencia Egipcia en Ingeniería Sísmica en Hurgada, del 6 al 9 de diciembre de 1993. La conferencia contó con un buen número de asistentes, y atrajo investigadores de Europa, Japón y los Estados Unidos.

En términos de cursos académicos, el terremoto de 1992 sirvió como chispa promotora para el arranque de la ingeniería sísmica y cursos de dinámica estructural en algunas escuelas de ingeniería. El Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de El Cairo inició un diplomado en ingeniería sísmica por primera vez en 1992-1994. Además, después del regreso a Egipto de muchos jóvenes académicos con doctorados en ingeniería sísmica de universidades en Estados Unidos y el Reino Unido, se incluyeron temas selectos en el diseño sismo-resistente en los cursos de diseño estructural. Se cree que si estos cursos académicos continúan, podría mejorarse el conocimiento de los ingenieros estructurales egipcios en ingeniería sísmica.

En particular, en Egipto no existían planes de emergencia para desastres naturales antes del terremoto de Dahshour en 1992. Esto puede ser atribuido al largo período de retorno de terremotos y a la falta de otros desastres naturales, como las inundaciones y las erupciones volcánicas.

El terremoto ocurrido en 1992 ha motivado a las organizaciones gubernamentales a proporcionar la información necesaria sobre lo que se debe hacer antes, durante y después de un terremoto. Se presentaron programas especiales en la radio y la televisión para proporcionar al público en general las instrucciones necesarias. También se distribuyeron, entre estudiantes de escuela, dos panfletos con instrucciones a seguir durante y después de un terremoto.

De lo anterior podemos concluir que, debido a la vulnerabilidad estructural relativamente alta asociada con un nivel de amenaza significativo, el riesgo de terremotos en Egipto es considerable.

La evaluación adecuada de la amenaza sísmica debe seguir las rutas no convencionales, ya que la información, en general, es deficiente. Por lo tanto, a continuación se presenta una discusión sobre las prioridades para la mitigación de riesgos de terremoto en Egipto para reducir su impacto futuro.

El problema para reducir el daño de terremotos y restaurar casas después de un terremoto puede dividirse en dos etapas:

- Planificación antes de un terremoto.
- Acción de emergencia después de un evento.

Estas dos etapas deben ser estudiadas con anterioridad por agencias especiales nacionales, cuya tarea sería investigar métodos y elaborar técnicas para la prevención de desastres causados por terremotos y por su impacto social y económico.

Después de un terremoto es difícil establecer una agencia central efectiva para la dirección y el control de la rehabilitación y reconstrucción del área afectada, y mucho del esfuerzo y los fondos son dispersados en actividades dispares. En países en desarrollo se presentan dificultades al decidir la manera como deberían usarse los recursos y cuáles serían las prioridades por atender. Invariablemente, esta responsabilidad se asigna a las au-

Medidas para
la mitigación
y la planificación

toridades locales, y los fondos son por lo general mal encaminados. La falta de planes y políticas de desarrollo regional puede resultar en errores de reconstrucción y largos retrasos que serían perjudiciales a la restauración de viviendas. Para facilitar el establecimiento de una agencia central, un país debería tener un decreto u ordenanza aprobado por la legislatura central. Éste daría poderes a la agencia para llevar a cabo investigaciones y desarrollar reglamentos de edificaciones sismo-resistentes. Además, la agencia debería mantenerse al día de la información sobre los desarrollos de planificación urbana y rural, y participar en las políticas económicas del país en la eventualidad de un desastre.

La planificación antes de un terremoto es extremadamente importante para reducir los daños y minimizar los efectos posteriores. Debe entenderse que tal planificación es regional, y los planes adecuados para un medio pueden ser completamente insuficientes o aun contraproducentes para otro. Tales planes deben ser adaptables y mantenidos al día por la agencia interesada, para reflejar tanto variaciones temporales como espaciales.

El aspecto más importante en la etapa de planificación es la educación. La asistencia de un país inutilizado por un desastre natural se basa grandemente en el esfuerzo de sus habitantes. En la mayoría de los países en desarrollo, las causas y efectos de los desastres naturales son mal comprendidos y mal interpretados debido a la falta de educación. Por lo tanto, la educación debe empezar desde temprano en las escuelas en forma de panfletos y conferencias. En relación con los terremotos, se debe destacar que las casas construidas inapropiadamente son trampas mortales y que se debe crear una clara línea de responsabilidad. Una idea es tener un "día del terremoto", donde se pongan en práctica ejercicios de evacuación de escuelas, instalaciones públicas y negocios privados. La educación también debe incluir a los profesionales involucrados en los reglamentos de construcción, diseño, edificación, supervisión y mantenimiento. En un país con la estructura educativa de Egipto, es necesario educar a los ingenieros de media carrera en ingeniería sísmica y sismología.

Esto puede ser llevado a la práctica mediante un concepto de "centro de excelencia" donde un número de ingenieros cuidadosamente seleccionados sea educado a un alto nivel, probablemente por expertos extranjeros. Así, estos ingenieros actuarían como centros de conocimiento en sus establecimientos, donde pueden dedicarse a enfocar los problemas de la ingeniería sísmica; en el caso de temas muy especializados, serían capaces de plantear las preguntas apropiadas y buscar soluciones sea por medio de información escrita o mediante consultas.

Los reglamentos de construcción deberían desarrollarse en tres niveles. El primer nivel comprende las reglas para los requisitos mínimos debajo de los cuales la seguridad de los ocupantes está en peligro. Estas reglas deberían ser vistas como de obvia necesidad y ser fáciles de ser usadas por pequeños constructores con pocos antecedentes técnicos. En un país como Egipto, las casas construidas por pequeños constructores comprenden la mayoría de las estructuras, especialmente en las áreas rurales. El segundo nivel de reglamentos está dirigido a ser usado por el diseñador profesional con conocimiento técnico adecuado. El tercer grupo cubriría los albergues temporales tales como las estructuras prefabricadas.

Además, en los nuevos reglamentos de construcción es de gran importancia publicar reglas para inspección, apuntalamiento y reforzamiento de estructuras después de un terremoto. Abundan ejemplos de esquemas de reforzamiento que causan un aumento de la vulnerabilidad.

El financiamiento para los desarrollos requeridos puede obtenerse mediante un impuesto de asistencia a desastres sobre todas las estructuras nuevas y obras de ingeniería civil. Esta estrategia se ha puesto en práctica en Nueva Zelanda desde los años 30 y ha resultado exitosa.

Conclusiones

Debido a la rápida y casi incontrolable expansión de los centros de población en Egipto, unida a la baja calidad de la construcción y a la falta de un reglamento de diseño sísmico (anterior a 1989), las edificaciones existentes son altamente vulnerables al daño causado por terremotos. En el Gran Cairo, el número de edificaciones susceptibles de daño sísmico debido a la antigüedad y al pésimo estado de mantenimiento bordea las 170 000, mientras que el número de estructuras consideradas no ingenieriles o de un bajo nivel de ingeniería están en el rango de las 320 000. Además, las edificaciones de cuatro pisos o menos más recientes, y no diseñadas intencionalmente con resistencia lateral, bordean las 400 000 (cifra provista por el censo de 1986, y que ha aumentado substancialmente desde entonces). Por lo tanto, la vulnerabilidad sísmica de los edificios en existencia es bastante alta. Más aún: la amenaza sísmica en Egipto no puede ser descartada, como se muestra en muchos estudios y el material brindado en este reporte. Y ya que el riesgo sísmico es producto de la amenaza y la vulnerabilidad por unidad de valor, se concluye que el riesgo de terremoto es serio y debe ser enfocado en todo el país.

Existen problemas serios asociados con la evaluación de la amenaza sísmica en Egipto. Esto se debe a la falta de información por períodos prolongados y al conocimiento incompleto de la tectónica en Egipto. Los estudios de zonificación, elaborados sobre eventos de las pocas décadas pasadas, tienden a ser retrospectivos y no predictivos. Por lo tanto, la evaluación exacta de la amenaza sísmica debe seguir rutas no convencionales que abarquen la tectónica, la geología y la historia sísmica. A manera de muestra, dos estudios hechos para el área del Gran Cairo y el Mar Rojo indican que las aceleraciones de diseño para edificaciones ordinarias se encuentran en el rango de 15-20 g; especialmente para los sitios cercanos a los epicentros del 12 de octubre de 1992 y el 13 de marzo de 1969, para El Cairo y el Mar Rojo respectivamente.

Actualmente existen dos códigos (Construcción de Concreto Armado y Cimientos y Mecánica de Suelos) y un grupo de recomendaciones (ESEE) que tienen que ver con el diseño sísmico de edificios en Egipto. Las comparaciones cuantitativas presentadas aquí indican que las fuerzas calculadas de acuerdo con los tres documentos son bastante diferentes, con una razón de 6 en términos de corte en la base y más de 11 para los momentos de torsión. Esta situación crea confusión y disminuye seriamente la confianza de los ingenieros en los tres documentos. Es de notar que actualmente existe un borrador de un nuevo código de carga que, se espera, reemplazará al menos dos de los documentos anteriores. Los estudios hechos en el área de El Cairo y el Mar Rojo en este reporte indican que los códigos oficiales existentes subestiman seriamente las PGA de diseño sísmico.

La estructura básica para la legislación y el control de la construcción en Egipto está bien desarrollada y, en principio, es adecuada. Sin embargo, tiene una falla muy seria en la "ejecución" debido a la falta de recursos, responsabilidad y complejidad del proceso burocrático. El procedimiento para la evaluación de las edificaciones dañadas por terremotos es mucho más riguroso que aquel usado para las nuevas construcciones. Éste ha sido aplicado de una manera muy estricta en casos donde la estructura fue declarada insegura después de un terremoto. Mientras que las regulaciones para edificaciones en las ciudades son adecuadas, el procedimiento para la autorización de edificaciones en poblaciones menores es gravemente imperfecto. Y ya que la expansión de El Cairo ha incluido efectivamente una gran área todavía considerada con el estatus de "poblaciones menores", muchas estructuras en el Gran Cairo aún evitan el procedimiento establecido por el Gobierno.

Antes del terremoto de Dashar del 12 de octubre de 1992 no existían en Egipto planes de emergencia. No es seguro que se vaya a establecer uno, a pesar del aumento de conciencia al respecto debido al número de cursos de entrenamiento dados por la ESEE y el NRIAG.

El financiamiento de los desarrollos necesarios se puede obtener a través de un impuesto de asistencia para desastres, sobre todas las estructuras nuevas y obras de ingeniería civil. Esta estrategia ha sido usada en Nueva Zelanda desde los años 30, y ha tenido éxito.

Reconocimientos El autor agradece la contribución del Dr. M. M. Soliman, conferenciante en la Universidad de Zagazig, Egipto, quien compiló la mayor parte de este capítulo. También es muy apreciable la contribución del Profesor N.N. Ambraseys, del Colegio Imperial, Londres, con material sobre amenaza sísmica y estudios de la aceleración de diseño. Este capítulo también se benefició de las discusiones sostenidas con muchos colegas de Egipto.

Preparación para desastres en Turquía y terremotos recientes en Erzincan

10

R. T. Severn

La legislación relacionada con los desastres sísmicos en Turquía se inició en 1848 para Estambul, y se extendió a otras ciudades en 1877. Sus principales fines fueron la preparación antes del evento, planes de rescate y compensación para las víctimas. Una legislación más amplia fue introducida en 1959 para cubrir inundaciones y deslizamientos, así como terremotos. Esta ley, corregida en 1968, continúa siendo la base de la actividad turca en mitigación de desastres. Dicha norma estableció los Comités Provinciales de Ayuda y Rescate con estructuras organizacionales específicas. El terremoto de Erzincan de 1983 señaló interfases de responsabilidad insatisfactorias que dieron pie a la creación del concepto de un cuerpo gubernamental, dirigido por el Primer Ministro, para manejar grandes desastres.

Erzincan es particularmente una fuente rica en información, por el hecho de haber experimentado dos grandes terremotos —en 1939 y 1992—, y uno más severo aún en 1983. Las predicciones de los geólogos sugieren que ocurrirá otro gran terremoto. El período de estos terremotos coincide con el desarrollo del arte y la ciencia de la ingeniería sísmica durante los últimos 50 años, así como con las políticas de mitigación de desastres referidas previamente. Estudios detallados de fallas estructurales en el terremoto de 1992 muestran que las mismas causas fueron encontradas alrededor del mundo; éstas son detalladas en el texto. Ellos también muestran la falla en las legislaciones nacionales, que fueron cuidadosamente pensadas para operar en un nivel local, frente a la presión ejercida para el desarrollo por negocios locales y la industria. También se señaló que la desventaja de los comités locales de desastres era que estaban compuestos por miembros que se verían afectados personalmente por el desastre y, por lo tanto, serían incapaces de una acción objetiva a pesar de su conocimiento local.

Los principios de diseño y construcción de edificaciones para soportar los vientos y terremotos están incorporados en los códigos de práctica, que difieren de país a país, y son normalmente sugerentes más que impositivos. Se discuten las diferencias entre las fuerzas del viento y las fuerzas de los terremotos, así como los principios sobre los cuales se basan los códigos de terremotos. Se brinda una atención especial al código turco de terremotos.

Por último, el capítulo trata brevemente la experiencia en Erzincan en materia de la acción que se requiere después de un terremoto relacionada con las fallas estructurales y de sistema, específicamente los procedimientos para la identificación rápida de las edificaciones dañadas que son seguras para ser habitadas, en contraposición a aquellas que deben ser demolidas.

Introducción

Este capítulo predica la creencia de que una evaluación crítica de la información registrada inmediatamente después de un desastre por aquellos involucrados, puede ser de beneficio para el manejo y mitigación de eventos futuros. La información referida cubre un amplio espectro que se extiende desde los factores geológicos y sismológicos, pasando por las técnicas de diseños y construcción, hasta la administración y las ciencias humanas. Se puede argüir, con cierta justificación, que un evento natural se convierte en desastre natural cuando los programas de preparación para el desastre se rompen en uno o más niveles administrativos. El principal y más obvio problema aquí es que tales eventos son relativamente raros, aun en las distintas áreas del mundo que han sido seleccionadas para este estudio, y las actividades de preparación tienden a perder importancia en la fase posterior a un desastre en relación con otras necesidades en los diferentes niveles administrativos. Para nuestro estudio, que está relacionado con el diseño y construcción de edificaciones que pueden permanecer por 100 años o más, este punto es particularmente importante, porque la actividad de construcción es un proceso continuo. Así, las salvaguardas administrativas en contra de estándares inferiores deben ser un proceso continuo que se anticipe al evento natural durante el tiempo de vida de una edificación, la que seguramente evidenciará cualquier deficiencia en la ejecución de estándares satisfactorios.

La ciudad de Erzincan, al este de Turquía, es un tema particularmente interesante para este estudio, ya que se encuentra en una región sísmicamente activa de la falla del norte del Anatolia. De acuerdo con un catálogo de terremotos (Gulkan y Erunay 1992) recopilado en 1932, por lo menos 17 terremotos ocurrieron en esta región entre 1045 d. C. y 1784 d. C. Tres de ellos fueron descritos como probablemente eventos "mayores", es decir, de más de 7,5 de magnitud en la escala de Richter. Más importante para este estudio fue un terremoto mucho mayor, de magnitud 8 en la escala de Richter, que ocurrió en diciembre de 1939. Su epicentro estuvo a 8 km al noroeste de Erzincan, y fue seguido por otro terremoto en marzo de 1992 que tuvo una onda superficial de magnitud 6,8. Entre estos dos grandes terremotos ocurrió uno de magnitud 5,6 que golpeó Erzincan en 1983. Barka (1992) ha presentado, de acuerdo con estudios geológicos, que el evento de marzo de 1992 crea la posibilidad de que un terremoto aún mayor ocurrirá en Erzincan en un futuro cercano.

Los eventos de 1939 y 1992 tienen una importancia especial, ya que este período de 50 años mide la evolución en ingeniería sísmológica en Turquía y otras partes, y da origen a la pregunta de qué es lo que se ha aprendido y cuál es el progreso que se ha hecho en la prevención de desastres causados por los terremotos. Como será discutido en detalle en lo que sigue, después del evento de 1939 las autoridades de Erzincan dieron algunos pasos que incluyeron la relocalización de la ciudad en un nuevo sitio ubicado 5 km al norte del sitio actual, junto con restricciones sobre los tipos y métodos de construcción. Sin embargo, el evento de 1992 causó una seria pérdida de vidas y una gran destrucción, lo que dio pie al cuestionamiento de la eficacia de las medidas de reducción de desastres de 1939. Actualmente se están discutiendo y desarrollando nuevos procedimientos (Universidad Técnica de Estambul 1993); y si el punto de vista de Barka (1992) es correcto, las medidas administrativas puestas en práctica recientemente, el reforzamiento con elementos sismo-resistentes de los edificios dañados (principalmente muros de corte) y los aspectos de construcción y diseño incorporados en las edificaciones y sistemas recientemente construidos, van a ser probados en un futuro cercano. Lamentablemente para sus ciudadanos, Erzincan es, así, un área de estudio excelente.

Marco institucional y legal de Turquía

La importancia de los terremotos en Turquía puede apreciarse a partir del hecho de que durante los últimos 50 años, y considerando todos los tipos de desastres naturales, 61% de las viviendas colapsadas terminaron así a causa de un terremoto. Además, en épocas anteriores el sitio de muchas ciudades en la península de Anatolia fue cambiado debido a eventos sísmicos. Incluso, muchas ciudades fueron abandonadas por completo. Por lo tanto, es natural que la legislación relacionada con los desastres en Turquía deba estar concentrada alrededor de los terremotos.

Después del gran terremoto de 1509, que destruyó la mayor parte de Estambul, el decreto del Sultán estuvo dirigido a la movilización de todos los miembros masculinos de la población, entre los 14 y 60 años, para la reconstrucción de la ciudad, junto con 20 piezas de oro como regalo para cada dueño de casa destruida. Se puede deducir que se desarrolló algún conocimiento de principios correctos de diseño sísmico: la construcción de nuevas viviendas en terrenos de relleno fue prohibida, y se dio preferencia a la madera y al yeso, en lugar de la piedra, como materiales de construcción.

En 1848 se escribieron los reglamentos para un plan de infraestructura para Estambul, que se extendió en 1877 a otras ciudades de Turquía. Para asegurar que la legislación en este asunto fuese integral, se promulgó la Ley de las Municipalidades en 1930, que proveyó la preparación de planes maestros en cada municipalidad. Sorprendentemente, ninguna de las legislaciones incluía actividades de mitigación de daños por desastres naturales, de manera que parecía que el objetivo era limpiar el desorden después del evento y compensar las pérdidas. Se continuó con esta política aun después del terremoto de 1939 en Erzincan, cuando se promulgó una ley especial para este terremoto específico. Sin embargo, después de este gran desastre muchos otros terremotos similares ocurrieron en un corto período de cuatro años, y causaron más de 40 000 muertes y la pérdida de 200 000 viviendas. Como consecuencia, se dieron cuenta de que era necesario que la legislación forzara a una preparación física previa para desastres, por lo que en 1944 se aprobó la Ley 4623, descrita como "precauciones para ser tomadas antes y después de los terremotos".

Esta nueva ley tuvo como objetivo la protección de la vida y de la propiedad por medio de acciones antes del evento, tal como la producción de planes de rescate efectivos junto con material de ayuda y albergue temporal. También se incluyó una cláusula para compensar a las víctimas por la pérdida de propiedad. Apareció por primera vez el papel que debía cumplir el Gobierno Central, pues al Ministerio de Obras Públicas se le dio la responsabilidad de revisar la construcción de edificios gubernamentales, hospitales, escuelas, cines, teatros y hoteles, concediéndole la autoridad, donde fuera necesario, para reforzar las edificaciones con fortaleza inadecuada y para demoler aquellas cuyo reforzamiento era considerado económicamente inviable. Además, la Ley 4623 autorizó el establecimiento y el financiamiento de comités de rescate y emergencia a escala provincial, con obligaciones especificadas conjuntamente por los ministerios del Interior, Obras Públicas, Salud y Ayuda Social.

Además de la nueva ley anteriormente descrita, se hizo un estudio de los daños generados por terremotos previos en Turquía. Éste dio como resultado un crudo mapa de zonificación con solamente dos regiones; además, se prepararon las especificaciones para la construcción de edificaciones como un esfuerzo conjunto entre las universidades y el Ministerio de Obras Públicas. Estos mapas de zonificación fueron revisados en 1949, 1963 y 1972, a medida que se obtenía un nuevo conocimiento sobre la sismotectónica de Turquía, junto con técnicas nuevas en sismología para ingeniería. Las especificaciones de construcción se basaron inicialmente en los estándares italianos de 1937, y su aplicación se dejó a las municipalidades. Se hicieron revisiones progresivamente en 1949, 1953, 1961, 1968 y 1975, conforme se iba disponiendo de nuevos conocimientos en ingeniería sísmica. Pero a la luz de subsecuentes desastres inducidos por terremotos en Erzincan y en otras partes, se debe cuestionar si su ejecución fue incrementada igualmente a niveles administrativos, particularmente en los niveles más bajos.

Los ingenieros especializados en este aspecto de la ingeniería sísmica se encuentran de hecho disponibles en las grandes ciudades en Turquía, posiblemente en el ámbito municipal, pero casi nunca en las oficinas de gobierno local en las regiones menos desarrolladas del país. El hecho más simple y básico del diseño sísmico, en el sentido de que los terremotos producen fuerzas variables en el tiempo en los planos horizontal y vertical, no es apreciado por la mayoría de los ingenieros estructurales, aun cuando éstos sean competentes en el diseño de cargas verticales estáticas normales. Es la combinación de estas cargas horizontales y verticales, algunas con una variante de tiempo sobre un intervalo corto y otras no, lo que hace que el diseño estructural para las fuerzas sísmicas sea una disciplina tan especial y que busque a toda costa fallas en el manejo y las técnicas de fabricación del proceso de construcción.

La Ley 4623 fue reemplazada en 1959 por una legislación más amplia incluida en la Ley 7269, que cubría inundaciones, deslizamientos y terremotos, así como otros desastres que afectaran al individuo. Todo esto pasó a ser responsabilidad de un nuevo Ministerio de Reconstrucción y Asentamientos absorbido en 1983 por el Ministerio de Obras Públicas. Esta ley, revisada en 1968, continúa siendo la base de todas las actividades relacionadas con la mitigación de desastres en Turquía. En particular, establece los deberes y responsabilidades de los "Comités Provinciales de Ayuda y Rescate" cuyo cuadro de organización se muestra en la figura 10.1. Se requiere que los planes de ayuda y rescate de emergencia provincial se mantengan al día, como lo debe estar el personal involucrado, pero la experiencia indica una relación insatisfactoria entre la administración central y provincial justo después de que el desastre ha ocurrido, esto es, durante el período crítico. A la luz de esta experiencia se ha previsto desde 1983, si el Gobierno lo considerase necesario, el establecimiento de un "Consejo Extraordinario de Coordinación" (figura 10.2). Tal Consejo está formado por representantes de los ministerios que tienen alguna relación con el desastre, y lo preside el Primer Ministro. Es de notar que todos los gastos para el rescate, ayuda, hospedaje temporal, etcétera, son cubiertos por un fondo de desastres creado por la Ley 4623, cuyo aspecto principal son las regulaciones relacionadas con los siguientes asuntos:

- Efectos de desastres sobre la vida en general.
- Determinación de los dueños legales en desastres.
- Reducción de costo de los préstamos para las edificaciones construidas después de los desastres.
- Organizaciones de ayuda para la emergencia.
- Construcción de edificios en regiones vulnerables a desastres.
- Valoración de las edificaciones existentes y de la tierra adquirida después de los desastres.
- Desembolso del fondo de desastres establecido bajo la Ley 7269-1051.

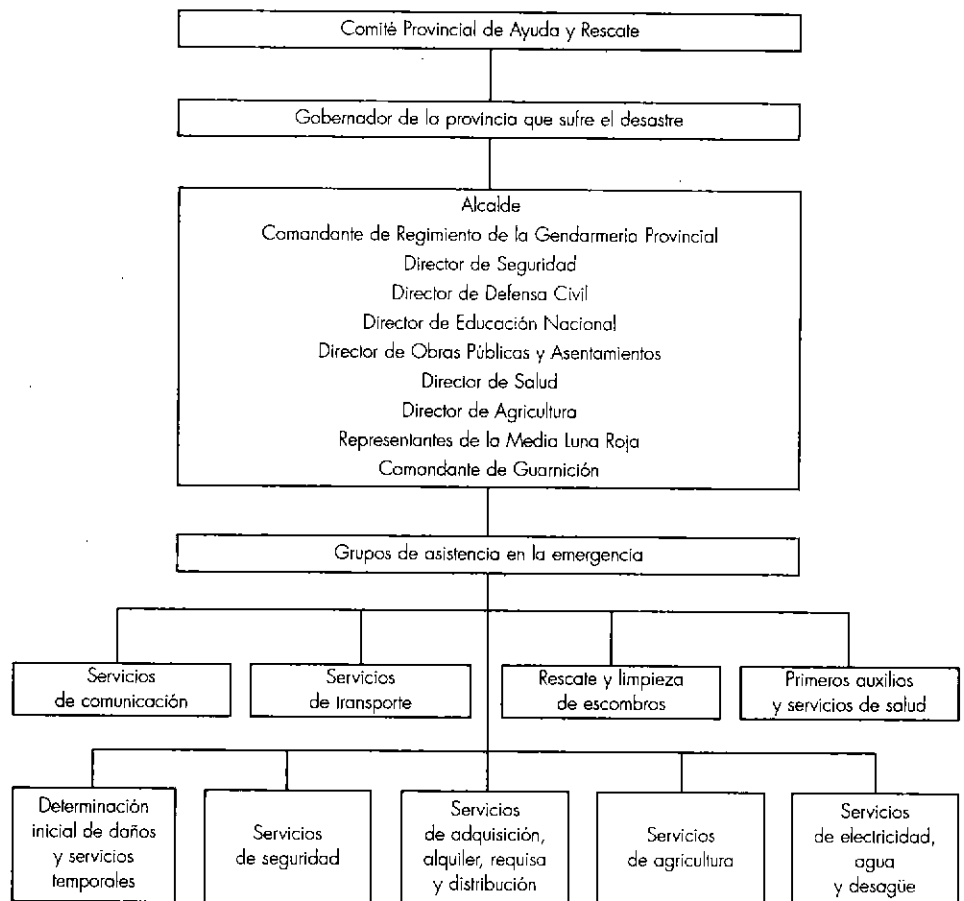


Figura 10.1:
Cuadro de organización del
Comité Provincial de Ayuda
y Rescate

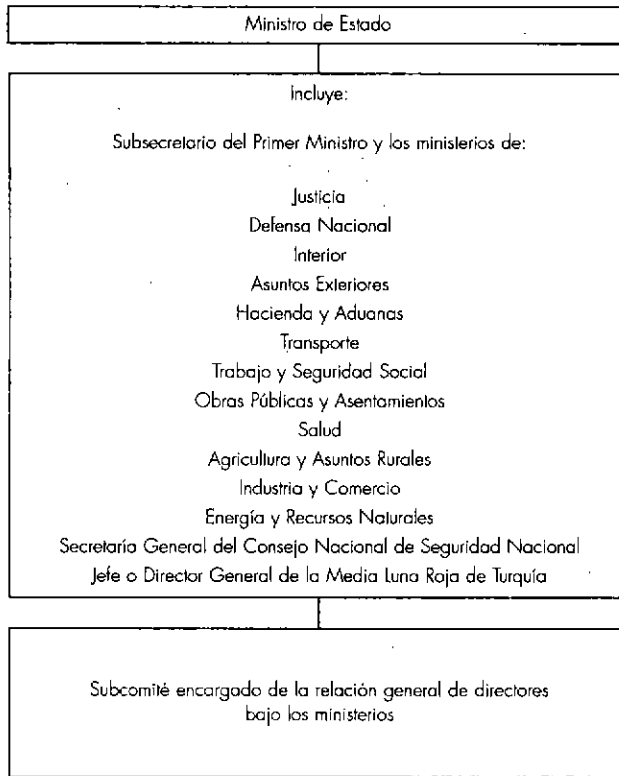


Figura 10.2:
Planeamiento central en caso de que se declare estado extraordinario debido al desastre.

Un aspecto de aplicación general enfatizado en Erzincan dentro del marco administrativo es el dilema asociado con el personal en la administración local de desastres, realizada en Turquía por el “Comité Provincial de Ayuda y Rescate” bajo la jefatura del gobernador. Casi inevitablemente, algunos miembros serán afectados por el desastre a tal extremo que se transformarán en personas no funcionales en el momento crítico. De hecho, sería aconsejable arreglar por adelantado para que toda la responsabilidad sea tomada por una agencia externa entrenada, mientras se utilice en todo lo posible el conocimiento local. Esto fue de hecho lo que sucedió en Erzincan en relación con el servicio de distribución de electricidad, en el que siete empleados quedaron no operativos, hecho que no fue anticipado. En Erzincan fue una suerte que el Tercer Ejército estuviera acuartelado allí y fuese capaz de tomar el papel de la agencia.

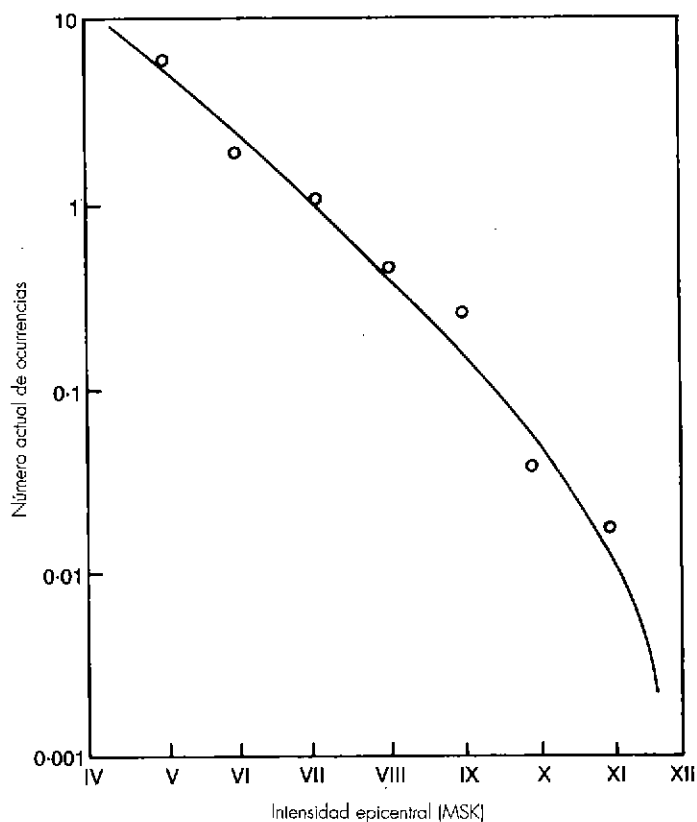
La ocurrencia de terremotos en Turquía es mostrada en la figura 10.3, de la cual se puede inferir, por ejemplo, que la probabilidad anual de que ocurra un terremoto con una intensidad de VII en algún lugar de Turquía es de 63%. Otra manera de ver la información es que en este siglo han ocurrido en Turquía 54 terremotos que causaron daños mayores y pérdidas: 70 000 personas murieron, 122 000 resultaron heridas y 410 000 edificaciones fueron declaradas inutilizables. Los terremotos han causado nueve veces más pérdidas de vidas que todos los otros desastres; en términos económicos, las pérdidas anuales han sido equivalentes a un promedio de 0,8% del producto bruto nacional.

En lo que se refiere específicamente a Erzincan, un catálogo de 1932 lista 17 terremotos que han afectado la ciudad durante el período de 1045 a 1784. Incluyendo el evento de 1939, cuatro grandes terremotos de una intensidad mayor de 7,5 en la escala de Richter han ocurrido durante los últimos mil años, lo que da una frecuencia aproximada de uno cada 300 años. Sin embargo, la evidencia alrededor del mundo indica que los terremotos de magnitud mayor de 6,5 deben ser considerados significativos desde el punto de vista de la falla de edificaciones, y en Erzincan ocurre un evento así una vez cada 100 años.

El terremoto de magnitud 8 que ocurrió en Erzincan en diciembre de 1939 produjo una fractura hacia el oeste de 350 km, con un deslizamiento de 7 m y una abertura lateral

La experiencia
de Erzincan
(1939-1991)

Figura 10.3: Frecuencia de ocurrencia de terremotos en Turquía.



máxima de 3,7m; se perdieron 32 000 vidas y casi todos los edificios fueron destruidos o declarados inhabitables. Para el proceso de reconstrucción se estableció un nuevo sitio 2 km al norte del antiguo, con un área de 300 ha para albergar a una población estimada en 150 000 en 1950, teniendo como densidad máxima 100 personas/ha en las áreas centrales. Los caminos principales, que van de norte a oeste y de este a oeste, fueron de 22 m de ancho, con caminos secundarios de 12-17 m. En las intersecciones del camino principal se permitieron edificaciones de hasta tres pisos, pero en las áreas residenciales solamente fueron permitidas edificaciones de dos plantas.

Para 1950 la población de Erzincan había alcanzado los 18 000 habitantes; en 1970 aumentó a 50 000, y en 1990 a 92 000. Para hacer frente a esta situación se le permitió a la ciudad extenderse sobre 100 ha pero, más importante aún, se le concedió la posibilidad de construir edificaciones de hasta seis pisos, lo que dio como resultado un incremento en la densidad de la población. Es claro que fue muy común el incremento de pisos adicionales a las edificaciones ya existentes, sin pasar por los principios básicos de diseño sísmico, en lugar de la ejecución de edificaciones de seis pisos desde el diseño. Cuando ocurrió el terremoto de 1992, los valores máximos de energía en su espectro ocurrieron en períodos de 0,3 y 0,5 s. Una regla aproximada para calcular el período natural fundamental de los edificios altos es $0,1N$ en segundos, donde N es el número de pisos. Esto indica la vulnerabilidad de las edificaciones en Erzincan, que tienen entre tres y seis pisos. Parecerían haberse olvidado las lecciones del terremoto de 1939 y los estrictos estándares de construcción, debilitados por la presión del desarrollo.

Un terremoto moderado de magnitud 5,6 en la escala de Richter ocurrió en Erzincan en noviembre de 1983 y causó grandes daños a una escala que no se esperaba, especialmente en los edificios de oficinas y hospitales; se concluyó entonces que eran necesarias medidas de reforzamiento inmediatas. Retrospectivamente, sin embargo, es posible ver que no se dio suficiente atención a la investigación de las razones primarias del porqué un terremoto tan modesto causó tal destrucción en estas edificaciones públicas, llegándose a la conclusión de que se habían hecho sólo reparaciones cosméticas en lugar de cambios estructurales sólidos. El futuro —es decir, el evento de 1992— probó una vez más que los terremotos son despiadados cuando buscan insuficiencias en el diseño y la construcción.

La cuenca de Erzincan fue formada por el movimiento de separación de dos segmentos de la falla del norte de Anatolia (Barka 1992); y su centro fue llenado con depósitos aluviales de sedimento, arena y grava que se extienden a profundidades que varían entre los 500 y los 3500 m. Los posibles efectos de un terremoto de 20-30 km de profundidad sobre esta cuenca todavía no han sido entendidos claramente. Después del terremoto de 1939, la locación de la ciudad fue movida de una llanura aluvial a un área de depósitos aluviales en abanico, pocos kilómetros al norte.

El terremoto de magnitud 6,8 que ocurrió el 13 de marzo de 1992 duró aproximadamente 15 s, y produjo aceleraciones máximas de 0,5 y 0,4 g en las direcciones este-oeste y norte-sur respectivamente, y una sorprendente velocidad horizontal de 93 cm/s. La aceleración máxima vertical fue de 0,25 g. Hubo muchas réplicas; la más importante ocurrió el 15 de marzo, tuvo una magnitud Richter de 6,1 y ocasionó grandes daños: 550 personas murieron y 4000 resultaron seriamente heridas. Casi todo esto fue provocado por el derrumbe de edificios en el centro de la ciudad, incluyendo dos hoteles de importancia, tres edificios grandes de oficinas y tres hospitales importantes. El último de este grupo de hospitales había recibido solamente tratamiento cosmético después del terremoto de 1983.

Ya que las construcciones relativamente modernas de Erzincan podrían considerarse entre las menos vulnerables sísmicamente al este de Turquía, un terremoto de magnitud similar que ocurra en un área que tuviera un número mayor de edificaciones de construcción tradicional podría haber causado un desastre mayor. Pero se debe tener cuidado al sacar este tipo de conclusión, ya que el fracaso de Erzincan fue causado por las fallas de diseño y construcción y no permite hacer extrapolaciones para la arquitectura local.

De hecho, se ha aceptado (Gullan y Ergunay 1992) que a pesar de que el código sísmico de Turquía está basado en principios sólidos, sus provisiones específicas de las versiones de 1961 y 1968 estaban por debajo de lo requerido en realidad en Erzincan, y éstas fueron usadas para muchas de las edificaciones que fallaron en 1992.

Ahora bien: es útil observar el fracaso de estas estructuras en detalle. El primer comentario que se hace es el de mayor importancia para este estudio. Las causas de las fallas estructurales de Erzincan son replicables de estudios hechos después de cualquier gran terremoto en épocas recientes. Estas causas se derivan del poco seguimiento de los principios básicos de ingeniería sísmica. Éstos podrían ser considerados como elementales por aquellos con algún conocimiento del comportamiento dinámico de estructuras, pero son desconocidos totalmente para la gran mayoría de los diseñadores de ingeniería estructural. En otras palabras, existe una gran necesidad de educación para asegurar que tales ingenieros, que trabajan para o en las regiones propensas a terremotos, estén familiarizados con estos principios básicos; el más importante, que los terremotos producen presiones horizontales en un azimut desconocido, invirtiendo muchas veces la dirección en pocos segundos, lo que requiere que el diseñador produzca una resistencia para dichas cargas en cualquier dirección horizontal. Existen, por supuesto, otros principios de ingeniería sísmica, pero el descrito anteriormente podrá prevenir por sí mismo muchas de las fallas.

Ya que el análisis de daños hecho por EEFIT (Williams 1993) en Erzincan tiene valor universal, cada uno de ellos será considerado con poco detalle. Pero antes se debe observar que las edificaciones que sufrieron el daño mayor fueron las estructuras de tres a seis pisos con marco de concreto armado, como las encontradas en edificaciones públicas en regiones similares en muchas partes del mundo donde las edificaciones con marco de acero no son una alternativa económica. Una resistencia satisfactoria requiere de ductilidad, al menos en el escenario de daño mayor, y ésta puede ser diseñada apropiadamente, en especial desde que su éxito radica en una supervisión detallada del proceso de construcción mismo, más difícil que la supervisión en el lugar del empernado o soldadura de marcos de acero.

El terremoto de Erzincan en marzo de 1992 y sus implicaciones

Se debe mencionar aquí un punto importante, referido a la afirmación común según la cual, en asuntos sísmicos, las técnicas pobres de construcción fallaron en la implementación de un diseño seguro y satisfactorio. Al respecto, podríamos preguntarnos, por ejemplo, que si el diseño de una conexión columna-viga en concreto armado requiere de la colocación de un difícil refuerzo, ¿podría el diseño ser considerado satisfactorio? En otras palabras: el diseñador está obligado a tener en mente el proceso total de construcción en su ambiente físico y de mano de obra.

Discontinuidades de la rigidez en la altura (figura 10.4)

Este es un aspecto del principio discutido anteriormente: los terremotos producen cargas horizontales que, en términos simples, se pueden interpretar como iguales a la masa de cada nivel de piso multiplicada por la aceleración a ese nivel. Ya que cerca de 90% de la respuesta sísmica de las edificaciones con varios pisos ocurre en el primer modo (semejante a la deformada de un voladizo), esta aceleración aumenta con la altura; por ello, aun si la masa de cada piso es la misma, el incremento de la fuerza horizontal a ser resistida aumenta con la altura. Si se ignoran los terremotos, la carga vertical en las columnas debido a la carga muerta (*i.e.*, gravedad) disminuye con la altura. Por lo tanto, puede existir un conflicto en los requisitos para resistir estos dos tipos de fuerza, y se debe alcanzar el compromiso de tener un cuidado especial para disminuir la rigidez de las columnas en los pisos superiores si se van a tomar en consideración las fuerzas sísmicas.

Pisos suaves (figura 10.5)

A menudo se requiere que el primer nivel de las edificaciones de varios pisos contenga vestíbulos desprovistos de columnas. Con frecuencia, también, la conversión de los edificios en garajes o tiendas después de la construcción inicial hace que este piso sea "suave" en términos de rigidez, lo que produce, entre otras cosas, una oscilación excesiva y movimiento de los pisos superiores. Usualmente esto provoca daño en las edificaciones contiguas por el impacto entre pisos superiores. La misma suavidad estructural es causada por sistemas de aislamiento de base que absorben la energía; el objetivo es reducir el esfuerzo dañino permitiendo el aumento de la deformación. Debido a su costo, tales sistemas son usados generalmente en edificaciones públicas de prestigio para evitar el impacto con edificaciones vecinas.

Columnas débiles-vigas fuertes (figura 10.6)

Un punto de vista esencial en el diseño de estructuras contra terremotos es que resulta casi imposible, económicamente, asegurar la ausencia de daños en todas las estructuras en todos los terremotos potenciales. Por lo tanto, se acepta que ocurrirán daños menores en los terremotos moderados, y daños serios, pero no colapsos, en los terremotos mayores. De este principio de limitación de daños se concluye que el diseño debe prevenir las fallas en las vigas del piso antes que la falla de las columnas. Esto puede hacerse mediante una distribución apropiada de la ductilidad, de modo que se generen rótulas plásticas en las vigas antes que en las columnas, en una secuencia que permita detener un colapso total. El hecho de que este requisito no se cumpla es a menudo muy evidente para los equipos de inspección de desastres. Su origen reside seguramente en la ignorancia de la mayoría de los ingenieros estructurales respecto de que los terremotos causan cargas horizontales, las que deben ser tratadas en conjunto con la presión de gravedad vertical. El concepto de diseño mencionado aquí, que se refiere a predeterminar que las fallas ocurran en vigas antes que en columnas, es desarrollado más adelante por el relativamente reciente método de diseño por capacidad (Paulay y Priestly 1992) para estructuras de concreto armado, que planifica deliberadamente la secuencia de formación de rótulas plásticas. Este cuidadoso diseño requiere, por supuesto, de una supervisión igualmente cuidadosa.

Mala distribución de columnas

El problema de una pobre distribución de columnas deriva directamente de la observación anterior, que se refiere a que la resistencia en las columnas debe hacerse contra las fuerzas horizontales en cualquier dirección, ya que el azimut de cualquier terremoto futuro es desconocido. Si se diseñan únicamente para las fuerzas de gravedad, la distribu-

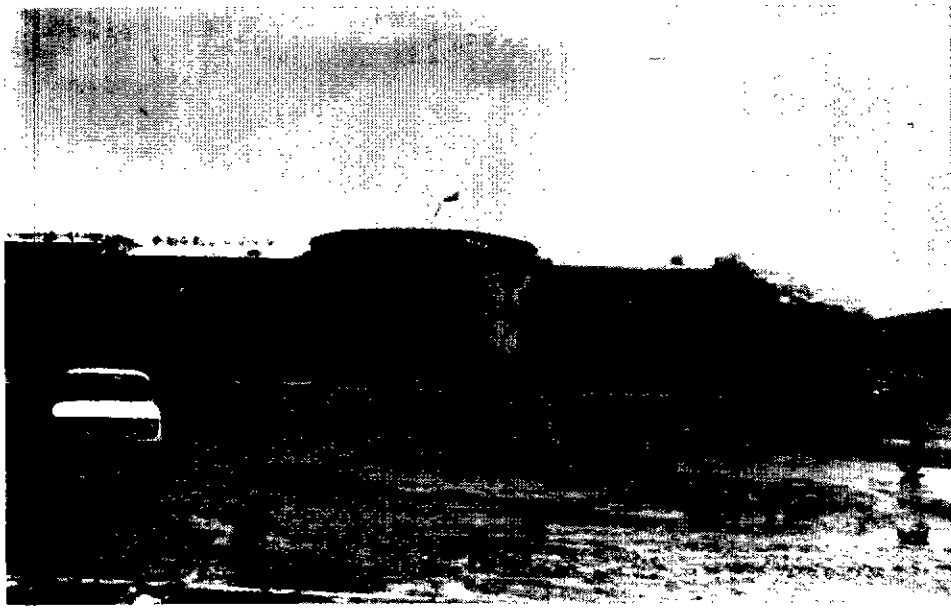


Figura 10.4:
Se debe tener un cuidado considerable en disminuir la rigidez de las columnas en los pisos superiores si se van a considerar las fuerzas sísmicas.

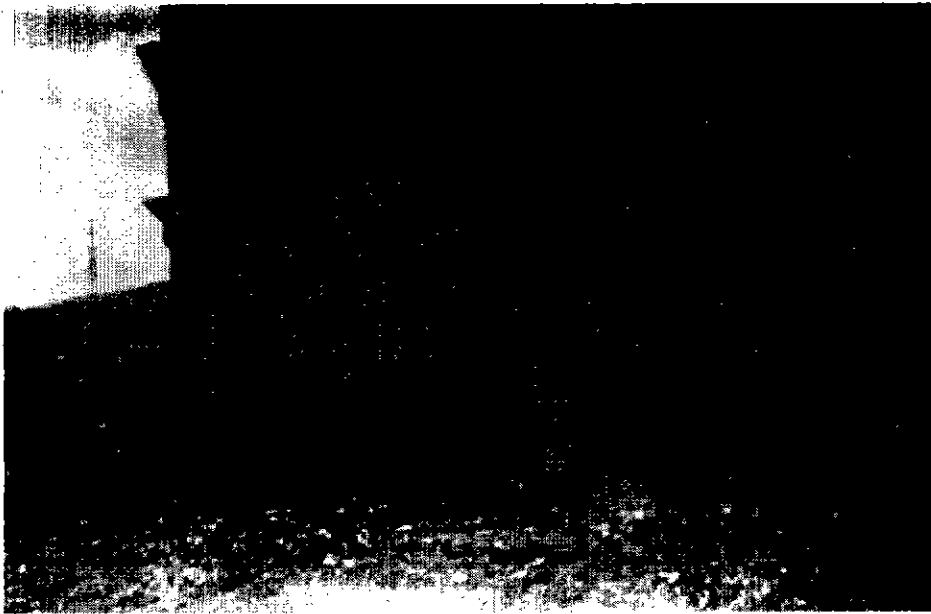


Figura 10.5:
Los pisos "suaves" pueden provocar una oscilación y movimiento excesivos de los pisos superiores.



Figura 10.6:
Ya que la mayoría de los terremotos causarán algún daño, el diseño debe prevenir la falla de las vigas de piso antes que las fallas de las columnas.

ción precisa de las columnas es menos crítica, de manera que una densidad mayor en una dirección principal en lugar de la otra es aceptable. En general, para una resistencia sísmica apropiada, la masa y rigidez deben tener una distribución uniforme en planta (ver abajo), así como ser consistentes con el funcionamiento de la edificación para su propósito principal.

Detalles de refuerzo insatisfactorios (figura 10.7)

La falla más común aquí es la falta de refuerzo lateral, el número de estribos, su tamaño y un espacio inadecuado entre ellos; y, algunas veces, la falta total de refuerzo de confinamiento. Donde se le encuentre, tiene a menudo una cubierta de concreto insuficiente, lo que provoca que el refuerzo oxidado se haga visible. Esto es particularmente cierto cerca de todas las juntas viga-columna importantes, y enfatiza el punto anterior, que se refiere a que en tales juntas la calidad y una distribución detallada del refuerzo son a menudo difíciles de satisfacer, aun en las obras con la mejor administración. Asimismo, existen muchas fallas registradas que muestran que el concreto no había sido vaciado entre las barras de refuerzo, dejándolas desprovistas. En tales casos, cabe preguntarse si la falla debe atribuirse a un diseño pobre o a una construcción deficiente.

Se presenta también un refuerzo no satisfactorio si se usan barras redondas lisas en lugar de barras corrugadas, pues esto da como resultado la falta de adherencia adecuada.

Columnas cortas (figura 10.8)

Ante la combinación de la carga vertical de la gravedad y la carga horizontal inducida por un terremoto, las columnas cortas no pueden desarrollar la ductilidad requerida de inclinación, y fallan por corte especialmente cuando existe un detalle insatisfactorio de refuerzo (ver arriba). Por razones arquitectónicas, las columnas cortas son encontradas a menudo alrededor de las aberturas de las ventanas, las que, por su naturaleza, tienen muy poca resistencia a las acciones de corte.

Falta de muros de corte

Las fuerzas horizontales inducidas por terremotos, a las cuales nos referimos constantemente, son producidas por la aceleración del suelo modificada por la masa y la distribución de rigideces de la edificación. Ellas varían con la altura, causando de este modo un movimiento de corte destructivo horizontal entre dos pisos. Tal movimiento se resiste mejor con un muro en el plano de corte del movimiento, el que está unido a las columnas y vigas de una manera segura. Muy a menudo estos muros de corte están ausentes de las edificaciones por completo; cuando existen, la unión con la columna es imperfecta en la etapa de construcción, o ha sido destruida por los ciclos iniciales del temblor, al punto que la estructura queda vulnerable al evento principal o a las réplicas que ocurren quizá algunas horas después del impacto principal.

Este último punto enfatiza otro principio crucial del diseño sísmico que dice que además de considerar la estructura original, debe anticiparse idealmente la fuerza y la degradación de rigidez que ocurre durante los primeros cambios de la dirección de las fuerzas sísmicas, suponiendo que el terremoto es de suficiente duración como para causar un número de ciclos de movimiento. El daño causado de esta manera altera la frecuencia natural de la edificación durante el terremoto, y puede, por lo tanto, provocar una disminución o un aumento en la respuesta, dependiendo del espectro de respuesta del terremoto. Los terremotos de tamaño moderado y larga duración causan más daño a algunas edificaciones que otros eventos más cortos de mayor magnitud.

Excentricidad de masa y de rigidez (figuras 10.10 y 10.11)

La forma ideal de edificación para la resistencia sísmica es una caja cúbica con paredes internas espaciadas equivalentemente y pisos conectados estructuralmente al marco externo. Las desviaciones inevitables a este ideal incurren en carencias y discontinuidad de la rigidez en la altura a las que nos referimos anteriormente. En planta, la falta de regularidad significa que el centro de resistencia a las acciones sísmicas no coincide con el centro de la masa, lo que causa un efecto de torsión dinámico que es particularmente da-

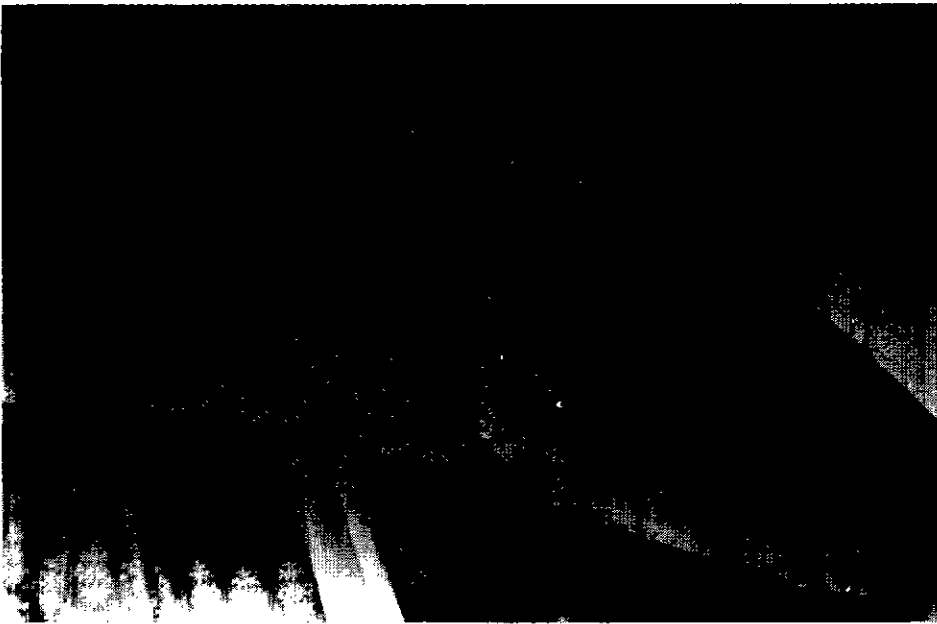


Figura 10.7:
Un detalle de refuerzo insatisfactorio es una causa común de falla.



Figura 10.8:
Las columnas cortas se localizan alrededor de las aberturas de las ventanas, que tienen poca resistencia al corte.



Figura 10.9:
Muros de corte unidos de una manera imperfecta pueden hacer la estructura vulnerable a los efectos de las fuerzas horizontales.

ño cuando se une con la vibración por flexión. Esto es provocado por la posición excentrica de los elevadores y escaleras, así como por la predominancia de aberturas de puertas y ventanas en un lado particular de la edificación. Las excentricidades pueden ser ocasionadas también por el terremoto mismo, a través de los cambios en la distribución de la rigidez causada por un daño temprano. Los últimos ciclos del terremoto o réplicas pueden de este modo inducir al efecto de torsión.

Otro efecto que se nota cuando dos partes de la misma edificación (en el sentido arquitectónico) tienen propiedades dinámicas diferentes como consecuencia de una distribución diferente de rigidez y masa en planta, es que vibran fuera de fase y se dañan una a la otra por simple impacto.

Concreto de pobre calidad

En Erzincan hubo mucha evidencia de segregación del concreto con agregado redondo (i.e., insatisfactorio). La medida de la resistencia de muchas muestras de concreto tomadas después del terremoto con el esclerómetro de Schmidt arrojó solamente 10 N/mm², en lugar de la resistencia mínima de 23 N/mm² requerida por el código turco. Además, se usaron barras de refuerzo lisas en lugar de barras corrugadas, que son mejores para producir la ductilidad requerida en los marcos de concreto. De nuevo, la falta de supervisión es la causa más probable de una mala disposición de las barras y de la carencia de refuerzo transversal tanto en vigas como en columnas.

Desastres naturales: agua, vientos huracanados y terremotos

Las inundaciones provocan innumerables muertes y mucho daño, pero sus efectos estructurales no suelen ser considerados junto con aquellos causados por los vientos huracanados y los terremotos; si dejamos de lado los tsunamis, las fuerzas adicionales ocasionadas no son dinámicas por naturaleza. En las edificaciones ingenieriles, los efectos principales más comunes son las fallas en la base, aunque fallas generales ocurren en edificaciones domésticas no ingenieriles. En otras palabras, las inundaciones que afectan las edificaciones por muchas horas –e incluso días– alteran la trayectoria de carga de presiones de gravedad siempre presentes. El alto costo del tratamiento de los cimientos, como cimentaciones conectadas o el uso de pilotes y cimentaciones profundas, determina que se realice sólo en las edificaciones más importantes. En lo que concierne a los tsunamis o las mareas altas, causadas por un terremoto o el viento, existe un efecto dinámico que introduce presiones horizontales aplicadas a las superficies de la estructura, efecto que puede ser considerado de una manera similar al del viento, como se describe luego.

El viento y el sismo son los dos agentes naturales principales en este estudio. Y aunque ambos producen fuerzas horizontales dinámicas, son diferentes en muchos otros aspectos. Se puede notar que estas características comunes limitadas permitieron que los diseñadores de principios de siglo creyesen que una edificación diseñada satisfactoriamente para las fuerzas del viento también podría soportar un terremoto. Esta actitud simplista y peligrosa ya no es sostenible, y las razones que se dan a continuación han contribuido al enfoque actual y más realista:

1. El viento produce una presión en la superficie de la estructura, la que puede durar muchas horas. Ésta ocurre predominantemente en una dirección, pero algunas secciones pueden producir la liberación de un vórtice que produce una fuerza vibratoria (sobre la superficie de la estructura) ortogonal a la dirección principal del viento. La magnitud de las fuerzas del viento contiene normalmente un componente fijo, sobre el que se superponen fuerzas de ráfagas pasajeras de tal valor que la fuerza total del viento no cambia de dirección. Teniendo esto en cuenta, el efecto del viento sobre los techos inclinados es bien conocido: la mayor parte del daño es causada por el efecto succión a sotavento.

Los terremotos, por otra parte, producen fuerzas de masa distribuidas a través de la estructura, siendo cada partícula de masa multiplicada por su aceleración correspondien-

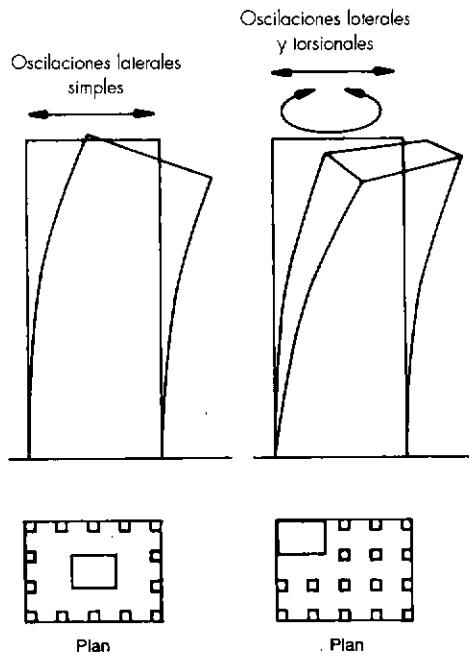


Figura 10.10:
 Las excentricidades en planta ocasionan efectos de torsión dinámica, ya que el centro de resistencia a las acciones sísmicas no coincide con el centro de la masa.



Figura 10.11:
 Dos partes de un edificio con propiedades dinámicas diferentes vibran fuera de fase y se dañan una a la otra por el impacto simple.

te. Esta aceleración se deriva, en principio, del movimiento del suelo causado por el terremoto, y puede estar estrictamente en cualquiera de los seis grados de libertad, aunque usualmente sólo se consideran los grados de libertad traslacionales en las direcciones vertical y horizontal. Tales aceleraciones del suelo son amplificadas por la misma estructura de acuerdo con su rigidez y distribución de masa, lo que da como resultado una distribución de la fuerza en muchos casos muy compleja. Estadísticamente hablando, estas fuerzas sísmicas son pasajeras alrededor de una media de cero, con todo el movimiento extendiéndose a no más de unas pocas décimas de segundo, cuando mucho.

2. La predicción del clima está mucho más desarrollada y es más confiable que la predicción sísmica; además, existe información acumulada suficiente para poder predecir la magnitud y la dirección de las fuerzas del viento en la mayoría de las áreas en riesgo. Entonces, es posible tomar algunas precauciones contra los desastres inducidos por el viento, particularmente para prevenir las muertes, aunque no el daño.

Un impacto de terremoto es de corta duración, pero pueden ocurrir réplicas importantes por varios días después del impacto principal. Éstas pueden ser estructuralmen-

te significativas donde el impacto principal ha dañado una edificación y la ha hecho inestable; entonces, la falla puede ocurrir con vibraciones de baja magnitud.

3. En lo que se refiere a las condiciones locales del suelo, el paso de un terremoto puede tener los efectos más serios. Así, es capaz de provocar la consolidación de material suelto, o, donde el nivel del agua es alto, puede ocasionar el fenómeno de licuación, por el cual el suelo pierde toda su resistencia al corte. Muchas de las más espectaculares fallas estructurales en terremotos han sido rotaciones de cuerpo rígido de edificaciones causadas por la falla en los cimientos seguida de la licuación. La aplicación directa de las fuerzas del viento a las estructuras no afecta las condiciones del suelo.
4. Los factores estructurales que determinan la respuesta al viento son la forma externa y el tamaño. Las propiedades dinámicas no son importantes, excepto para las torres angostas y los puentes. Con los terremotos, sin embargo, la respuesta está gobernada por sus propiedades dinámicas, las que, a su vez, dependen de la distribución de la masa y la rigidez. De estas propiedades dinámicas de frecuencia, período y amortiguación, esta última es la más importante y ciertamente la más difícil de determinar de una manera exacta. La regularidad en planta y elevación de las estructuras es importante también, y no se debe olvidar que el componente vertical de un terremoto aumenta y disminuye el efecto de la gravedad dependiendo de cuánto dure éste.
5. En el caso del viento, el enfoque de diseño normal para el evento máximo creíble es la respuesta elástica. Para los terremotos, la ductilidad debe provenir de una respuesta no elástica. El diseño es solamente para una pequeña fracción de las cargas correspondientes a la respuesta elástica.

Códigos sísmicos de construcción

Dowrick (1977) reporta la existencia de 64 códigos sísmicos diferentes alrededor del mundo. De ellos, la mayoría depende en gran parte del trabajo hecho en algunos países como los Estados Unidos, Japón, la antigua Unión Soviética, Europa y Nueva Zelandia. Su función es hacer recomendaciones sobre cómo calcular las cargas sísmicas y cómo diseñar estructuras para resistirlas. Dichas recomendaciones en códigos diferentes pueden resultar en niveles de diseño que difieren por un factor de tres, lo que significa que no existen estándares mundiales. También existen diferencias en la posición de los códigos. En la antigua Unión Soviética, por ejemplo, se establecieron estándares precisos que el diseñador no tenía autoridad de modificar, y se exigía que la observación del código en el sitio de construcción fuera responsabilidad de los comités de construcción del Estado, aunque la evidencia del terremoto de Armenia de 1988 arroja ciertas dudas sobre esta afirmación. Una tendencia diferente, y menos autócrata, es adoptada en la mayoría de los otros países, donde el código especifica que se debe alcanzar un estándar mínimo. El diseñador está autorizado para fortalecer el requerimiento si así lo desea, y tiene siempre en mente el compromiso que debe alcanzarse entre la seguridad y el costo.

El concepto de que los terremotos causan la fuerza lateral fue normado primero en Japón alrededor del año 1900, y requería que el diseño resistiera una fuerza lateral en la base de 10% del peso total del edificio. Se presume que se utilizaba una distribución lineal de esta fuerza con la altura. Después del terremoto de 1909 en Messina (Italia), que causó 160 000 muertes, se recomendó 8,3% y luego aumentó a 12,5%. En 1923 se aprendió mucho del terremoto que destruyó la mayor parte de Tokio y Yokohama, sobre todo acerca del efecto de las condiciones del suelo en la respuesta; el Hotel Imperial Frank Lloyd Wrigth, construido para "flotar" sobre un antiguo pantano, fue uno de los pocos sobrevivientes. Por desgracia, las lecciones que fueron aprendidas aquí no fueron adoptadas universalmente, como lo prueba el desastre de la Ciudad de México (1985) ocasionado esencialmente por una construcción sin planificación sobre una antigua laguna.

Durante la primera mitad de este siglo se desarrolló con amplitud el concepto de coeficiente de la fuerza lateral, sobre todo con base en experiencias de daño por terremoto; pero las mediciones de los períodos naturales de las edificaciones de los años 50 permi-

tieron que el coeficiente corte en la base se uniera a esta propiedad dinámica, y que la distribución en altura fuera gobernada por la forma modal, en su mayoría lineal pero algunas veces parabólica. Tales estudios fueron llevados a cabo en particular por la Asociación de Ingenieros Estructurales de California (SEAOC).

El siguiente gran desarrollo en códigos de construcción sísmica se derivó de dos causas principales: los avances en el estudio de la respuesta dinámica de estructuras, y la acumulación de registros de terremotos. Ambas, juntas, produjeron el concepto de espectro de respuesta sísmica, que expresa la interdependencia entre el período de vibración de la edificación y la fuerza sísmica. El enfoque del espectro de respuesta continúa siendo la base de todos los códigos modernos (e.g., Eurocódigo 8-Construcción en Zonas Sísmicas), y mucho de la investigación se encuentra en progreso o en aplicación en oficina del diseño para edificaciones y estructuras similares. Para estructuras especiales, como represas o estaciones de energía, los códigos requieren métodos especiales que involucran un análisis dinámico completo de historia-tiempo y usan a menudo terremotos específicos del sitio.

Basados en experiencias cercanas en el tiempo, todavía siguen pendientes los siguientes temas en algunos de los códigos sísmicos de construcción del mundo:

- Una consideración más detallada de las condiciones del suelo, particularmente en lo que se refiere a los sitios de terreno suave.
- La incorporación del daño local y las deformaciones no elásticas en el análisis dinámico de terremotos severos.
- La incorporación del estudio del diseño por capacidad para la predicción de mecanismos de falla.
- El establecimiento de un enlace entre las cargas de diseño sísmico y el período de recurrencia sísmica.
- Algún reconocimiento al aislamiento sísmico y otros sistemas de control de respuesta desarrollados en años recientes.
- Secciones adicionales del código relacionadas con el detalle de los elementos estructurales.

El primer código fue aprobado en 1944; y se hicieron revisiones en 1949, 1953, 1961, 1968 y 1975. Se estaba haciendo otra revisión cuando ocurrió el terremoto en Erzincan el 13 de marzo de 1992.

En lo que se refiere al código de 1975, el método equivalente de fuerza estática lateral fue aceptado como el requisito mínimo para las estructuras de concreto armado o de marcos de acero de hasta 75 m de altura. Estas previsiones se aplican también a las edificaciones de albañilería, chimeneas, torres y tanques elevados.

La carga lateral es calculada de:

$$F = CW$$

donde C es coeficiente sísmico = $C_0 KSI$, C_0 es el coeficiente de la zona sísmica (0,03, 0,06, 0,08, 0,10), K el coeficiente del tipo estructural (1,2,3), S el coeficiente espectral ($S_{\max} = 1,0$), I el coeficiente de importancia de la edificación (1-1,5) y W el peso del edificio.

El código turco sigue de cerca las previsiones del código de construcción uniforme (UBC) de los Estados Unidos, pero existen diferencias. Particularmente las siguientes:

- El C_0 está basado en el mapa de zonas sísmicas que divide Turquía en cuatro regiones; la de mayor sismicidad sigue la falla del norte de Anatolia e incluye Erzincan. Su coeficiente es 0,1, un aumento de 0,06 respecto del usado en el código de 1968.

El código turco

- El código turco introdujo el coeficiente espectral en 1975 usando la fórmula:

$$S = \frac{1}{(0,8 + T \cdot T_0)}$$

donde T es el período natural de la estructura y T_0 es el período predominante del suelo.

- Los dueños de las edificaciones están obligados a permitir la instalación de acelerógrafos de movimiento fuerte. En la revisión de 1992 del código existente se propuso que:

$$C = C_0 I S / R$$

que es similar al código UBC de 1991. Se propone el coeficiente C_0 de 0,4 para la zona más alta, que corresponde al mismo valor en el UBC para la zona 4.

$$S = \frac{1}{(1,0 + T \cdot T_0)^2}$$

El coeficiente R es ahora el factor K de tipo estructural e incorpora el factor del código de 1975 y el factor de reducción de ductilidad del UBC (1991). Para las estructuras aperticadas de concreto armado el valor de R es 3; pero si estos factores "aumentan la ductilidad", el valor de R es 5,0. Así que, comparando el código de 1975 con el nuevo, con todos los otros coeficientes tomados como una unidad, el valor de C (1975) es 0,1 mientras que el valor de C (1992) es 0,08-0,12. En el UBC de 1991 el rango correspondiente para marcos de momento diseñados especialmente es 0,042-0,0128 y 0,042-0,256 para los muros de carga con una ductilidad menor.

Necesidades después del sismo relacionadas con las fallas estructurales y de sistema

Ya se ha discutido el marco institucional y legal de Turquía. Es de mucha utilidad observar cómo operó después del terremoto de Erzincan en marzo de 1992 en relación con las fallas de construcción y de sistema. Para ello debemos recordar que las fatalidades son provocadas directamente por las fallas en la construcción o indirectamente por fallas en los sistemas, tales como la electricidad, abastecimiento de agua y disposición de aguas negras, así como los servicios hospitalarios.

Existen cuatro acciones básicas requeridas después de cualquier desastre:

- Recolección de información.
- Determinación inmediata de las necesidades de las diferentes secciones de la comunidad.
- Activación de personal, equipo y recursos financieros.
- Coordinación y control de las actividades de cada grupo participante en la mitigación de desastres, modificando dichas actividades conforme el progreso del rescate.

En Erzincan todas las comunicaciones, abastecimiento de agua y electricidad estuvieron fuera de servicio por cuatro horas después del terremoto. Así, la escala del desastre pudo ser calculada por el Directorio General de Asuntos de Desastres solamente mediante el uso de un modelo computarizado del daño resultante estimado, que resultó ser muy exacto. Se pudo comparar su predicción de 1000 personas muertas y 3500 seriamente heridas con las cifras reales de 550 y 4000 respectivamente. Para edificaciones, sus predicciones fueron de 4500 dañadas seriamente, 7000 con daños medianos y 12 000 con daños ligeros; el resultado real fue 3859, 4727 y 7324 respectivamente (Gulkan y Ergunay 1992). En dos horas el Gobierno turco había sido informado de la escala del desastre, y, a través de él, los gobiernos extranjeros y las agencias de ayuda internacional. Claramente, el *software* para la predicción de daños tiene el potencial de ser verificado mediante pruebas con otros terremotos.

La identificación de categorías para los daños de edificaciones, asociada al planeamiento de refugios temporales, es un asunto importante. En Erzincan, 75 personas fueron asignadas por el Directorio de Asuntos de Desastres para esta tarea, y en cinco días habían identificado las edificaciones inhabitables. Fueron inspeccionadas 25 000, y se determinó su situación de daño en una tarea que tomó aproximadamente un mes; luego se hizo un anuncio público con los resultados, como la ley lo requiere. Muy pocas personas en Erzincan tenían aseguradas sus propiedades contra terremotos; por lo tanto, no hubo ninguno de los litigios que son comunes en algunas otras partes del mundo, donde la categorización de daños tiene consecuencias financieras apreciables.

En la reparación de edificaciones dañadas, la solución casi universal ha sido la instalación de muros de corte (Universidad Técnica de Estambul 1993), seguida de estudios importantes de la Universidad de Bogazici y la Universidad Técnica del Medio Oriente. En la nueva construcción (1994), los muros de corte verticales están incluidos en direcciones octogonales, lo que da como resultado una estructura similar a una caja, ideal para la resistencia sísmica. Estas nuevas viviendas están siendo ofrecidas a la población con préstamos libres de interés, lo que es casi un regalo en vista del ritmo de la inflación.

Una de las lecciones más importantes de Erzincan fue la dificultad experimentada en la coordinación de actividades entre los comités de ayuda nacional y provincial. Los equipos de rescate de la capital y de las provincias alrededor de Erzincan carecieron por completo de efectividad, debido al requisito legal de pretender que toda actividad fuera canalizada a través del gobernador. La falta de entrenamiento y experiencia en el ámbito provincial también provocó una falla para reconocer la necesidad de una comunicación efectiva.

En el futuro inmediato de Turquía se tratarán los siguientes aspectos:

- Fortalecimiento de las unidades de defensa civil.
- Desarrollo del concepto "medicina de desastres".
- Entrenamiento y equipo de las brigadas de bomberos en rescate y actividades de primeros auxilios.
- Los ministerios de gobierno involucrados deben contar con grupos entrenados y equipados para la movilización inmediata.
- Fortalecimiento de los depósitos regionales de la Media Luna Roja turca.
- Revisión del sistema de comunicaciones.
- Asegurar un entrenamiento efectivo para los funcionarios y personal técnico que pueden estar involucrados en desastres naturales.
- Apoyo a la investigación y estudios de desarrollo en la prevención y mitigación de desastres.
- Monitoreo de todos los estudios para la mitigación de daños causados por los desastres naturales y aplicación de conclusiones importantes en todas las etapas del plan de desarrollo.

Estoy particularmente en deuda con Polat Gulkan y Oktay Ergunay. También con mis amigos de la Universidad Técnica de Estambul, los Profesores Yerar, Bodoroglu y particularmente Karadogan. El Profesor A. A. Dumanglu, Rector de la Universidad Técnica de Karadeniz, me ha brindado su invaluable ayuda, especialmente para organizar y facilitar mi visita a Erzincan. Finalmente, a Ali Bol, del Ministerio de Obras Públicas en Erzincan, quien me dedicó su tiempo y me dio mucha información que no estaba disponible de otra manera.

Manejo de futuros desastres en Turquía

Resistencia a terremotos y tifones de las viviendas de bajo costo en las Filipinas



E. D. Booth y J. E. Martínez-Rueda

Este capítulo describe un estudio de caso respecto de la práctica de la construcción en las Filipinas. El objetivo del estudio fue identificar qué medidas podían ser tomadas para mejorar el proceso de diseño y construcción para edificaciones resistentes a terremotos y tifones, particularmente las viviendas de bajo costo de construcción en las áreas urbanas. El estudio se basa principalmente en una encuesta de opinión entre profesionales de la construcción en las Filipinas, y se apoya, además, en una extensa investigación de la literatura publicada al respecto.

Las Filipinas es particularmente propensa tanto a terremotos como a tifones. En los últimos 40 años el país ha sufrido seis terremotos destructivos de magnitud 7-8,5 en la escala de Richter; en el mismo período, y como promedio, cerca de un cuarto de millón de personas al año han quedado sin hogar por los tifones. Las amenazas secundarias desencadenadas por los vientos y terremotos, tales como deslizamientos, licuación, inundaciones y tsunamis (olas marinas de período largo o marejadas), han sido responsables de la mayoría de los daños, amén de los efectos directos de la presión de los vientos fuertes y los movimientos violentos del suelo.

El estudio mostró que las Filipinas posee las características necesarias para una buena resistencia a los tifones y a los terremotos. Estas características abarcan un amplio sistema de educación terciaria, cuerpos profesionales para proveer una educación continua, códigos de práctica que reflejan buenos estándares internacionales y un sistema de control de construcciones. Existe evidencia de que en la capital los estándares de diseño están mejorando en proyectos bien financiados. Sin embargo, el control de la construcción en proyectos de menos prestigio es inadecuado; aunque el conocimiento para construir edificaciones resistentes a los terremotos y tifones está disponible en las Filipinas, en muchos proyectos no se lo pone en práctica apropiadamente.

Los principales resultados del estudio se resumen a continuación:

- *Se necesita más entrenamiento tanto para el público general como para los estudiantes en las disciplinas de la construcción en niveles de pregrado y posgrado.*
- *La comunidad profesional, principalmente a través de sus sociedades educadas, debe ser más activa en impulsar la educación continua para promover una 'cultura de terremotos y tifones' entre los profesionales practicantes en la Filipinas.*
- *Se necesitan más recursos humanos y físicos para asegurar el control adecuado del proceso de diseño y construcción, especialmente para las construcciones hechas por los mismos propietarios, tradicionales y de bajo costo.*

- *La resistencia a los tifones de las construcciones tradicionales hechas por sus propios dueños es inadecuada, y este es un problema del cual los profesionales parecen no estar conscientes. Los recientes proyectos demostrativos serían promisorios, pero aparentemente no han tenido un impacto general suficiente.*
- *Se necesitan más instrumentos para el registro de los movimientos del suelo durante los terremotos y para medir la velocidad de los vientos durante los tifones.*

Introducción y alcance

Este capítulo es una versión resumida de un estudio presentado con más detalle en otra parte (Booth y otros 1994). El objetivo del estudio fue identificar qué medidas se deben tomar para mejorar el diseño y el proceso de construcción de las edificaciones en las Filipinas (particularmente las viviendas urbanas de bajo costo), con el fin de mejorar la resistencia a los vientos de tifones y a los movimientos sísmicos.

La amenaza de sismos y tifones en las Filipinas

Visión general

Las Filipinas es una de las áreas del mundo más propensas a desastres. Debido a su localización geográfica y medio ambiente, los tifones, terremotos y erupciones volcánicas golpean al país regularmente. Las amenazas asociadas, principalmente los tsunamis (grandes olas marinas), las inundaciones y los deslizamientos, también son experimentadas con efectos destructivos. En el período de 1947 a 1991 se perdieron 21 510 vidas debido a desastres provocados por fenómenos naturales. En una escala global y sobre la base de estadísticas de 1982 a 1991, las Filipinas es considerada entre los cinco países más afectados por varias amenazas naturales, incluyendo fuertes vientos, eventos volcánicos y terremotos.

Una de las causas más importantes de la vulnerabilidad de las comunidades filipinas a los desastres es la pobreza extrema. Más de 70% de los habitantes filipinos vivían por debajo del nivel de pobreza en 1990. En general, la situación económica del país y las actitudes culturales imponen restricciones severas a lo que puede hacerse para reducir la vulnerabilidad a las amenazas naturales. Las siguientes secciones resumen brevemente las amenazas relacionadas con los objetivos del proyecto.

La amenaza sísmica en las Filipinas

Las Filipinas está localizada en un área de alta actividad sísmica causada por la interacción de las placas Euroasiática y Filipina. Por lo menos cinco sismos son registrados cada día, y desde 1954 han ocurrido seis grandes sismos de magnitud 7,3 o más.

Uno de los terremotos más destructivos ocurrido recientemente en las Filipinas fue el terremoto de Luzón. El 16 de julio de 1990, un terremoto de magnitud 7,8, causó daño general, trastornos y pérdidas de vidas en Luzón Central. Las ciudades de Dagupan y Baguio sufrieron grandes daños atribuidos principalmente a la licuación y al colapso de edificios respectivamente. Los efectos principales de este terremoto fueron:

- 1600 muertos y 3500 heridos.
- 148 000 personas sin hogar.
- 93 000 viviendas dañadas y 23 000 destruidas.
- Interrupción severa del sistema de transporte debido a deslizamientos, daños mayores y colapso de puentes, y daños provocados por el hundimiento de la pista del aeropuerto Baguio.
- Daños severos en la economía. En agosto de 1990 tales daños fueron calculados en 440 millones de dólares. La Autoridad Nacional de Economía y Desarrollo (NEDA) redujo su proyección del crecimiento del producto nacional bruto para 1990 de 4,8% a 3,8% como resultado directo del efecto del terremoto.

Un repaso de la amenaza sísmica en las Filipinas es el publicado por la PHILVOCS en su folleto *Terremoto y tsunami*.

Los tifones explican la mayor parte de los daños ocasionados a las Filipinas por una amenaza natural. El daño causado por los tifones proviene principalmente de las inundaciones, los vientos huracanados, oleaje por tormentas y deslizamientos. En general, la mayor parte del daño estructural en las casas ocasionado por el viento fue producido por la alta presión generada en las paredes y techos.

Amenaza de tifón en las Filipinas

Cerca de 95% de los tifones que cruzan Luzón se originan en el océano Pacífico, y solamente 5% en el Mar del Sur de China. En promedio, cerca de 20 tifones entran en territorio filipino anualmente. Nueve de ellos llegan a la costa y producen daños serios a las edificaciones, incluyendo las casas de bajo costo. Esto da como resultado la pérdida de vidas, heridos y personas sin hogar. Entre 1948 y 1978, cerca de 325 tifones golpearon las Filipinas, con más frecuencia durante los meses de mayo a diciembre. El daño calculado como resultado de los tifones en el período de 1970 a 1982 incluye 3867 muertes, 6 200 000 personas afectadas y daños a la propiedad por 82 millones de dólares. En promedio, un cuarto de millón de personas al año quedan sin hogar en las Filipinas debido a la acción de los vientos fuertes.

Uno de los tifones más destructivos que ha cruzado las Filipinas fue el Yoling, ocurrido en 1970 y que alcanzó velocidades del viento de 55 m/s. En Manila provocó daños severos a las áreas residenciales, infraestructura, sistemas de energía e instalaciones de servicios. Otro tifón destructivo en Filipinas fue el de Sisang, que en 1987 destruyó 207 000 casas y afectó a 490 000 familias.

Las bases para la elaboración de este acápite fueron las siguientes:

- Una amplia búsqueda de literatura.
- 27 respuestas recibidas a un breve cuestionario que circuló principalmente en las Filipinas.
- Diez entrevistas llevadas a cabo en Manila y basadas en un cuestionario mucho más extenso.

Metodología de investigación Introducción

La bibliografía de Booth y otros (1994) identifica la literatura examinada. A continuación se describe el diseño de los dos cuestionarios.

Para estudiar las causas de las brechas que existen entre las estipulaciones de diseños del estado del arte y el actual estado de práctica en las Filipinas, se llevó a cabo una investigación detallada. La investigación tomó como eje el actual proceso de implementación para el diseño y construcción de casas de bajo costo en Luzón. Se dio un énfasis particular a las consideraciones de diseño para tifones y terremotos.

Diseño de los cuestionarios

Los cuestionarios se distribuyeron entre los ingenieros filipinos de diferentes sectores (industria, gobierno, universidad). También se consultó a un número de especialistas fuera de las Filipinas que estaban familiarizados con los objetivos del estudio, para obtener asesoría respecto del diseño y la aplicación de cuestionarios; asimismo, se recurrió a otros expertos que podían contestar los cuestionarios.

Las preguntas incluidas en el cuestionario fueron diseñadas para cubrir en todo lo posible diferentes aspectos de los objetivos del estudio, con un particular énfasis en el papel de cada uno de los tres sectores involucrados. El cuestionario resultante pretendía recoger las opiniones sobre las siguientes características:

- Los factores que interfieren en el proceso de diseño y construcción.
- Organización de la industria de la construcción
- Métodos para mejorar el sistema actual.
- Mecanismos para la transferencia de conocimientos.
- Interacción entre los sectores involucrados.

El cuestionario fue puesto en práctica en una versión breve y otra más extensa; ambas están anexadas en Booth y otros (1994).

El cuestionario breve hace una lista de las causas posibles de los daños ocasionados por terremotos y tifones. Para ello, se pidió a los encuestados que los clasifiquen en una escala de 0 (sin importancia) a 3 (muy importante). También se les pidió dar un orden similar a las posibles medidas para mejora, y se les invitó a dar otros comentarios. Debido a su formato, el cuestionario condensado posee los siguientes atributos:

- Es un instrumento para capturar rápidamente las opiniones y más fácil de completar.
- Permite la identificación de puntos particulares a los cuales se tiene que dirigir el cuestionario más extenso.
- Permite la identificación y selección de los candidatos para la circulación del cuestionario más amplio, al que sigue una entrevista personal.

Se recibieron 27 contestaciones, las que fueron resumidas por Booth y otros (1994).

El cuestionario más amplio fue diseñado sobre la base de entrevistas, y permite una exploración en detalle de las opiniones. En este cuestionario los encuestados tuvieron la libertad de ampliar y explicar mejor sus pareceres.

Para el estudio presentado aquí, se preparó una lista de circulación con la asistencia de especialistas involucrados directamente con la práctica del diseño de construcción en las Filipinas. La carta de presentación, adjunta al cuestionario, puso en claro el carácter confidencial de las respuestas. También se incluyó una invitación para llenar el cuestionario ampliado y tomar parte en una entrevista personal. Además, se invitó a los receptores a copiar y redistribuir el cuestionario condensado entre sus contactos personales. En las Filipinas se llevaron a cabo un total de 10 entrevistas personales siguiendo un esquema del cuestionario ampliado. Una transcripción de estas entrevistas aparece en Booth y otros (1994).

Comunicaciones particularmente valiosas fueron recibidas de afuera de las Filipinas por el Dr. A.S. Arya (BM TPC; Delhi, India), el Profesor S.P. Gupta (ADPC, Bangkok, Tailandia), el Dr. David Hopkins (KRPTA, Nueva Zelanda), y el Profesor Davenport (Universidad de Ontario Occidental, Canadá). Las entrevistas personales relacionadas con los cuestionarios extensos fueron conducidas por Louis Solway (Consultor del Instituto de Ingenieros Civiles, Londres).

Práctica actual en las Filipinas

*Estimación de
los niveles de amenaza*

- **Amenaza sísmica.** Las Filipinas se encuentran en un área de alta actividad sísmica. La zonificación del país en el código nacional de estructuras de las Filipinas identifica dos zonas. La mayor parte del país está localizada en una zona de alta sismicidad, equivalente a la zona más sísmica del Código de Construcción Uniforme de California. La isla de Palawan y las pequeñas islas en el archipiélago Sulu están localizadas en una zona de sismicidad moderada, equivalente a cerca de la mitad del nivel de amenaza en el resto del país.

Una de las mayores carencias es la falta de estudios de microzonificación, particularmente para las áreas de licuación a las que varias zonas de las Filipinas son especialmente propensas. Un estudio de microzonificación reciente (1994) refiere esta carencia para la isla Luzón.

- **Amenaza de tifón.** El código nacional de estructuras de las Filipinas provee mapas sobre la presión de los vientos para todo el país, y corresponde a un período de retorno de 50 años. Las velocidades máximas de las ráfagas oscilan entre 42 y 55 m/s, sobre una base del kilómetro más rápido. Las velocidades máximas del viento están especificadas para la costa este del país, donde llegan la mayoría de los tifones. Se dan coeficientes de presión para una variedad de formas de edificaciones, y también se in-

dican algunas restricciones para mayores detalles. Las previsiones establecen que donde los registros locales indican velocidades del viento más altas, éstos deben ser usados para fines de diseño. Estas previsiones fueron modificadas por última vez en 1992, y se reconoce que, en general, necesitan una revisión.

En las Filipinas existen 55 universidades, y cerca de 40 de ellas tienen departamentos de ingeniería civil. Los programas de posgrado en ingeniería estructural son escasos. Existen tres escuelas que ofrecen un programa de graduados en ingeniería estructural, pero no hay universidades que ofrezcan programas de doctorado. Los ingenieros estructurales deben estudiar normalmente cinco años para obtener su primer título. Algunas escuelas incluyen un curso de introducción de ingeniería sísmica. Parece ser que hay un entrenamiento limitado en el diseño sismo-resistente en el ambiente universitario. Los caminos alternativos para adquirir conocimientos en este campo incluyen el estudio por cuenta propia de la literatura disponible, el entrenamiento dado por compañeros o superiores, seminarios continuos de educación en ingeniería, conferencias y talleres patrocinados por organizaciones profesionales.

*Entrenamiento
y educación*

Se han establecido varias organizaciones profesionales en las Filipinas. Las más activas son el Instituto Filipino de Ingenieros Civiles (PICE) y la Asociación de Ingenieros Estructurales de Filipinas (ASEP). Estas organizaciones no editan revistas para promover el conocimiento técnico; sin embargo, ASEP ha publicado una guía de diseño resistente a terremotos. No existe ninguna sociedad profesional que se especialice en ingeniería de terremotos; este papel ha sido llevado en gran parte por las actividades de la ASEP.

Con respecto a la información brindada al público en general, el Instituto Filipino de Vulcanología y Sismología (PHILVOCS) ha publicado un folleto titulado *Terremoto y tsunami*. Se trata de una excelente introducción a la sismología en Filipinas, y contiene también información útil dirigida al público en general.

La Oficina de Defensa Civil ha publicado el *Manual de desastres de Barangay*, el *Folleto de realidad de la Defensa Civil* y el *Manual para la preparación de la familia*. Estas publicaciones son usadas para mantener y aumentar la conciencia pública sobre las amenazas naturales tales como los terremotos, fuego, tifones e inundaciones.

Los libros de texto para las escuelas elementales están siendo revisados para incluir temas como las características y causas de los desastres naturales y las maneras para mitigar sus efectos adversos sobre el hombre y el ambiente.

• **Formas tradicionales.** Las formas típicas de construcción en las Filipinas han evolucionado con los cambios sociales y el desarrollo económico del país. En general, se pueden distinguir cuatro categorías:

*Formas típicas
de construcción*

- Estructuras pequeñas hechas de bambú local disponible y troncos de madera. Éstas son usadas principalmente para viviendas y para la agricultura o la pesca.
- Albañilería europea de piedra y de ladrillos, introducida por los españoles en el siglo XVI y usada en casas, iglesias y edificaciones comerciales.
- Práctica de diseño y de la construcción norteamericanos. Ha tenido una gran influencia en el uso de materiales y construcción en los últimos 70 años. En años recientes, el uso de concreto armado y bloques huecos de concreto es casi universal en estructuras pequeñas y grandes.
- Proyectos de ayuda para el desarrollo. Éstos están diseñados con altos estándares internacionales o incluyen facilidades de abastecimiento de energía, irrigación, caminos y construcción de edificaciones.

En Luzón, las estructuras no diseñadas por ingenieros son aproximadamente 90% de las edificaciones residenciales y muchas de las edificaciones comerciales de baja cali-

dad en existencia. Se pueden distinguir dos categorías de viviendas de bajo costo: las viviendas tradicionales y las casas de albañilería (bloque hueco de concreto). La vivienda tradicional está hecha de materiales locales y es usualmente la única forma de vivienda disponible para las familias más pobres. La construcción es simple, muy ligera y frágil. En general, esta forma de construcción carece de todas las características de resistencia a tifones.

Un número creciente de estructuras para viviendas de bajo costo consiste en una combinación de concreto armado y paredes de albañilería hechas de bloques de concreto. Para los techos se usan planchas de fierro galvanizado sobre una estructura de madera.

El uso de los bloques de concreto está en aumento debido al poco abastecimiento de madera y a su alto costo. Los bloques de concreto son usados para paredes de relleno de albañilería en marcos de concreto armado, albañilería reforzada para soportar cargas y también para la albañilería no reforzada.

- **Iniciativas recientes.** Hace poco se ha puesto en práctica en las Filipinas un proyecto para proveer viviendas resistentes a tifones para los más pobres, y se han publicado evaluaciones preliminares. El proyecto, que fue nombrado oficialmente como Proyecto de Asistencia para la Creación de Albergues Básicos, promueve la construcción de un albergue básico hecho con materiales locales. El diseño del albergue incorpora principios básicos del diseño resistente a tifones, lo que permite a las unidades soportar vientos de hasta 50 m/s.

La construcción de los albergues sigue un enfoque modular. Esto hace posible que cada familia tenga un albergue básico resistente a los tifones, que puede ser variado de acuerdo con los recursos y necesidades futuras.

El proyecto es administrado por el Departamento de Desarrollo y Bienestar Social (DSWD) con el apoyo técnico de UNDRRO y el Centro de Preparación para Desastres en Asia (ADPC). Inicialmente se construyeron como prueba 450 unidades durante 1988. Para 1991, más de 14 000 unidades habían sido construidas en 12 regiones del país.

*Regulación
del proceso
de construcción*

- **Códigos de práctica.** La influencia de los Estados Unidos en las Filipinas durante el presente siglo ha inducido a seguir las prácticas de diseño y construcción propias de aquel país. Cuando sucedió el terremoto de Luzón en 1990, el Código Nacional Estructural de Filipinas (NSCP) contenía literalmente la sección 2312 del UBC de 1985 y el ACI 318-83. Se usó una zona de riesgo sísmico 4 para todo Filipinas; esto correspondía a la zona más sísmica en los Estados Unidos. Sin embargo, para los proyectos mayores en Filipinas el UBC de 1988 y las reformas del ACI-318 fueron usadas en lugar del NSCP. Como fue discutido anteriormente en la subsección de amenaza de tifones, el código también brinda velocidades del viento e información para el diseño resistente al viento.

Después del terremoto de Luzón de 1990, la ASEP publicó una guía para el diseño sísmico (ASEP 1991) basada en la edición de 1991 de la UBC, con la inclusión de amplios comentarios y ejemplos de diseño.

Recientemente, el Gobierno ha estado tratando de promocionar y alentar el desarrollo de proyectos de vivienda social económica, con el fin de crear viviendas adecuadas en el sentido económico y social para asalariados promedios y de bajos ingresos en áreas rurales y urbanas. Se está trabajando para desarrollar un código aparte para las construcciones de bajo costo que no son diseñadas por ingenieros (no ingenieriles).

- **Permisos, controles de construcción y registro de ingenieros.** La supervisión del diseño y estándares de construcción es llevada a cabo por el Departamento de Obras Públicas y Carreteras (DPWH) en el ámbito nacional y por autoridades locales en el regional. Las autoridades reguladoras están haciendo esfuerzos para aumentar la cali-

dad de la construcción, particularmente para los edificios de cuatro pisos o más. Esto es posible mediante la revisión de la documentación de construcción y del requerimiento para que el diseñador certifique que la estructura ha sido construida de acuerdo con la documentación de construcción.

Para registrarse como ingeniero civil, los ingenieros deben pasar exámenes de licencia que son administrados por el Gobierno. Estos exámenes cubren una amplia gama de tópicos de ingeniería y pueden tomarse sin ninguna experiencia de posgrado. Los exámenes se toman normalmente un año después de la graduación. Un ingeniero civil registrado puede ser calificado en cualquier disciplina de ingeniería.

En teoría, debe obtenerse un permiso de construcción del gobierno local antes de empezar cualquier nueva construcción. Para ello, el dueño o el arquitecto a cargo deben presentar a las autoridades reguladoras un juego completo de diseños estructurales y cálculos certificados por un ingeniero registrado, junto con otros juegos de diseños arquitectónicos, mecánicos, eléctricos y sanitarios. Luego los diseños son procesados por los ingenieros del gobierno. Las previsiones principales parecen limitarse a los medios de escape y sistemas de protección contra el fuego, y raramente se obtiene una retroalimentación de la revisión con respecto a los diseños estructurales o los cálculos.

Antes de obtener un permiso de ocupación, tanto el ingeniero registrado responsable del diseño como el de la supervisión (normalmente el contratista y a menudo con el consentimiento del jefe de proyecto), tienen que certificar que la estructura ha sido construida de acuerdo con los diseños. Esto es seguido de una inspección del sitio por un ingeniero del gobierno.

Sé puede observar que la responsabilidad para la calidad del proceso del diseño recae principalmente en la organización que lo realiza. Parece existir poca interacción entre los ingenieros para alcanzar un consenso sobre los detalles de los procesos de diseño o la interpretación de códigos. Sin embargo, el Instituto Filipino de Ingenieros Civiles (PICE) y la Asociación de Ingenieros Estructurales de Filipinas (ASEP) están promoviendo activamente el diseño sísmico con seminarios y conferencias. En los últimos años se están haciendo más comunes las revisiones de diseño y construcción por consultores independientes, como fue recomendado por la Asociación de Ingenieros Estructurales de California (SEAOC), particularmente en proyectos mayores en Manila.

De acuerdo con los observadores, mucho del daño estructural provocado en las Filipinas después de los tifones y terremotos pudo haber sido evitado si hubieran existido prácticas adecuadas de diseño y construcción. La debilidad en el proceso de diseño actual se deriva de un desequilibrio. Por una parte, existe la alta amenaza sísmica y los tifones. Por otro lado, hay una falta de preparación combinada con deficiencias en los procesos de diseño y construcción.

En las siguientes secciones se hacen comentarios específicos basados principalmente en el análisis de las respuestas a los cuestionarios. Sin embargo, para complementar la información obtenida de los cuestionarios se usaron también otras fuentes.

El trabajo de Booth y otros (1994) contiene un resumen de los resultados del cuestionario corto. El número de respuestas es demasiado pequeño como para permitir un análisis refinado estadístico/inferencial de los resultados. Sin embargo, es posible hacer algunas observaciones:

1. Parece que existe acuerdo entre los entrevistados acerca de que los siguientes parámetros claves fueron la causa de la vulnerabilidad:
 - Pobre calidad de los materiales de construcción.
 - Pobre calidad de mano de obra y supervisión inadecuada en la obra.

Discusión de los hallazgos *Generalidades*

Análisis de las repuestas al cuestionario corto

- Incumplimiento de las regulaciones de construcción o de los códigos de práctica vigentes.
 - Fallas en la realización de un análisis estructural adecuado.
2. Con respecto a las causas de las fallas debido a los terremotos, se dio un énfasis particular a los siguientes aspectos:
 - Pisos suaves o débiles.
 - Rigidez lateral inadecuada.
 - Deficiencias en detallar los elementos estructurales y sus conexiones.
 - Insuficientes investigaciones del suelo.
 3. En lo que atañe a las causas de las fallas generadas por tifones, se dio un énfasis particular a lo siguiente:
 - Daños iniciados por la falla en las aberturas de la ventana o puerta, causados por contraventanas para tormentas o fijaciones inadecuadas.
 4. Con respecto a las sugerencias etiquetadas como propuestas para mejorar la resistencia a terremotos y tifones, los entrevistados estuvieron de acuerdo en que la mayoría de ellas tenían valor, con excepción de las siguientes:
 - Mejor divulgación de información técnica preparada por agencias internacionales.
 - Introducción de formas o materiales estructurales diferentes.
 - Incentivos financieros para diseños que cumplen los códigos de diseño.
 - Proyectos de demostración financiados por el sector público.

Una importante observación general es que la mayoría de los entrevistados opina que la amenaza sísmica es más importante que la amenaza del tifón. Esto puede ser cierto para las estructuras de concreto y acero diseñadas por ingenieros en los sectores público y comercial. Sin embargo, ya hemos identificado claramente los devastadores efectos de los tifones en las Filipinas. Sin duda, existe un problema importante con respecto a la resistencia a los tifones de las casas tradicionales y construidas por sus propios dueños.

Análisis de las respuestas al cuestionario largo

En Booth y otros (1994) se tiene una transcripción completa de las diez entrevistas realizadas con profesionales de la construcción y llevadas a cabo en Manila en febrero de 1994. Se cubrieron una gran variedad de temas, y las entrevistas brindaron una fuente inestimable que estableció las opiniones y las recomendaciones de profesionales expertos en construcción de diferentes sectores en las Filipinas. Muchos de los temas específicos señalados están cubiertos en otras partes de este reporte; algunos de los puntos más importantes son los siguientes:

- El problema principal con el diseño y la implementación no se presenta en los grandes proyectos bien financiados en la capital y en otras partes, donde se detecta una mejora en los estándares, particularmente desde el terremoto de Luzón en 1990. Más bien, los problemas ocurren en los proyectos con un mal financiamiento y en el sector no ingenieril.
- La capacitación para ingenieros y arquitectos en resistencia a terremotos y tifones es inadecuada. Además, la capacitación es vista algunas veces sólo como un medio para adquirir calificaciones en lugar de una forma de obtener las habilidades para la aplicación práctica de estos conocimientos.
- Se ha dado poca atención a la resistencia a los tifones; los mapas de velocidad de los vientos, proporcionados por el código filipino, necesitan ser mejorados.

Como se mencionó anteriormente, una de las experiencias de terremotos más destructivas en Luzón fue el evento de 1990. El estudio del comportamiento de las estructuras existentes durante este terremoto ha sido ampliamente difundido a través de las numerosas misiones de campo organizadas después del terremoto. Estos estudios brindan una buena muestra de la vulnerabilidad de las construcciones en existencia. La mayoría de los edificios sobrevivieron a la acción del terremoto de Luzón de 1990 sin daño significativo. Sin embargo, un gran número de edificaciones se derrumbaron o quedaron seriamente dañadas. Muchas de estas edificaciones tenían serias irregularidades relacionadas con el concepto de diseño (pisos suaves, sistemas vulnerables a carga lateral, condiciones inapropiadas de los cimientos), el detalle estructural (acero de confinamiento insuficiente en las columnas, pobre detallado de las juntas o uniones) y el proceso de construcción (defectos de construcción).

En el caso de las viviendas, éstas siguen patrones predecibles, incluyendo los siguientes:

- Movimiento hacia los lados del piso superior, debido a la flexibilidad del piso a nivel del suelo.
- Derrumbe de los bloques de las paredes exteriores que fueron unidos de un modo inadecuado.
- Asentamiento debido a la licuación en las áreas costeras.
- Inclinación por asentamiento y derrumbe debido a la pérdida de apoyo en los cimientos.

Los vientos fuertes de los tifones ocasionan usualmente un daño substancial a las casas que carecen de diseño de ingeniería, hechas de bambú y techadas con palmas, zacate y otros materiales livianos. Cerca de 50% de las casas hechas con materiales ligeros pueden ser dañadas por vientos que exceden los 40 m/s; para las velocidades del viento que exceden de 55 m/s, casi todos ellos pueden sufrir daño total.

Las unidades de vivienda construidas por el proyecto de CSA (descrito anteriormente) tuvieron un buen comportamiento durante los tifones recientes. En 1988, las 450 unidades introducidas como prueba tuvieron que enfrentar dos tifones con velocidades que alcanzaron 45 y 50 m/s. Todos los refugios soportaron los vientos del tifón. Sin embargo, es significativo que solamente uno de los que contestaron el cuestionario largo se refirió al CSA. Ya que los encuestados fueron profesionales de la construcción en su país, esto sugiere que el proyecto no está teniendo el impacto que debiera.

Los informes del terremoto de Luzón de 1990 revelaron la variedad de estándares de construcción, que pueden ser atribuidos a procedimientos defectuosos de construcción y supervisión. Por otra parte, también se hicieron evidentes algunos errores obvios en el concepto de diseño y detalles, lo que se debería a posibles fallas en la capacitación y entrenamiento de ingenieros, arquitectos y constructores.

En las escuelas de ingeniería civil existe un curso formal en diseño sismo-resistente que parece ser opcional, no obligatorio, excepto en un nivel rudimentario. Esto puede dar como resultado que los ingenieros que están terminando su educación no reciban la instrucción apropiada en esta área. La educación continua se brinda en forma de seminarios y conferencias organizados por las sociedades profesionales, aunque su efectividad general es cuestionada. Las sucursales locales de la ASEP no existen en todas las localidades importantes de Filipinas. Se espera que estas sucursales se encarguen de promover la capacitación y la educación entre los constructores locales y funcionarios de la construcción.

En 1991 la ASEP publicó una guía para el diseño sismo-resistente. La guía de la ASEP fue publicada para brindar un manual útil de diseño sísmico para los ingenieros practicantes, pero principalmente para establecer pautas útiles para los nuevos ingenieros y con

Comportamiento de las construcciones en los terremotos

Comportamiento de las edificaciones durante los tifones

Capacitación y educación

menos experiencia. Sin embargo, aunque esta iniciativa de la ASEP debería ser bien recibida, su efectividad debería ser evaluada y se podría considerar la publicación de versiones actualizadas. La guía actual de la ASEP brinda una visión aceptable del diseño sismo-resistente, pero los sistemas estructurales cubiertos en los ejemplos de diseño no son aplicables a los tipos más comunes de construcción adoptados en las Filipinas y en los sectores tradicionales.

La educación brindada al público en general parece que es escasa y que está poco difundida. Las personas deberían ser continuamente informadas de lo que debe hacerse antes, durante y después de un terremoto. En el terremoto de Luzón de 1990 se reportó un ejemplo del poco entrenamiento público cuando, en Dagupan, cerca de diez personas murieron por estampidas al tratar de salir de los cines.

El proyecto del CSA es una característica positiva del sistema en relación con el entrenamiento local de las personas en la construcción contra tifones. En este proyecto los beneficiarios están involucrados directamente en la construcción de sus casas. Esta práctica ha dado buenos resultados en el pasado y debería ser impulsada, porque promueve el entrenamiento de los constructores locales y mejora las técnicas tradicionales. El primer nivel de entrenamiento consiste en un curso de medio día donde se cubren aspectos teóricos del proyecto que incluyen los aspectos técnicos de la construcción de viviendas. Este curso está dirigido al personal técnico del Departamento de Bienestar Social y Desarrollo (DSBD), supervisores de provincias y ciudades, y trabajadores sociales del DSBD y de otras áreas.

El segundo nivel de entrenamiento dura tres días y trata de los componentes técnicos de la construcción de viviendas, así como de la evaluación del progreso del proyecto. En esta sesión se construye una casa como una manera de entrenamiento en los métodos necesarios de construcción, y luego ésta es usada como una casa de demostración para esa área. La construcción del albergue modelo es demostrada por la Consultoría Nacional de los Consultores Técnicos Regionales, los supervisores de la ciudad y provincias y los creadores del proyecto del DBSD, que están por lo tanto en capacidad de pasar este conocimiento a los beneficiarios.

A pesar del éxito aparente del proyecto del CSA, debería notarse que los cuestionarios revelaron muy poco entusiasmo por los proyectos de demostración financiados por el Gobierno y poco conocimiento del proyecto de la CSA.

Regulaciones de diseño y prácticas de construcción

Los problemas para la aplicación de códigos y la ejecución del escenario de diseño y construcción en las Filipinas incluyen lo siguiente:

- Muchos de los ingenieros y arquitectos practicantes no están familiarizados con el uso y aplicación de los códigos de la NBC y NSCP, especialmente con las previsiones del diseño sísmico.
- Muchos arquitectos diseñan, firman y sellan planos de edificios sin consultar a los ingenieros civiles competentes y sin la comprensión de los aspectos sísmicos y geotécnicos involucrados.
- No existen ingenieros estructurales reconocidos, ni tampoco inspectores estructurales, como lo define la NSCP, con licencias emitidas por la Comisión Profesional de Regulaciones del Consejo de Ingeniería Civil.
- Las reglas de la NBC relacionadas con la estructura de la Oficina de Construcción Oficial no siempre se aplican. Las oficinas de los ingenieros de la ciudad y municipalidades actúan como la Oficina de Construcción Oficial.
- El personal de las oficinas de ingenieros en la ciudad y en las municipalidades no es completamente consciente de su poder para ejecutar el código, ni de su poder para requerir correcciones específicas y difíciles de alcanzar en el escenario del diseño, si se juzga necesario.

- Parece ser que la evasión del control de construcción es relativamente fácil. Primero, la ejecución de los requisitos del código a través de los oficiales de construcción es a menudo suave. Segundo, la cantidad de multas y la severidad de las penas por la violación del código de construcción son muy leves y de difícil aplicación; además, demandar a cualquier violador del código representa para las autoridades locales una pérdida de tiempo.
- Las oficinas municipales y de la ciudad de los ingenieros carecen de personal y sus fondos son escasos. Esto da como resultado la escasez de recursos para la educación continua de su personal, la falta de equipos de cómputo y de una biblioteca técnica adecuada.

Los cuestionarios detectaron la falta de entrenamiento adecuado en la reconstrucción y reparación de los daños mayores. También se sugirió que los programas de fortalecimiento y reparación no han sido formulados apropiadamente y no se han hecho esfuerzos sistemáticos para mejorar las estructuras. Después del terremoto de Luzón, las personas hicieron sus propias reparaciones a su modo. En general, se han seguido técnicas de reparación inapropiadas.

*Mejora
de las estructuras
existentes*

La influencia de los Estados Unidos en los códigos de diseño actualmente en uso en las Filipinas ha dado como resultado la adopción de un alto estándar de previsiones para el diseño estructural. Sin embargo, aunque los conceptos técnicos pueden ser importados de un país desarrollado a uno subdesarrollado, no son aplicados necesariamente con éxito debido a los diferentes escenarios físicos, económicos, culturales y sociales. Además, los procedimientos de ejecución son necesarios para asegurar la aplicación adecuada de las regulaciones de diseño.

Conclusiones y
recomendaciones

La evidencia recogida a través de los cuestionarios sugirió que en ciertas circunstancias un número de factores actúan en contra del diseño adecuado y las prácticas de construcción apoyadas por las regulaciones del código. El principal ingrediente del problema parecen ser las restricciones económicas y la poca importancia dada al problema. A menos que las iniciativas locales sean tomadas para enfrentar y discutir los puntos débiles del sistema actual, no se puede esperar un cambio positivo en un corto o mediano plazo.

Las siguientes recomendaciones se ofrecen como un grupo de ideas que pueden ser útiles para la mejora del proceso de ejecución de diseño actual. Sin embargo, éstas tendrán algún efecto sólo si son tomadas, desarrolladas y aplicadas por las personas apropiadas:

- El público general en las Filipinas debería ser informado mejor acerca de las amenazas de terremoto y tifón. Se necesita una campaña educacional para generar una conciencia pública antes y después de que ocurren este tipo de eventos. Esto no sólo mejoraría la situación que sigue a un terremoto o tifón severo; también ayudaría a que los políticos dedicaran mayores recursos a la mitigación contra las amenazas naturales.
- Se necesitan mejoras significativas en el entrenamiento profesional y en el nivel de no graduado y posgraduado en el diseño resistente a terremotos y tifones. En las escuelas de arquitectura e ingeniería los estudiantes no reciben entrenamiento suficiente. Se debería incluir un curso formal en estos temas en el nivel del no graduado. Este curso debería ser obligatorio. Se necesitan recursos para entrenar y abastecer a los maestros en estos cursos.
- Las universidades y el Gobierno deberían considerar el establecimiento de un programa de becas en el extranjero para brindar un entrenamiento de alto nivel en diseño antisísmico a terremotos y tifones para posgrado. Sin embargo, este programa debería ser diseñado cuidadosamente para que los estudiantes de verdad transfieran el conocimiento adquirido después de terminar los estudios de posgrado. El incentivo de

una oferta de trabajo atractiva, compatible con el nivel académico alcanzado ya sea en la universidad o en un departamento de Gobierno relacionado con la construcción, podría ayudar a asegurar el regreso de los estudiantes enviados al extranjero.

- La comunidad profesional debería ser más activa para promover la práctica del buen diseño; de otra forma, existe el riesgo de que el interés en el diseño y la construcción resistente a los terremotos y tifones desaparezca progresivamente después de un evento dañino. La gran sucesión de terremotos y tifones en las Filipinas justifica la existencia de una “cultura de terremotos y tifones”. Los entrenamientos y conferencias dirigidos a los profesionales practicantes deberían organizarse más a menudo y a un costo razonable para que un número mayor de personas pueda beneficiarse de estas actividades.
- Los recursos humanos y físicos disponibles actualmente en las Filipinas para el control del diseño y el proceso de construcción son inadecuados. Sin tales recursos no se puede alcanzar un nivel apropiado de resistencia a los terremotos y tifones.
- Existe un problema particular en el control de la construcción de las estructuras informales y que no son diseñadas por ingenieros, que necesita ser revisado. En los países en desarrollo, la mayoría de la gente no puede contratar a un ingeniero o arquitecto para diseñar sus casas. Las necesidades básicas tienen una prioridad mayor, y el escaso nivel de los ingresos apenas cubre estas necesidades. Aunque los programas de vivienda del Gobierno pueden brindar casas económicas para algunas personas, no toda la población puede tener acceso a estos programas. Se deberían poner en marcha programas para asistir a este sector de la sociedad.
- Una posibilidad para ser considerada es la siguiente: algunas universidades de los países en desarrollo, incluyendo México, requieren que sus estudiantes lleven a cabo un “servicio social” como requisito de graduación. Durante el último año de sus estudios los estudiantes, en colaboración con la agencias de ayuda del Gobierno, brindan asistencia técnica y entrenamiento en diseño y construcción resistente a tifones y terremotos a los constructores en regiones de pobreza extrema. Este procedimiento merece mayor consideración general.
- No se deberían adoptar códigos extranjeros en las Filipinas sin una evaluación cuidadosa de lo apropiado para las consideraciones locales. La efectividad de estos códigos debería ser evaluada en términos de restricciones locales, la práctica particular de construcción local, materiales disponibles, condiciones económicas y sociales y la naturaleza particular de la amenaza en las Filipinas.
- La resistencia a los tifones de las viviendas tradicionales y autoconstruidas es inadecuada, y esto representa un problema del cual los profesionales en Filipinas no son conscientes. El proyecto reciente de CSA que proporciona unidades de vivienda básica pero de calidad parece ser una iniciativa más prometedora pero no es muy conocida. Este y otros proyectos similares merecen más atención, publicidad y (quizá) recursos.
- Ningún instrumento registró las aceleraciones experimentadas durante el terremoto de Luzón en 1990. La carencia de dichos registros es una oportunidad perdida para capturar información invaluable para mejorar el diseño resistente a terremotos. De una forma similar, parece que no se cuenta con los instrumentos suficientes para registrar las velocidades del viento en las Filipinas. Por lo tanto, se necesita más instrumentación para terremotos y viento. Sin embargo, se debe apreciar que el costo de los instrumentos involucra no solamente el costo de la instalación inicial, sino también el costo continuo del mantenimiento. Sin dicho mantenimiento, la experiencia muestra que la instrumentación no funciona cuando se le necesita, razón por la cual la inversión inicial no parece reportar mayores beneficios.

Evaluación de la tendencia a la falla de edificaciones inducida por terremotos en Buenaventura, Colombia

12

M. Sánchez-Silva, C. A. Taylor y D. I. Blockley

Este capítulo describe una nueva metodología para evaluar el daño esperado en los diferentes proyectos (por ejemplo, edificaciones, líneas vitales, áreas urbanas) durante un terremoto. La metodología sigue un "enfoque de sistemas". Se considera que un proyecto está hecho de diferentes subsistemas denominados holons, los que se interrelacionan e interactúan entre sí.

La naturaleza cambiante de un proyecto es reconocida como su mayor característica. El modelo incluye factores técnicos (por ejemplo, calidad de la construcción, distorsión entre pisos esperada), así como los factores sociales (por ejemplo, nivel de educación, organización) y económicos (pobreza, disponibilidad de recursos).

El principal hospital de Buenaventura, en Colombia, fue seleccionado como caso de estudio. El estudio demostró la importancia de los factores sociales y culturales en el comportamiento esperado del hospital en un terremoto. Se mostró que el modelo es un enfoque valioso para el manejo de la información de daños por terremoto si se integran todos los aspectos del proyecto. La metodología puede aplicarse también al estudio de la respuesta esperada de proyectos bajo otras amenazas naturales, tales como el viento, inundaciones, huracanes y tornados.

Se ha considerado una nueva metodología para la evaluación de los efectos esperados de un terremoto de gran intensidad sobre la ciudad de Buenaventura en Colombia. Se llevó a cabo una evaluación general de la ciudad y la de un servicio particular, el hospital local. Se seleccionó el hospital como caso de estudio debido a su excepcional importancia durante una emergencia de desastre por terremoto en el área. El estudio está basado en el contexto del Proyecto B del DIRDN y como complemento de un proyecto paralelo de investigación en el Centro de Investigación de Ingeniería Sísmica en la Universidad de Bristol. La investigación de Bristol está dirigida hacia el desarrollo de una metodología para evaluar el nivel de tendencia de un proyecto (por ejemplo, una edificación, una ciudad, etcétera) a fallar durante un terremoto. La metodología está basada en un modelo de sistemas diseñado como una ayuda para el manejo de factores que describen el fracaso de un proyecto en un terremoto.

El estudio incluyó entrevistas con expertos en el campo de la ingeniería sísmica, dos visitas al sitio y el análisis de la información recogida. Se entrevistó a expertos en el Reino Unido y Colombia. Sus opiniones fueron importantes para definir el propósito y la metodología del modelo. El juicio de expertos fue considerado como una parte esencial de la evaluación. Las dos visitas al sitio tuvieron como propósito una mejor comprensión del proyecto estudiado y la recolección de aspectos sociales y culturales del área. La pri-

Metodología
de investigación

mera visita estuvo orientada a identificar las facilidades críticas del área, crear nexos con las autoridades locales para una próxima visita y preparar y recolectar información para una visita de campo más detallada. En la segunda visita se llevó a cabo la evaluación; ésta incluyó una observación general de la ciudad, una inspección del hospital y una investigación corta de otras estructuras.

Descripción de la práctica actual de la ingeniería

Aspectos generales de la ciudad

Buenaventura está localizada en la costa colombiana del Pacífico, en el Departamento del Valle del Cauca ($\sim 77^{\circ}W-4^{\circ}N$). Su población es de aproximadamente 350 000 habitantes. La mayor parte del área está cubierta por bosques. Considerando la parte baja de la ciudad, Buenaventura es la segunda área más lluviosa en el mundo (aproximadamente 3000 mm/año). La humedad alcanza valores de más de 90%.

La importancia del puerto de Buenaventura para Colombia es inmensa. Entre 40 y 70% de las exportaciones e importaciones de Colombia pasan a través de este puerto. El crecimiento de la economía colombiana durante los años recientes es uno de los más altos en Latinoamérica (4-5%). Los acuerdos comerciales recientes con Venezuela y México (Grupo G-3), el Pacto Andino, los acuerdos independientes con Chile y Estados Unidos y la Organización de Comercio del Pacífico (Pacific Trade Organization) hacen que la costa pacífica de Colombia sea extremadamente importante. Se perderían millones de dólares por cualquier suspensión del flujo comercial a través del puerto.

A pesar de estos factores, existe gran pobreza en esta área. Se pueden identificar una gran cantidad de problemas económicos y sociales en Buenaventura. Las actividades principales del área son la pesca, la explotación de madera y la minería. La economía informal juega un papel muy importante en la ciudad y en la industria de la construcción. La pobreza conlleva una baja calidad de las viviendas y su mantenimiento.

La falta de recursos económicos para suplir las necesidades básicas cambia las prioridades de las personas. En este contexto, la conciencia hacia el desastre y la preparación se convierten en una prioridad de segundo orden.

Información sísmica

- **Antecedentes sísmicos.** Buenaventura está inmediatamente arriba de la zona de subducción entre las placas tectónicas del Pacífico y Sudamérica. Los principales eventos sísmicos en la costa pacífica de Colombia ocurrieron en 1906, 1942, 1958, 1979. No existen registros instrumentales de ninguno de estos movimientos. La única información disponible puede encontrarse en informes escritos. El terremoto de Tumaco, ocurrido el 31 de enero de 1906, es considerado uno de los más fuertes en el mundo. Tuvo una magnitud de 8,9 en la escala de Richter. Hubo 400 muertos, la mayoría de ellos ahogados. De los eventos mencionados anteriormente, el de Tumaco fue el más cercano a Buenaventura. Además, se asociaron tsunamis a los terremotos de 1906 y 1979 (Sarría 1990).

Localmente, se identificó una falla geológica en la Bahía de Buenaventura. No se ha definido la actividad de la falla. Las características sugieren la existencia de muchas más fallas sin descubrir en el área. Además, han sido identificadas evidencias de licuación, inundaciones, deslizamientos y cambios en las líneas costeras.

- **Predicciones de futuros movimientos del suelo en el área.** El Código Colombiano de Construcción Sismo Resistente (AIS 1984) clasifica a Buenaventura como una región de gran amenaza sísmica. Esto implica que la aceleración máxima del suelo esperada en la región es de 0,30 g.

Siete años antes del terremoto de 1979, Kelleher (1972), usando la teoría de la brecha sísmica, predijo un terremoto dentro de una ventana de tiempo de 30 años. Luego se hicieron dos predicciones diferentes (Herd y otros 1982; Nishenko 1989). El último tenía una ventana de tiempo de 10 años. En 1991 la Academia de Ciencias de Rusia, utilizando una metodología diferente, predijo la probabilidad de que ocurra un terremoto de 7,5 de magnitud en la región, y usó una ventana de tiempo de cua-

tro años (Kossovokov y Keilis-Borok, 1991). Además, un estudio de 1992, llevado a cabo por el Observatorio Sismológico del Sur Occidente (OSSO) perteneciente a la Universidad del Valle, Cali, desarrolló un mapa de amenaza de tsunami en la región, en el cual Buenaventura fue considerada como un área de exposición mediana a los tsunamis en comparación con otras áreas en toda la costa.

- **Aspectos generales.** Cualquier construcción que se haga en territorio colombiano debe seguir los requisitos establecidos por el Código Colombiano de Construcción Sismo Resistente. Una primera versión fue publicada en 1984, y a fines de ese mismo año se editó una segunda versión. Las autoridades locales son responsables por el cumplimiento de estos requisitos. Los principales problemas identificados en Buenaventura fueron:

- Planificación urbana deficiente en el pasado.
- Baja calidad de construcción y gran cantidad de tugurios.
- Baja calidad de los suelos para cimientos.

En Buenaventura, así como en la mayor parte de la costa del Pacífico, la mayoría de las viviendas están hechas de madera. La población, muy pobre, levanta sus casas con este material porque, siendo ésta una zona de explotación de madera, su costo es bajo. Además, la industria de explotación de este recurso es aquí una de las mayores fuentes de empleo.

En la versión de 1984, el código de práctica no incluye regulaciones sobre el diseño y la construcción con madera. Después de la madera, la albañilería es también ampliamente usada. El tercer material de construcción más común es el concreto armado. Los agregados usados a menudo no alcanzan la capacidad de concreto y argamasa especificados en el código colombiano de práctica. Por último, el acero es usado únicamente en algunas instalaciones industriales especiales. La mayoría de los materiales de construcción son obtenidos del bosque y la playa, lo que provoca severos problemas ambientales (figura 12.1).

- **Hospital Regional de Buenaventura.** El hospital (figuras 12.2 y 12.3) es el único servicio de salud importante disponible en la región. Ésta incluye villas pequeñas como El Charco, Guapi, Tambiqui, Juanchaco, Docampado, Siviru y Pizarro. Está localizado en la parte central de la isla Cascajal, sobre una pequeña colina. Su construcción empezó en 1980; sin embargo, debido a varios atrasos en el abastecimiento de recursos, sólo pudo terminarse diez años después. Durante ese tiempo se usó parcialmente.

Características de construcción de las edificaciones



Figura 12.1:
Vista general de Buenaventura.

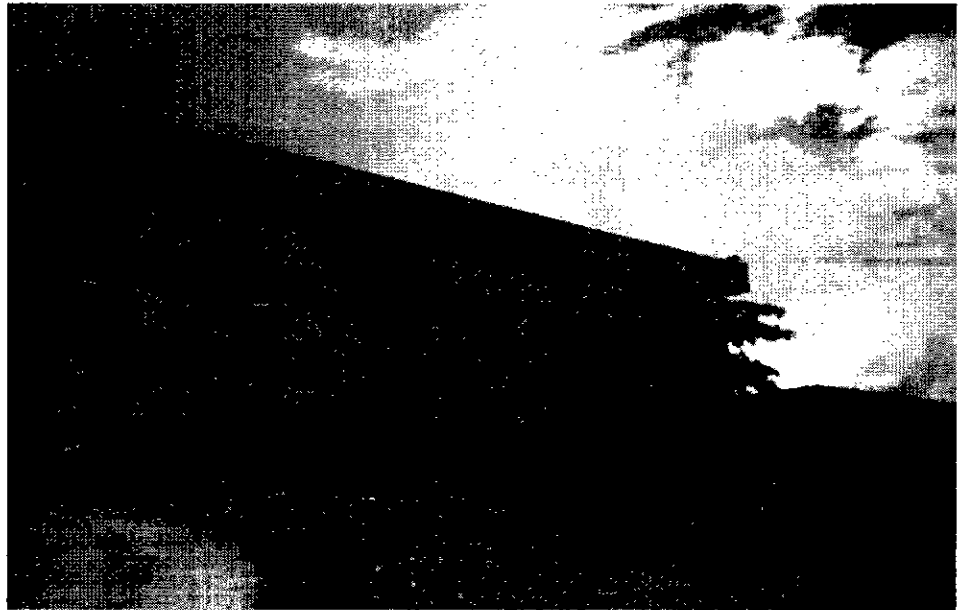


Figura 12.2:
Entrada de emergencias del hospital.

Tiene una capacidad de 182 camas, pero en casos de emergencia la ocupación puede ser aumentada hasta 300 camas. El personal del hospital está compuesto por 50 doctores y 150 trabajadores que forman parte del personal médico. Si se requiere, durante una emergencia el comité de desastres puede reclutar personal extra. La ocupación normal del hospital es de 57%. Cuenta con dos botes con capacidad para transportar de 6 a 12 personas, y tres ambulancias para dos personas cada una. No existe una pista de aterrizaje para helicóptero dentro del área del hospital, pero si se necesita se puede usar un lugar en Parque Montechimo, a 150 m de la sección de emergencia. Existe una conexión directa de telecomunicaciones con el hospital principal de Cali y la Dirección Nacional de Prevención de Desastres en Bogotá. Los hospitales alternativos más cercanos son el Hospital Universitario del Valle y San José de Buga, ubicados respectivamente a 2 y 3 horas en auto (Comité de Emergencias de Buenaventura 1992).

Un enfoque
sistémico para
la evaluación
de la tendencia
a fallas
Enfoques tradicionales

Muchos procedimientos desarrollados para evaluar la respuesta esperada de los servicios en casos de terremoto son descritos en la literatura (Corsanegro y otros 1986; Rojahn y otros 1986; Sánchez-Silva y otros 1994a). Éstos cubren una amplia variedad de evaluaciones, desde aproximadas hasta complejos modelos matemáticos. El desarrollo de eva-



Figura 12.3:
Entrada principal al hospital y tanque de agua.

luaciones simples completas es una tarea difícil, ya que cada servicio es único. Además, la evaluación de las consecuencias sociales o económicas esperadas no es una medida física simple. No existe un modelo bien formulado para combinarlos o manejar las incertidumbres asociadas. Una buena metodología de evaluación debería ser capaz de:

- Sintetizar múltiples factores para lograr una evaluación total.
- Habilitar una manera de procesar información vaga y el juicio de expertos.
- Permitir formas flexibles de manejar situaciones que son ligeramente diferentes de experiencias pasadas (Dong y otros 1988).

Se describe aquí un nuevo enfoque sistémico que está en desarrollo en el Centro de Ingeniería Sísmica en la Universidad de Bristol (Sánchez-Silva y otros 1994b). El modelo es usado en este caso para evaluar la tendencia de falla inducida por los terremotos en las edificaciones; sin embargo, su aplicación puede extenderse a otras amenazas naturales como vientos, huracanes, tornados, etcétera. El hospital de Buenaventura ha sido usado como caso de estudio para desarrollar el modelo de sistemas de Bristol. Las siguientes secciones explican los conceptos claves en los cuales se basa el modelo y demuestran los beneficios potenciales que pueden ser obtenidos del enfoque sistémico.

Se define un **proyecto** como un grupo de servicios y actividades que pueden ser especificados en varios niveles. Los servicios consisten en elementos tales como edificaciones, el terreno, los cimientos, los sistemas de líneas vitales, etcétera. El proyecto puede ser definido como un nivel de un edificio específico (o un elemento específico dentro de la edificación) o en el ámbito de una ciudad, región o país. Las actividades son aquellas que definen el propósito del proyecto; por ejemplo, un hospital (Sánchez-Silva y otros 1994b).

Propósito del modelo de tendencia de falla

El modelo se concentra en lo siguiente:

- Una evaluación de la tendencia a la falla (no para predicción sino para uso como herramienta de manejo).
- Una lista de los aspectos más críticos del proyecto.
- Una descripción del proyecto en un nivel particular de definición.

Los accidentes mayores o fallas rara vez son el resultado de una sola causa. Normalmente, causas múltiples se acumulan con el tiempo, originando lo que llamaremos el período de incubación. La magnitud del desastre está relacionada con la energía acumulada en el sistema (Blockley 1992). La tendencia a la falla es un índice que mide el contenido de amenaza del sistema. La amenaza se define como un grupo de precondiciones que se incuban para generar una falla. La identificación de las precondiciones que más contribuyen a la ocurrencia de un desastre en particular es una guía importante para el desarrollo de planes efectivos de intervención. Finalmente, la evidencia recogida es utilizada para describir la amenaza del sistema a un nivel particular de definición y para la evaluación o la intervención (Sánchez-Silva y otros 1994b).

El modelo se interesa por el manejo de los factores que describen un estado de daño particular del proyecto. El estado del proyecto está caracterizado por un grupo de condiciones o un estado de aspectos en cualquier momento particular. Se pueden encontrar escenarios futuros en un espectro que va de aceptable a inaceptable y desconocido. El **análisis de la amenaza** es el examen de las condiciones actuales para determinar si éstas son condicionantes posibles para futuros escenarios posibles no deseados. El modelo actual está basado en la evidencia recogida respecto de los movimientos de suelo y la posibilidad de daños.

Descripción del modelo

El concepto de **holon** tiene un papel importante en el modelo. Un holon es tanto un todo como una parte (Koestler 1989). Se trata de una entidad completa en sí misma, mien-

tras que al mismo tiempo es una parte de un sistema mayor. Cada holon está en sí mismo compuesto de otros holons. Cada holon puede ser descrito por el mismo grupo de atributos genéricos. La naturaleza real de un atributo dependerá del holon particular al cual pertenece, pero concordará con la naturaleza más amplia del atributo genérico. El principal beneficio de este concepto es que la identificación de los componentes (holons) del proyecto puede seguir una base lógica consistente.

El proyecto, que es un sistema, es modelado como una jerarquía, describiendo la forma del proyecto (o la esencia, como discutiremos más adelante en esta sección). Las principales características de la jerarquía son:

- La organización de la información a diferentes niveles de definición.
- La capacidad de incluir las diferentes acciones externas sobre la estructura.
- Consistencia.

El modelo consiste en la organización de los holon en una jerarquía, de acuerdo con la precisión de definición. En la cúspide de la jerarquía se encuentran las formas totales, que tienden a ser difíciles de definir de manera precisa (por ejemplo, comportamiento del sistema estructural), y en el fondo están aquellas que son tan precisas como el problema lo requiere (por ejemplo, comportamiento y características de una viga particular). El grupo de holons en cada nivel de descripción son los elementos que constituyen un modelo del proyecto a ese nivel.

Como se especificó, la jerarquía describe la forma del sistema. La forma no sólo significa la forma física sino también otros aspectos del proyecto como las actividades alrededor de éste y su manejo. Paiva y Blockley (1993) usaron una analogía entre los sistemas biológicos y aquellos de viviendas para clasificar la forma. Esto les permitió describir cualquier edificación bajo los encabezados mostrados en la tabla 12.1.

Tabla 12.1: Analogía entre los sistemas biológicos y estructural

Tipo	Sistema biológico	Sistema estructural
Sistema	Humano	Marco estructural
Sistema estructural	Esqueleto, huesos	Vigas, columnas, losas
Sistema de energía	Comida, agua	Cargas, energía interna
Sistema circulatorio	Sangre, arterias, venas	Trayectoria de cargas, grados de libertad
Sistema espacial	Forma, geometría	Forma y geometría
Sistema de información y control	Cerebro, sistema nervioso	Manejo, diseño, construcción, operación
Sistema de contención	Piel	Cubierta no estructural

Para un holon particular en una jerarquía, sus partes (que son asimismo holons en el nivel siguiente hacia abajo en la jerarquía) son clasificadas de esta forma. Esto asegura que la jerarquía esté desarrollada consistentemente (por ejemplo, si la superestructura del proyecto tiene un sistema estructural que es un marco de concreto armado, y este marco también posee un sistema estructural). Este último está conformado por los sistemas de carga vertical y transversal. Más abajo en la jerarquía, el sistema transversal que transporta la carga tiene un sistema estructural que consiste en los sistemas de vigas y losas. Este proceso puede continuar tan lejos como se requiera. Ejemplos similares pueden ser contruidos usando otros encabezados.

Los holons son modelados como estructuras de información con un grupo de atributos (función, forma, base, aplicación, especificación, parámetros y estado) y comportamientos. En este trabajo los atributos del holon son aquellos que resultan importantes para la

evidencia acerca de la tendencia a la falla en un terremoto. La función del holon define si es adecuado para el propósito. El cálculo de la tendencia a la falla está basado en la identificación de la habilidad de los holons para cumplir sus funciones apropiadamente. Por ejemplo, la función de una viga es soportar una carga dada. Si se puede demostrar que la viga no puede soportar esta carga, entonces no es adecuada para su propósito. En esencia, estamos definiendo la demanda puesta en la viga (por ejemplo, la carga que tiene que soportar) y su capacidad para cumplir la demanda (por ejemplo, el esfuerzo admisible de la viga). La razón entre la capacidad y la demanda es llamada comúnmente “factor de seguridad”, y es una medida para saber si la viga es adecuada para el propósito. En principio, las demandas y capacidades de cada holon pueden ser evaluadas y su tendencia a la falla puede ser calculada. El impacto de este holon sobre la tendencia a la falla del sistema se refleja por su importancia en todo el modelo jerárquico.

En general, el proyecto que se está modelando es un grupo de subsistemas complejo y ordenado interactuando uno con el otro y representado por holons. Estos subsistemas o componentes pueden ser físicos (por ejemplo, la estructura de las edificaciones o el acceso a las autopistas locales). Alternativamente, pueden estar relacionados con los humanos (por ejemplo, los doctores en el hospital y su estructura administrativa). Está implícito dentro del modelo de sistemas el entendimiento que la función de los sistemas físicos y humanos son dependientes uno del otro. Un modelo robusto de estos componentes y su interacción hará posible la evaluación y la clasificación de los conceptos de acuerdo con su nivel de tendencia a la falla. Éste, a su vez, será la guía para una aplicación eficiente de los recursos que aseguren que todo el proyecto continuará cumpliendo su propósito satisfactoriamente después de un evento sísmico significativo.

El modelo es diseñado como una guía para el proceso de toma de decisiones en relación con las consecuencias de un terremoto. Esta guía sirve para ser usada por ingenieros con un nivel apropiado de experiencia en ingeniería sísmica.

El procedimiento

Los pasos principales de la metodología son los siguientes:

- Selección del nivel inicial apropiado de análisis dentro de la jerarquía.
- Evaluación de la evidencia de amenaza expresada en términos de holons al nivel especificado.
- Cálculo de la tendencia a la falla.
- Familiarización con el problema mediante el examen casual de la información dentro del modelo.
- Identificación de las acciones necesarias.

Los recursos disponibles, las características del proyecto y los requisitos son los factores importantes que deben tomarse en cuenta para decidir la profundidad de la búsqueda de la jerarquía. Así, por ejemplo, un hospital va a requerir un análisis más detallado que una fábrica de llantas.

Cada holon, al nivel seleccionado de definición, es un modelo de algún aspecto del proyecto. Cada uno es considerado y se recoge evidencia de su habilidad para cumplir su función. Para hacer esto se evalúa la información acerca de atributos relevantes, tales como distorsiones de entrepiso. El análisis de la evidencia es hecho por un evaluador que selecciona:

- Un valor de apoyo basado en la evidencia, la que es una medida de la capacidad del holon para llevar a cabo su función durante el terremoto esperado.
- Un valor de apoyo que es una medida de confianza en esa evaluación.
- Un valor de apoyo que es una medida de la importancia del holon con respecto a todos los otros a ese nivel en la jerarquía.

Estos valores de apoyo de la evidencia pueden ser cuantificados en formas diferentes (por ejemplo, valores de puntaje único, intervalo de números o variables lingüísticas). El uso de un intervalo de número de [0,1] (por ejemplo, [0,43, 0,50]) como un valor de apoyo hace posible el modelo de la incertidumbre inevitable en los análisis difíciles. Claramente, no es fácil escoger un intervalo de números específicos para evaluar la evidencia acerca de un holon particular. Por lo tanto, se pueden hacer juicios, si se prefiere, usando variables lingüísticas tales como "alto", "bajo", "moderado".

La incertidumbre en el juicio es considerada mediante la asignación de un valor de confianza en la evaluación. Entre mayor la confianza, menor la incertidumbre. Los valores lingüísticos y las evaluaciones de confianza pueden emparejarse con los intervalos de números. Por ejemplo, una evaluación de "alta" tendencia a la falla con confianza "moderada" (equivalente a un valor de confianza de 0,5) será emparejada con el intervalo = [0,6, 0,8] (figura 12.4). Finalmente, lo importante es un juicio acerca de cómo la función del holon contribuye a la función de su holon paterno en el nivel inmediato superior. Es una manera de valorar los holons a un nivel particular.

Los valores de apoyo asignados a los holons en un nivel particular de la jerarquía son combinados usando la teoría de probabilidad de intervalos (TPI) (Cui y Blockley 1991). Se pretende que la TPI sea utilizada en problemas que involucren información vaga e incompleta y la posibilidad de conocimiento inconsistente. Se puede encontrar el procedimiento en detalle en la literatura (Sánchez-Silva y otros 1994b). Éste puede ser fácilmente incorporado en una hoja de cálculo de un programa de computación.

Una vez que el valor de la tendencia a la falla ha sido calculado, se puede rastrear dentro de la jerarquía con el fin de encontrar los factores que tienen más influencia sobre el resultado. Esto es útil para localizar los aspectos del proyecto que son vulnerables en un terremoto. Finalmente, si se requiere, se pueden llevar a cabo las acciones necesarias para mejorar la condición actual del proyecto y reducir su tendencia a la falla.

Evaluación del hospital

De acuerdo con la analogía con los sistemas del cuerpo humano presentada en la tabla 12.1, la figura 12.5 muestra la jerarquía desarrollada para el hospital de Buenaventura. Es importante poner énfasis en que la función genérica del holon es transformar las formas de energía entrante en formas de energía saliente. Aquí la energía es tratada en un sentido más amplio (por ejemplo, pacientes enfermos en pacientes saludables, energía sísmica en energía absorbida y disipada). Esta transformación es un proceso. A manera de ilustración, se describen los holons que definen el sistema en el primer nivel de la jerarquía (figura 12.5) y se resume la evidencia recogida para cada uno.

• **Sistema estructural:**

- *Definición:* El sistema estructural define la forma de los componentes fundamentales del sistema, su función y sus relaciones.
- *Interpretación:* La estructura del hospital como un todo. Por ejemplo, la estructura del edificio, la estructura del sistema de líneas vitales, la estructura de la gestión, y así sucesivamente.

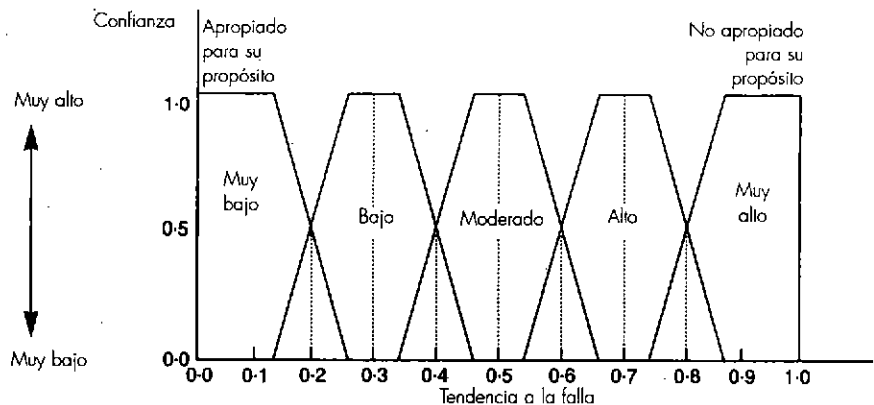


Figura 12.4:
Representación de los términos lingüísticos.

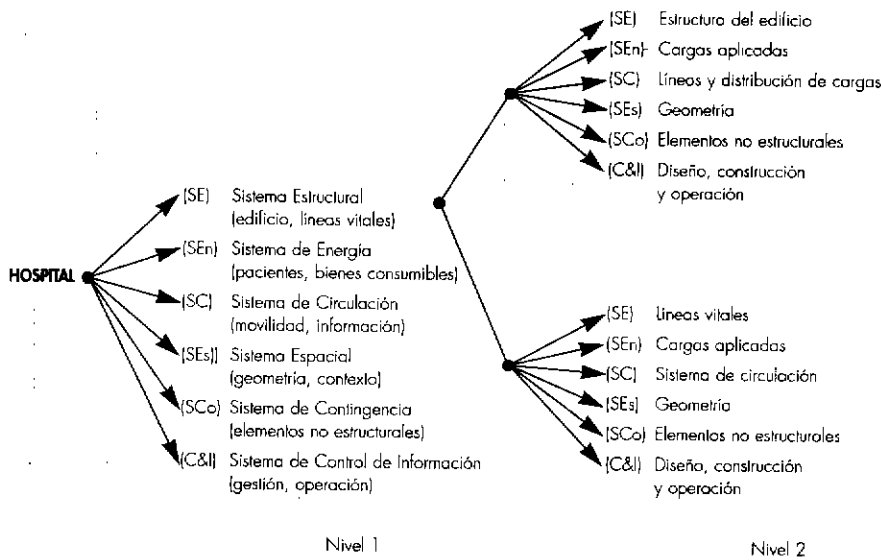


Figura 12.5:
Representación jerárquica del sistema del hospital.

El hospital está conformado por seis edificaciones independientes (figuras 12.2 y 12.3). Se han hecho modificaciones al techo, el área pediátrica y en el cuarto de máquinas después del colapso del techo (no debido a un terremoto). Además, algunas paredes han sido reconstruidas debido a un agrietamiento grave. El sistema externo de abastecimiento de electricidad es particularmente vulnerable, ya que sólo existe una línea de poder de electricidad que conecta el continente y la isla (figura 12.6). La mayor parte de la planta eléctrica está acomodada en un cuarto. Además, la mayoría del equipo no está apropiadamente asegurado, como las baterías para la planta eléctrica de emergencia (figura 12.7). No existe un sistema apropiado de protección contra incendios. Ni las alarmas de incendio ni los equipos de seguridad son adecuados (figura 12.8).

La organización y la administración del hospital son adecuadas. Existe un sistema de responsabilidades bien definido, pero no ha sido probado en un gran desastre.

• **Sistema de energía:**

- *Definición:* El sistema de energía define la naturaleza de la energía entrante, contenida dentro y su salida del sistema. Define la transformación de energía que ocurre dentro del sistema.
- *Interpretación:* toda la entrada a la que el sistema del hospital está expuesto y lo que circula dentro del hospital. Por ejemplo, pacientes, información, electricidad, agua, movimientos del suelo y así sucesivamente.

Se esperan grandes aceleraciones del suelo en el área. Además, pueden ocurrir efectos locales del sitio, licuación, asentamientos e inundaciones. También se esperan grandes desplazamientos y grandes tensiones en ciertas áreas del proyecto. Además, se prevén cargas extras debido al esperado incremento del número de pacientes.

El flujo de pacientes colmará fácilmente la capacidad máxima del hospital inmediatamente después de un desastre por terremoto. La principal razón para esto es la falta de centros de salud alternativos y el posible colapso de muchas viviendas. Ya que las condiciones sanitarias en el área son extremadamente pobres, el número de casos de cólera y malaria, ya comunes en el área, podría aumentar dramáticamente después de un evento sísmico. Otras epidemias también podrían ocasionar muchos más casos en el hospital. En la eventualidad de que el único puente de acceso a la isla colapse (figura 12.6), el abastecimiento de medicinas en gran escala sería muy difícil de obtener. El hospital está preparado moderadamente para manejar deficiencias en los sistemas de abastecimiento de electricidad externa y agua.

• **Sistema de circulación**

- *Definición:* El sistema de circulación define las vías a través de las cuales la energía es transmitida en el sistema.

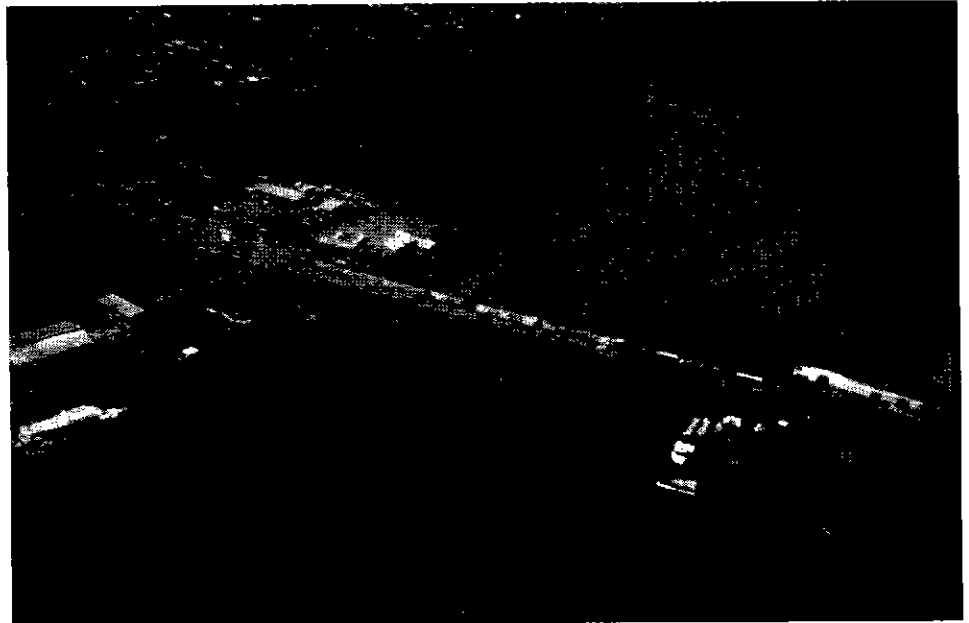


Figura 12.6:
*Camino principal y acceso
por tren a la isla. Sistema de
abastecimiento de energía de
la isla.*

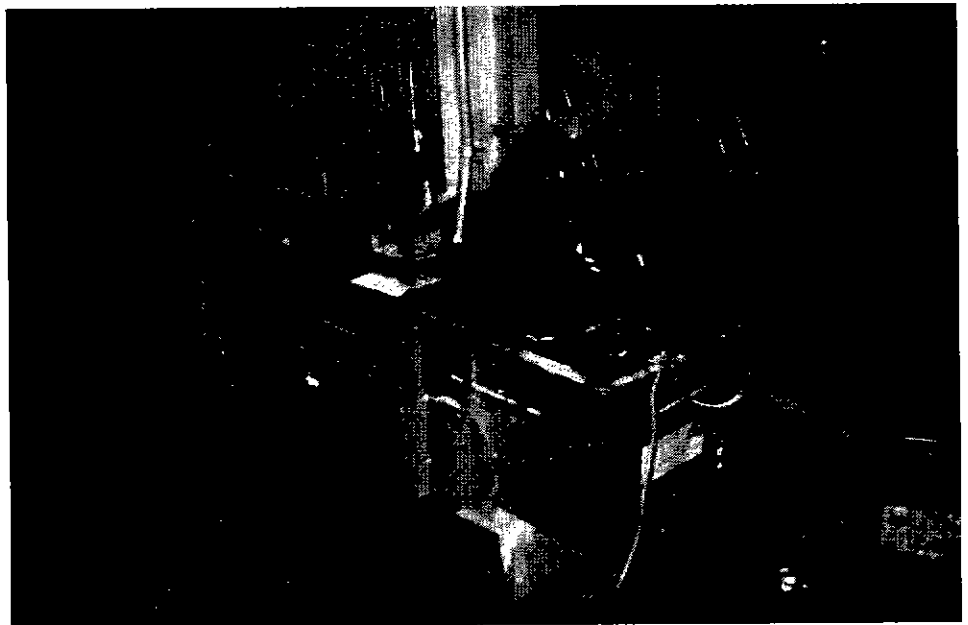


Figura 12.7:
*Planta de electricidad
de emergencia.*



Figura 12.8:
*Condición del sistema
de protección contra
incendios.*

- *Interpretación:* La manera en que la energía es movilizada a través del hospital. Por ejemplo, la circulación del público y los pacientes, circulación del agua, electricidad, gas, etcétera; circulación de esfuerzos y deformaciones producidos por el movimiento del suelo dentro de la estructura y otros.

La redundancia de algunas estructuras de las edificaciones no es apropiada. La circulación física dentro del hospital es adecuada. Sin embargo, los elevadores permanecen fuera de servicio continuamente. Las angostas escaleras pueden ser críticas si se requiere la movilización rápida de los pacientes o equipo. Debido a que el hospital tiene muchos espacios abiertos y llueve a menudo, algunos corredores se mojan y se hacen resbalosos (figura 12.9). La energía, gas, vapor y agua circulan a través de tuberías que cuelgan de las losas. En algunas áreas, las tuberías y el equipo no están asegurados apropiadamente, ni señalizados ni protegidos (figura 12.10).

La información es deficiente. Ya sea dentro o fuera del hospital, no existen señales lo suficientemente claras que indiquen las diferentes áreas de las facilidades, salidas de emergencia o procedimientos, información de salud, planos de información local, procedimientos de emergencias de incendios, extintores de incendios, teléfonos, servicios sanitarios, áreas restringidas con prohibición de fumar, administración y otros. El sistema de comunicación interna es más o menos adecuado, pero las comunicaciones externas presentan deficiencias serias debido a la falta de líneas telefónicas.

- **Sistema espacial:**

- *Definición:* El sistema espacial define las relaciones espaciales entre los componentes del sistema.
- *Interpretación:* Las características espaciales del hospital. Las características del edificio en planta y elevación, distribución espacial adecuada para movilizar y acomodar pacientes y otros.

Ciertas partes del hospital presentan irregularidades en planta y elevación. Las irregularidades en la elevación son particularmente importantes, ya que pueden causar un colapso parcial o total de las subestructuras principales (figura 12.9). Se encontraron dificultades en el acceso y circulación en el hospital debido a las áreas de parqueo pequeñas, escaleras angostas y jambas pequeñas, especialmente en el área de emergencias.

- **Sistemas de contingencia:**

- *Definición:* El sistema de contingencia es el que mantiene la función dentro del sistema. Éste define el dominio o contexto dentro del cual existe el sistema.
- *Interpretación:* Lo que hace al edificio ser un hospital. Tipo de hospital, organización, divisiones físicas, etcétera.

La condición general de los elementos no estructurales es moderada. Existen algunos lugares donde los cristales de las ventanas no están apropiadamente asegurados, y algunos se han caído (figura 12.11). La falta de mantenimiento en muchas áreas (seguridad, sanitaria, operativa) es evidente (figura 12.8).

El hospital está calificado como intermedio de acuerdo con el servicio nacional de salud colombiano. Su capacidad y recursos son bajos comparados con la cantidad de personas que atienden. El sistema del hospital ha sido capaz de operar adecuadamente durante su existencia. Sin embargo, en tanto no ha sido probado en grandes desastres, su capacidad de reacción está todavía en duda.

- **Control y sistema de información:**

- *Definición:* El sistema de control e información está formado por todas las actividades que aseguran que la transformación de energía puede llevarse a cabo apropiadamente.
- *Interpretación:* La gestión del proyecto. Diseño, construcción y operación del proyecto en todas sus instancias.

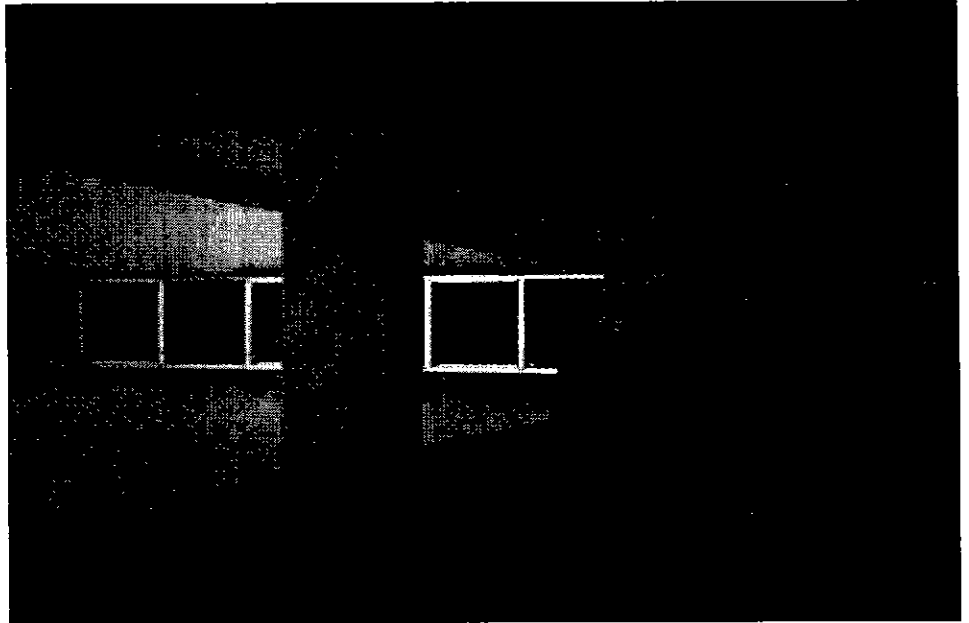


Figura 12.9:
*Circulación dentro del hospital.
Columnas cortas.*



Figura 12.10:
*Colapso de parte del techo.
Tuberías y cables colgando
del techo.*

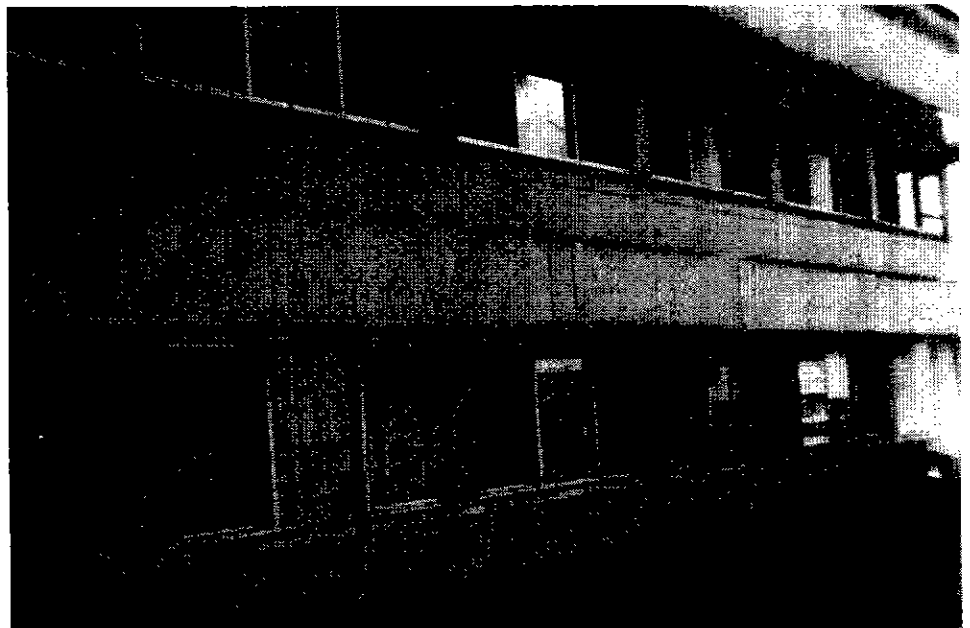


Figura 12.11:
*Vista externa del edificio
del hospital.*

El hospital fue diseñado y construido antes de la aparición del código de práctica colombiano. Se esperan valores bajos de ductilidad. La construcción duró casi 10 años, lo que hizo la estructura irregular; esto último, a su vez, puede causar problemas en la respuesta a un terremoto. El mantenimiento, en general, parece tener limitaciones (figuras 12.12 y 12.13). En muchas áreas se observa humedad y corrosión, y en algunas partes no hay techo (figura 12.10).

La gestión del hospital se exploró en menor detalle. No se hicieron entrevistas con el gerente, pero sí con el coordinador médico y el administrador. Existe una clara jerarquía de responsabilidades y funciones. No se hacen simulacros a menudo. La falta de eventos severos durante los últimos años ha provocado un falso sentimiento de seguridad entre el personal.

Se recogió evidencia detallada respecto de la tendencia a la falla de cada holon. La evidencia incluyó cálculos basados en el código de práctica sísmico de Colombia. Además, incorporó juicios subjetivos de ingeniería. Sobre la base de esta evidencia, la tendencia a la falla de cada holon fue evaluada usando un programa de hoja de cálculo, lo que llevó finalmente a la evaluación del nivel mayor de subsistemas siguiente mostrado en la figura 12.2.

Evaluación

En la tabla 12.2 se verá que el sistema estructural, el sistema de energía y el sistema de control e información son todos evaluados como de “alta” tendencia a la falla. Sin embargo, la confianza en estas evaluaciones es sólo “moderada”. Como los tres sistemas son considerados como muy importantes dentro de todo el sistema del hospital, sería lógico invertir recursos para mejorar la confianza en estas evaluaciones. Con la recopilación de evidencia adicional confiable, las evaluaciones podrían cambiar a un valor más bajo. Este ejemplo simple demuestra claramente cómo los aspectos críticos del proyecto pueden ser identificados, evaluados y ordenados de acuerdo con su prioridad; además, justifica las acciones que puedan ser consideradas en el futuro.

Tabla 12.2: Evaluación del hospital en un nivel 1 de jerarquía (figura 12.5)

Subsistema	Evaluación del TF*	Confianza en la evaluación	Importancia del subsistema
(SEs) Sistema Estructural	Alto	Moderado	Muy importante
(SEn) Sistema de Energía	Alto	Moderado	Muy importante
(SC) Sistema de Circulación	Alto	Alto	Muy importante
(SEsp) Sistema Espacial	Moderado	Moderado	Importante
(SCo) Sistema de Contingencia	Moderado	Alto	Importante
(C&I) Sistema de Control de Información	Alto	Moderado	Muy importante

* *Tendencia a la falla.*

Cotejando los valores lingüísticos de la tabla 12.2 con los números de intervalos y siguiendo los procedimientos numéricos mencionados anteriormente, el valor de la tendencia a la falla general del hospital es dado por el intervalo $[0,52, 0,70]$. En un espectro de $[0, 0]$ “muy bajo” a $[1, 1]$ “muy alto” (figura 12.4), el resultado puede considerarse entre “moderado” y “alto” con una confianza “moderada”. La incertidumbre asociada con este valor es de 18% (por ejemplo, $0,70 - 0,52 \times 100$). Como se podía prever, la incertidumbre se debe a la falta de confianza esperada en los valores de apoyo asignados en los niveles más altos de la jerarquía.

Se puede obtener una reducción en la incertidumbre y una mejor estimación de la condición del hospital si se la analiza con mayor detalle. Esto significa ir más profundo dentro de la jerarquía. La figura 12.5 muestra un segundo nivel de la jerarquía para el sistema estructural. Un análisis a este nivel mostró que la tendencia a la falla para el sistema estructural permaneció “alta” y que la incertidumbre en la evaluación fue reducida, lo que

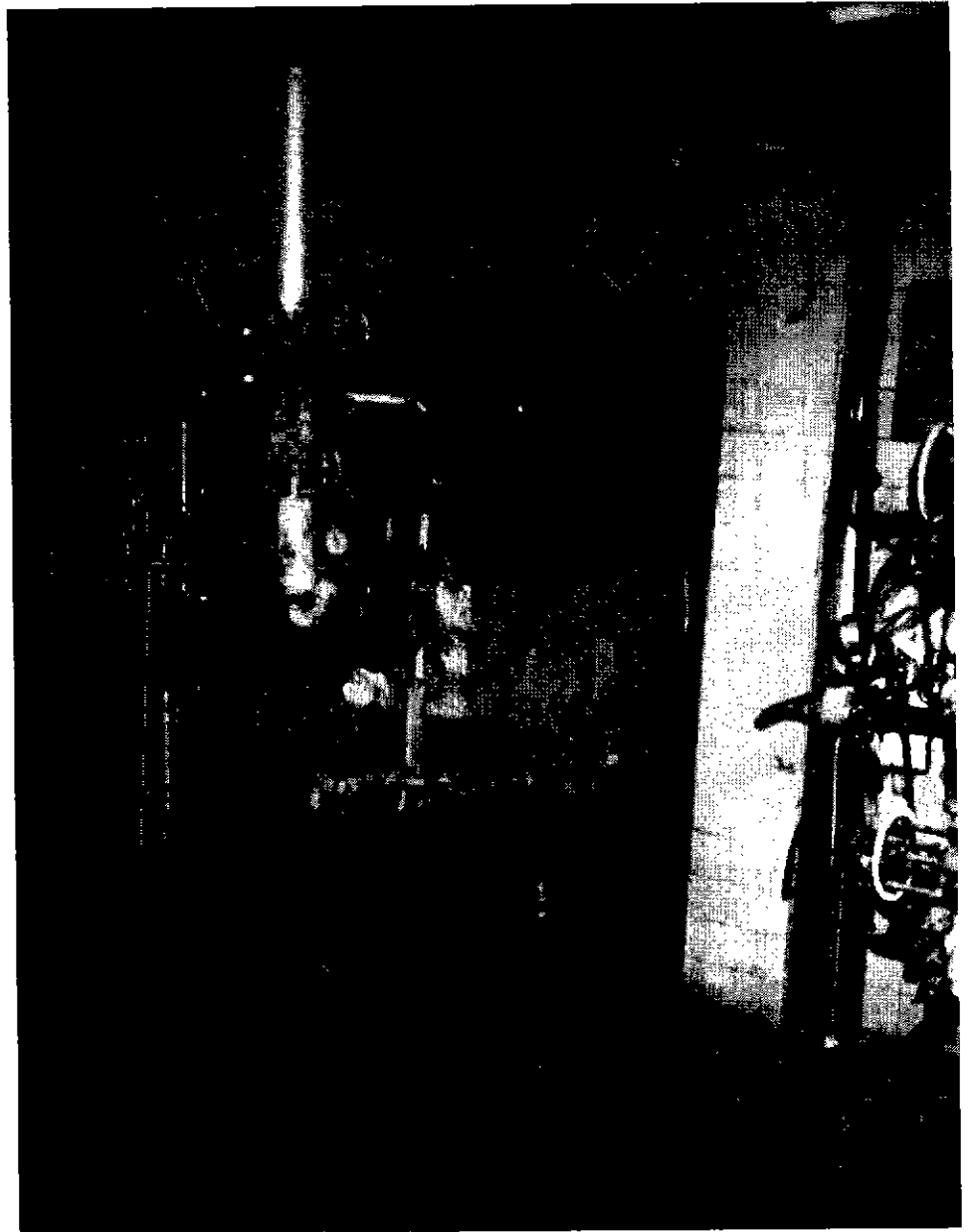


Figura 12.12:
*Uno de los cuartos
de máquinas.*

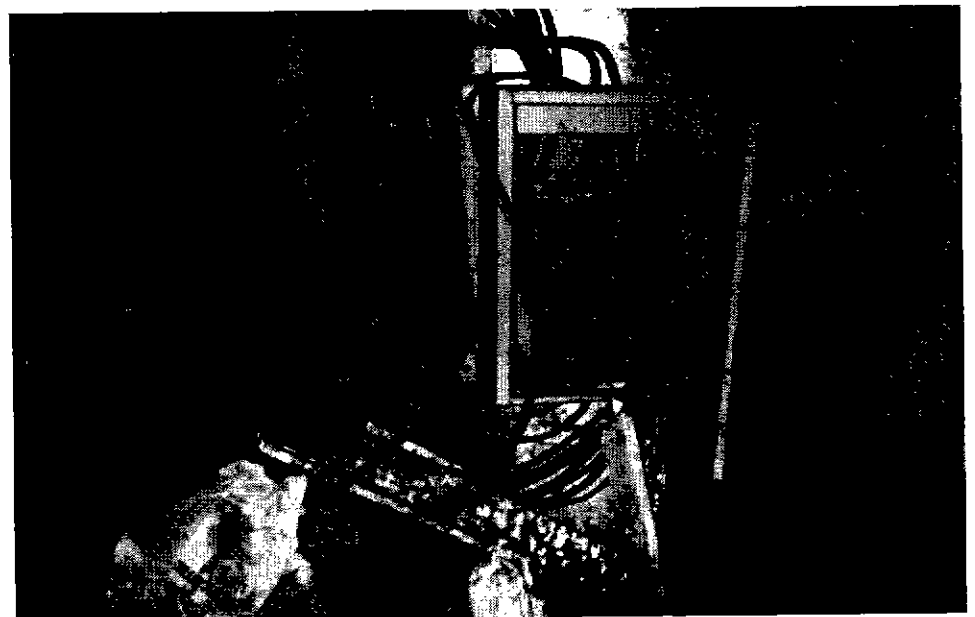


Figura 12.13:
*Condición del cuarto
de máquinas.*

elevó la confianza a "alta". Sin embargo, la tendencia a la falla para todo el hospital permaneció muy similar, ya que otros factores en el nivel máximo no fueron modificados. A más profunda la búsqueda en la jerarquía, menor es la incertidumbre del valor de apoyo calculado para los holons en la parte superior. El proceso puede llevarse a cabo tan lejos como se requiera para el propósito del problema.

Las ramas de la jerarquía pueden refinarse hasta que la incertidumbre sea reducida a un nivel aceptable. De esta forma, todo el modelo del sistema puede ser desarrollado y analizado a un nivel de refinamiento suficiente para el propósito del sistema. El modelo del sistema es desarrollado hasta que éste sea adecuado para su propósito, de la misma forma en que los holons individuales son evaluados. Se puede concluir que las evaluaciones basadas en el modelo pueden ser hechas con mayor justificación y confianza.

Se determinó que la tendencia a la falla del hospital de Buenaventura en un terremoto es "alta". Esto significa que existen muchos factores que pueden contribuir a la falla. Se considera la falla en un sentido amplio. Ésta se refiere al comportamiento ineficiente del sistema estructural principal (por ejemplo, colapso parcial); una respuesta ineficiente de los servicios médicos (por ejemplo, restricción en el número de pacientes recibidos); un abastecimiento ineficiente de servicios para el hospital (por ejemplo, gas, combustible, electricidad, agua), etcétera. La confianza en las evaluaciones es "moderada" debido a la falta de información y recursos para un análisis más profundo. A pesar de esta incertidumbre y de la evaluación restringida en los niveles más altos de la jerarquía, los resultados pueden ser usados como una guía para la toma de medidas primarias hacia la reducción de las amenazas del proyecto y, por lo tanto, para reducir su tendencia a la falla.

Se extrajeron experiencias muy valiosas de las evaluaciones. Una parte considerable de las precondiciones para la falla en incubación no es causada por la falta de recursos. La mayoría de ellas pueden ser solucionadas mediante una mejor organización, conciencia colectiva y una actitud diferente de la población en la demanda de que el hospital proporcione un buen servicio. Esto está concentrado al nivel de pobreza y aspiraciones de la sociedad. Puede darse el caso que una comunidad como Buenaventura, que está acostumbrada a ser golpeada por la pobreza, el desempleo, el analfabetismo y la falta de oportunidades, pueda resultar menos afectada que una comunidad más próspera por el colapso del hospital en un terremoto. Es en este punto cuando el contexto se transforma en una parte sobresaliente del riesgo (Blockley 1994; Sánchez-Silva y otros 1994a).

Ha quedado demostrado que el enfoque de modelo de sistemas es viable. Se ha mostrado una mejora en el manejo de la información respecto de los daños causados por un terremoto. Se probó que el modelo es una herramienta útil para integrar todos los aspectos involucrados en el proyecto. El modelo es usado para evaluar la tendencia a la falla en las edificaciones inducida por un terremoto. Sin embargo, su aplicación puede extenderse a otras amenazas naturales tales como viento, huracanes, tornados y otros. Tiene mucho potencial para un desarrollo futuro.

Queremos agradecer al Director de la Dirección Nacional de Prevención y Atención de Desastres de Colombia, Dr. Omar Darío Cardona; al Director del Comité Local de Emergencias de Buenaventura, Dr. Miguel E. Cantillo; al Dr. Maximiliano Castro Arboleda, Director del Hospital Regional de Buenaventura, y al personal del hospital; a Defensa Civil y a las autoridades locales, quienes cooperaron en nuestra visita; y a los grupos de discusión de terremotos y sistemas de la Universidad de Bristol.

Conclusiones y recomendaciones

Agradecimientos

Aplicación de las medidas de protección contra terremotos en la construcción de casas de concreto armado: un estudio piloto en Grecia

13

A. Pomonis y R.J.S. Spence

La rápida urbanización y escasez de tierra adecuada y accesible para el desarrollo de viviendas es una característica de la mayoría de las ciudades en crecimiento en el mundo. El concreto armado, hecho de materiales disponibles en casi todas partes, está idealmente indicado para proveer soluciones a la presión por viviendas. Su alta durabilidad, resistencia al fuego y otras propiedades, que permiten la construcción de estructuras de gran tamaño y muchos pisos con relativa facilidad, lo han hecho el material más común para construir edificaciones de más de tres pisos. Como resultado, el número de estructuras de concreto armado está aumentando en áreas urbanas que se expanden rápidamente en los países en vías de desarrollo.

Muchas de estas ciudades están en zonas con actividad sísmica, y la experiencia de terremotos recientes ha puesto la atención en los estándares de seguridad en la construcción con concreto armado. Varias edificaciones de concreto armado colapsaron o fueron severamente dañadas, al punto que tuvieron que ser demolidas o necesitaron reparaciones muy caras porque no fueron diseñadas y/o construidas para resistir el movimiento que experimentaron. En este capítulo se presenta una revisión de las tendencias globales en desastres sísmicos y el efecto de las edificaciones de concreto armado.

A pesar de que en casi todos los países vulnerables a sismos del mundo existen códigos avanzados de práctica de ingeniería para la construcción y diseño sísmico de edificaciones de concreto armado, muchas de las estructuras existentes son vulnerables y existen errores en muchos aspectos en la fase de construcción y diseño. Para lograr una reducción significativa de pérdidas futuras se deben hacer mejoras en todo el espectro de factores que afecten la seguridad estructural, desde la producción de materiales hasta la mejora o el mantenimiento de las estructuras nuevas o existentes.

A partir del reconocimiento de este hecho, este capítulo intenta examinar algunos de estos aspectos, tal como están ocurriendo en la Grecia actual, el país de Europa más propenso a los sismos. El estudio se hizo en forma de entrevistas basadas en preguntas y temas predeterminados.

En la tercera sección se presenta un panorama breve de la amenaza y riesgo sísmico en Grecia, así como un resumen sobre el impacto de los terremotos en la economía griega. Se señala que las pérdidas anuales debido a los terremotos en los últimos 15 años ascienden a 0,5% del producto bruto nacional del país.

En la cuarta sección se hace un repaso del proceso que ha seguido la industria de la construcción en Grecia, con una perspectiva histórica y la descripción de las edificaciones típicas de concreto armado. Luego sigue una discusión de los problemas relacionados con el sector de la construcción informal.

Una evaluación del comportamiento de las estructuras de concreto armado durante los terremotos es el tema de la quinta sección. Se señala que existe un espacio para la mejora y la reducción de pérdidas mediante la ilustración de los costos comparativos de daños a edificaciones de concreto armado durante los terremotos en Grecia y Japón. Luego sigue una breve introducción a la historia de los códigos sísmicos en Grecia.

En la sexta sección se presentan algunos aspectos de importancia relacionados con la seguridad estructural de las edificaciones de concreto armado, basados en la información obtenida de las entrevistas. Se identificaron nueve áreas generales donde las mejoras son necesarias.

La séptima sección brinda un número de recomendaciones que, si se siguen, contribuirán hacia un mayor estándar de seguridad sísmica. Se concluye que se ha alcanzado progreso y que, a pesar de que la atención ha estado enfocada en el desarrollo de un código sísmico adecuado, ahora es tiempo de atacar algunos de los temas más complejos en materia de reducción de la vulnerabilidad. La toma de conciencia pública, la educación profesional continua y el desarrollo institucional son considerados como áreas donde son necesarios esfuerzos con el fin de alcanzar una mejor protección sísmica.

Introducción:
El campo
de estudio en
el marco del
DIRDN
*Edificaciones
de concreto armado
y la visión del DIRDN*

El concreto armado está hecho de materiales disponibles en casi todas partes, y sus propiedades básicas son manejadas por los ingenieros y constructores. Su alta durabilidad, resistencia al fuego y otras propiedades que permiten la construcción de estructuras de gran tamaño y muchos pisos con relativa facilidad, han hecho del concreto armado el material más común en el mundo para edificaciones de más de tres pisos. Como resultado, en las áreas urbanas de rápida expansión del mundo en desarrollo el número de edificaciones de concreto armado está aumentando (figura 13.1). Muchas de estas áreas se encuentran en zonas de actividad sísmica, y se espera que la mayoría de las edificaciones de concreto armado experimenten el movimiento de un terremoto por lo menos una vez en su vida útil.

La reciente ocurrencia de sismos ha generado un gran interés respecto de los estándares de seguridad de la construcción con concreto armado en muchas partes del mundo. En los terremotos de Caracas (1967), San Fernando, California (1971), Managua (1972), Bucarest (1977), Italia (1976, 1980), Grecia (1978, 1981, 1986), Ciudad de México (1985), El Salvador (1986), Armenia (1988), Filipinas (1991), Turquía oriental y Egipto (1992), muchas edificaciones de concreto armado colapsaron porque no estaban construidas para resistir el movimiento que experimentaron.



Figura 13.1:
Estructuras de concreto armado de mediana y gran altura están brotando en el perfil urbano de la mayoría de las ciudades del mundo en vías de desarrollo (Manila, Filipinas).

En países industrializados tales fallas han servido como lecciones para la comunidad de ingenieros. Así, se han obtenido las conclusiones necesarias, que se reflejan en la actualización del código sísmico; esto ha contribuido a una drástica reducción de pérdidas por terremotos. Sin embargo, el proceso de diseminación ha sido muy lento en los países en vías de desarrollo, donde las edificaciones de concreto armado se hicieron comunes mucho más tarde. Se debe seguir un código de práctica apropiado al lugar donde la edificación va a ser construida.

Los códigos de práctica son documentos complejos que contienen muchos requisitos y recomendaciones detalladas. Ellos necesitan ser interpretados por ingenieros experimentados. Asimismo, es necesario que las autoridades locales efectúen exámenes estrictos en el diseño de la fase de construcción para asegurar su aplicación apropiada. Todavía no se ha alcanzado el progreso deseado y, por lo tanto, los desastres van a continuar sucediendo mientras que los estándares de seguridad no sean mejorados. Las principales razones involucradas en las fallas del concreto armado como efecto de un sismo son:

- El poco conocimiento que se tiene sobre el comportamiento del concreto armado durante un sismo.
- La falta de conocimiento en el campo geotécnico, que genera prácticas inadecuadas en las áreas de alto riesgo.
- Una percepción baja del riesgo por parte de los ingenieros, constructores y dueños, asociada con malas prácticas a sabiendas o no.
- Un desarrollo institucional insuficiente para la aplicación del código en el diseño y la fase de construcción.
- El hecho de que se otorgue prioridad al costo u otras consideraciones sobre aquellas de seguridad estructural.

Se puede alcanzar un progreso en todas estas áreas a través de una mejor diseminación, que ayudará a los involucrados a darse cuenta de la magnitud del riesgo. No hay duda de que el concreto armado va a continuar siendo en muchos casos el material de construcción más atractivo, especialmente para las edificaciones grandes y/o altas. El reconocimiento de este hecho, en relación con los problemas asociados con la mejora de las prácticas de seguridad en el diseño y la construcción, es de una importancia extraordinaria. La iniciativa del DIRDN es uno de los medios para llevar a cabo tal progreso y cambio a través de una mejor diseminación del conocimiento, especialmente en los países en vías de desarrollo.

Durante este siglo se han producido cerca de 1150 terremotos fatales, con una pérdida de vidas calculada en 1,53 millones de personas (Pomonis y otros 1993). En muchos países las edificaciones de concreto armado de estándar alto ha contribuido a la reducción drástica de pérdidas humanas, pero esto no es una tendencia global. En la figura 13.2 se muestra una repartición estimada de las fatalidades por ocurrencia. Se calcula que las fa-

Revisión de las tendencias globales en los desastres sísmicos y el efecto de las edificaciones de concreto armado

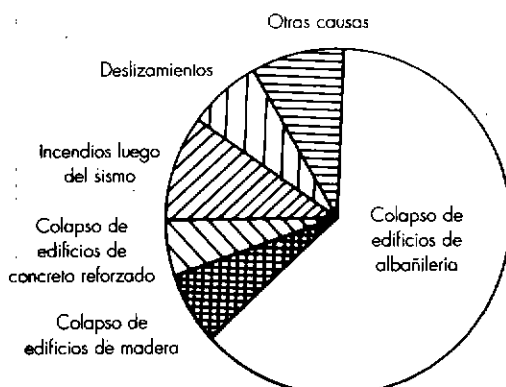


Figura 13.2:
Repartición por causa de las fatalidades globales por terremotos durante el siglo XX.

llas en el concreto armado han sido responsables de cerca de 5% de la pérdida global de vidas en los terremotos durante este siglo. Sin embargo, un proyecto reciente de la Universidad de Cambridge señaló que en el período 1977-1992 esto aumentó a alrededor de 15% (Pormonis y otros 1991).

Un análisis comparativo de las fatalidades globales en las dos mitades del siglo muestra que, a pesar del aumento de la población mundial de alrededor de 2 billones de personas en 1925 a más de cinco billones en 1995, la pérdida de vidas ha sido reducida alrededor de 25% (dependiendo del número de fatalidades usado para algunos eventos mayores, como el terremoto de Tangshan en China). Las edificaciones de concreto armado han contribuido de hecho a esta mejora.

La figura 13.3 muestra la distribución de las fatalidades por terremotos entre las dos mitades del siglo y por país. Se puede notar que seis países son los responsables por más de 80% de la pérdida global de vidas en cada mitad del siglo.

Metodología de investigación Antecedentes

Este estudio piloto fue llevado a cabo en Grecia, pero muchos de los puntos estudiados son de igual interés para los países en vías de desarrollo donde el concreto armado se está convirtiendo en un material estructural común. Grecia fue escogida como un área importante para llevar a cabo este estudio por las siguientes razones:

- Se trata de un país de alta sismicidad.
- El concreto armado es ampliamente usado para la construcción de edificaciones.
- Tiene una historia reciente de terremotos destructivos que han causado el colapso de edificaciones de concreto armado.
- Los éxitos y fracasos en el desarrollo de la seguridad sísmica son de relevancia para la mayoría de los países en vías de desarrollo.

Grecia es un país típico en vías de industrialización que ha alcanzado una etapa intermedia en su nivel de seguridad sísmica y en hacer cumplir el código. Su experiencia con desastres provocados por terremotos puede servir como una guía para los países en vías de desarrollo, que pueden ser capaces de alcanzar un nivel más alto de seguridad sísmica en el futuro.

Este capítulo discute los puntos relacionados con la seguridad de las edificaciones aporricadas de concreto armado. El objetivo es señalar algunos de los aspectos más cruciales de la seguridad frente a los terremotos para las estructuras de concreto armado en Grecia desde una perspectiva global.

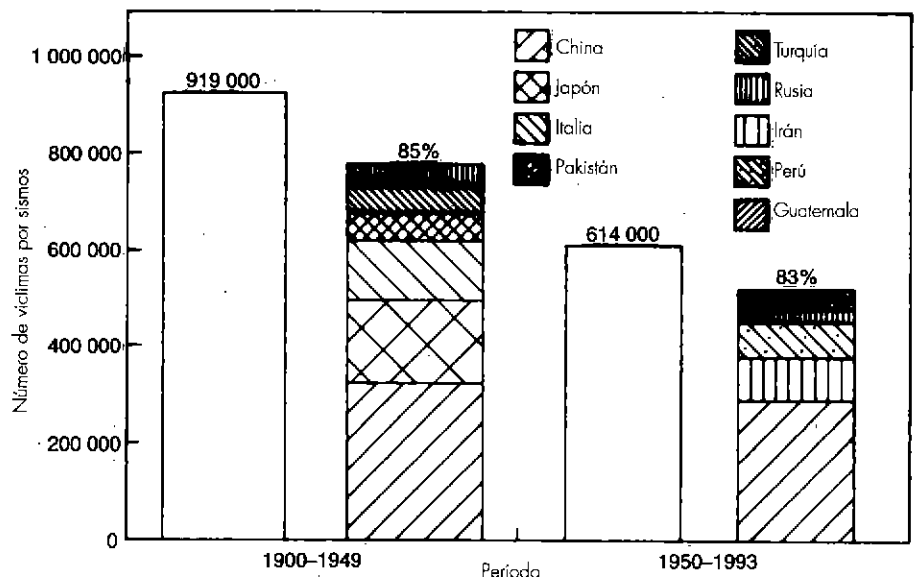


Figura 13.3: Distribución global de las víctimas por sismo por país para las dos mitades del siglo.

Para realizar este estudio se hizo un viaje a Grecia en las dos primeras semanas de enero de 1994. Se decidió que la mejor forma de llevarlo a cabo era por medio de entrevistas. Se hizo un esfuerzo para discutir los puntos con toda la gente involucrada en la seguridad sísmica y la industria de concreto armado, por lo que se entrevistó a prominentes académicos, constructores y dueños de viviendas. Las entrevistas fueron hechas mediante un pequeño cuestionario con preguntas acerca de las edificaciones de concreto armado en Grecia y su seguridad sísmica. Fueron semiestructuradas, basadas en preguntas predeterminadas y en áreas temáticas. No se usaron formularios de preguntas. Las entrevistas se grabaron para referencia posterior. Se entrevistó a once personas, cuyos nombres aparecen al final de este capítulo, en la sección de reconocimientos.

*Registro
de entrevistas
personales*

Dos por ciento del total mundial y cerca de la mitad de la energía sísmica liberada en Europa se presenta en Grecia (Bath 1983). Como resultado de esto, el país ha sufrido durante este siglo 45 terremotos con fatalidades (décimo en el mundo en recurrencia de eventos fatales) y 1240 muertes (número treinta en el mundo en término de pérdida de vidas).

*El impacto
de los terremotos
en Grecia
La amenaza sísmica
en Grecia*

Las edificaciones de concreto armado diseñadas por ingenieros sufren daños cuando las intensidades sísmicas son de VIII o más. En Grecia, 99 eventos en este siglo cumplieron tal condición. De éstos, 44 tuvieron una magnitud de 6,5 o mayor. Muchos de estos ocurrieron en la costa. La sismicidad tierra adentro y cerca de la playa es más destructiva y se resume en la tabla 13.1. Muchos de estos terremotos ocurrieron en áreas de baja densidad poblacional.

Tabla 13.1: La sismicidad tierra adentro y cerca de la costa y las intensidades máximas observadas en Grecia (1900-1985)

Magnitud rango (m_s)	Nº de eventos (% del total)	Profundidad (km)	Recurrencia		Recurrencia $I_0 \geq VIII$ (años)
			$I_0 \geq VII$ (%)	$I_0 \geq VIII$ (%)	
5,5-5,9	54 (23%)	27	32 (59%)	15 (28%)	5,67
6,0-6,4	22 (33%)	37	18 (82%)	17 (77%)	5,00
6,5-6,9	15 (36%)	33	15 (100%)	13 (87%)	6,54
$\geq 7,0$	3 (17%)	45	3 (100%)	3 (100%)	28,33

Fuente: Pomonis (1989).

El último evento mayor ($m > 6,9$) que afectó un área poblada de alta densidad ocurrió en agosto de 1953 en el mar Jónico. Ocasiónó destrucción total en dos islas y la muerte de 473 personas. Esta fue la pérdida de vidas más alta en Grecia desde el terremoto de la isla Chios en 1880, que mató a 3500 personas. Las dos islas Jónicas han sido completamente reconstruidas con edificaciones aporticadas de concreto armado y edificios de madera.

El hecho de que un terremoto con fatalidades esté ocurriendo en Grecia cada dos años en promedio, contribuye a una gran toma de conciencia pública de los riesgos asociados a ellos. Desastres sísmicos graves que causaron por lo menos 10 muertes y destruyeron muchas edificaciones tienen un período de recurrencia de casi cinco años (19 eventos en 93 años). Los terremotos fuertes serán de hecho una manera de probar las edificaciones de concreto armado levantadas en Grecia en un futuro cercano.

Los catálogos sísmicos en Grecia van 2500 años hacia atrás, y los niveles de amenaza en diferentes partes del país están bien definidos. A pesar de eso, no se había aceptado oficialmente un mapa de zonificación sísmica hasta el último código sísmico (OASP 1993). De acuerdo con este mapa, Grecia está dividida en cuatro zonas de sismicidad. Se hizo un análisis de la población estimada y el área de superficie de cada zona, cuyos resultados se muestran en la tabla 13.2.

*Riesgo sísmico
en Grecia*

Tabla 13.2: Distribución geográfica del riesgo sísmico en Grecia (aproximado, 1991)

Zona sísmica	Intensidad (MM)	Área (%)	Población (x10 ³)	Población (%)	Densidad (personas/km ²)
Zona IV	IX	1,3	89	0,9	53
Zona III	VIII	43,4	3214	30,8	56
Zona II	VII	35,5	6071	58,2	130
Zona I	VI	19,8	1056	10,1	41

Existen en Grecia 27 ciudades con poblaciones de 30 000 personas o más. Ninguna de ellas está situada en la zona IV. Sin embargo, 10 ciudades con una población total de casi 850 000 habitantes están en la zona III. Las edificaciones de concreto armado son mayoría en todas estas ciudades. Las dos ciudades más grandes, Atenas y Thessaloniki, están en la zona II.

Impacto de los terremotos en la economía griega

Durante los últimos 40 años, la pérdida de vidas a causa de los terremotos en Grecia ha sido relativamente baja si se la compara con aquellas experimentadas en los países en desarrollo (312 muertes u ocho por año). Dos razones principales explican este hecho:

- Los niveles de seguridad han mejorado en el período de la posguerra con la rápida expansión de edificaciones de concreto armado diseñadas por ingenieros.
- No ha ocurrido ningún terremoto de magnitud mayor a 6,6 cerca de centros importantes de población.

Entretanto, Grecia ha sido transformada de un país rural a uno industrializado. Como resultado de esto, los desastres más recientes por terremotos están asociados con grandes pérdidas monetarias y una pérdida de vidas limitada.

Los tres desastres mayores por terremotos de los últimos 20 años (1978, 1981 y 1986) han afectado las áreas urbanizadas con concentración de infraestructura y muchas edificaciones de concreto armado de construcción reciente. Las pérdidas directas ocasionadas por los terremotos del período 1978-1993 son de casi 3,5 billones de dólares, equivalentes a 4,5% del producto bruto nacional actual (PBN). Se calcula que en estos 15 años los terremotos han causado una pérdida anual de cerca de 0,5% del PBN. Esto es casi la mitad del promedio anual per cápita del crecimiento del PBN del 1% para el mismo período (el crecimiento de la población de 0,4% no es considerado en esta figura).

El número de muertes por terremoto en el mismo período fue de 95, y hubo cerca de 1000 heridos. Esto significa que se ha experimentado un promedio de pérdida monetaria de 35 millones de dólares por cada pérdida de vida. En terremotos recientes en California esta razón fue de casi 200 millones de dólares (terremotos de Loma Prieta en 1989 y Northridge en 1994).

*Estructura de la industria de la construcción en Grecia
Perspectiva histórica*

Grecia es un país industrializado, con una agricultura que cumple un papel muy importante junto con el turismo y la industria. La industria manufacturera está relativamente subdesarrollada. Una gran parte del desarrollo económico experimentado en el período 1955-1975 fue generado en áreas urbanas a través de extensas inversiones privadas en la industria de la construcción. Alrededor de 70% del valor de la producción en el sector de la construcción durante ese período fue destinado a edificios (Antonopoulou 1988). El ritmo de urbanización durante este período se incrementó de 40 a 55%.

En Grecia la construcción de viviendas no es un proceso industrializado. La razón principal para esto es la estructura del sistema de propiedad de la tierra que tiene su origen en la reforma agraria de 1917. Ésta se caracterizó por la división de tierras en pequeñas parcelas para el uso agrícola (en ese entonces la población rural era 65% del total). La expansión gradual de las áreas urbanas, con su intrusión en las tierras de cultivo, signifi-

có que la fragmentación de la tierra fuera transferida a las áreas urbanas. Actualmente ocurre normalmente una mayor fragmentación de las propiedades agrícolas cuando éstas se convierten en tierras urbanas para el desarrollo. El resultado es que los lotes para la construcción son demasiado pequeños (Antonopoulou 1988).

El lote promedio en Atenas tiene 180m²; el tamaño más común va de 50 a 150 m² (60% del total), y 89% son menores de 300m². Esta es también la realidad en muchas otras ciudades del mundo en desarrollo. La fragmentación extraordinaria de tierras hace que la adquisición de grandes tierras para el desarrollo sea muy difícil, de tal modo que el grado de estandarización y productividad en la construcción es muy bajo

La forma más popular de inversión en las áreas urbanas era el reemplazo de las viviendas antiguas de albañilería sin refuerzo por edificios de apartamentos de mediana altura de concreto armado para adecuarse a la afluencia de la gente. Como resultado, y debido a que las leyes anteriores a 1979 permitían altos coeficientes de edificación, la densidad de la población en todas las ciudades de Grecia es muy alta (en Atenas, por ejemplo, es de 7000 personas por km²).

La figura 13.4 muestra la tendencia general de variación en la tipología de edificaciones con el transcurso del tiempo. La tipología de edificaciones de poca resistencia incluye las de albañilería de tierra, ripio y piedra. La gran mayoría de las edificaciones son de estructura de concreto armado, diseñadas utilizando las estipulaciones del código sísmico vigente en aquel tiempo. Otras tipologías de edificaciones son las de albañilería con ladrillos de arcilla o bloques de concreto, así como un número limitado de casas de madera. También están en esta categoría las estructuras mixtas, con albañilería antigua en el primer nivel y marcos de concreto armado en los pisos superiores (EERI 1982; UNESCO 1982). La proporción de las edificaciones de concreto armado en las áreas rurales como un todo se especula que está alrededor de 80%. En áreas que han sido afectadas por los terremotos en los últimos 40 años, edificaciones irreparables o destruidas han sido reemplazadas con edificaciones de concreto armado.

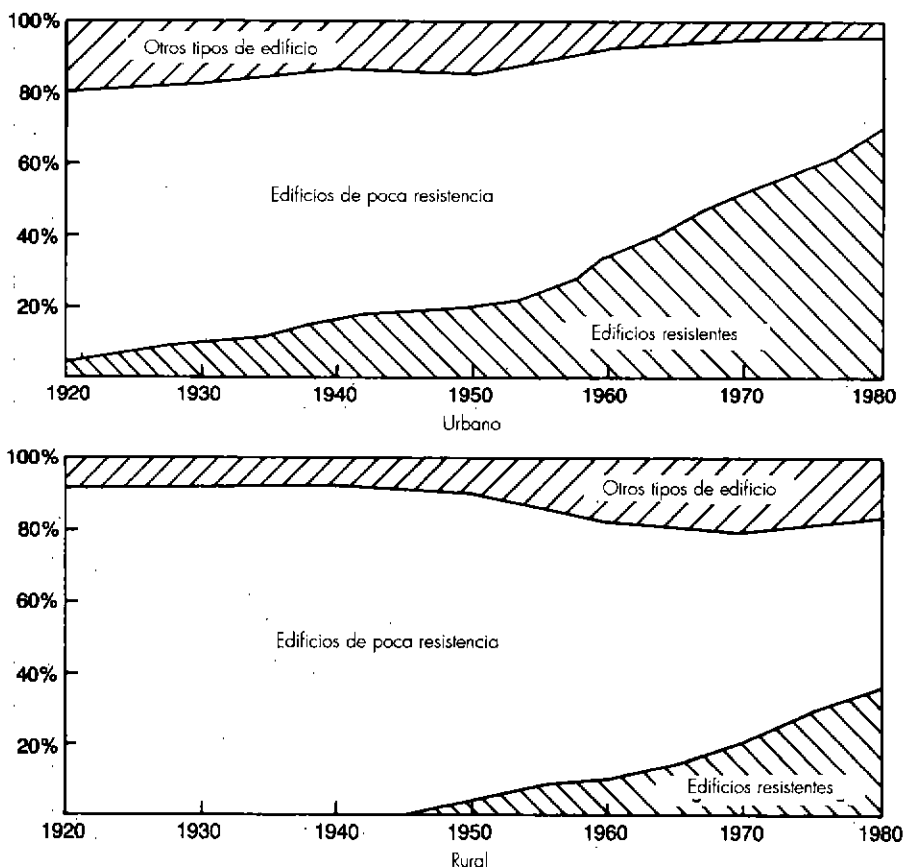


Figura 13.4: Distribución aproximada de tipologías de edificaciones en las áreas rurales y urbanas de Grecia. Fuente: Pomonis (1989).

Formas típicas de edificaciones de concreto armado en Grecia

La estructura de concreto armado más común en Grecia es la estructura monolítica con tabiques de albañilería como relleno. Edificaciones de este tipo fueron muy comunes después de la introducción del primer código sísmico de 1959. Sus atributos son:

- **Altura:** casi todas son de uno a diez pisos.
- **Estructura de carga:** marcos de concreto armado sobre la base de columnas y vigas con moldes vaciados *in situ*.
- **Material de pared:** ladrillos cocidos de arcilla perforados horizontalmente y/o bloques de concreto de 20-30 cm de espesor, no reforzados. Las edificaciones posteriores a 1981 suelen tener una viga en forma de collar en las paredes perimetrales.
- **Estructura horizontal:** losa de concreto armado y vigas vaciadas *in situ*.
- **Techo:** losa de concreto armado plana o inclinada.
- **Refuerzos de acero:** las edificaciones antiguas tienen pocos estribos y barras planas; las más nuevas tienen barras corrugadas y estribos con espaciado corto.
- **Cimientos:** es más común la cimentación aislada de concreto armado con vigas de cimentación, cimentación continua en suelos sueltos o inestables.
- **Aberturas:** son muy comunes los vanos de gran tamaño y los balcones anchos.
- **Diseño arquitectónico:** el primer nivel se deja generalmente libre para estacionamientos, especialmente en los edificios de apartamentos más recientes. Edificaciones con plantas irregulares son comunes dada la irregularidad de los lotes de terreno y la congestión urbana.

Casi no se observan elementos de concreto armado prefabricado o pretensado en las edificaciones residenciales. Por razones explicadas en el párrafo anterior, la industrialización está limitada a concreto premezclado, ladrillos y barras de refuerzo. Las edificaciones comerciales y de oficinas tienen una forma similar, usualmente con tiendas en el primer nivel en lugar de estacionamientos. Es común que las edificaciones antiguas de apartamentos sean convertidas en oficinas.

El sector informal de la construcción en Grecia

La actividad informal de la construcción constituye un serio problema social en Grecia, y se ha incrementado severamente en los años recientes. Se puede dividir en dos partes:

- **Edificaciones ilegales:** por lo general edificaciones sin permiso de construcción, usualmente ubicadas fuera de los linderos del área urbana que figuran en los mapas.
- **Violaciones al código de construcción:** edificaciones construidas con permiso oficial, pero violando ciertas partes del código de construcción.

De acuerdo con estadísticas recientemente publicadas, el número estimado de construcciones ilegales ha alcanzado el millón, lo que se traduce en aproximadamente 25% de las construcciones en Grecia. La construcción ilegal de viviendas en los últimos ocho años se ha acelerado, por lo que se ha estimado que la mitad de la actividad de la construcción en este período ha sido informal. Esto obviamente tiene enormes implicaciones para la seguridad sísmica del país. Las principales razones y consecuencias de este problema se resumen en la tabla 13.3.

Una gran proporción de las edificaciones ilegales (cerca de 40%) están en la prefectura de Attica (en los suburbios de Atenas), esto es, en la zona de más baja sismicidad. La actividad informal más grande fuera de Attica se está llevando a cabo en Creta y en la península de Chalkidiki, en el norte de Grecia (zona sísmica III).

En relación con la seguridad sísmica, la mayoría de las edificaciones ilegales son de uno o dos pisos, construidos de la siguiente manera:

- Bloques de concreto con vigas collar, dinteles.
- Pórticos de concreto armado con relleno de albañilería no reforzada.

Tabla 13.3: Las razones principales y consecuencias de las construcciones ilegales

Razones	Consecuencias
<ul style="list-style-type: none"> • Circunstancias históricas (flujo de 1,5 millones de refugiados en el período 1922-25; flujo de campesinos al área urbana entre 1945 y 1955 después de la Guerra; falta de empleo, persecución política, entre otras. 	<ul style="list-style-type: none"> • Establecimiento del mercado negro (dueños de terrenos, solicitadores, ingenieros, urbanizadores, proveedores de materiales de construcción, agentes inmobiliarios, entre otros).
<ul style="list-style-type: none"> • Ausencia de un registro oficial de tierras. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dilución de la herencia arquitectónica.
<ul style="list-style-type: none"> • Precios altos (prohibitivos) de terrenos en las áreas urbanas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Destrucción de áreas ambientales muy sensibles.
<ul style="list-style-type: none"> • Catastro incompleto y pobre. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida del carácter y la forma urbana.
<ul style="list-style-type: none"> • Fragmentación ilegal de tierras. 	<ul style="list-style-type: none"> • Construcciones en áreas peligrosas.
<ul style="list-style-type: none"> • Carencia de tierras para el desarrollo urbano, debido a largos atrasos en la preparación de los planes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Construcciones con calidad pobre (técnica y estéticamente).
<ul style="list-style-type: none"> • Pobre ejecución de la ley y carencia de mecanismos de control apropiados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Establecimiento y recompensa para el desorden.
<ul style="list-style-type: none"> • Falta de voluntad y visión política. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de ingreso por impuestos. • Vulnerabilidad sísmica.

Las edificaciones ilegales son por lo general no ingenieriles, y han sido levantadas por constructores o urbanizadores especializados en el sector informal. Sin embargo, muchas están diseñadas y calculadas, como es usual, sólo que no llevan la firma de garantía del ingeniero responsable.

No han sido llevados a cabo estudios que comparen el comportamiento de edificaciones ilegales con el de los demás en terremotos pasados. Sin embargo, no hay duda de que éstos son potencialmente débiles, en virtud de que la mayoría no han sido revisados por las autoridades respectivas.

La mayoría de las edificaciones ilegales son casas secundarias de baja altura (casas para pasar vacaciones), construidas en las afueras de las áreas urbanas y, por lo tanto, que permanecen deshabitadas la mayor parte del tiempo. Sin embargo, en años recientes se han reportado algunos casos de construcciones de apartamentos ilegales de concreto armado de mediana altura. La mayoría de estas edificaciones están en las afueras del área urbana, frente al mar, en bosques o en tierras destinadas a la construcción de carreteras.

Hoy en día han disminuido las edificaciones sin permiso oficial en áreas urbanas, aunque prácticas ilegales como la violación del código de construcciones son todavía muy comunes. Las violaciones al código más comunes son:

- Excesos en la proporción del terreno.
- Ampliaciones ilegales (en planta y elevación).
- Violación de la limitación de altura del edificio.
- Violación de las restricciones arquitectónicas.

Algunas de estas violaciones no afectan el desempeño sísmico, pero las violaciones de la altura, como agregar más pisos y buhardillas, generan una carga adicional significativa que no estaba prevista en el diseño original.

La calidad de las edificaciones de concreto armado en Grecia varía considerablemente dependiendo del período de construcción y del contratista. Desde el punto de vista sísmico existen cuatro categorías, asociadas básicamente con el código sísmico vigente al tiempo de la construcción. Sus características son:

El desempeño durante un terremoto

- Construidas antes de 1959: Se trata de edificaciones diseñadas basándose en códigos extranjeros y con guías disponibles en ese tiempo. Algunas están diseñadas conservadoramente y muy bien hechas, pero otras no tienen suficiente resistencia y están construidas pobremente.
- Construidas entre 1960 y 1983, tal como se describe en la página 158.
- Construidas entre 1984 y 1993: Una versión corregida del código de 1959 fue publicada a fines de 1983, como una respuesta a los grandes daños experimentados por las edificaciones ingenieriles durante los terremotos de 1978 y 1981.
- Después de 1992: un nuevo código sísmico fue introducido en octubre de 1992 y actualmente (mediados de 1994) está en un período de consulta de dos años.

Perspectiva histórica

Hasta 1960, los daños causados por terremotos en Grecia estaban principalmente asociados a la albañilería sin reforzar. Las edificaciones de concreto armado han sido un factor principal para llegar a altos niveles de seguridad, un hecho que se reflejó con el descenso de víctimas por terremotos. La pérdida anual de vidas humanas relacionadas con los terremotos ha descendido de 18 a 5% entre 1900 y 1959, antes de la introducción del primer código sísmico. Sin embargo, en terremotos recientes las edificaciones de concreto armado han sido severamente afectadas y muchas debilidades han sido reveladas.

Los últimos tres terremotos principales (1978, 1981 y 1986) han causado grandes daños a las edificaciones de concreto armado. Más de la mitad de las víctimas de estos eventos (52 de 95) fueron seis edificaciones de concreto armado que colapsaron. Además, muchos fueron seriamente dañados y tuvieron que ser demolidos o necesitaron reparaciones costosas, lo que contribuyó además en gran parte a las pérdidas económicas nacionales.

Es ahora obvio que Grecia está llegando a una nueva etapa, durante la cual necesita mejorar los estándares de seguridad tanto en el diseño como en la construcción de las edificaciones de concreto armado. Los factores económicos deberían permitir la elaboración de un programa que identifique la existencia de edificaciones de concreto armado vulnerables en áreas de alta sismicidad y prepare intervenciones de reforzamiento. Obviamente, también debe darse atención a las edificaciones de albañilería no reforzada, pero esto no es materia del presente estudio.

El resto de este capítulo está dedicado a identificar algunos temas que afectan la seguridad de las edificaciones de concreto armado y a la propuesta de estrategias para el desarrollo futuro.

Vulnerabilidad sísmica en las edificaciones de concreto armado en Grecia

Se realizó un análisis para obtener una función de vulnerabilidad para las edificaciones de concreto armado en Grecia. Este tipo de estudio puede ser utilizado para predecir pérdidas futuras causadas por terremotos y, al mismo tiempo, sirve como indicador de análisis de costo/beneficio para evaluar los efectos de un mejoramiento de la seguridad. La tabla 13.4 muestra una matriz de probabilidad de daño frente al incremento en los niveles de intensidad (escala de intensidad sísmica modificada de Mercalli) derivada de estadísticas de daños causados en los terremotos de Corinto y Kalamata en 1981 y 1986 (Andrikopoulou 1988; Elnashai y otros 1987).

Si se asigna un promedio del costo de reparación para cada nivel de daño, puede obtenerse una proporción de daño medio para una edificación promedio en cada intensidad, como se muestra en la última fila. No se tiene actualmente en Grecia información para intensidades mayores de IX. La variación de los daños en lugares con la misma intensidad se debe principalmente al diferente desempeño entre las edificaciones que cuentan con buenos estándares de construcción y aquéllos que no los tienen, pero también a las diferencias en las condiciones locales del suelo. Los resultados son también mostrados en la figura 13.5, junto con las funciones de vulnerabilidad provenientes de estudios similares en otros países, para ilustrar que el desempeño de las edificaciones de concreto armado en Grecia puede mejorarse.

Tabla 13.4: Matriz de vulnerabilidad para edificaciones de concreto armado en Grecia

Descripción de daños	Costo aproximado de reparación (% valor del mercado)	Intensidad sísmica (MM)				
		6,5	7	8	8,5	9
Sin daño	5	85	75	48	41	29
Daño ligero	20	13	20	32	35	38
Daño severo	40	2	5	19,9	21	26
Colapso parcial o completo	100	0	0	0,1	3	7
Proporción promedio de daño (0-100)		7,7	9,8	16,9	20,5	26,5

Notas: Sin daño = incluye edificaciones que tuvieron daño estructural ligero. Daño ligero = rajaduras finas (<10 mm) en elementos estructurales, rajaduras en paneles de albañilería de relleno, cualquier daño fácil de reparar. Daño severo = rajaduras gruesas, fractura de concreto en miembros estructurales, aplastamiento o colapso de paneles de albañilería de relleno, necesidad amplia de reparación y reforzamiento. Colapso parcial o completo = incluye edificaciones que no colapsaron pero fueron condenadas a demolición.

El estudio de Rumania está basado en las estadísticas de daños después del terremoto de 1977 en Bucarest (Pomonis y otros 1990), mientras que el estudio en Japón cubre información de varios terremotos en los últimos 15 años (Okada y Kagami 1991). Está claro que las edificaciones en Japón tienen un mayor estándar de seguridad, lo que reduce las pérdidas humanas y económicas. Esto se logra por medio de una combinación de un mejor código, así como con tecnología de construcción avanzada y la estricta elaboración y aplicación de códigos. Las edificaciones de Corinto y Kalamata fueron diseñadas basándose en el código de 1959, descrito en la siguiente sección.

El primer código sísmico de Grecia se introdujo en 1959 y no fue revisado hasta 1984, y, luego, en 1992. Las disposiciones de 1959 fueron muy elementales, de acuerdo con el nivel de conocimiento de aquel tiempo. El país estaba dividido en tres zonas y el coeficiente de cortante en la base se incrementaba de acuerdo con el tipo de suelo (tres clases de suelo: firme, medio, suave). Esto se ve a continuación:

Código de 1959 Zona sísmica	Código de 1959 Cortante en la base
I	0,02-0,06
II	0,04-0,08
III	0,06-0,12

Revisión de los códigos sísmicos anteriores en Grecia

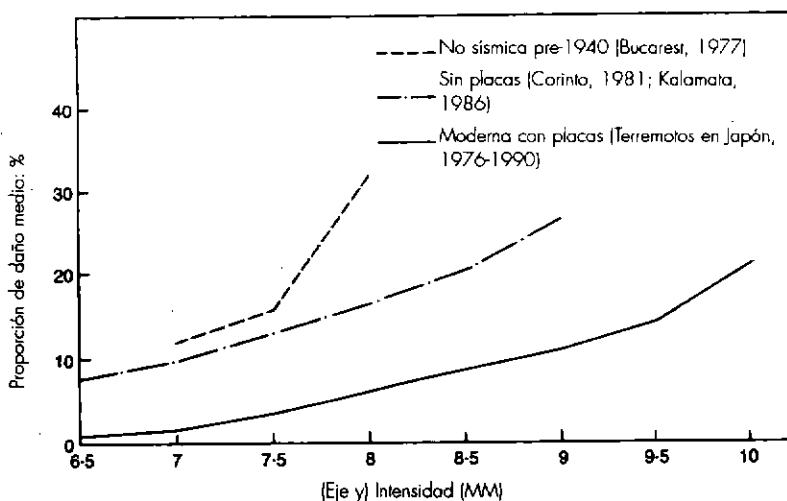


Figura 13.5: Desempeño comparativo de las edificaciones de concreto en Rumania, Grecia y Japón.

La cortante en la base era constante, independiente del período propio de la edificación y aplicada uniformemente a todas las edificaciones (no eran utilizados factores de importancia para edificaciones públicas). La distribución del cortante en la base a lo largo de la altura era considerada uniforme a lo largo de la altura de la edificación. La fuerza horizontal aplicada a cada nivel era obtenida por la multiplicación del cortante en la base con el peso respectivo del piso (muerto más vivo). Las fuerzas del diseño para cada pórtico de cada piso eran calculadas independientemente del resto de la estructura. Ninguna penalidad era impuesta a las edificaciones con irregularidades de rigidez o excentricidad de masa, y ningún énfasis se daba para proporcionar un sistema de resistencia a la fuerza lateral que fuera firme en ambas direcciones ortogonales. La relación entre el período propio de la edificación y las características del suelo no era tomada en consideración.

El Código Provisional para Construcciones Antisísmicas de 1984 introdujo los siguientes conceptos:

- Factor de importancia para las edificaciones públicas (hasta 1,50).
- Uso obligatorio de placas.
- Regulaciones más estrictas en los detalles de las columnas y articulaciones de columnas y vigas.
- Énfasis en refuerzo de corte con poco espaciamiento en columnas.
- Requisitos especiales para el diseño de edificaciones con primer piso abierto o de planta libre.
- Incremento de la cortante en la base en el rango 0,04-0,16.

Las mejoras alcanzadas en el diseño de edificaciones de concreto armado han sido considerables y han contribuido a un mejor desempeño. Sin embargo, las edificaciones construidas con el código de 1984 no han sido aún probadas por un gran terremoto.

El nuevo código antisísmico

El nuevo código de construcción antisísmica fue introducido en octubre de 1992, 14 años después del derrumbe del primer edificio de concreto armado de varios pisos durante el terremoto de 1978. El nuevo código está actualmente en revisión y proceso de consulta de dos años. Fue publicado y distribuido a todos los miembros de la Cámara Técnica de Grecia en abril de 1993. Contiene muchos elementos nuevos recientemente introducidos en los códigos de otros países, como la penalización por irregularidades estructurales, consideración del período del edificio y su relación con las características del suelo, clasificación detallada de cinco tipos de suelo, requerimiento de ductilidad, espectros de diseño, modelos dinámicos y otros.

Cuando se realizaba este estudio se llevaron a cabo en todo el país seminarios para explicar los conceptos del nuevo código (mediados de 1994). Sin embargo, se ha sentido que los cambios son de alcance lejano y que los ingenieros griegos no han sido entrenados ante los nuevos conceptos incorporados en el código. Por esta razón, el periodo de familiarización de dos años puede llegar a extenderse por dos años más antes que el código se vuelva obligatorio.

164 Mejoras en la seguridad sísmica de edificaciones de concreto armado en Grecia

Los tres principales terremotos que han afectado áreas urbanas de Grecia han causado daños severos a las edificaciones de concreto armado. A pesar de ello, no existe evidencia de que se hayan extraído todas las lecciones. Diseños ineficientes, supervisión en obra insuficiente, edificaciones ilegales y demás siguieron ocurriendo. Hay mucho que hacer aún para poder llegar a un nivel de seguridad que se compare con los de California, Japón y Nueva Zelandia. Por esta razón, una gran parte de las entrevistas fueron dedicadas a discutir la debilidad en las edificaciones actuales de concreto armado.

La opinión general entre los entrevistados fue que la calidad de las nuevas edificaciones había mejorado luego de observar los daños en los últimos terremotos. Sin embargo, a la vez, la complejidad en el diseño de las edificaciones en Grecia ha cambiado dramática-

mente durante los pasados cinco a 10 años. Eran muy comunes el uso de excesivas luces en pórticos y voladizos, esquinas re-entrantes, pisos suaves, grandes aberturas, irregularidades en planta y elevación, y otros. Mientras tanto, han pasado ocho años desde el último terremoto destructivo, y se percibe que parte de la gran conciencia inicial al respecto tiende a disminuir. Han ocurrido algunos terremotos más pequeños, pero con intensidades menores que VIII. Eventos de este tipo despiertan el interés público, y la ausencia de daños crea la falsa percepción de que las edificaciones modernas de concreto armado en Grecia son ahora antisísmicas.

Se identificaron por medio de las entrevistas las principales áreas que necesitan mejoras, las que son discutidas en esta sección. Están principalmente separadas en las siguientes categorías:

- Deficiencia en los materiales y mano de obra.
- Irregularidades en diseño de planta y elevación.
- Excentricidades de masa en planta y elevación.
- Irregularidades estructurales en planta y elevación.
- Refuerzos detallados inadecuadamente.
- Efectos no estructurales.
- Efectos indirectos.
- Problemas relacionados con grupos profesionales y con la educación profesional.
- Problemas relacionados con la inspección de las edificaciones y la ejecución de los códigos.

El concreto en Grecia es abastecido casi por completo por compañías de cemento premezclado, excepto en las áreas muy remotas. En 1985 fue introducido el Código de Tecnología del Concreto Armado. Este código cubre todos los aspectos de los materiales y mano de obra en los trabajos de concreto armado. Sin embargo, varios temas de interés salieron a relucir durante las entrevistas.

Deficiencia en los materiales y mano de obra

Serios cuestionamientos permanecen respecto de la calidad del cemento utilizado en algunas edificaciones que fueron gravemente dañadas por los terremotos de Corinto y Kalamata. Los proveedores de cemento donde la calidad de los agregados es muy pobre no están obligados a traer estos agregados de otras partes del país. Han surgido preguntas sobre la calidad del acero estructural importado más barato de países vecinos. La obtención en obra de muestras de concreto armado ha llegado a ser práctica común, pero se menciona como un área que necesita mejorar el número muy limitado de laboratorios de prueba certificados. Los temas de mayor importancia se resumen así:

- Calidad, limpieza y tamaño de los agregados.
- Almacenamiento de los agregados en obra y protección de la contaminación.
- Resistencia y calidad del encofrado y su estructura de soporte.
- Almacenamiento del acero de refuerzo y protección de la herrumbre en obra.
- Calidad, resistencia y trabajabilidad del concreto (mezcla en obra o premezclado).
- Limitado número de laboratorios autorizados para realizar pruebas.
- Procedimiento de vaciado del concreto (tiempos, mezcla, cuidados).
- Protección de los pórticos ante la pérdida de humedad después de removerse el encofrado.

Las irregularidades en el diseño son una de las más grandes contribuciones a excesivas cargas de torsión durante los movimientos sísmicos. Desdichadamente, en Grecia las edificaciones irregulares son muy comunes, por las razones que ya hemos mencionado. Las siguientes son las irregularidades más comunes en las edificaciones de concreto armado en Grecia:

- Configuraciones en planta en forma de L, T, H, P e Y sin juntas sísmicas.
- Plantas con muchas esquinas re-entrantes.

Irregularidades de diseño en planta y elevación

- Edificaciones con disminución en área de planta en pisos superiores.
- Edificaciones irregulares debido a las restricciones del lote de terreno.

Excentricidades en masa en planta y elevación

Es mejor que los centros de rigidez y de masa no estén distanciados entre sí, porque de otro modo la excentricidad generaría movimientos de torsión que podrían sobrecargar la estructura. Esto se puede lograr haciendo que las partes más rígidas y de mayor peso estén uniformemente distribuidas en planta y elevación. Las siguientes son las excentricidades de masa más comunes en las edificaciones de concreto armado en Grecia:

- Edificaciones con cajas de elevadores o escaleras cerca de las esquinas.
- Pórticos y placas distribuidos en forma desigual.
- Edificaciones esquineras, con los lados mirando las calles y grandes vanos, mientras que los otros lados se encuentran rellenos de tabiques de albañilería.

Irregularidades estructurales en planta y elevación

Las irregularidades estructurales son muy comunes en Grecia. A menudo la integridad estructural está en segundo lugar después de las consideraciones de espacio arquitectónico. El patrón de falla en muchas de la edificaciones de concreto armado que han colapsado en los tres terremotos anteriores sugiere que la redundancia estructural no fue incluida en su sistema. Algunas de las irregularidades más comunes en las edificaciones de concreto armado en Grecia son:

- Pórticos con distribución desigual y desalineados.
- Ampliaciones y modificaciones a los pórticos sin las conexiones apropiadas.
- Pórticos más fuertes en una dirección que en otra.
- Las uniones entre vigas y columnas no son concéntricas.
- Vigas con mucho más rigidez que las columnas.
- Pórticos con muchas intersecciones viga-columna no ortogonales.
- Vaciado de vigas y columnas por separado.
- Edificaciones con voladizos largos.
- Escaleras con apoyo insuficiente.
- Pórticos con demasiada variedad de tamaños de columnas y vigas.
- Ubicación excéntrica de las placas.
- Primer nivel más alto que los superiores.
- Primer nivel como piso libre para estacionamientos (*pilotis*) o tiendas sin la suficiente rigidez en las columnas (efecto de piso blando).

La última irregularidad es quizá la más seria y común en las edificaciones modernas de concreto armado en Grecia. La figura 13.6 ilustra que durante el terremoto de Kalamata

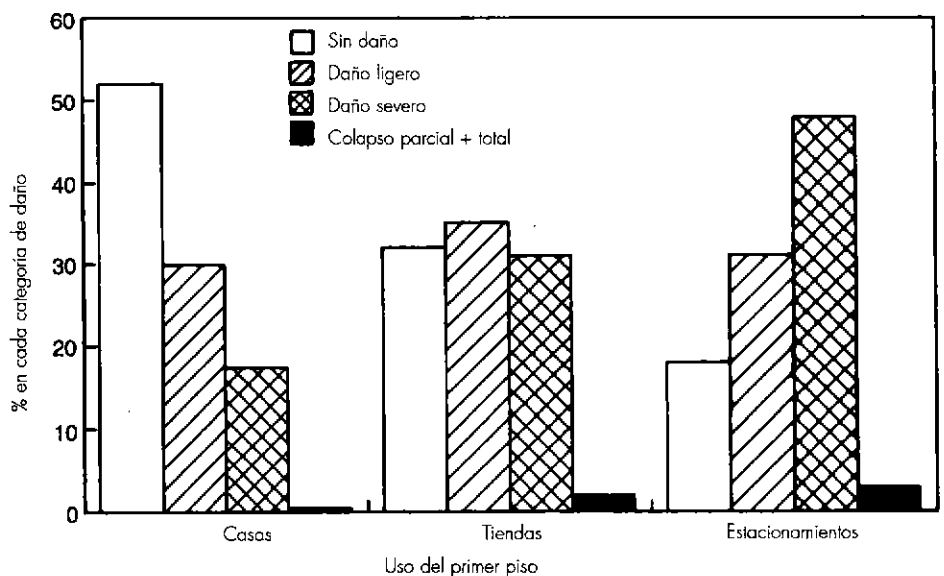


Figura 13.6: Comportamiento comparativo de edificaciones de concreto armado dependiendo del tipo de suelo. Fuente: Pomonis y otros (1991).

las edificaciones con esta irregularidad se comportaron ineficientemente. El código de 1984 introdujo requisitos especiales para incrementar la rigidez y ductilidad de las columnas en las estructuras tipo *pilotis*. En la última década la gran mayoría de los edificios de apartamentos de mediana altura fueron construidos con pisos libres para el estacionamiento, quedando por verse si las regulaciones de 1984 han tenido el efecto esperado.

El buen comportamiento de una estructura de concreto armado en un terremoto no se podrá lograr si no se detallan los refuerzos de acuerdo con el estándar requerido. Las columnas, vigas y losas deben tener refuerzos longitudinales y al corte debidamente espaciados, empalmados, anclados y con dimensiones y recubrimiento mínimo de acuerdo con los requisitos del código. Los ingenieros civiles en Grecia han puesto una gran atención a este problema, y se percibe que se han logrado mejoras. Algunos de los detalles inadecuados son los siguientes:

- Carencia de suficiente refuerzo de cortante (especialmente antes de 1984).
- Discontinuidad del refuerzo en las columnas.
- Empalme insuficiente de los refuerzos en las uniones (especialmente antes de 1984).
- Refuerzos congestionados en las uniones y penetración insuficiente del concreto (especialmente en las edificaciones construidas con el nuevo código).

Un factor importante que ha sido descuidado en el diseño de las edificaciones de concreto armado en Grecia es la contribución de la albañilería de relleno al comportamiento de las estructuras durante la carga lateral. En las estructuras flexibles, que se deforman durante la carga sísmica, el panel de relleno o tabique se somete a fuerzas de corte bastante grandes. Si no está conectado al pórtico, puede ocurrir una falla por corte o hasta el colapso fuera del plano. Los problemas no estructurales más comunes en Grecia son:

- Muros de relleno que no están dispuestos uniformemente (posición irregular de aperturas en planta o elevación).
- Muros de relleno sin refuerzo horizontal y vertical.
- Muros de relleno con ventanas altas entre las columnas, lo que facilita la creación de columnas cortas.

Los efectos indirectos pueden ser divididos simplemente en dos grupos: los que ocurren por el movimiento sísmico y los que pueden suceder por un desastre secundario provocado por el movimiento sísmico. La interacción entre suelo y estructura no ha sido estudiada muy bien en Grecia. En 1981, tres hoteles de mediana altura colapsaron frente al Golfo de Corinto. Esto se debió a la mala cimentación o a una amplificación del movimiento. Las investigaciones geotécnicas previas a la construcción son hechas raramente hasta en edificaciones grandes. El nuevo código solicita estudios geotécnicos especiales y mejoras en los suelos en las siguientes áreas:

- Áreas propensas a licuación de suelos.
- Áreas cerca de fallas tectónicas.
- Áreas propensas a deslizamientos.
- Áreas sobre cavidades de soluciones naturales.
- Áreas de relleno.
- Áreas sobre suelos orgánicos.
- En pendientes pronunciadas con suelos sueltos.

Sin embargo, muy pocos estudios han sido llevados a cabo para poder localizar dichas áreas. Es por eso que no sabemos si estos requisitos realmente van a ayudar. No existen guías de planificación para este tipo de áreas. Otros efectos indirectos en Grecia son:

- Golpeteo entre edificios contiguos debido a la carencia de espacio adecuado entre ellos. Esto podría ser particularmente peligroso si los pisos de las dos edificaciones no están alineados.

Detalle inadecuado de refuerzos

Efectos no estructurales

Efectos indirectos

Problemas relacionados con los grupos de profesionales y la educación profesional

- El exceso de cargas de gravedad ha sido identificado como una causa del colapso de las edificaciones de concreto armado, aun sin la contribución de carga sísmica.
- Los riesgos de deslizamiento e inundaciones no son considerados en las regulaciones de planificación actuales.

El papel de los grupos profesionales y la educación continua de todas las partes involucradas no se puede sobredimensionar. El diseño y la construcción antisísmica es un campo de la ingeniería que está en constante cambio. Los estudios en laboratorio, así como el trabajo de campo realizado en las zonas dañadas, han contribuido significativamente en los avances tecnológicos. La transferencia de la teoría a la práctica es un proceso a largo plazo, complejo y que consume mucho tiempo. En los países vulnerables a los terremotos este proceso no está desarrollado y necesita ser reforzado. Este es sin duda el caso de Grecia. Una variedad de factores y temas fueron puestos sobre el tapete en las entrevistas, y se resumen a continuación:

- El código de 1992 es un documento avanzado científicamente y difícil de entender, especialmente por los ingenieros de generaciones pasadas. Los seminarios han sido limitados. Hay una gran necesidad de un período de consulta en todo el país, durante el cual se anime a los ingenieros a participar en reuniones y seminarios.
- El nuevo código sísmico es en parte contradictorio con el código de 1985. Un comité fue seleccionado para revisar los temas correspondientes.
- Actualmente hay poca comunicación entre los grupos de profesionales en arquitectura e ingeniería civil-estructural. La Ley de Estándar de la Construcción introducida en 1984, y bosquejada predominantemente por arquitectos, ha permitido con más facilidad que antes las construcciones irregulares.
- El nuevo código ha sido bosquejado predominantemente por ingenieros estructurales con especial conocimiento en la ingeniería sísmica, pero será muy difícil de aplicar por los arquitectos.
- La mayoría de las estructuras de concreto armado de más de dos plantas es diseñada hoy en día por programas especiales de cómputo. Existe una gran cantidad de productos en el mercado, pero no hay un grupo profesional establecido que verifique su calidad.
- Se percibe que actualmente muchos ingenieros usan un solo programa de computación para calcular todos los tipos de edificaciones de concreto armado (por ejemplo, de baja y mediana altura, plantas irregulares, grandes luces, etcétera). Debe usarse una variedad de aplicaciones que se ajusten a la diversidad de edificaciones de concreto armado.
- Existen programas de computación que se usan para modelar y calcular todo tipo de estructura, pero en el caso de estructuras irregulares o estáticamente más complejas son necesarios más controles. Por ejemplo, en la respuesta dinámica inelástica.
- Los arquitectos están autorizados para diseñar edificaciones sin tener suficiente conocimiento sobre ingeniería sísmica para interpretar el nuevo código sísmico. Ellos emplean firmas consultoras dirigidas por ingenieros civiles que usan aplicaciones de cómputo para poder hacer los cálculos estructurales. A pesar de todo, lo usual es que el nivel de comunicación se limite a intercambiar dibujos de planos.
- En Grecia cualquiera que tenga capital para invertir puede ser un empresario constructor, sin necesitar otros requisitos profesionales. En un país tan sísmico como Grecia, deberían aplicarse restricciones y requisitos más estrictos. Esta queja fue expuesta en especial por ingenieros practicantes.
- Actualmente, alrededor de un tercio de la actividad en construcción en Grecia está dedicada a la adición de pisos u otras modificaciones en edificaciones ya existentes. Los códigos no tocan este tema.

Problemas relacionados con la inspección de edificaciones y la aplicación del código

La mejora de la seguridad sísmica no se puede alcanzar con el solo hecho de introducir códigos sísmicos. Son igualmente importantes los procesos de inspección de edificaciones y la aplicación obligatoria de los códigos. Muchos puntos referentes a este tema fueron expuestos en las entrevistas, y se resumen de la siguiente manera:

- Los funcionarios de construcción pueden no estar familiarizados con todos los diferentes programas de computación en el mercado, y encuentran muy difícil verificar la validez de los resultados.
- Es necesario revisar la manera en que se hace la verificación en las impresiones en papel de los cálculos computarizados. Actualmente es muy difícil para los inspectores establecer si estos cálculos son correctos, por lo que deben confiar en la sinceridad de los ingenieros y en la calidad de los programas de computación.
- Los constructores, generalmente contratados por el empresario o los dueños de la casa, son muchas veces desconocidos por el diseñador.
- El papel del diseñador es generalmente subestimado. Él o ella es contratado sólo para la etapa de diseño y luego sólo visita la construcción unas pocas veces.
- Aun en las edificaciones de apartamentos de varios pisos, en Grecia la figura de un ingeniero residente en la obra es casi inexistente.
- Todavía debe discutirse el marco de la aplicación del código cuando el nuevo avanzado código se convierta en ley. Los inspectores de construcción necesitarán una guía y un entrenamiento para poder realizar bien la inspección.
- Debe tomarse en cuenta el tema del exceso de trabajo en las oficinas de inspección de edificaciones. Las oficinas tienen usualmente poco personal y con muy pocos recursos para realizar una función social apropiada.

La opinión general de todas las entrevistas es que, después de la dolorosa experiencia de los terremotos de 1978 y 1981, los estándares de construcción y diseño de edificaciones de concreto armado en Grecia han mejorado considerablemente. Todo el espectro de personas involucradas en la construcción –diseñadores, empresarios, funcionarios, dueños de viviendas, constructores y demás– está más consciente de que las estructuras de concreto armado no son la llave mágica para la seguridad sísmica. El terremoto de Kalamata, en 1986, volvió a poner sobre el tapete la necesidad de mejorar el comportamiento sísmico de estructuras de concreto armado en Grecia.

Mientras tanto, la forma típica de edificaciones de concreto armado ha cambiado drásticamente. Grandes luces, cantidad limitada de paredes de relleno o tabiques, grandes aberturas, primer piso libre y grandes voladizos son hoy en día un rasgo común en las edificaciones de concreto armado en Grecia.

Un nuevo código más avanzado fue introducido en 1992 y actualmente está bajo un período de consulta pública de dos años. Muchas preguntas fueron expresadas en relación con que si la industria de la construcción en Grecia está preparada para aplicar los nuevos conceptos del código. Aunque se están logrando progresos, se percibe que la política de la protección antisísmica es un tema muy complejo que necesita ver todos los factores actuantes.

Los principales temas concernientes a la seguridad sísmica se resumen en las siguientes recomendaciones:

- Las edificaciones ilegales son un problema social importante en Grecia. En los últimos 20 años cada gobierno ha tratado de manejar el tema, pero todos han fracasado. Como resultado, se ha incrementado el número de edificaciones ilegales construidas cada año, especialmente en los años recientes. La seguridad sísmica de estas edificaciones no ha sido tomada en cuenta; y es preciso que lo sea antes de otorgar su legalización.
- La seguridad de la estructura no es algo visible que pueda llegar a ser un atractivo para su venta. Los empresarios de la construcción no tienen ningún interés en invertir en la seguridad, a no ser que estén bien informados de los daños y posibles pérdidas que se podrían presentar por ignorancia. Se deben identificar iniciativas que mantengan una alta conciencia sobre el riesgo en toda la comunidad.
- El seguro contra sismos para propiedades es casi inexistente en Grecia. Es hora de considerar seriamente el beneficio de los seguros de terremotos. Este podría ser otro medio para alcanzar altos niveles de seguridad.

Conclusiones y recomendaciones

- Las asociaciones de profesionales y los centros educativos deberían hacer más esfuerzos para establecer programas de educación continua sobre ingeniería sísmica y aspectos sísmicos en la construcción para los diseñadores, los inspectores e incluso para los trabajadores de la construcción.
- Los terremotos que afectan a construcciones de concreto armado ocurren en muchos países. Es importante que se aprendan las lecciones y que éstas sean intercambiadas. Los profesionales griegos y los cuerpos educativos tienen todavía que establecer un grupo de investigación que visite los lugares afectados por terremotos, para estudiar sus consecuencias e informar a las partes interesadas por medio de reuniones y reportes.
- Deben llevarse a cabo los estudios de microzonificación, que establecen las propiedades de los suelos en las áreas urbanas más propensas a los sismos, e incorporarse en los planes de desarrollo urbano futuro.
- Las autoridades locales deben ampliar su conocimiento geotécnico y usarlo como guía en los procesos de planificación y uso de la tierra, así como en los procesos de toma de decisiones.
- Debe promulgarse una legislación que dé una clara dirección al papel y a las obligaciones de los inspectores de edificaciones como ejecutores del código. Existe una necesidad muy clara de entrenamiento especial para los inspectores de edificaciones en cuanto al nuevo código, antes de que entre en vigencia.
- La inspección en el lugar sigue siendo insuficiente en las obras en Grecia. Existen borradores de códigos muy avanzados, pero persiste la duda sobre si las regulaciones más estrictas y necesarias en relación con los proveedores y encofrado de concreto, colocación de refuerzos y diseño detallado de juntas, van a ser logradas si no existe un marco para la inspección en obra.
- Ingenieros y arquitectos deberían participar conjuntamente en la confección de los códigos, ya que afectan a ambas profesiones.

Este capítulo ha tratado de cubrir un amplio espectro de opiniones. Por esta razón, se han subrayado muchos puntos que afectan la seguridad sísmica en varias partes del proceso de diseño y de construcción, sea directa o indirectamente. Sin embargo, sólo es un pequeño intento para enfrentar el tema como un todo y, por lo tanto, está claro que muchas áreas no fueron cubiertas en forma suficiente. Un área que no fue muy discutida en este capítulo es el papel de la educación. Las mejoras que se alcancen en esta área tendrán un efecto a largo plazo en la mejora de la protección sísmica.

Reconocimientos

Se reconoce enormemente el financiamiento para este estudio del "Overseas Development Administration" del Gobierno británico y a la Institución de Ingenieros Civiles. Nos gustaría agradecer también la amable contribución de las siete personas entrevistadas, ya que sin ellos este estudio no hubiera sido posible. Ellos son: Ingeniero Militiades Chronopoulos, de la Universidad Técnica Nacional de Atenas, Laboratorio para el Concreto Armado; Ingeniero Miranda Dandoulaki, de la Oficina de Planeamiento Urbano de Atenas, a cargo de revisar la aplicación del código sísmico; Ingeniero Ioannis Drakopoulos, del Departamento de Sismología de la Universidad de Atenas y Presidente de la Organización de Planificación para la Protección Sísmica; Ingeniero Antonios Karamanos, de la Organización de Planificación para la Protección Sísmica; Professor Panayotis Karydis, de la Universidad Técnica Nacional de Atenas, Departamento de Ingeniería Civil, Laboratorio de Ingeniería Sísmica; Sr. Athanasios Kaouris, empresario de construcción de edificaciones de apartamentos en la ciudad de Patras; Ingeniero Fotios Koukouzelis, empresario de construcción de edificaciones de apartamentos en Atenas; Sr. Alexandros Mermigas, abogado y empresario de construcción de apartamentos y locales comerciales; Dr. Dimitrios Papastamatiou, de la Universidad Técnica Nacional de Atenas, Departamento de Ingeniería Civil, Laboratorio de Ingeniería Sísmica; Ingeniero Gheorghios Tsivos, ingeniero practicante especializado en programas de computación actuales para diseño estructural y precauciones sísmicas; Ingeniero Theodoros Voudiklaris, Presidente de la Asociación Griega de Ingenieros Civiles (1988- 1993).

Competencia para el diseño de un puente resistente a la licuación

14

E.D. Booth Booth
Ove Arup & Partners

R.S. Steedman
Sir Alexander Gibb & Partners

En este capítulo se reporta una competencia internacional convocada para la presentación de diseños conceptuales para la construcción de un puente que pueda soportar la licuación de suelos y que sea apropiado para condiciones similares a las de Filipinas y otras áreas de gran riesgo sísmico. La competencia provocó un gran interés y produjo un grupo de ideas útiles e interesantes capaces de ser más desarrolladas.

Los movimientos violentos de las estructuras son sólo una parte de las amenazas destructivas que generan los terremotos. Otra gran amenaza es la licuación de suelos. Ésta es causada por el incremento del exceso de presión de poros del suelo, lo que lleva a la pérdida casi total de rigidez y resistencia. Los fuertes movimientos del suelo causan frecuentemente licuación en suelos sueltos y saturados, y los daños pueden ser extensos en donde forman parte de los cimientos de estructuras. Los puentes están particularmente expuestos a este riesgo, especialmente en cruces de ríos sobre planicies aluviales inundables. Esto se debe a que generalmente están localizados donde hay materiales sueltos depositados por el río y donde existe un nivel de agua subterránea alto; ambas condiciones hacen que la licuación tenga una mayor probabilidad de ocurrir.

El terremoto de 1990 en Luzón, Filipinas, fue un ejemplo de lo que puede suceder. Por lo menos 24 puentes fueron declarados no utilizables o severamente dañados debido a la licuación, lo que provocó la inmediata interrupción de los esfuerzos de ayuda después del terremoto, así como graves trastornos a largo plazo en la economía. Terremotos severos en muchos otros países han causado problemas similares.

Las medidas para predecir si los suelos van a licuarse o no están bien establecidas. El diseño de medidas contra ella es más difícil. Una de las recomendaciones principales del reporte de la EEFIT (EEFIT 1991) en cuanto al terremoto en Filipinas fue que es necesario un esfuerzo internacional para poder desarrollar nuevas técnicas para limitar las consecuencias de la licuación de suelos. Por ello, como parte del proyecto del Instituto de Ingenieros Civiles financiado por el Overseas Development Administration del Gobierno Británico, se decidió convocar a una competición internacional. La intención fue buscar nuevas ideas para resolver el problema de los puentes sobre ríos en las regiones de alto riesgo sísmico y con suelos licuables, con un énfasis particular en condiciones similares a las de países en vías de desarrollo como Filipinas.

Antecedentes
de la
competencia

Organización de la competencia

Los participantes de la competencia recibieron un documento de seis páginas que contenía los antecedentes, instrucciones técnicas en detalle y las reglas de la competencia. El documento completo está incluido en la referencia Instituto de Ingenieros Civiles (1994). Las instrucciones técnicas requerían que el puente fuese transitable por un convoy de camiones de 24 toneladas dentro de las 24 horas de experimentar un terremoto de magnitud 8 a una distancia de 20 km. Se proporcionó una sección transversal del emplazamiento del puente (figura 14.1). Allí se mostraba que el sitio tenía por soporte una capa de suelo tipo A, de unos 5 a 10 m de potencia, altamente propensa a la licuación. La capa suave estaba soportada por suelo más fuerte tipo B, que, se esperaba, se licuara sólo en las capas altas. Estas instrucciones técnicas también hacían referencia a consideraciones de diseño por viento, fricción y durabilidad.

Los participantes debían proporcionar un solo dibujo tamaño A1 y hasta 1000 palabras para describir su solución. No se solicitó un diseño detallado, ni tampoco se pidieron cálculos. Lo que se requería era un concepto cuya base fuera claramente descrita en las propuestas y que fuera viable para un desarrollo detallado posterior.

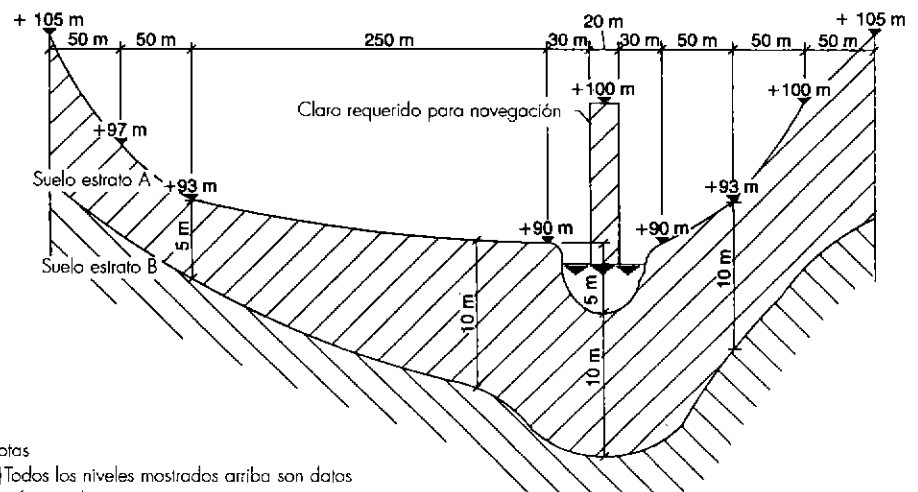
Las propuestas fueron examinadas por un distinguido jurado internacional presidido por el Profesor Roy Severn de la Universidad de Bristol. Los diseños fueron examinados de acuerdo con su éxito en los siguientes aspectos:

- Originalidad, posibilidad de construcción, economía y elegancia.
- Aplicabilidad general en condiciones similares.
- Cumplimiento de las condiciones de diseño tanto para condiciones de trabajo normal como para condiciones extremas.
- Posibilidad de uso del diseño propuesto para condiciones similares a las de Filipinas.

Se ofrecieron premios en efectivo para las tres mejores soluciones, y para la mejor solución por un participante menor de 30 años.

Resultados de la competencia

Se presentaron ciento cincuenta solicitudes y fueron recibidas cuarenta y cinco soluciones completadas. La propuesta ganadora general se muestra en la figura 14.2. Los ganadores presentaron sus diseños en una reunión en el Instituto de Ingenieros Civiles en Londres, donde se llevó a cabo una exhibición de los mejores 16 diseños.



Notas
 (1) Todos los niveles mostrados arriba son datos referenciales
 (2) Las dimensiones deben ser a escala
 (3) Nivel anual de inundación: +90 m
 Inundación extrema en 100 años: -95 m

Escala horizontal 0 100 m 200 m
 Escala vertical 0 10 m 20 m

Figura 14.1:
 Sección transversal del
 emplazamiento del puente.

Resumen de los diseños

La competencia generó una diversidad de ideas interesantes e innovadoras que serán de gran valor para diseñadores de todo el mundo. Las soluciones se dividieron en dos categorías: “flotantes” o sostenidas con pilotes. Las primeras comprenden generalmente bloques de cimentación tipo pontón con conexiones articuladas, mientras que la solución sobre pilotes trata de “fijar” los pilares en “islas” de suelo no licuable.

La naturaleza de la licuación en ríos de cauce amplio es que hay movimiento lateral en el suelo y asentamiento asociado con la consolidación de depósitos sueltos en la profundidad. Los movimientos laterales son generalmente cuesta abajo, pero la extensión y la orientación exacta de los movimientos depende de muchos factores, incluyendo el perfil del límite en la profundidad entre las capas licuadas. Por ello, la estimación de la magnitud y la dirección del movimiento son muy difíciles, pero la experiencia sugiere que los movimientos (flujos) de varios metros son bastante posibles hasta en suelos aparentemente horizontales.

Aunque la solución flotante parezca a primera vista muy atractiva, las graves distorsiones y articulación que se presentarían inevitablemente después de un terremoto no serían fáciles de reparar, y en muchos casos los puentes propuestos serían difíciles y costosos de construir. (Algunas soluciones hubieran requerido grandes excavaciones con intervalos frecuentes a través del río por debajo del nivel de agua subterránea.) Otra preocupación fue el anclaje, ya que si se desea mantener intacto el puente, el arrastre de los pilares “flotantes” necesitaría ser contrarrestado en los estribos. La naturaleza de las fuerzas entre pilares, una vez que se llega al límite de una articulación, sería muy difícil de predecir.

Muchos de los participantes notaron que, históricamente, las cimentaciones sostenidas con pilotes no se han comportado bien en los suelos licuables por la pérdida lateral de rigidez y por las grandes fuerzas impuestas por el suelo. Por ello, para proteger la cimentación del pilar muchas soluciones mostraron el uso del tratamiento del suelo (por ejemplo, columnas de piedra) para crear “islas” que no se licuen y que sean capaces de resistir las fuerzas impuestas por suelo licuado adyacente.

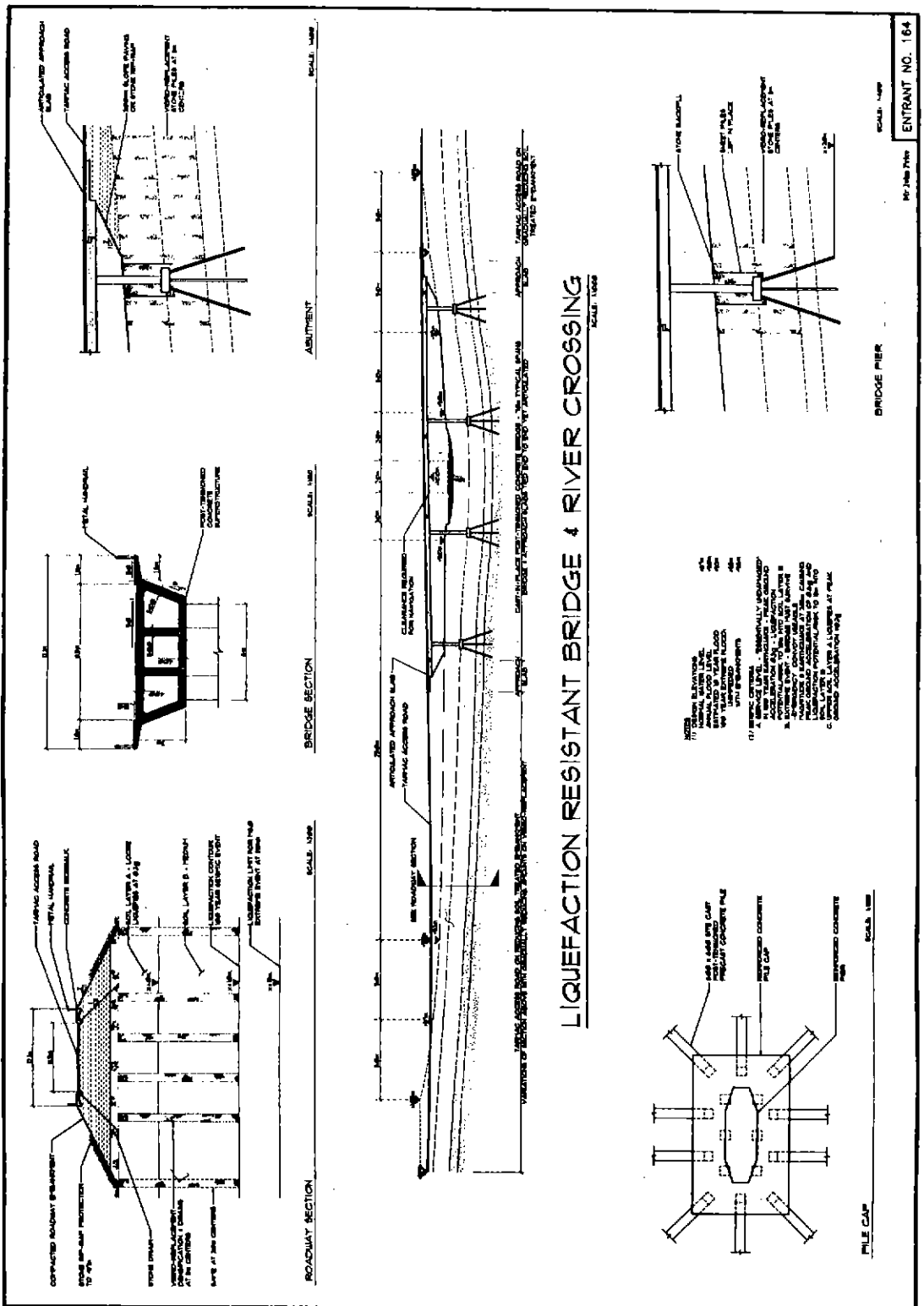
Se propuso también pilotaje inclinado, siendo frecuente la formación tipo estrella (con la intención de proporcionar rigidez lateral y rotacional uniforme en todas las direcciones), pese a que muchos participantes reconocían que en los terremotos pasados el pilotaje inclinado había funcionado pobremente.

Unos pocos optaron por minimizar el ancho del cruce usando terraplenes para aproximarse al puente, con alcantarillas por debajo para proveer un buen drenaje de inundaciones. Los terraplenes seguramente serían dañados durante un terremoto, pero un tratamiento selecto de suelos debajo de la pista (como fue sugerido por la propuesta ganadora) podría dar un balance entre el costo prohibitivo de un remedio total y asegurar un tráfico adecuado inmediatamente después de un evento.

Reduciendo el cruce se podría reducir el costo de la sección del puente, y este beneficio podría usarse en una mayor inversión en los cimientos de los pocos pilares restantes. La posibilidad de construcción tuvo mucha importancia para los jueces, y las opciones que podían construirse usando plantas relativamente simples y con técnicas constructivas estándar fueron consideradas más favorablemente que soluciones sofisticadas.

Hubo una considerable variedad en las soluciones para el puente: desde ofrecer estructuras sobre pontones, discutidas anteriormente, hasta una estructura totalmente sostenida por cables. La mayoría de los participantes consideraron necesarias plataformas (secciones) independientes del puente para proporcionar articulaciones de movimiento adecuadas. Varios optaron por aisladores entre los pilares y las plataformas, aunque no fue muy claro cómo esto sería beneficioso, dado el movimiento continuo del suelo esperado aun con suelo tratado. En general, las plataformas de concreto pretensado fueron la opción más favorecida, en tanto proporcionaban una combinación de rendimiento y costo que se adecuaba más al problema.

Figura 14.2:
La propuesta ganadora.



La competencia tuvo gran éxito en elevar la conciencia y en el desarrollo de múltiples ideas útiles e interesantes para el futuro. La calificación de los diseños fue una tarea difícil de desempeñar e inevitablemente subjetiva en naturaleza, pero los jueces fueron unánimes en proclamar el alto estándar y el esfuerzo realizado por todos los participantes.

Conclusiones

Se agradece la asistencia financiera de las siguientes organizaciones para este proyecto:

Agradecimientos

DFID del Reino Unido
Institución de Ingenieros Civiles de Londres
Ove Arup y Asociados
Trafalgar House Technology
Revista *New Civil Engineer*
Sir Alexander Gibb y Asociados
Universidad de Bristol

Referencias y direcciones

Referencias para los capítulos 1–7

- Alexander, D. (1993). *Natural Disasters*. UCL Press, London.
- Applied Technology Council (1980). *The Homebuilder's Guide for Earthquake Design*.
- Aspinall, W. P., Shepherd, J. B., Woo, G., Wightman, A., Rowley, K. C., Lynch, L. L. and Ambeh, W. B. (1994). Seismic ground motion hazard assessment at a site near a segmented subduction zone: the Roseau dam, St. Lucia, West Indies. *Earthquake Spectra* 10, 2, 259–292.
- ATC-20 (1989). *Procedures for the Postearthquake Safety Evaluation of Buildings*. Applied Technology Council.
- ATC-21 (1988). *Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook*. Applied Technology Council.
- ATC-29 (1992). *Proceedings of a Seminar and Workshop on Seismic Design and Performance of Equipment and Non-structural Elements in Buildings and Industrial Structures*. Applied Technology Council.
- Bell, M. H. and Shears, M. (1980). The assessment of wind effects in design practice, 14. *Wind Engineering in the Eighties*. Construction Industry Research and Information Association, London.
- Bertero, V. V. (1992). Seismic upgrading of existing structures. *Tenth World Conference on Earthquake Engineering* 9, 5101–5106.
- Bolt, B. A. (1978). *Earthquakes*. W. H. Freeman, New York.
- CNPPCRS (1989). Direttive per la redazione ed esecuzione di progetti di restauro comprendenti di miglioramento antisismico e manutenzione nei complessi architettonici di valore storico-artistico in zona sismica. Rome
- Coburn, A. and Spence, R. (1992). *Earthquake Protection*. John Wiley, Chichester.
- Consulting Engineers Partnership Ltd, Wason A. T. (1992). *St Lucia Building Guidelines*. UNCHS/UNDP Project for Programme Support to the Human Settlements Sector in the OECS-CAR/89/006.
- Consulting Engineers Partnership Ltd, Wason, A. T. *St Lucia Building Guidelines*. Organization of Eastern Caribbean States, Castries, St Lucia.
- Corsanegro, A. and D'Agostino, S. (1992). Guidelines for decisions concerning monuments in Italy. *Tenth World Conference on Earthquake Engineering* 9, 5307–5320.
- Davenport, A. G. (1994). A proposal for the reduction of windstorm and earthquake disasters through the improvement in construction quality. *UN World Conference on Natural Disaster Reduction*. Yokohama, Japan.

- De Pauw, C. and Lauritzen, E. K. (1994). *Disaster Planning, Structural Assessment, Demolition and Recycling*. E. & FN. Spon, London.
- Emmi, P. C. and Horton, C. A. (1993). A GIS-based assessment of earthquake property damage and casualty risk: Salt Lake City, Utah. *Earthquake Spectra* 9, 11–33.
- Erdik, M. (1992). Disaster management education on earthquakes. *Tenth World Conference on Earthquake Engineering* 10, 6079–6084.
- Eurocode 1 Part 2.4. *Actions on Structures: Wind Loads*. CEN (European Committee for Standardization).
- Eurocode 8 (1993). *Structures in Seismic Regions: Design, Part 1, General and Building*. CEN (European Committee for Standardization).
- Gaull, B.A., Taniguchi, H. and Kagami, H. (1992). Microzonation of Perth, using microtremors. *Tenth World Conference on Earthquake Engineering* 10, 6235–6240
- Giardini, D., Basham, P. W. and Berry, M. J. (1993). The ILP's global seismic hazard assessment program for the UN/IDNDR. *Natural Disasters*. Thomas Telford, London.
- Gibbs, T. and Browne, H. E. (1982). *The Barbados Homebuilder's Guide to Hurricane Resistant Design*. National Council for Science and Technology, Bridgetown, Barbados.
- Handmer, J. W. and Parker, D. J. (1991). British disaster planning and management: a critique. *The Changing Face of Europe: Disasters, Pollution and the Environment*. University of Bradford, pp. 75–96.
- Hays, W. W. and Roubhan, B. (1992). Toward worldwide seismic zonation in the 21st century. *Tenth World Conference on Earthquake Engineering* 10, 6145–6148
- Hays, W. W. and Roubhan, B. (1993). Worldwide technology transfer for natural disaster reduction. *Natural Disasters: Protecting Vulnerable Communities*. Thomas Telford, London, pp. 489–501.
- Housner, G. W. (1989). *Coping With Natural Disasters: The Second Mallet–Milne Lecture*. Society for Earthquake and Civil Engineering Dynamics, Institution of Civil Engineers, London.
- Housner, G. W. and Jennings, P. C. (1982). *Earthquake Design Criteria*. Earthquake Engineering Research Institute, Berkeley, California
- International Standard (Draft) (1991). ISO/DIS 4354, *Wind Actions on Structures*.
- Kar, A. K. (1979). Impactive effects of tornado missiles and aircraft. *ASCE Journal of the Structural Division* 105, 2243–2260.
- Key, D. E. (1988). *Earthquake Design Practice for Buildings*. Thomas Telford, London.
- Key, D. E. (1994). *Base isolation and discrete dampers for seismic loading*, Colloquium, Department of Civil Engineering, University of Bristol, to be published.
- King, S. A., Rojahn, C. and Kiremidjian, A. S. (1994). Earthquake hazards and loss estimation using geographical information systems. *Tenth European Conference on Earthquake Engineering*, Vienna.
- Krawinkler, H. (1994). New trends in seismic design methodology, Session 7.1. *Tenth European Conference on Earthquake Engineering*. Vienna.
- Lee, B. E. (1993). Research needs for wind hazard mitigation. *Natural Disasters: Protecting Vulnerable Communities*. Thomas Telford, London, pp. 156–166.
- Luft, R. W. (1989). Comparisons among earthquake codes. *Earthquake Spectra* 5, 767–789.
- Marshall, T. P. (1993). Lessons learned from analysing tornado damage. In: *The Tornado: Its Structure, Dynamics, Prediction, and Hazards*, edited by Church, C., Burgess, D., Doswell, C. and Davies-Jones, R. *Geophysical Monograph* 79. American Geophysical Union, pp. 495–499.
- Mathur, G. C. (1993). Cyclone resistant low cost houses in coastal regions in developing countries. *Third Asia–Pacific Symposium on Wind Engineering*. Hong Kong, pp. 817–820.

- Mehta, K. C. and Cheshire, R. H. (1993). Wind damage expert system for insurance industry. *Third Asia-Pacific Symposium on Wind Engineering*. Hong Kong, pp. 805–810.
- Murlidharan, T. L., Prasad, J. D. and Appa Rao, T. V. S. R. (1993). Damage assessment and vulnerability analysis of structures subjected to cyclones. *Third Asia-Pacific Symposium on Wind Engineering*. Hong Kong, pp. 811–816.
- Naeim, F. (1989). *The Seismic Design Handbook*. Van Nostrand.
- NEHRP (1991). *Recommended Provisions for the Development of Seismic Regulations for New Buildings*. Building Seismic Safety Council, Washington, DC.
- New Scientist (1994). Crucial minutes shaved off quake warning. *New Scientist* 15 October 1994, 7.
- New Zealand Standard NZS 4203:1992 (1992). *General Structural Design and Design Loadings for Buildings*.
- Norton, J. and Chantry, G. (1993). Promoting principles for better typhoon resistance in buildings – a case study in Vietnam. In: *Natural Disasters: Protecting Vulnerable Communities*, edited by Merriman, P. A. and Browitt, C. W. A. Thomas Telford, London, pp. 533–546.
- Pan American Health Organization (1994). *A World Safe from Natural Disasters: The Journey of Latin America and the Caribbean*.
- Paulay, T. and Priestley, M. J. N. (1992). *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*. John Wiley.
- Petak, W. J. and Atkisson, A. A. (1982). *Natural Hazard Risk Assessment and Public Policy*. Springer, New York.
- Saffir, H. S. (1993). Recommended improvements in the South Florida Building Code. *Third Asia-Pacific Symposium on Wind Engineering*, Hong Kong.
- Sharpe, R. L. (1992). Acceptable earthquake damage or desired performance. *Tenth World Conference on Earthquake Engineering* 10, 5891–5895.
- Simiu, E. and Scanlan, R. H. (1986). *Wind Effects on Structures: An Introduction to Wind Engineering*. John Wiley.
- Skinner, R. I., Robinson, W. H. and McVerry, G. H. (1993). *An Introduction to Seismic Isolation*. John Wiley.
- Syrmakizis, C. A., Guiffre, A., Wenzl, F. and Yorulmaz, M. (1990). General aspects of the EAEE Working Group 'Seismic Aspects of the Preservation of Historical Monuments'. *Ninth European Conference on Earthquake Engineering* A, 303–346.
- Tiedemann, H. (1992). Global earthquake and seismic index maps and catalogue. *Tenth World Conference on Earthquake Engineering* 10, 6195–6198.
- Tinti, S. (1993). The project GITEC: a European effort to address tsunami risk. *Natural Disasters*. Thomas Telford, London.
- Uang, C.-M. (1991). Comparison of seismic force reduction factors used in U.S.A. and Japan. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 20, 389–397.
- UBC94, Uniform Building Code (1991). International Conference of Building Officials, U.S.A.
- UNDRO (1991). *Mitigating Natural Disasters: Phenomena, Effects and Options*. UN Department of Human Affairs, Geneva.
- UNDRO (1992). *An Overview of Disaster Management: Disaster Management Training Programme*. UN Department of Human Affairs, Geneva.
- Yong, C., Tsoi, K.-L., Feibi, C., Zhenhuan, G., Qijia, Z. and Zhangli, C. (eds) (1988). *The Great Tangshan Earthquake of 1976: An Anatomy of Disaster*. Pergamon Press, Oxford.

Bibliografía para los capítulos 1–7

- Alexander, D. (1993). *Natural Disasters*. UCL Press, London.
- Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I. and Wisner, B. (1994). *At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters*. Routledge, London.

- Church, C., Burgess, D., Doswell, C. and Davies-Jones, R. (eds) (1993). *The Tornado: Its Structure, Dynamics, Prediction and Hazards*, Geophysical Monograph 79. American Geophysical Union.
- Coburn, A. and Spence, R. (1992). *Earthquake Protection*. John Wiley, Chichester.
- Coburn, A., Spence, R., Pomonis, A., Hughes (1994). *Technical Principles of Building for Safety*. Intermediate Technology Publications, London.
- Cook, N. J. (1985). *The Designer's Guide to Wind Loading of Building Structures, Part 1: Background, Damage Survey, Wind Data and Structural Classification*. Butterworths, London.
- Cook, N. J. (1985). *The Designer's Guide to Wind Loading of Building Structures, Part 2: Static Structures*. Butterworths, London.
- Dowrick, D. J. (1987). *Earthquake Resistant Design*. John Wiley.
- Geipel, R. (1982). *Disaster and Reconstruction: The Friuli (Italy) Earthquakes of 1976*. George Allen & Unwin, London.
- International Association for Earthquake Engineering (IAEE). *Guidelines for Earthquake Resistant Non-engineered Construction*. IAEE, Tokyo.
- Merriman, P. A. and Browitt, C. W. A. (eds) (1993). *Natural Disasters: Protecting Vulnerable Communities*. Thomas Telford, London.
- Pan American Health Organization (1994). *A World Safe from Natural Disasters: The Journey of Latin America and the Caribbean*.
- Petak, W. J. and Atkisson, A. A. (1982). *Natural Hazard Risk Assessment and Public Policy: Anticipating the Unexpected*. Springer, New York.
- UNDRO (1991). *Mitigating Natural Disasters: Phenomena, Effects and Options: A Manual for Policy Makers and Planners*. United Nations, New York.

Referencias para el capítulo 8

- Adams, A. D. (1993). *Implications for Building Codes and Practice*. Presentation to JIE Seminar on Effects of the January 13, 1993 Earthquake.
- Allen, D. E. (1989). Hurricane Gilbert: building damage in Jamaica. *Proceedings of a Seminar on the Effects of Hurricane Gilbert on Buildings and Engineering Facilities in Jamaica*.
- Mann, P., Draper, G. and Burke K. (1985). *Neotectonics of a Strike-Slip Restraining Bend System, Jamaica*. Soc. Econ. Paleo. and Min. Spec. Publ. No. 37, 211-226.
- Pereira, J. A. (1977). *An engineering seismological study of Jamaica*. MSc thesis, Imperial College, University of London.
- Pielke, R. A. (1990). *The Hurricane*. Routledge, London.
- Tannehall, I. R. (1956). *Hurricane*. Princeton University Press.
- Wigginson-Grandison, M. (1989). *Woodford, Jamaica, Earthquake of January 1993*. EERI Special Earthquake Report, April 1993.
- Williams, K. F. (1989). Reappraisal of design standards consequent on the effects of hurricane Gilbert on overhead power transmission and distribution facilities. *Proceedings of a Seminar on the Effects of Hurricane Gilbert on Buildings and Engineering Facilities in Jamaica*.

Referencias para el capítulo 9

- Ambraseys, N. N. and Bommer, J. (1991). The attenuation of ground acceleration in Europe. *Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 20, 1179-1202.
- Cornell, A. (1968). Engineering seismic risk analysis. *Bulletin of the Seismological Society of America* 58, 1563.
- Egyptian Central Organization for National Mobilization and Statistics (1986). *Population and Development of Egypt*.

- Egyptian Society for Earthquake Engineering (January 1988). *Regulations for Earthquake-resistant Design of Buildings in Egypt*.
- Elnashai, A. S. and Soliman, M. M. (1994). *Seismic risk and mitigation planning in Egypt*. Engineering Seismology and Earthquake Engineering Section, Imperial College, Report No. ESEE 94/5, July.
- Institution of Civil Engineers (1994). *Design and Construction of Buildings and Structures to Withstand Natural Disaster: Unabridged Final Reports*. ICE, London.
- Joyner, W. and Boore, D. (1988). Measurement, characterisation and prediction of strong ground motion. *Proceedings of ASCE Conference on Earthquake Engineering and Soil Dynamics*. Utah, pp. 43–102.
- Permanent Committee for the Code of Practice of Reinforced Concrete Constructions (1969). *Egyptian Code of Design and Execution of Reinforced Concrete Buildings*, Ministry of Housing.
- Permanent Committee for the Code of Practice of Reinforced Concrete Constructions (1989). *Egyptian Code of Design and Execution of Reinforced Concrete Constructions*. Research Centre for Housing, Building and Urban Planning.
- Permanent Committee for the Design and Execution of Foundations and Soil Mechanics (1991). *Egyptian Code of Design and Execution of Foundations and Soil Mechanics*. Research Centre for Housing, Building and Urban Planning.
- Permanent Committee for the Design and Execution of Steel Constructions and Bridges (1989). *Egyptian Code of Practice for Steel Constructions and Bridges*. Research Centre for Housing, Building and Urban Planning.

Bibliografía para el capítulo 9

- Ain Shams Geological Team (1993). *Geotechnical contribution on October 12th, 1992 earthquake*. Ain Shams University, Cairo.
- Ain Shams Geological Team (1993). *Intensity map of the October 12th, 1992 earthquake*. Ain Shams University, Cairo.
- Egyptian Educational Buildings Organization, General Administration for Architectural Design (1993). Engineering drawings of an eleven-class school building.
- Egyptian Geological Survey and Mining Authority (1981). *Geological Map of Egypt*. Ministry of Industrial and Mineral Resources.
- Egyptian Geological Survey and Mining Authority (1981). *Geological Map of Greater Cairo*. Ministry of Industrial and Mineral Resources.
- Egyptian Society for Earthquake Engineering (1990). *Fourth Egyptian Training Course on Earthquake Engineering*, 12–14 November.
- El-Shazly, E. N. (1977). *The Geology of the Egyptian Region, The Ocean Basins and Margins*, Vol. 4A, *The Eastern Mediterranean*. Plenum, New York.
- Elgamal, A. W., Amer, M. and Adalier, K. (1993) Liquefaction during the October 12, 1992 Egyptian Dahshure earthquake. *Third International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering*. St Louis, MO.
- Elgamal, A. W., Amer, M., Adalier, K. and Abul-Fadl, A. (1994). *Engineering aspects of the October 12, 1992 Egyptian earthquake*. NCEER report No. 93-0018.
- Gray, W. P. (1993). *The Dahshur (Egypt) earthquake of 12th October 1992: implications on seismic safety of existing structures*. MSc dissertation, Imperial College of Science, Technology and Medicine, Civil Engineering Department.
- Japanese Expert Team (1992). *October 12, 1992 Cairo Earthquake – preliminary investigation and recommendations*. Preliminary report.
- Khater, M. (1992). *Reconnaissance report on the Cairo, Egypt, earthquake of October 12, 1992*. Technical report NCEER-92-0033.
- Said, R. (1962). *The Geology of Egypt*. Elsevier, Amsterdam.

- Said, R. (1990). *The Geology of Egypt*. A. A. Balkema, Rotterdam/Bookfield Publishers.
- Soliman, M. M., Mahmoud, A. H., El Far S. and Sobaih, M. U. (1993). Implications of damage to Nasser School Building in Cairo Earthquake of 12th October, 1992. *First Egyptian Conference on Earthquake Engineering*. Hurgada, Egypt.
- Sykora, D., Look, D., Croci, E., Karaesmen, E. and Karaesmen, E. (1993). *Reconnaissance report of damage to historical monuments in Cairo, Egypt, following the October 12, 1992 Dahshour earthquake*. Technical report NCEER-53-0016.
- Thenhaus, P. C., Sharp, R. V., Celebi, M., Ibrahim, A.K. and Van de Pol, H. (1992). *Reconnaissance Report on the 12 October 1992 Dahshur, Egypt, Earthquake*. U.S. Geological Survey, Open-File Report 93-181, Golden, CO.

Referencias para el capítulo 10

- Barka, A. A. (1992). *Surface cracks of the March 13 1992 Erzincan earthquake*. *Erzincan earthquake preliminary report*, Bogazici University. Publication 68-79.
- Dowrick, D. (1977). *Earthquake Resistant Design*. John Wiley.
- Gulkan, P. and Ergunay, O. (1992). Case study of erzincan earthquake of 13 March 1992. *UNDRO Disaster Management Training Program Turkey County Course*. Ankara.
- Istanbul Technical University (1993). *Conference on the First Anniversary of the 1992 Erzincan Earthquake*. Istanbul, Turkey.
- Paulay, T. and Priestly, M. J. N. (1992). *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*. John Wiley.
- Williams, M. S. (ed.) (1993). *The Erzincan, Turkey, earthquake of 13 March 1992*. A Field Report By EEFIT. Institution of Structural Engineers, London.

Referencias para el capítulo 11

- Booth, E., Martinez Rueda, J. E. and Narayanan, R. S. (1994). *Earthquake and Typhoon Resistance of Low Cost Housing in the Philippines*. Institution of Civil Engineers, London.
- PHILVOCS. *Earthquake and Tsunami*. Department of Science and Technology, Philippine Institute of Volcanology and Seismology, Manila.
- [The study drew on a large number of other sources, which are identified in Booth et al. (1994).]

Referencias para el capítulo 12

- Asociación de Ingeniería Sísmica AIS (1984). *Código Colombiano de Construcciones Sísmo Resistentes (CCCSR-84)*. Decreto ley 1400, Bogotá Colombia.
- Blockley D. I. (1992). Engineering from reflective practice. *Research in Engineering Design* No. 4, 13-22.
- Blockley D. I. (1994). *Uncertain Ground: On Risk and Reliability in Geotechnical Engineering*. University of Bristol, Department of Civil Engineering.
- Chandra S., Blockley D. I. and Woodman N. J. (1992). An interacting objects physical process model. *Computing Systems in Engineering* 3, No. 6, 661-670.
- Comite Emergencias de Buenaventura (1992). *Atencion al Paciente de Urgencias en Situacion de Desastre*. I-Foro Municipal del Comite Intrahospitalario de Emergencias. Buenaventura.
- Corsanegro A., Del Grosso A. and Stura D. (1986). Seismic vulnerability assessment for buildings: a critical review of current methodologies. *Eighth European Conference on Earthquake Engineering*, Portugal, 2.3/17-2.3/23.
- Cui, W. and Blockley, D. I. (1991). On the bounds for structural system reliability. *Structural Safety* 9, 247-259.

- Dong, W.-M., Shah, H. C. and Wong, F. S. (1988). *Experts Systems in Construction and Structural Engineering*, edited H. Adeli. Chapman & Hall. London.
- Herd, D. G. *et al.* (1981). The great Tumaco Colombian earthquake of 12 December 1979. *Science*, **211**, No. 4481, 441–445.
- Kelleher, J. A. (1972). Rupture zones of large South America earthquakes and some predictions. *Journal of Geophysical Research* **77**, 2087–2102.
- Koestler, A. (1989). *The Ghost in the Machine*. Arkana.
- Kossovokov, V. and Keilis-Borok (1991). Personal communication and visit to OSSO in Cali, Colombia.
- Meyer, H. and Velásquez, A. (1992). *Approximation al riesgo por tsunami en la costa del Pacífico en Colombia*. Universidad del Valle y Observatorio Sismológico del Sur Occidente – OSSO. Publicaciones ocasionales, No. 2.
- Nishenko, S. (1989). *Circum-Pacific seismic potential 1989–1999*. U.S. Geological Survey. Open file report 89-86.
- OPS, CIDA, OFDA/AID and ODA (1993). *Mitigation of disasters in health facilities*. National Office for Risk Mitigation and Disaster Preparedness of Colombia.
- Paiva, A. and Blockley, D. I. (1993). PhD research discussions and reports. University of Bristol.
- Rojahn, C., Sharpe R. L. and School, R. E., Kiremidjian, A. S., Nutt, R. V. and Wilson, R. R. (1986). Earthquake damage and loss evaluation for California. *Earthquake Spectra* **2**, No. 4, 767–782.
- Sánchez-Silva, M., Taylor C. A. and Blockley, D. I. (1994a). Evaluation of proneness to failure of a project in an earthquake. *Proceedings of the Fifth U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, Chicago, pp. 427–436.
- Sánchez-Silva, M., Taylor C. A., Blockley D. I. (1994b). Proneness to failure of buildings in an earthquake: a systems approach. *Proceedings of the 11th European Conference on Earthquake Engineering*, Vienna.
- Sarria, A. (1990). *Ingeniería Sísmica*. Ediciones Uniandes, Bogotá.

Referencias para el capítulo 13

- Andrikopoulou, K. P. (1988). Damage assessment from the earthquake of Kalamata in 1986, correlation of damage distribution with soil conditions of Kalamata. *International Workshop on Natural Disasters in European–Mediterranean countries*, June. Perugia, Italy.
- Antonopoulou, S. N. (1988). The peculiar character of house-building production in Greece and its interpretation. *Technika Chronika* **8**, No. 2, 103–122. (In Greek with an English abstract and figure captions.)
- Bath, M. (1983). The seismology of Greece. *Tectonophysics* **98**, 165–208.
- EERI (1982). *The Central Greece Earthquakes of February–March 1981*. Publication of the Earthquake Engineering Research Institute.
- Elnashai, A. S., Pilakoutas, K., Ambraseys, N. N. and Lefas, I. D. (1987). Lessons learned from the Kalamata (Greece) earthquake of 13 September 1986. *European Earthquake Engineering* No. 1, 11–19.
- OASP (1993). *The New Greek Antiseismic Regulations Bulletin of the Technical Chamber of Greece*, No. 1757, 26 April 1993. Published by the Organization of Seismic Protection Planning (OASP). (In Greek.)
- Okada, S. and Kagami, H. (1991). Inventory vulnerability functions for earthquake damage evaluation in terms of intensity scale of the Japan Meteorological Agency. *Jishin* **44**, 93–108. (In Japanese with an English abstract.)
- Pomonis, A. (1989). The October 1988 Elia Prefecture earthquake (SW Greece): Seismic environment, building types and damage patterns. *Disasters* **13**, No. 2, 101–117.

- Pomonis, A., Coburn, A. W. and Ledbetter, S. (1990). *The Vrancea, Romania earthquakes of 30–31 May 1990*. A Report by the Earthquake Engineering Field Investigation Team of the United Kingdom, Institution of Structural Engineers, London.
- Pomonis, A., Coburn, A. W. and Spence, R. J. S. (1993). Seismic vulnerability, mitigation of human casualties and guidelines for low-cost earthquake resistant housing. STOP Disasters. *The IDNDR Newsletter* No. 12, March–April, 6–8.
- Pomonis, A., Spence, R. J. S. and Coburn, A. W. (1991). *Reinforced concrete buildings in earthquakes: a study of the causes and types of collapse and the implications to the safety of their occupants*. Report of the Martin Centre for Architectural and Urban Studies, University of Cambridge, November.
- UNESCO (1982). *Earthquake risk reduction in the Balkan region*. UNDP Project RER/79/014. Final Report of Working Group D.

Referencias para el capítulo 14

- EEFIT (1991). *The Luzon Philippines earthquake of 1990: a field report by EEFIT*. Institution of Structural Engineers, London, June.
- ICE (1994). *Design and construction of buildings and structures to withstand natural disaster*. Unabridged final reports, ICE Project for IDNDR. Institution of Civil Engineers, London.

Centros internacionales de información sobre desastres

Asian Disaster Preparedness Centre (ADPC)
 Asian Institute of Technology
 Km 42 Paholyothin Highway
 Klong Luang
 Pathumthani
 Thailand 12120
 tel: (66-2) 516-0110-29
 fax: (66-2) 516-2126

International Association for Earthquake Engineering (IAEE)
 Kenchiku Kaikan, 3rd Floor
 5-26-20 Shiba
 Minato-ku, Tokyo 108
 Japan

International Association for Wind Engineering (IAWE)
 c/o Dr C Kramer
 Goethestrasse 1
 Aachen D-5100
 Germany

International Association of Engineering Geology (IAEG)
 c/o Dr L Primel
 Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
 58 Boulevard Lefebvre
 Paris Cedex 15 F-75732
 France
 International Seismological Centre (ISC)
 Pipers Lane

Thatcham, Newbury RG13 4NS
U.K.
tel: 01635 861022
fax: 01635 872351

International Tsunami Information Center (ITIC)
Box 50027
Honolulu, HI 96850
U.S.A.
tel: (808) 546 2847

International Union of Geological Sciences (IUGS)
P.O. Box 3006
N-7001 Trondheim
Norway

National Research Centre for Disaster Prevention (NRCDP)
Tennodai, 3-chome
Sakura-mura
Ibaraki-ken 305
Japan

National Hurricane Center Library
Gables 1 Tower
Coral Gables, FL 33146
U.S.A.
tel: 666 0413

United Nations Department of Humanitarian Affairs (UNDHA)
Palais des Nations
CH-1211 Geneva 10
Switzerland
tel: (4122) 917-1234
fax: (4122) 917-0023

UNDHA Reference Library
Palais des Nations
CH-1211 Geneva 10
Switzerland
tel: (4122) 734-6011
fax: (4122) 733-5623

U.S. Department of Commerce
National Oceanographic & Aeronautic Administration (NOAA)
National Hurricane Center
1320 South Dixie Highway
Coral Gables, FL 33146
U.S.A.
tel: (305) 666 0413

World Federation of Engineering Organizations (WFEO)
19 rue Blanche
Paris F-75009
Franc

Impreso en Lima
en setiembre de 1999.
Tiraje: 1 000 ejemplares.