

# Guías de planeamiento e ingeniería para la estabilización sismorresistente de estructuras históricas de adobe

E. Leroy Tolles

Edna E. Kimbro

William S. Ginell

---

Guías de planeamiento e  
ingeniería para la estabilización  
sismorresistente de estructuras  
históricas de adobe



---

# Guías de planeamiento e ingeniería para la estabilización sismorresistente de estructuras históricas de adobe

E. Leroy Tolles

Edna E. Kimbro

William S. Ginell

The Getty Conservation Institute  
Serie de informes científicos  
© 2002 J. Paul Getty Trust  
Traducción al español 2005

Getty Publications  
1200 Getty Center Drive, Suite 500  
Los Angeles, California 90049-1682  
www.getty.edu

Timothy P. Whalen, *Director, The Getty Conservation Institute*  
Jeanne Marie Teutonico, *Directora asociada, Programas*

Dinah Berland, *Gerente de proyecto*  
Leslie Tilley, *Editora del manuscrito en inglés*  
Pamela Heath, *Coordinador de producción*  
Garland Kirkpatrick, *Diseñador de la cubierta*  
Hespenheide Design, *Diseño*  
Alessandra Bonatti, *Traductora*  
Aleida Rodríguez, *Editora del manuscrito en español*  
Julio Vargas Neumann, *Editor técnico en español*  
Claudia Cancino, *Editora técnica en español*  
Angela Escobar, *Coordinador de producción en español*

El Getty Conservation Institute (Instituto Getty de Conservación) trabaja internacionalmente para desarrollar el campo de la conservación y promover la preservación y el entendimiento de las artes visuales en todas sus dimensiones: objetos, colecciones, arquitectura y sitios. El Instituto apoya a los profesionales de la conservación mediante la investigación científica, educación y capacitación, proyectos de campo y la difusión de información, tanto del trabajo del propio Instituto como del de otras personas y entidades que trabajan en esta especialidad. En todas sus iniciativas, el Instituto está comprometido a resolver preguntas sin respuestas y a promover el más alto nivel en la práctica de la conservación.

El Getty Conservation Institute es un programa del J. Paul Getty Trust (Fideicomiso J. Paul Getty), organización cultural y filantrópica internacional dedicada a las artes visuales y a las humanidades, que incluye un museo de arte, así como programas para la educación, investigación y conservación.

La serie de informes del programa científico del GCI se propone difundir las más recientes investigaciones que se estén llevando a cabo bajo sus auspicios. Entre las publicaciones de esta serie de informes relacionados con el tema del presente libro se cuentan: *Seismic Stabilization of Historic Adobe Structures: Final Report of the Getty Seismic Adobe Project [Estabilización sísmica de estructuras históricas de adobe: Informe final del proyecto sísmico en estructuras de adobe del Getty]* (2000) y *Survey of Damage to Historic Adobe Buildings after the January 1994 Northridge Earthquake [Estudio de daños en edificios históricos de adobe después del terremoto de Northridge en enero de 1994]* (1996) y la versión inglesa de la presente publicación.

Partes de la presente publicación usa reproducciones de mapas que pertenecen al *1997 Uniform Building Code* y *Maps of Known Active Fault Near-Source Zones in California and Adjacent Portions of Nevada*, International Code Council, Inc., Falls Church, Virginia. Se reproducen con permiso. Todos los derechos reservados.

Las fotografías son de los autores, salvo de indicación contraria.

	vii	<b>Prólogo</b>
	ix	<b>Agradecimientos</b>
	xi	<b>Introducción</b>
<hr/>		
Capítulo 1	1	<b>Principios y consideraciones de la conservación</b>
	4	Importancia de la arquitectura de adobe en California
	6	Principios de la conservación arquitectónica
	8	Consideraciones para la adecuación sísmica
	8	Consideraciones relacionadas con la seguridad personal
	9	Consideraciones para la conservación
	10	Objetivos y prioridades de la estabilización sísmica
<hr/>		
Capítulo 2	13	<b>Adquisición de información esencial</b>
	13	El expediente sobre la estructura histórica
	14	Identificación de valores
	16	Formato del expediente sobre la estructura histórica
	16	Requisitos mínimos de información
	24	Resumen
<hr/>		
Capítulo 3	27	<b>Aplicación práctica: Planificación y financiamiento de adecuación sísmica</b>
	27	Condición preliminar/Evaluaciones estructurales
	28	Selección de una intervención adecuada
	29	Circunstancias especiales
	31	Oportunidades para llevar a cabo proyectos de estabilización sísmica
	33	Equipo de planificación para la adecuación sísmica
	36	Obtención de financiamiento
<hr/>		
Capítulo 4	39	<b>Conceptos de diseño estructural</b>
	40	Principios del diseño sísmico
	41	El carácter único de las construcciones de adobe
	43	Estabilidad contra resistencia
	46	Diseño basado en la estabilidad
	47	Códigos de construcción y normas de diseño actuales

Capítulo 5	49	<b>Clasificación de los daños sísmicos en construcciones históricas de adobe</b>
	49	Niveles de daño en diseños sismorresistentes
	53	Evaluación de la intensidad de los daños sísmicos
	65	Efecto de las condiciones preexistentes
Capítulo 6	69	<b>Resultados del Getty Seismic Adobe Project</b>
	69	Medidas de adecuación sísmica investigadas y experimentadas
	71	Resumen de los resultados de la investigación
Capítulo 7	73	<b>El proceso de diseño</b>
	74	Diseño en función de la severidad de un terremoto
	75	Temas integrales de diseño
	78	Predicción de grietas
	78	Medidas de adecuación sísmica
Capítulo 8	89	<b>Puesta en práctica del diseño y herramientas de adecuación sísmica</b>
	89	Recomendaciones de diseño lateral convencional
	92	Diseño de muros
	93	Cables, tirantes y varillas centrales de muro
	93	Caso de estudio 1: Rancho Camulos
	97	Caso de estudio 2: Casa De la Torre
	99	Resumen de consideraciones para la adecuación sísmica de construcciones de adobe de muros con diferentes relaciones de esbeltez
Capítulo 9	101	<b>Conclusiones</b>
Apéndice A	103	<b>Getty Seismic Adobe Project</b>
Apéndice B	107	<b>Ley de edificios de mampostería no reforzada, SB547/ The Unreinforced Masonry Building Law, SB547</b>
Apéndice C	115	<b>Código de construcción histórica de California y fuentes de información sobre seguridad sísmica</b>
Apéndice D	117	<b>Recursos para la preparación de expedientes sobre la estructura histórica</b>
Apéndice E	119	<b>Fuentes de información y asistencia</b>
Apéndice F	123	<b>Normas federales para el tratamiento de propiedades históricas/ Federal Standards for Treatment of Historic Properties</b>
	135	<b>Referencias</b>
	139	<b>Lecturas adicionales</b>
	143	<b>Sobre de los autores</b>

El adobe o bloque de barro crudo es uno de los materiales constructivos más antiguos y más utilizado en el mundo entero. Este material, que es excepcionalmente adecuado para construir en los climas calientes, secos y en las tierras desprovistas de vegetación del suroeste de los Estados Unidos de Norteamérica, se convirtió en el principal material constructivo tanto en los desiertos de Nuevo México y de Arizona como en toda California, en su etapa temprana. La vulnerabilidad a daños o total destrucción por movimientos sísmicos de muchas estructuras de adobe ha sido una preocupación constante para las entidades y profesionales encargados de salvaguardar nuestro patrimonio y herencia cultural.

Las guías y directrices presentadas en esta publicación abordan los aspectos prácticos del problema y son el resultado de doce años de investigaciones y pruebas llevadas a cabo por el Getty Conservation Institute y sus asociados en el tema de la adecuación sísmica de construcciones históricas de adobe. En la Sexta conferencia internacional sobre arquitectura de tierra, organizada por el Instituto en Las Cruces, Nuevo México, en octubre de 1990, se presentó por primera vez el Getty Seismic Adobe Project (Proyecto sísmico en estructuras de adobe del Getty—GSAP, por sus siglas en inglés) ante la comunidad internacional de profesionales de la conservación. Luego de esta presentación, siguieron una serie de publicaciones, siendo la primera *Survey of Damage to Historic Adobe Buildings after the January 1994 Northridge Earthquake (Recuento de daños sufridos por edificios históricos hechos de adobe a raíz del terremoto de Northridge, en 1994)*, publicado en 1996, seguido por *Seismic Stabilization of Historic Adobe Structures (Estabilización sísmica de estructuras históricas de adobe)*, publicado en el año 2000. El tercer volumen de esta serie fue la versión en inglés de la presente publicación, *Planning and Engineering Guidelines for the Seismic Retrofitting of Historic Adobe Structures*, publicada en el 2002.

El GSAP y sus informes manifiestan el compromiso asumido por el GCI para la identificación y evaluación de metodologías de adecuación sísmica que aseguren por un lado la vida de los ocupantes de estructuras históricas en adobe sin atentar contra la integridad arquitectónica de las mismas. Con este fin, el GSAP ha identificado metodologías de adecuación sísmica económicas, no agresivas y tecnológicamente viables para la estabilización de las construcciones históricas de adobe. El equipo multidisciplinario que llevó a cabo este proyecto realizó investigaciones y pruebas en estructuras de adobe con el fin de evaluar aquellas metodologías de adecuación que estén acordes a las normas de seguridad del Estado de California, y que aseguren al mismo tiempo la preservación del patrimonio histórico arquitectónico de esta región. Esta publicación es, en un sentido real, el producto último de ese proyecto.

Las guías y directrices aquí planteadas pueden ayudar a los profesionales y entidades encargadas de la planificación de proyectos de adecuación sísmica a cumplir tanto con los principios de conservación como con las políticas públicas establecidas; pueden ayudar a los funcionarios locales a establecer parámetros de evaluación de propuestas de adecuación; y también, pueden servir como fuente de información técnica y de puntos a considerar durante el diseño de intervenciones estructurales en construcciones históricas de adobe.

En *Guías de planeamiento e ingeniería para la estabilización sísmorresistente de estructuras históricas de adobe* se examinan tanto la planificación como el diseño de ingeniería con el objetivo de mejorar el comportamiento de una construcción de adobe durante un terremoto. Estas dos fases importantes para el desarrollo de cualquier proyecto de adecuación sísmica son críticas para el éxito del mismo y ambas se describen detalladamente en el presente volumen. Para complementar la investigación se han publicado y traducido como parte de los apéndices, las normas gubernamentales relevantes al tema y también fuentes de información complementarias. Finalmente y con el fin de difundir la mayor información posible, se incluye un índice acumulativo de los tres volúmenes de la serie GSAP.

Los mayores créditos de esta investigación, así como de los resultados prácticos de la misma, corresponden a William S. Ginell, científico de alto nivel del GCI, quien ha sido el impulsor tanto del GSAP como de la presente serie de publicaciones. Sin el dedicado y constante liderazgo de Bill, el proyecto no hubiera contribuido de la manera tan significativa como lo hizo al campo de la conservación de monumentos en tierra. Le estoy personalmente muy agradecido por los conocimientos, la experiencia y el inagotable compromiso que aportó en esta empresa.

También deseo agradecer a E. Leroy Tolles y Edna Kimbro por su dedicación al GSAP en el curso de los años. Sus esfuerzos han dado como resultado un cuerpo de trabajo útil y comprensible, que constituye una piedra angular en el campo de los estudios de adecuación sísmica. Ambos han contribuido de manera incommensurable al proyecto y a este volumen final de la serie.

Espero que este volumen les resulte de utilidad a todos aquellos encargados de preservar nuestra herencia arquitectónica de tierra en regiones sísmicamente activas.

*Timothy P. Whalen*  
*Director del Getty Conservation Institute*

---

## Agradecimientos

Al recopilar las presentes guías y recomendaciones para el planeamiento y la puesta en práctica de medidas de conservación en edificaciones históricas de adobe, los autores decidieron solicitar y considerar la opinión de especialistas que se han enfrentado a problemas similares a los discutidos en estas páginas. Sus experiencias, a menudo sustentadas en diferentes filosofías de conservación y formas de abordar el problema de adecuación sísmica de edificaciones históricas, enriquecieron considerablemente el entendimiento por parte de los autores de los muchos y complejos aspectos que se deben considerar al estabilizar sísmicamente construcciones culturalmente significativas. Si bien sus puntos de vista ocasionalmente fueron diferentes a la de los autores, sus opiniones fueron muy apreciadas y los autores están muy agradecidos por sus contribuciones.

Los autores también desean manifestar su agradecimiento a Neville Agnew y a Frank Preusser, quienes dieron inicio, alentaron y apoyaron el Getty Seismic Adobe Project (Proyecto sísmico en estructuras de adobe del Getty - GSAP, por sus siglas en inglés) al interior del Getty Conservation Institute. Este volumen es la culminación del trabajo que ellos ayudaron a formular a inicios de la década de los 90. De igual manera, los autores reconocen las importantes contribuciones hechas al GSAP por parte de Charles C. Theil, Jr. y Frederick A. Webster, miembros del equipo de investigación a lo largo de buena parte de los estudios de planeamiento y de los experimentos sobre el comportamiento sísmico de modelos de estructuras de adobe. Asimismo, son apreciados los esfuerzos realizados por los miembros del Comité asesor del GSAP, quienes supervisaron la investigación del proyecto, así como los de Helmut Krawinkler y Anne Kiremidjian de Stanford University y de Predrag Gavrilovic y Veronika Sendova del IZIIS, República de Macedonia, quienes apoyaron nuestros esfuerzos durante las pruebas en las mesas vibradores de modelos de estructuras de adobe, llevadas a cabo en sus respectivas instituciones.

Tony Crosby, Wayne Donaldson, John Fidler y Nels Roselund leyeron partes del manuscrito en diferentes oportunidades y durante el desarrollo del mismo. Ellos plantearon preguntas y comentaron muy inteligentemente acerca de los aspectos de planeamiento e ingeniería en los manuscritos preliminares; lo que ayudó a que el libro acabara siendo mucho más productivo para la comunidad de profesionales dedicados a la estabilización sísmica. Asimismo, los autores estarán siempre en deuda con dos lectores anónimos, quienes hicieron observaciones muy inteligentes al texto y sugirieron muchas formas de mejorar y aclarar las guías que hoy les presentamos.

De igual manera, deseamos expresar nuestro agradecimiento a Gary Mattison del GCI, quien armó el manuscrito en inglés, así como al personal y consultores del Departamento de publicaciones del Getty, quienes hicieron realidad la edición en inglés.



---

## Introducción

Muchas de las estructuras más antiguas del suroeste de los Estados Unidos se construyeron en adobe. Los materiales disponibles para la construcción de las primeras iglesias, misiones, fortificaciones (presidios), comercios y viviendas generalmente se limitaban a aquellos de fácil adquisición y manejo por parte de los artesanos y constructores locales. El adobe y la tierra arcillosa con la que se hacen los muros presenta muchas características favorables para la construcción de edificios en regiones áridas: Es un eficiente aislante térmico, se presenta en abundantes cantidades en la región, requiere mínima especialización para su uso en la construcción y ésta en sí no implica el uso de combustible alguno, que suele ser muy escaso en este tipo de regiones. Es por ello que las estructuras históricas de adobe que aún existen se encuentran entre las más significativas de su tiempo, histórica y culturalmente; sobretodo porque representan el diseño y las funciones que cumplieron en sus respectivas comunidades.

Sin embargo, los terremotos son una amenaza real para estas construcciones, pues el comportamiento sísmico de sus muros de adobe, al igual que el de aquellas hechas de piedra y otras formas de construcción por bloques sin reforzamiento, generalmente se caracteriza por el colapso súbito y dramático. Además existe el riesgo de que los ocupantes de dichas estructuras y/o cualquier público que las visite sufran serias lesiones e incluso pierdan la vida durante o como consecuencia de acontecimientos sísmicos. Hablando en términos generales, la comunidad ingenieril considera que las construcciones de adobe como categoría, presentan una vulnerabilidad mucho mayor que otros tipos de edificaciones ante los movimientos telúricos.

No obstante, se ha observado que algunas construcciones de adobe no intervenidas, han soportado terremotos severos sin terminar colapsando. Sobre este punto, un destacado ingeniero estructural sísmico remarcó: “La creencia común de que un edificio es fuerte por haber resistido a varios terremotos es tan equivocada como suponer que un paciente se halla en buena salud porque ha sobrevivido a varios ataques cardíacos” (Vargas-Neumann 1984).

La adecuación sísmica de edificios históricos busca alcanzar dos objetivos diferentes y aparentemente contradictorios:

- Adecuación sísmica para poder brindar una protección / seguridad apropiada;
- Preservación de la construcción histórica en cuestión.

A menudo, se ha percibido que estos dos objetivos están fundamentalmente en conflicto.

Si uno se ciñe a las prácticas convencionales de adecuación sísmica, generalmente resulta necesario hacer grandes alteraciones en las estructuras. Entre estas alteraciones se encuentran por ejemplo la instalación de

nuevos sistemas estructurales y, a menudo, la eliminación y el reemplazo de los materiales constructivos originales. Sin embargo, el fortalecer y alterar construcciones de valor histórico de manera tan radical puede hacer que dichas construcciones pierdan gran parte de su autenticidad. En la mayoría de los casos resultan prácticamente destruidas por las intervenciones realizadas para protegerlas contra daños sísmicos, aun antes de que haya terremoto alguno. He ahí el conflicto entre la adecuación de una construcción de adobe para hacerla segura en caso de un movimiento sísmico con la consecuente destrucción de una buena parte de la construcción original; y la preservación de la arquitectura original con el consecuente riesgo de fallas estructurales y colapso total en el caso de terremotos futuros.

Debiendo enfrentar una dicotomía aparentemente indisoluble entre las inaceptables consecuencias de una estabilización convencional y el evidente riesgo sísmico, el Getty Conservation Institute (Instituto Getty de Conservación) asumió el compromiso de identificar y evaluar metodologías de adecuación sísmica de estructuras históricas de adobe que equilibren las necesidades de seguridad pública y la preservación de bienes culturales. El Getty Seismic Adobe Project (Proyecto sísmico en estructuras de adobe del Getty - GSAP, por sus siglas en inglés) es la manifestación de este compromiso.

El GSAP, cuyo producto final son las presentes guías y directrices, se propuso el desarrollo de una tecnología de adecuación sismorresistente para la protección de edificios culturalmente significativos hechos de tierra y contruidos en zonas sísmicamente activas. La adecuación sísmica es el medio más viable para minimizar los daños catastróficos inducidos por movimientos telúricos en monumentos culturales, al tiempo que se garantiza la seguridad de los ocupantes de los mismos. El objetivo del proyecto fue desarrollar métodos para preservar la autenticidad de las edificaciones de tierra mediante la conservación de sus estructuras culturalmente importantes al tiempo que se protegen los edificios mismos (y, por ende al público usuario) contra los efectos dramáticos y a menudo catastróficos de un terremoto.

La respuesta ante varios terremotos recientes de los edificios adecuados sísmicamente ha demostrado que la intervención apropiada en edificios, antes de que ocurra un evento sísmico, es una solución práctica. Un recuento de edificios históricos de adobe dañados durante el terremoto de Northridge de 1994 mostró que las construcciones de adobe adecuadas sísmicamente se comportaron significativamente mejor que aquellas edificaciones que no habían sido adaptadas. Además, es importante hacer notar que, la reparación de daños y la estabilización convencional de estructuras después de un sismo importante puede resultar extremadamente costosa. Tanto es así que, en algunos casos, se ha llegado a la demolición de construcciones importantes por razones económicas.

### **El propósito de estas guías**

En un discurso pronunciado en una conferencia internacional sobre el fortalecimiento sismorresistente de monumentos culturales Jukka Jokilehto remarcó: “El principio [de la preservación de arquitectura histórica] consiste en definir la tipología arquitectónica de las construcciones, definir los parámetros históricos al decidir cuál es la esencia que permite preservar el valor histórico de la construcción y en qué partes de ésta pueden proponerse cambios. El principio consiste en definir los límites de la remodelación y plantear guías útiles para que los propietarios y usuarios de las estructuras puedan transformar sus pro-

propiedades en conformidad con los principios de preservación de los valores histórico urbanos” (Jokilehto 1988:7).

El objetivo principal de estas guías es por eso el de ayudar a los propietarios y encargados de la administración de monumentos arquitectónicos, así como a otras personas y entidades responsables de los mismos a “definir los límites de la remodelación”, así como a planear proyectos de adecuación sísmica congruentes con los principios de preservación. Las presentes guías y directrices tienen la intención de ayudar a organizaciones sin fines de lucro, iglesias, propietarios privados y agencias gubernamentales que deban ceñirse a las políticas públicas establecidas (como, por ejemplo, las estipulaciones del National Environmental Protection Act, el California Environmental Protection Act, y Public Resources Code sections 5024 & 5024.5 (Ley nacional de protección al medio, la Ley de calidad ambiental de California y las secciones 5024 y 5024.5 del Código de recursos públicos) en lo tocante a la protección de las edificaciones históricas.

Como objetivo secundario de estas guías y directrices se ofrece información de utilidad para las comisiones y funcionarios locales responsables de la evaluación de propuestas técnicas de adecuación sísmica y la protección de recursos históricos. En ocasiones anteriores, las comisiones responsables de los monumentos históricos encargadas de aprobar los permisos para la alteración de estructuras históricas han experimentado dificultades para evaluar las medidas de adecuación sísmica y su cumplimiento con las normas aceptadas de conservación. A pesar de que toda propuesta que se someta a la consideración de comisiones de recursos históricos deberá evaluarse de conformidad con los criterios específicos contemplados en las ordenanzas de conservación de cada jurisdicción, es intención de esta publicación el presentar alternativas viables de fácil aprobación.

Un tercer y último objetivo de estas guías y directrices consiste en brindar información sobre los factores que deben considerarse al planear la restauración de una edificación histórica de adobe, indicar qué tipo de información debe recopilarse, y orientar al lector sobre dónde puede obtenerse para el diseño de modificaciones estructurales en construcciones históricas hechas de adobe. La información presentada en este volumen proviene de publicaciones, de observaciones hechas durante el estudio de construcciones hechas de adobe, de pruebas en mesas vibratorias, de análisis de proyectos modelos de adecuación sismorresistente de estructuras de adobe y, de las normas de construcción generalmente aceptadas.

### **Acerca de este libro**

El GSAP se creó con el fin de desarrollar y probar técnicas alternativas de adecuación sísmica viables económicamente, fáciles de poner en práctica y menos invasivas que las técnicas que actualmente se emplean (consultar apéndice A). El objetivo a largo plazo del GSAP era lograr el desarrollo de prácticas y herramientas de diseño que pudieran probarse, documentarse y ponerse a disposición de las partes interesadas. Reconociendo que la planificación y la implementación son procesos separados que necesitan estar coordinados entre sí, este volumen describe las dos fases de un programa diseñado para mejorar el comportamiento sísmico de edificaciones históricas de adobe: la fase de planificación y la fase de diseño-ingeniería.

Las técnicas aquí descritas pueden resultar de interés para:

- propietarios, administradores y agencias gubernamentales involucradas con propiedades de valor histórico;

- funcionarios gubernamentales responsables de formular y poner en práctica códigos de construcción y reglas de seguridad pública;
- arquitectos;
- ingenieros;
- historiadores de la arquitectura;
- restauradores de bienes inmuebles;
- constructores especializados en restauración; y
- grupos civiles comprometidos con la conservación de nuestro patrimonio histórico.

La información sobre ingeniería que se presenta en estas páginas se basa en la experiencia adquirida durante el desarrollo de extensos estudios de estabilización sísmica, de pruebas recientes en mesas vibradoras de modelos a escala de edificaciones de adobe (Tolles et al. 2000), así como en los resultados obtenidos de la evaluación *in situ* de los efectos destructivos de los siguientes terremotos ocurridos en California: El de 1994 en Northridge, el de 1989 en Loma Prieta, el de 1987 en Whittier Narrows y el de 1971 en San Fernando (Sylmar) (Tolles et al. 1996).

Las presentes guías y directrices han sido concebidas para ser usadas en todas aquellas regiones donde las que la actividad sísmica es una amenaza constante para la supervivencia de construcciones históricas de adobe. Se incluye información de primera mano sobre lo observado en diversos lugares con construcciones históricas de adobe en California, con el fin de poder establecer una relación entre la teoría y la práctica de la conservación. Es cierto que parte del material responde específicamente a la legislación del Estado de California; pero es importante recalcar, que comunidades alrededor del mundo con similar actividad sísmica han aprobado o están considerando aprobar códigos u ordenanzas relativas a la adecuación sísmica de sus edificaciones históricas. En los Estados Unidos, la mayoría de las construcciones históricas de adobe en riesgo de sufrir daños por movimientos telúricos se ubican a lo largo de la costa californiana, en la Zona sísmica 4, en donde se concentraron los colonizadores españoles. Es por este motivo que, los problemas de California en este campo son representativos de las consideraciones y preocupaciones tanto de las construcciones del Nuevo Mundo como del Viejo.

Estamos convencidos de que los resultados de nuestras investigaciones pueden aplicarse extensamente y que las metodologías generales de planificación esbozadas en estas guías y directrices son válidas para todas las regiones con un alto índice de actividad sísmica. Al igual que en muchos otros países, prácticamente todos los estados de los Estados Unidos cuentan con oficinas de preservación histórica responsables de inventariar y asegurar la conservación de monumentos. Normas, cartas y convenciones tales como la Carta de Venecia y la Carta de Burra cuentan con un amplio reconocimiento y sus principios se aplican en todo el mundo (ICOMOS 1999). Si bien las condiciones específicas, los servicios profesionales disponibles y otros factores pueden variar localmente y aun diferir de los que es posible encontrar en California, las ideas generales que se presentan en esta publicación pueden aplicarse también en otros lugares. Motivamos a las personas y entidades responsables del mantenimiento y la conservación de monumentos de adobe a que diseñen programas de adecuación sísmica para las construcciones que se encuentren a su cargo.

---

## Capítulo 1

### Principios y consideraciones de la conservación

El deterioro del patrimonio arquitectónico de adobe en California comenzó con los severos daños sísmicos ocurridos en casas y misiones españolas a principios del siglo XIX, y ha continuado poniendo en riesgo a los monumentos de adobe hasta la actualidad. Las investigaciones indican que la mayoría de las construcciones históricas de adobe no han sido diseñadas como para poder soportar eventos sísmicos y muchas se han ido debilitando como resultado del efecto continuo de los terremotos. Sin embargo, es importante recalcar que se ha podido comprobar que construcciones reforzadas sísmicamente pueden soportar terremotos, sufriendo daños reparables; mientras que estructuras antiguas no reforzadas, normalmente colapsan. Por ejemplo, los edificios coloniales españoles reforzados en Cuzco, Perú se han conservado a pesar de la frecuente actividad sísmica en la región; y la Misión Dolores, reforzada después del terremoto de San Francisco en 1906 (fig. 1.1a) soportó el terremoto de 1989 en Loma Prieta (1.1b).

En California, las campañas ya organizadas para preservar las estructuras importantes hechas en adobe comenzaron hacia finales del siglo XIX, al formarse el Charles Lummis's Landmarks Club (Club de sitios históricos Charles Lummis). A estos esfuerzos se sumaron los de Joseph Knowland y el California Historic Landmarks League (Liga de sitios históricos de California). El Charles Lummis's Landmarks Club tuvo un rol importante en la conservación de las misiones del sur de California, mientras que la Liga de sitios históricos tuvo una presencia bastante activa en el norte del Estado, involucrándose en la conservación del viejo centro histórico de la ciudad de Monterey y de la Misión de San Antonio de Padua, a principios del siglo XX. La asociación Native Sons and Daughters of the Golden West (Hijos e hijas

**Figura 1.1**

Misión de San Francisco de Asís (Dolores), San Francisco, California: (a) después del terremoto de San Francisco de 1906 (Cortesía de los archivos de la biblioteca de la Misión de Santa Bárbara); y (b) después del terremoto de 1989 en Loma Prieta.



(a)



(b)

nativos del dorado oeste) apoyaron activamente estos esfuerzos. El movimiento cobró ímpetu con la reconstrucción, por parte de los franciscanos, de la Misión de San Luis Rey, la de San Miguel y la de San Antonio, en las décadas de 1890, 1930 y 1940 respectivamente; ésta última con ayuda económica de la familia Hearst. En la década de 1930, las edificaciones históricas de adobe de la capital española de Monterey fueron objeto de trabajos de conservación por parte de la Monterey History and Art Association (Asociación de arte e historia de Monterey) y de la California Division of Beaches and Parks (hoy, Departamento de parques de California). También se hicieron trabajos de conservación en misiones y otras estructuras en San Juan Bautista, Sonoma, Santa Bárbara y San Diego.

En años recientes, los daños sufridos por las construcciones históricas de adobe de California que no fueron reforzadas han sido dramáticos. Entre éstos se hallan la destrucción de la iglesia de la Misión de San Fernando, en 1971 (fig. 1.2); graves daños en la Mansión de Pío Pico, en 1987 (fig. 1.3); daños en el Rancho San Andrés Castro Adobe y en Juana Briones Adobe, en 1989; y daños severos en las edificaciones del Adobe Del Valle de Rancho Camulos (fig. 1.4), Andrés Pico Adobe (fig. 1.5), De la Ossa Adobe (fig. 1.6), así como a los conventos de las misiones de San Gabriel y de San Fernando, en 1994.

**Figura 1.2**

Iglesia de la Misión de San Fernando, Mission Hills, California: (a) interior, después del terremoto de Sylmar, en 1971 (Cortesía del patrimonio de Norman Neuerburg) y (b) demolición exterior, después del terremoto de 1971 (Cortesía de San Fernando Valley Historical Society).



(a)



(b)

**Figura 1.3**

Dos vistas externas de la Mansión de Pío Pico, en Whittier, California, después del terremoto de Whittier Narrows, en 1987.



(a)



(b)

Los restauradores actuales deberían continuar promoviendo y apoyando la preservación de monumentos en tierra enfrentando y no evadiendo los retos que plantea la actividad sísmica en relación con los recursos culturales más antiguos del estado: las misiones y otras edificaciones en adobe. En California, la conservación de las construcciones del período colonial

**Figura 1.4**

Museo de Rancho Camulos, en Pirú, California, después del terremoto de Northridge de 1994: (a) colapso de la esquina suroeste de la recámara y (b) daños en la parte superior del muro.



(a)



(b)

**Figura 1.5**

Construcción de Adobe Andrés Pico, Mission Hills, California: (a) antes del terremoto de 1994 y (b) después del terremoto de 1994.



(a)



(b)

**Figura 1.6**

Construcción de Adobe De la Ossa, Encino, California: (a) antes del terremoto de Northridge, en 1994 y (b) después del terremoto de Northridge, en 1994.



(a)



(b)

español y mexicano es importante, no sólo por la vulnerabilidad que estas construcciones presentan ante movimientos sísmicos, sino también por su creciente valor social, histórico y étnico, en el marco de una sociedad cuya orientación cultural es cada vez más hispánica.

### **Importancia de la arquitectura de adobe en California**

Los edificios históricos de adobe en California se definen en gran medida por el material utilizado y a menudo derivan sus nombres de éste mismo. Tales son los casos de Adobe de Los Coches, Rancho del Adobe San Andrés Castro, Adobe de Las Cruces, etc. Tanto las cualidades históricas como las artísticas o arquitectónicas de las estructuras de adobe pueden atribuirse parcial o totalmente a los materiales empleados en su construcción. El material mismo y las formas tradicionales de construir empleando el adobe contribuyen en gran medida a las cualidades estéticas de estos monumentos.

Los tipos de materiales utilizados en las edificaciones de adobe (entendiéndose no sólo los materiales en sí, sino también el armado de sus estructuras: levantamiento de muros, corte y tallado de la madera, etc.) nos revelan los cambios a los que se sometieron los materiales naturales debido a la intervención del hombre. Citando el texto de la Cartade Venecia, estos cambios convierten a las construcciones resultantes en edificaciones dignas de respeto, porque representan el “trabajo de los artesanos del pasado”, (Riegl 1964).

Los muros hechos de tierra, los dinteles, las vigas, la estructura de los techos, los pisos y los acabados originales (sobre todo si son pintados, decorados en alto o bajorrelieve) son importantes, tanto por su apariencia como por los materiales utilizados en su construcción. En el caso de las pinturas murales, no sólo es importante el diseño de las mismas, sino la técnica utilizada, pues ésta puede brindarnos información sobre el uso de ciertos materiales en el pasado. De igual modo, puede analizarse el contenido orgánico o inorgánico de los muros de adobe con el fin de identificar por ejemplo, los tipos de plantas que se utilizaron para incrementar la resistencia del material o para localizar el origen y procedencia de las mismas. La importancia no sólo radica en la estética de la construcción, sino también en las características de sus materiales.

Los “bloques de tierra” de los monumentos históricos de adobe pueden compararse a las “piedras de Venecia”, que el crítico de arte y arquitectura John Ruskin (1819–1900) consideraba testimonios vivos del trabajo de generaciones pasadas (Ruskin 1851–53). Las estructuras, tanto los muros en sí mismos como las construcciones levantadas con ellos, son producto del hombre, poseen una integridad inherente a los mismos y merecen respeto. El adobe debe ser asociado con la cultura de los grupos étnicos autóctonos e hispánicos que habitaron y colonizaron inicialmente los territorios marginales del imperio español; y no como se le considera en la California contemporánea, como un material de construcción primitivo.

Con el fin de comprender mejor la importancia cultural de las construcciones históricas de adobe en California, es pertinente hacer algunas observaciones sobre la historia de la arquitectura colonial española de California. En este Estado, último lugar de colonización de España en el Nuevo Mundo, las edificaciones de adobe fueron construidas a mano por los pobladores oriundos de esta región. Las edificaciones de adobe que estas sociedades levantaron representan el producto más importante y más visible del desarrollo de su tecnología constructiva. Las piedras para la cimentación se extrajeron de las canteras y se trabajaron a mano. Lo mismo ocurrió con la madera, que se

talló, aserró, esculpió y pulió de este modo. Se mezclaron la tierra y la paja y a esta mezcla se le dió forma, se le secó, se le volteó y se le apiló. De igual modo, se recolectó, formó y coció la arcilla para las tejas de los techos y las baldosas de los pisos. También se extrajo piedra caliza de canteras, para luego pulverizarla, quemarla y apagarla para formar la cal. Y todo este trabajo fue llevado a cabo por pueblos nativos de esta región, capacitados e instruídos por soldados, ingenieros, sacerdotes y artesanos españoles. En la era de los ranchos que siguió al período de las misiones, los antes poco experimentados constructores de estas misiones fueron empleados como obreros calificados para construir edificios de adobe para los rancheros terratenientes. Por estas razones y hablando en términos prácticos, al preservar los testimonios físicos de las contribuciones tecnológicas de una cultura, estamos también preservando las habilidades constructivas de estas poblaciones nativas que aún pueden admirarse en las misiones y edificios históricos de adobe de la antigua California.

Son escasos los vestigios de arte nativo de la región de California. Es reciente el reconocimiento del rol tan importante que tuvieron las poblaciones locales en la construcción de las edificaciones históricas de adobe en California (Thomas 1991). Las construcciones de adobe, tanto civiles como religiosas, son probablemente los testimonios más tangibles del trabajo y la forma de vida de estas sociedades. Conforme aumente nuestra conciencia sobre el rol que cumplieron los pueblos nativos en la construcción de la antigua California, aumentará el valor de las edificaciones de adobe, al ser consideradas como obras mestizas que representan la fusión de la arquitectura local con la arquitectura e historia española (fig. 1.7).

En los estados de Nuevo México y Arizona, la práctica tradicional de construir con adobe, que realmente nunca se extinguió, está experimentando

**Figura 1.7**

Ejemplos de construcciones históricas de adobe, construidas con mano de obra indígena: (a) cuartos, recientemente restaurados, para los novatos de la Misión Santa Cruz, Santa Cruz, California (Cortesía del State Museum Resource Center, California State Park); (b) exterior de la Misión de La Purísima Concepción, Lompoc, California; y (c) convento de la Misión de La Purísima Concepción.



(a)



(b)



(c)

una revalorización. Esta continuidad de las tradiciones constructivas históricas facilita enormemente el mantenimiento y la reparación de los monumentos de adobe. Sin embargo y desafortunadamente, en California la ruptura con el pasado ha sido casi completa. Las investigaciones etno-históricas sugieren que existen pocos descendientes directos de los artesanos y constructores oriundos de esta región. Las culturas que crearon la arquitectura que es materia de esta publicación, en la actualidad, no construyen en adobe; y la tecnología constructiva de hoy, casi no tiene relación alguna con los métodos históricos arriba descritos. Es por ello que, la conservación de las estructuras históricas que aún existen, debe ser una prioridad considerando la constante amenaza de eventos sísmicos en California.

Las construcciones históricas de adobe han sufrido daños y han sido sometidas a continuas reparaciones a lo largo de los años debido a su ubicación en áreas de alto riesgo sísmico. Algunas de estas intervenciones han podido cubrir estéticamente estos daños, pero fotografías e investigaciones históricas indican que los daños aún existen. Es así que tras el terremoto de Loma Prieta en 1989, el Rancho San Andrés Castro Adobe dejó al descubierto rellenos anteriores de concreto en grietas y fisuras de considerables proporciones (fig. 1.8). Ha sido costumbre de culturas tradicionales el reparar grietas, revestir y, en algunos casos, reconstruir secciones enteras de muros. Sin embargo, al utilizar materiales incompatibles con el adobe, tales como el concreto, la vulnerabilidad de las estructuras ante los daños sísmicos aumenta. Como principio

lógico, se debe de aceptar la formación de grietas y la necesidad de repararlas oportunamente como parte del ciclo de vida de un edificio hecho en adobe; ya que de no ser así, el nivel de intervención necesario para reparar las inevitables grietas, crecerá de manera proporcional a la falta de mantenimiento continuo de la edificación. La falta de mantenimiento conlleva inevitablemente a reparaciones drásticas que normalmente resultan en una pérdida considerable de la construcción original y por ende, una pérdida de su autenticidad. En el caso de estructuras con complejas superficies decoradas, los niveles de intervención para reducir la formación de grietas son mayormente complejos, en comparación a las estructuras de adobe enlucidas periódicamente mediante la aplicación tradicional de un revestimiento de cal o barro.

Cuando se considera la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones históricas de adobe y se estudian los daños que estas estructuras ya han sufrido por este motivo, se hace evidente la necesidad de redoblar esfuerzos y el valerse de todos los recursos que ofrece la tecnología de la conservación con el fin de conservar su autenticidad.

### Principios de la conservación arquitectónica

Hay tres principios de conservación que hemos considerado básicos y pueden ser contemplados durante el proceso de diseño de intervenciones en estructuras históricas o con significado cultural, independientemente del material de construcción o de la ubicación de las mismas:

**Figura 1.8**

Rancho de Adobe San Andrés Castro, en Watsonville, California, en la que se muestra el colapso de reparaciones anteriores, hechas con concreto armado, después del terremoto de Loma Prieta de 1989.



1. Estudiar y comprender la edificación en su totalidad.
2. Mínima intervención.
3. Reversibilidad.

Estos principios generales han ido adquiriendo importancia con el paso del tiempo y son el resultado de la reconciliación de dos puntos de vista aparentemente contradictorios sobre la manera de preservar construcciones culturalmente significativas. Muchos teóricos de la conservación han contribuido a resolver estas contradicciones generalmente representadas por las ideas de restauración/reintegración de Viollet-le-Duc, en Francia ([1858–72] 1959) y los principios de estabilización/conservación de Ruskin y sus seguidores en Inglaterra. En el siglo XX se logró una fusión entre la teoría y la práctica mediante la aplicación de los principios y la metodología para la conservación de los objetos muebles, a la conservación de objetos inmuebles, dando como resultado los métodos analíticos hoy utilizados. Los mismos principios de conservación arquitectónica que rigieron el diseño de las intervenciones en las catedrales de Nôtre Dame en París, de Chartres, de San Pablo en Londres y de San Pedro en Roma se pueden aplicar en el caso de las construcciones históricas de adobe del Nuevo Mundo, incluyendo las misiones españolas y otras edificaciones de adobe con valor histórico.

El primero de estos principios fundamentales exige que el restaurador investigue al detalle el edificio a través del estudio de sus materiales, sistemas constructivos, patología, contexto físico y cultural, historia y alteraciones, antes de plantear cualquier intervención o alteración alguna. El edificio se debe examinar de forma integral, dentro de su contexto y en relación con cada una de sus partes. La edificación se debe evaluar por su valor estético, unidad o falta de la misma como obra arquitectónica y por su valor histórico, en su carácter de evidencia del paso del tiempo o flujo de la historia. Un expediente típico sobre la estructura histórica (HSR) requiere este tipo de evaluación (para mayor información, consultar capítulo 2 y apéndice D de esta publicación). Los conflictos que surjan entre los valores estéticos e históricos se resuelven mediante la evaluación de toda la información disponible, sopesando y equilibrando de manera contextual los datos recogidos, con el fin de poder tomar decisiones racionales, justificadas e imparciales. Como parte de este proceso de recolección y análisis de datos, se debe evaluar la necesidad de efectuar alteraciones, que pueden ir desde el reemplazo de un marco de ventana deteriorado hasta la adecuación sísmica de la estructura en su totalidad.

Una vez propuesta cualquier alteración, se debe considerar el principio de mínima intervención, que influye en el diseño y el grado de cambios en una estructura. Se reducen las intervenciones o alteraciones con el fin de preservar la mayor parte de la construcción original y salvaguardar su autenticidad, al mismo tiempo que se permite alcanzar la meta que motivó dicha alteración que normalmente es el asegurar la durabilidad de la edificación.

El tercer principio rector, el de la reversibilidad, sostiene que las alteraciones hechas a un edificio deberían poder eliminarse en el futuro sin dañar de manera significativa la estructura original. La reversibilidad fuerza el uso de tecnologías de avanzada y descarta toda alteración inapropiada u obsoleta. Este principio promueve el uso de alteraciones de naturaleza aditiva y desalienta la eliminación de material o detalles arquitectónicos originales. Además, es importante documentar y almacenar todo material o detalle arquitectónico que se retire de la estructura original, con la posibilidad de reinstalarlo en el futuro. Debido a que toda modificación se convierte también en parte de la historia del edificio, una intervención no reversible se convierte en una alteración permanente del mismo.

No obstante lo anterior, la erradicación completa de una alteración generalmente no es viable, por lo que el concepto de renovar en lugar de revertir la intervención está ganando aceptación. La *renovación de la intervención* se refiere a la capacidad de una intervención para no acumular cambios y/o residuos visibles y permanentes o cualquier otra consecuencia negativa que pudiera restringir la introducción de modificaciones en el futuro (Oddy y Carroll 1999). En muchos casos, la posibilidad ideal de erradicar completamente las intervenciones no existe, y por lo tanto, el renovar la intervención (en el caso de contar en el futuro con materiales o procedimientos de adecuación más apropiados) resulta ser un objetivo más práctico.

Otros principios importantes de la conservación arquitectónica contemporánea incluyen el promover el uso de materiales idénticos o similares pero compatibles al reforzar, reparar o reemplazar partes deterioradas de una estructura, con el fin de garantizar un comportamiento homogéneo de la misma. También es vital reconocer la necesidad de un mantenimiento constante, con el fin de minimizar la necesidad de intervenciones futuras.

### **Consideraciones para la adecuación sísmica**

Como se expresó a principios de este capítulo, los desastres naturales, en combinación con la rehabilitación y la adaptación a nuevos usos han tenido efectos importantes en las estructuras históricas de adobe del Estado de California. De las más de 700 estructuras de adobe originalmente construidas en el área de la Bahía de San Francisco durante los períodos español y mexicano (Bowman 1951), quizás existan apenas 40 en la actualidad; algunas de las cuales fueron afectadas en el terremoto de Loma Prieta de 1989. Se estima que en todo el Estado de California quedan unas 350 estructuras históricas de adobe (en diferentes estados de conservación), que se remontan a los períodos español y mexicano (Thiel et al. 1991).

El Estado mismo es responsable de la preservación de unas setenta estructuras históricas de adobe. Las restantes se hallan bajo la jurisdicción de una amplia variedad de agencias públicas, organizaciones sin fines de lucro, individuos e iglesias. Cada una de las construcciones históricas de adobe del Estado de California pertenece a un grupo cada vez menor de estructuras históricas vulnerables tanto a las presiones del desarrollo como al daño sísmico, que son los dos factores citados con mayor frecuencia como causales de demolición de este tipo de estructuras. Por lo tanto, resulta imprescindible que las estructuras que aún existen sean protegidas no sólo contra daños o destrucción causados por terremotos, sino también contra los daños a consecuencia de la aplicación de medidas de intervención inapropiadas.

### **Consideraciones relacionadas con la seguridad personal**

Un objetivo fundamental de las reglas de construcción es garantizar la seguridad de sus ocupantes en el caso de eventos sísmicos. En California, la Unreinforced Masonry Building Law (Ley de edificios de mampostería no reforzada - apéndice B) de 1986 requiere la catalogación pública de todo edificio de mampostería no reforzada (categoría a la que pertenecen los edificios de adobe y que se conocen como URM, por sus siglas en inglés) que se hallen en la Zona sísmica 4, con el fin de preparar programas para la mitigación de riesgos. Tras el terremoto de Loma Prieta de 1989, algunos propietarios que no habían reforzados sus edificios URM fueron demandados por daños, lesiones o pérdida de vida ocasiona-

dos por el derrumbe de sus construcciones. Un buen manejo de riesgos exige la estabilización, demolición o cierre al público de este tipo de estructuras.

Todo edificio que asegure un riesgo de vida mínimo para sus ocupantes se le considera exitoso, aún en el caso de pérdida total de la estructura por daño sísmico. La intención de los códigos modernos de construcción es especificar requerimientos mínimos de diseño en edificaciones que permitan controlar el daño estructural y evitar el colapso en caso de terremotos moderados o considerables. Salvo en el caso de las edificaciones de importancia crítica, los edificios se diseñan bajo la suposición de que los terremotos muy severos puedan provocar daños estructurales.

Por lo expuesto anteriormente, el primer objetivo de las medidas de adecuación sísmica consiste en minimizar la pérdida de vidas humanas. Por ello, resulta aceptable que aparezcan grietas en las paredes e incluso que ocurran daños estructurales, pero es esencial garantizar la seguridad de los ocupantes mediante la toma de medidas que eviten la inestabilidad estructural. En primera instancia, las medidas de adecuación sísmica deben minimizar el riesgo de pérdida de vidas humanas y sólo una vez garantizado este objetivo, se pueden satisfacer los principios de conservación, de intervención mínima y de reversibilidad. Sólo cuando se han cumplido estos criterios es posible abordar el problema de minimizar los daños a la construcción en el caso de que se presenten terremotos moderados o de consideración. Por ejemplo, las medidas adoptadas para salvaguardar vidas pueden tener poco efecto sobre la aparición de grietas durante un terremoto moderado y podrían incluso permitir la aparición de daños importantes e irreparables durante un acontecimiento sísmico mayor.

### Consideraciones para la conservación

La importancia de preservar la construcción original de una estructura de adobe varía con cada edificio y depende del tipo de tratamiento que resulte apropiado para el mismo: estabilización, conservación, restauración, rehabilitación o reconstrucción. Un enfoque estrictamente de conservación se preocupa por mantener la construcción y las características originales de ésta por encima de cualquier otra consideración. No obstante, para poder plantear las intervenciones que fueran necesarias, garantizando la compatibilidad de los materiales y la posible renovación de la intervención, resulta importante comprender la estructura de adobe en cuestión dentro del contexto de su historia y situación previa a la intervención. El primer principio de la conservación requiere una evaluación al detalle, extensa y multidisciplinaria de la estructura, así como una identificación de todos sus valores culturales y de su construcción original a diferentes niveles. Estos datos normalmente se derivan del *historic structure report* (expediente sobre la estructura histórica, HSR, por sus siglas en inglés; consultar capítulo 2 y apéndice D). En el contexto sísmico, esta información incluye estudios que documenten el comportamiento sísmico de la estructura en el pasado, una microzonificación y el resultado de las investigaciones geotécnicas del sitio. Una vez que se cuenta con esos datos, el principio de mínima intervención exige que se opte por la menor cantidad de alteraciones que permita la adecuación sísmica y la preservación de la autenticidad (genuina y no aparente) de la construcción. En última instancia, los principios de reversibilidad y el de la renovación de la intervención aseguran la posible eliminación de las intervenciones en el futuro en caso de que éstas resultaran ineficaces, perjudiciales o inferiores a métodos que pudieran llegar a desarrollarse con el avance de la tecnología.

Cuando se adoptaron las Convenciones internacionales de conservación arquitectónica (la Carta de Venecia), se reconoció oficialmente la necesidad de preservar las joyas arquitectónicas “con toda la riqueza de su autenticidad... en tanto que son testimonios vivos de tradiciones antiguas” (Riegl 1964). Una forma de medir la autenticidad es mediante la cantidad de construcción original de valor histórico o cultural que aún exista en un objeto determinado, tal como un edificio, una escultura, una fuente, etc. Así pues, el principal objetivo de la conservación, que consiste en maximizar la autenticidad de un objeto, se logra mediante la preservación de los materiales originales, premisa fundamental que deberá observarse cuando se seleccionen las medidas de adecuación sísmica en estructuras de importancia cultural. La autenticidad de una estructura disminuye cuando porciones de su estructura se han perdido o sustituido, incluso cuando la se hayan ejecutado réplicas de alguna de sus partes con la intención de preservar la integridad estética de la edificación.

Con el correr del tiempo, los edificios han sufrido pérdidas considerables de material original, ya sea por causas naturales, tales como el clima y los desastres naturales; o humanas, tales como guerras, vandalismo e, intervenciones inapropiadas o mal ejecutadas. En el pasado, era más común que los elementos de una construcción se reemplazaran en gran escala, en lugar de repararse; y que las superficies se renovaran, en lugar de conservarse; todo lo cual contribuía a la reducción de la autenticidad del edificio. En particular, la estabilización estructural y la adecuación sísmica de construcciones históricas de adobe, típicamente han conllevado al sacrificio de sistemas estructurales tradicionales, en algunos casos hechos a mano, y de porciones enteras de muros de adobe; así como el uso a gran escala de materiales estructurales mecánicamente incompatibles con el adobe. De igual manera, implementar medidas no visibles de adecuación sísmica ha contribuido además al rechazo de las reparaciones visibles tradicionales (contrafuertes, varillas de amarre, sistemas de anclaje de muros o vigas, etc.). La prioridad dada al tratar de ocultar intervenciones estructurales llevó a desestimar los valores culturales de los muros de adobe mismos y de las partes que los componen. La preocupación excesiva por la preservación del valor estético de las estructuras ha llevado en ocasiones a la conservación de detalles arquitectónicos a expensas de la integridad de las estructuras, lo que constituye un fenómeno que discrepa con los principios y prácticas actuales de conservación.

Un recuento reciente de construcciones históricas de adobe en el estado de California (Tolles et al. 1996) reveló que sólo en algunas de éstas se ha empleado un enfoque aditivo o suplementario para lograr su estabilización estructural. Además en la gran mayoría de las edificaciones estudiadas las intervenciones que se han llevado a cabo se han hecho usando materiales modernos, sin complementar ni reproducir los componentes originales en concepto o en detalle. Adicionalmente, poco se ha hecho en el campo del registro y de la documentación de estos monumentos, más allá de los dibujos realizados en el contexto del Historic American Buildings Survey (Censo de edificios históricos de los Estados Unidos - HABS, por sus siglas en inglés) como parte del programa de la Works Progress Administration (WPA), en tiempos de la Gran Depresión.

### **Objetivos y prioridades de la estabilización sísmica**

Los esfuerzos de conservación de las estructuras de adobe deben adoptar un enfoque claro y metodológico para el desarrollo de opciones de diseño que

resulten, antes que nada, congruentes con la seguridad de sus ocupantes y, después, con la preservación de la construcción original de los edificios. Esto conlleva un proceso de cuatro pasos:

1. Investigación al detalle y extensamente la estructura en cuestión.
2. Identificación de las características y detalles significativos de la estructura.
3. Entendimiento de la estructura en su contexto histórico.
4. Desarrollo de opciones y pautas de diseño creativas que respeten la construcción original de la estructura.

Una vez satisfecho el prerrequisito de proteger la vida humana, resulta importante limitar los daños a la estructura que pudieran presentarse durante un sismo. Los esfuerzos por mejorar el comportamiento sísmico de las estructuras históricas de adobe deben realizarse no sólo *antes* del siguiente movimiento sísmico, sino también *después*, según ha apuntado Feilden (1988), quien declaró que “debemos estar conscientes que en todo momento vivimos Entre Dos Terremotos”. Por ello, una vez garantizada la integridad de los ocupantes de un edificio, los objetivos se limitan a controlar los daños estructurales a niveles reparables en el caso de terremotos severos, limitando la cantidad de daños estéticos en el caso de terremotos moderados. El orden de importancia de estos dos objetivos puede variar. Es decir, puede resultar igualmente importante evitar los daños estéticos en acabados de superficie que puedan presentarse a consecuencia de temblores moderados frecuentes, asegurándose que el edificio siga siendo reparable en caso de temblores de consideración, los mismos que pueden presentarse con menor frecuencia. La cantidad de combinaciones de medidas de adecuación que puedan emplearse con el fin de cumplir con cada uno de los objetivos es muy variada.

En años recientes, el Estado de California, a través de su State Historical Building Code (Código estatal de construcciones históricas - SHBC, por sus siglas en inglés) y de su Seismic Safety Commission (Comisión para la seguridad sísmica - apéndice C), ha comenzado a distanciarse de las intervenciones promovidas por el Uniform Building Code (Código uniforme de construcción - UBC, por sus siglas en inglés; 1997) por su carácter drástico en lo referente a la adecuación sísmica de las construcciones de adobe. Actualmente, el SHBC contempla otros enfoques de adecuación aplicables a materiales y sistemas estructurales que se considerarían primitivos o inadecuados conforme a las reglas modernas de construcción. Tenemos la esperanza de que otras jurisdicciones se sumen al Estado de California y adopten este enfoque; y que la combinación de estudios científicos y el respeto por la conservación continúen ampliando las opciones disponibles para la adecuación sísmica de edificaciones de adobe, aprovechando en lugar de ignorar, las propiedades de los materiales existentes.



### Adquisición de información esencial

Es imprescindible el enfatizar a este punto, la importancia de adoptar un enfoque integral para la preservación de edificios. Es prácticamente imposible crear estrategias de adecuación respetuosas de la construcción original sin contar con información específica sobre dicha construcción, así como sobre sus características arquitectónicas e históricas. Es necesario identificar detalladamente y por escrito las características o cualidades de la construcción que deben protegerse. La importancia de un planeamiento consensual e integral se expresa claramente en la publicación del U.S. National Park Service (Servicio nacional de parques de los E.E.U.U.) sobre intervenciones de adecuación en sitios históricos para hacerlos accesibles a personas discapacitadas (Park et al. 1991:10): “La clave de un proyecto exitoso consiste en determinar, a inicios de su planteamiento, las áreas alterables y su nivel de intervención, evitando pérdidas de partes importantes de la edificación o poniendo en riesgo la integridad de las mismas. Para lograr esto, los propietarios y administradores de propiedades históricas, en colaboración con profesionales de la conservación y especialistas en el tema del acceso para discapacitados, deberán identificar con exactitud las características que definen la importancia de la propiedad y el trabajo específico que deberá hacerse para lograr la accesibilidad deseada. Como puede verse, es esencial trabajar en equipo.”

Antes de que los profesionales encargados de diseñar y poner en práctica las medidas de adecuación reciban luz verde para comenzar su trabajo, la construcción de adobe en la que se habrá de trabajar deberá estudiarse profunda y detalladamente, identificando todas sus características y materiales importantes. El registro y la diseminación del expediente resultante de este proceso garantiza que todas las personas involucradas en un proyecto de este tipo compartan la información que se considera primordial. La mejor manera de lograr esto es mediante la preparación de un expediente de la estructura histórica.

#### El expediente sobre la estructura histórica

En los proyectos profesionalmente administrados, el expediente sobre la estructura histórica (HSR, por sus siglas en inglés) es preparado por un equipo multidisciplinario. El HSR es un documento sumamente valioso, ya que informa y guía a las personas encargadas de plantear las intervenciones, incluyendo aquellas de adecuación sísmica y analiza “los valores estéticos, sociales, culturales y de uso que presenta una construcción histórica” (Feilden 1988:32). El HSR ofrece un panorama completo de la significación de un edificio y sus componentes, al mismo tiempo que brinda detalles sobre la historia de su construcción y características específicas. Sin embargo, la práctica de evaluar características individualmente, puede hacer que se pierda el sentido del edificio como conjunto.

Es por esta razón que el planteamiento de posibles intervenciones debe considerar globalmente los efectos múltiples de las mismas. En palabras del ingeniero de la preservación y conservador arquitectónico Ivo Maroevic (1988:11): “Es peligroso definir los valores de un monumento y, por ende, su identidad, evaluando elementos aislados sin considerar la unidad que forma una construcción o un conjunto de ellas. Esto lleva a la separación de las partes del todo y a la formación de una identidad dependiente de los detalles”. Si no se consigue encontrar un punto de equilibrio, se corre el riesgo de acabar conservando muestras aisladas de una construcción histórica importante a expensas del diseño total. Este equilibrio no se logra por casualidad, sino por medio de la documentación y del estudio detallado del edificio, de su construcción y de la historia de sus intervenciones.

### Identificación de valores

Resulta crítico entender los diversos “valores” de las construcciones culturalmente significativas o de importancia histórica. El término *culturalmente significativo*, según se usa en la Carta de Burra sobre preservación de edificios vernáculos (Marquis-Kyle y Walker 1992) está reemplazando cada vez más el término *históricamente significativo*, pues se considera un criterio más amplio e incluye tanto el concepto de importancia histórica como el de importancia arquitectónica. Para los fines de esta discusión, los autores hemos decidido que los valores se dividen en aquellos que reflejan cualidades físicas o visuales y los que no lo hacen. Los valores arquitectónicos, estéticos o artísticos de una estructura determinada se agrupan en la primera categoría; en tanto que los valores espirituales, simbólicos, asociativos, históricos o documentales lo hacen en la segunda. Los valores arqueológicos, incluyendo el potencial de investigación, pueden clasificarse en cualquiera de las dos categorías, dependiendo de la naturaleza del tipo de restos arqueológicos que se encuentren.

Con frecuencia, las estructuras culturalmente significativas poseen valores o derivan su importancia de nuestras dos categorías arbitrariamente definidas. Los errores u omisiones en la identificación de los diversos valores de una estructura específica se presentan cuando se da un peso indebido a una de estas dos categorías, lo que generalmente es reflejo del campo de especialización del investigador que la lleva a cabo. Cuando la evaluación la realiza un equipo multidisciplinario, puede evitarse este problema. En la práctica, los valores estéticos (manifestados visualmente) a menudo se consideran más que los valores menos tangibles (como la importancia histórica o el potencial de investigación), ya que el público generalmente tiene la expectativa de poder visitar y habitar monumentos históricos atractivos y se ciñan a las nociones contemporáneas de lo que se considera buen diseño, independientemente de su apariencia histórica. Esto explica por qué tantas pinturas murales históricamente importantes de las misiones californianas fueron simplificadas durante el siglo XX el cual, dominado por la sensibilidad definida por la Bauhaus, sentía un gran desprecio por la decoración. Un ejemplo de ello es la superficie decorada de la Misión del Convento de San Fernando, la misma que fue sobrepintada durante las reparaciones efectuadas tras el terremoto de Sylmar en 1971 (figs. 2.1a, b). En ese caso, se “recrearon” algunas de las decoraciones poniendo en riesgo las pinturas originales.

El teórico de la conservación Cesare Brandi, hablando sobre la dualidad estética e histórica de los bienes culturales, observaba que sólo son objeto de restauración los materiales, es decir, aquello que forma parte de la manifestación física, pero no los aspectos históricos (Brandi 1977:2). Una vez perdidos éstos últimos, no pueden recuperarse mediante una réplica. Si a causa de un terremoto se derrumbara una iglesia de adobe que se considerara significativa por el hecho de que el Padre Junípero Serra hubiera celebrado misa en

**Figura 2.1**

Misión de San Fernando, Mission Hills, California: (a) superficie pintada antes del terremoto de 1971 de Sylmar (Cortesía de la San Fernando Valley Historical Society); y (b) superficie original pintada, cubierta por revestimiento y pintura después de las reparaciones a raíz del terremoto (Cortesía de David L. Felton, California Department of Parks and Recreation).



ella, y posteriormente se le reconstruyera con materiales nuevos, no tendría los mismos valores que la iglesia original. Por el contrario los restos de la iglesia derruida podrían haber retenido esos valores. Es este el caso de la Iglesia de la Misión de San Fernando, demolida tras el terremoto de 1971 y reconstruida con materiales nuevos (diferentes al adobe). Como se pone en evidencia a partir de estos ejemplos, los valores históricos, documentales, asociativos, arqueológicos y espirituales no siempre son evidentes. No es común poder identificar o reconocer claramente los mencionados valores sin realizar para ello alguna investigación. Por esta razón, resulta esencial un enfoque interdisciplinario para el descubrimiento y la identificación de dichos materiales constructivos y de valores de importancia.

El teórico Alois Riegl (1982) inventó el término “valor de la edad”, el cual se pone en evidencia por el deterioro y la desintegración del material o por la pátina, término que se usa para describir la calidad visual que confiere la edad. El Adobe de Bolcoff, ubicado en el Parque Estatal de Rancho Wilder, en California, es un buen ejemplo de un edificio admirado por su apariencia ancestral (fig. 2.2). El valor que confiere la edad puede o no estar relacionado con un factor de importancia intrínseca y, dependiendo de las

**Figura 2.2**

Construcción de Adobe de Bolcoff, Santa Cruz, California.



circunstancias, puede ser recomendable o no conservar una estructura que sólo posea este valor. Por ejemplo, la erosión de la base de un muro de adobe, como la que podemos observar en la construcción del Adobe de Bolcoff, puede amenazar la estabilidad de la estructura. Aquellos románticos que defienden, con argumentos meramente estéticos, la no intervención en construcciones potencialmente peligrosas y semidestruídas (como aquellas que presentan vegetación en muros) son irresponsables al no ver los daños que ciertas características pueden conferir a edificios históricos. Riegl lo ha expresado muy bien: “El culto del mero valor de la edad contribuye a su propia desaparición” (1982:33).

### **Formato del expediente sobre la estructura histórica**

Pueden obtenerse diferentes formatos del Historic Structure Report (HSR) de las fuentes que se enumeran en el apéndice D, todas las cuales recomiendan la adopción de un enfoque multidisciplinario. Muchas agencias públicas e importantes fuentes de financiamiento públicas y privadas exigen la preparación de un minucioso HSR antes de que se lleven a cabo intervenciones en edificios históricos. En el caso de edificios de menor importancia, un HSR menos exhaustivo podría resultar suficiente. En aquellos casos en los que se recurre a colectas de fondos locales sin experiencia en solicitar financiamiento institucional, quienes contribuyen económicamente a la restauración de un edificio expresan el deseo, en la mayoría de los casos, a ver resultados “en ladrillo y cemento” y no en expedientes o investigaciones. Conscientes de esta realidad, algunas entidades financieras para la conservación arquitectónica prefieren apoyar el desarrollo de planes de intervención, dejando el financiamiento de la fase de “ladrillos y cemento” (construcción) a cargo de los esfuerzos locales de recolección de fondos.

### **Requisitos mínimos de información**

Esta sección describe la información mínima necesaria para comenzar a planear el diseño de la adecuación sísmica de una construcción histórica de adobe, en conformidad con los principios y prácticas de conservación arquitectónica (consultar capítulo 1). El expediente escrito resultante de la acumulación de la información que se detalla a continuación, presenta de forma concreta y por etapas la mínima información que se requiere para la intervención en una estructura histórica.

### **Declaración de importancia histórica**

La descripción sobre la importancia histórica de una estructura debe expresar claramente las razones por las que una construcción o un conjunto de ellas es históricamente significativa, indicando las fechas concretas o aproximadas de su construcción. Se deben explicar los valores sociales e históricos asociados a la construcción, con el fin de asegurar que los espacios y las habitaciones (volúmenes importantes en términos de la historia social y/o arquitectónica) no se pongan en riesgo por la ejecución de medidas agresivas, tales como el levantar muros divisorios en lugares donde nunca antes los hubo. El expediente deberá evaluar la importancia histórica de la construcción y la de la gente que la edificó y habitó, con relación a los períodos por ejemplo de la colonización española del Nuevo Mundo, la guerra de la independencia entre México y España, la posterior política colonial mexicana, el *Manifest Destiny* y la guerra entre los Estados Unidos y México, la fiebre del oro en California y la constitución de

éste como Estado; y, en épocas más recientes, las tendencias sociales y los acontecimientos históricos que han llevado a la revaloración arquitectónica de los materiales originales de la construcción.

La historia no es clasista: Muchos acontecimientos de importancia han ocurrido en humildes cocinas, patios, habitaciones, corredores y callejones, al igual que en grandes espacios públicos, en monumentos arquitectónicos, en iglesias, salas, vestíbulos y salones de baile. Hay cierta confusión acerca de la diferencia que existe entre el concepto de importancia histórica y arquitectónica y el de grandeza arquitectónica. Un edificio puede ser importante, tanto arquitectónica como históricamente, sin que ello implique que sea grandioso o con detalles complejos; como lo es por ejemplo la vieja Casa Aduana española de Monterey, California (fig. 2.3). La relativa “humildad” del adobe como material de construcción, en oposición a los materiales tradicionalmente considerados “nobles”, ha llevado a la lamentable desaparición de construcciones con importancia histórica en manos de personas que ignoran la historia y la arquitectura vernácula.

A continuación se detalla el tipo de preguntas a las que se debe responder a través de la investigación en archivos. Si bien es importante siempre considerarlas, vale recalcar que no son las únicas:

- ¿Quién diseñó y construyó el edificio y en respuesta a qué necesidades?
- Los constructores, ocupantes o visitantes del edificio, ¿tuvieron algún papel en acontecimientos de importancia histórica, como por ejemplo, la Expedición de Portola, el Camino de Anza, la Colonia Híjar-Padres o en el establecimiento de misiones, presidios, pueblos o ranchos?
- ¿De qué modo resultan representativos o tienen relación estos individuos con movimientos o temas históricos, tales como la construcción de misiones, la colonización, la secularización y el establecimiento de ranchos?
- ¿Qué acontecimientos históricos tuvieron lugar dentro de la estructura histórica o en sus alrededores?
- ¿De qué forma la vida que se llevaba en la estructura o en sus alrededores es representativa de su época?



**Figura 2.3**  
Casa Aduana de adobe, Monterey, California. (© 1991 California State Parks; fotografía de Robert Mortensen).



**Figura 2.4**  
Casa Larkin, Monterey, California.

- ¿Por qué motivo o de qué modo ha sobrevivido la estructura o cómo y por qué se preservó como testimonio de eventos pasados?
- ¿Qué cambios ha sufrido la estructura y en respuesta a qué acontecimientos históricos o necesidades humanas?

Resulta importante identificar, de ser posible, las habitaciones o espacios en los que pueden haber tenido lugar acontecimientos históricos, pues la preservación de su apariencia estética puede ser una prioridad, dadas sus asociaciones históricas. Por ejemplo, las habitaciones públicas de la planta baja de la Casa Larkin, en Monterey (fig. 2.4), utilizadas por Thomas O. Larkin, Cónsul de los Estados Unidos ante la Alta California Mexicana en la década de 1840, son particularmente importantes en el contexto de la política de los Estados Unidos de Norteamérica en relación con el *Manifest Destiny* que promulgó el presidente Polk. Es claro que el nivel de intervención deberá ser proporcional a la importancia de la construcción a preservar.

#### **Declaración de importancia histórico-arquitectónica**

Este expediente deberá describir la importancia histórico-arquitectónica de complejos de edificaciones, de edificaciones individuales y de elementos, detalles, espacios y volúmenes individuales de edificaciones. En ella deberán identificarse todos los elementos de distinción o importancia arquitectónica que valgan la pena preservar, como aquellos que definan el carácter de las edificaciones, que resulten representativos de un período específico en la tecnología de la construcción, que resulten únicos o inusuales o que sean peculiares ejemplos tempranos o tardíos de un estilo o tendencia, o que representen técnicas originales de construcción.

La importancia arquitectónica deberá establecer la secuencia de construcción de los complejos de edificaciones y de las edificaciones individuales, documentando las fechas y las diferentes técnicas constructivas, así como las ampliaciones y remodelaciones. Esta tarea conllevará tanto investigación en archivos como ocular, con el fin de inventariar y evaluar las diferentes características arquitectónicas de un edificio. Entre los tipos de investigación a realizar están la documentación gráfica (fotografías históricas, pinturas, dibujos, esbozos, planos, etc.), la documentación escrita (recuentos históricos descriptivos, artículos aparecidos en periódicos, especificaciones, permisos de construcción, contratos, etc.), así como los registros de reparación y mantenimiento, incluyendo los reportes de los mismos y presupuestos.

#### **Inventario y evaluación de las características arquitectónicas**

Los detalles, elementos, materiales y espacios con importancia histórica arquitectónica deberán inventariarse, documentarse y evaluarse físicamente sobre la base de su importancia e integridad. Este proceso incluirá el levantamiento del edificio, con el fin de confirmar o refutar los datos proporcionados por las evidencias recabadas en los registros históricos y arquitectónicos. El inventario que resulte de este proceso definirá la construcción original que valga la pena preservar, además que incluirá recomendaciones para su preservación. Será necesario hacer notar el orden de importancia de algunos elementos o espacios, estableciendo una jerarquía u orden de prioridades que pueda consultarse al momento de diseñar un plan de adecuación sísmica.

#### **Construcción histórica no evidente**

La identificación de detalles con carácter significativo ha sido objeto de varios trabajos fotográficos y de al menos un inventario (Nelson n.d.; Jandl 1988). El enfoque que estos trabajos han planteado crea conflictos, ya que los materiales

que se identifican como contribuyentes al carácter visual de una construcción se consideran como tales únicamente en virtud de su apariencia. Según este enfoque, puede ignorarse muchos materiales que forman parte del valor histórico de una estructura simplemente porque no se ven. La dificultad para apreciar la estructura de un ático podría hacer que ésta fuera ignorada en el curso de un procedimiento de evaluación. De igual manera, el hecho de que un detalle significativo de la construcción sea estructural y no decorativo podría llevar a que fuera descartado por completo. Brandi, al dividir los valores estéticos en estructurales y de apariencia, ha dicho que “la distinción entre apariencia y estructura es muy sutil y no siempre es posible mantener una separación rígida entre ambos” (Brandi 1977:2). Brandi observa, de manera inteligente, que un cambio en la estructura puede tener un efecto importante en la apariencia.

La importancia de una estructura no depende ni de su ubicación ni de su visibilidad. La falta de visibilidad de bloques de adobe y de mortero bajo una superficie no disminuye su valor. Los elementos originales debajo de pisos, en áticos y al interior de vanos pueden ser muy importantes para determinar la edad y entender la construcción y evolución de una edificación, así como la tecnología constructiva empleada para su construcción. Algunos observadores han señalado que recientemente, restauradores han cometido errores graves “al reemplazar sistemas estructurales completos y porciones ocultas de construcción, debido a que su falta de visibilidad los llevó a definirlos como de poca importancia” (Araoz y Schmuecker 1987:832). Otro arquitecto preocupado con los efectos adversos de la adecuación sísmica sobre los valores culturales de las construcciones históricas señala: “En muchos casos, estos valores se derivan de las características físicas de un edificio histórico determinado, incluyendo las de su estructura. Es triste atestiguar que a menudo estos detalles estructurales se han alterado de manera considerable, lo que ha dado como resultado la destrucción de parte del valor del edificio” (Alva 1989:108).

Podemos encontrar un ejemplo positivo del potencial que ofrece la conservación de detalles estructurales originales en la retención de las vigas originales en la Misión Dolores, de San Francisco, por parte del arquitecto Willis Polk, quien intervino en la estructura a raíz del terremoto de 1906 (fig. 2.5). La similitud entre las vigas del techo colonial español de esta misión y las empleadas siglos antes en la región de los Andes es notable. Claramente, demuestra la continuidad de las tradiciones hispano-arquitectónicas. Dado que sobreviven muy pocos sistemas originales de techado, es difícil saber con

**Figura 2.5**

Misión de Dolores, San Francisco, California; estructura original, tijeral del techo.



certidumbre qué es típico, qué es atípico o qué es único en la arquitectura española y mexicana de California.

### **Construcción histórica no original**

Resulta crítico identificar las posteriores remodelaciones interculturales en el sistema constructivo. Por ejemplo, los elementos de influencia neoclásicas, tales como las ventanas “seis sobre seis” en la Misión de San Juan Bautista, resultan típicos de construcciones históricas de adobe de California después de 1830. En Nuevo México, los llamados detalles “Territoriales” se hicieron comunes después de la construcción del ferrocarril. Se debe buscar preservar tanto los detalles originales como los posteriores, ya que ambos son documentos auténticos que ofrecen información sobre la historia de la tecnología constructiva de una región.

### **Espacios y volúmenes**

No todos los valores arquitectónicos son funciones de la estructura o de la decoración de superficies. La organización de los espacios por ejemplo (su forma, volumen, distribución y la forma en que se relacionan) tiene la misma importancia que sus superficies. En un trabajo reciente se ofrecen lineamientos para clasificar los espacios en primarios y secundarios partiendo únicamente de datos visuales (Jandl 1988) a pesar de que el autor reconoce el problema que podría surgir en el caso de que la evaluación de los espacios la llevara a cabo un profesional del diseño que no contara con el beneficio de la investigación histórica requerida para preparar un expediente sobre una estructura histórica. En este caso, podría ignorarse fácilmente la importancia que pudiera tener un espacio utilizado como taller, sala de lavado o estacionamiento o bien podría pasar inadvertida la identidad de un espacio tal como una cocina integrada, externa, o inusual como lo es por ejemplo, la cocina de Rancho Camulos.

### **Acabados arquitectónicos de superficie**

Actualmente, se reconoce con mayor frecuencia el valor del acabado en las edificaciones históricas. Los avances en la tecnología también han hecho más viable su preservación; al mismo tiempo, que han ayudado a la caracterización de sus materiales originales. Los acabados de superficie distintos a la pintura mural (como por ejemplo, los imprimantes con o sin pigmentos, la aplicación de pintura, el granulado, el esmaltado, la aplicación de esténciles, el marmoleo, el delineado, la aplicación de lápiz, etc.) pueden identificarse, conservarse o replicarse si fuera necesario. El papel tapiz puede conservarse *in situ* o bien pueden tomarse muestras del mismo con el fin de replicarlo, documentarlo y/o conservarlo.

Algunas veces, los acabados pueden ser restaurados regresándolos al estado que presentaban en una época específica, intensificados por el efecto de la pátina adquirida a lo largo de los años. Aún cuando los acabados más antiguos que a menudo se hallan debajo de capas aplicadas posteriormente, no puedan o no deban exponerse, éstas constituyen un registro de las modificaciones hechas a lo largo del tiempo. Se pueden tomar muestras de estas capas con el propósito de determinar colores y técnicas utilizadas, ya sea con fines de investigación o para su réplica sobre la superficie ya existente. Mediante el análisis de la composición de los materiales y de los pigmentos, los conservadores de pinturas pueden plantear barreras de aislamiento para proteger los revestimientos más tempranos de una superficie, al tiempo que les facilita la elaboración de réplicas de las superficies expuestas.

Investigaciones llevadas a cabo en las misiones de San Juan Capistrano, San Juan Bautista y otros sitios han demostrado que modestos espacios, tales como corredores y salas de trabajo, eran ocasionalmente decora-

dos por los aprendices de las misiones (Neuerburg 1977). Algunas de estas decoraciones parecen tener relación con pinturas de los indios norteamericanos, en tanto que otras son reflejo del mestizaje de dos culturas. Los arqueólogos históricos que trabajaron en las habitaciones de los aprendices de la Misión de Santa Cruz descubrieron, bajo revestimientos y tallados posteriores, revestimientos originales con impresiones de manos y dibujos hechos por los indios Ohlone de la región (como los Aulinta y otras sub-tribus locales), hoy prácticamente desaparecidos. Un conservador con experiencia en estas técnicas fue capaz de preservar estas impresiones y dibujos, readhiriendo el revestimiento a los bloques de adobe.

No es inusual que los acabados de superficie proporcionen datos sobre la vida de los antiguos ocupantes. Por ejemplo, el enlucido de barro aplicado sobre el muro posterior del Adobe Boronda, en Salinas, California, está decorado con complejas incisiones. Utilizando luz rasante, es posible distinguir un rostro sonriente con sombrero y bigote firmado por uno de los hijos de Boronda. Esta cómica expresión, salida del pasado, le confiere carácter humano a los bloques y al mortero usados en su construcción. Watkins la registró en su informe de hace ya casi treinta años y recomendó su preservación (Watkins 1973:4). En el Adobe De la Guerra, en Santa Bárbara, California, los arqueólogos históricos también han inventariado y documentado dibujos tempranos, descubiertos durante el proceso de investigación (Imwalle 1992).

**Figura 2.6**

Púlpito en la Misión de San Miguel, San Miguel, California.



Además de pinturas decoradas sobre revestimientos, madera, hierro forjado o piedra, algunos detalles arquitectónicos han sido revestidos con pan de oro, tallados o decorados con otras técnicas de ornamentación. Detalles tales como ménsulas, arcos, pasamanos de altares, vigas de techo, altares y púlpitos (fig. 2.6) pueden requerir especial atención, con el fin de determinar si es necesario su desmontaje durante los procedimientos de adecuación o si se les puede dejar en su sitio, utilizando cubiertas para no ponerlas en peligro.

No todos los acabados de superficie son iguales. Muchas veces, el revestimiento exterior de las construcciones históricas de adobe, fue colocado con la intención de ser renovado periódicamente y así proteger los materiales sobre los que se aplicó. Este tipo de revestimientos incluso se puede haber reaplicado y aun reemplazado muchas veces a lo largo de los años. Si el material de la superficie fuera original, muy antiguo o se distinguiera en virtud de la técnica o de los materiales de su aplicación, podría resultar deseable preservarlo en la medida de lo posible. No obstante, el valor de preservar una superficie requiere de una evaluación cuidadosa, considerando su contexto y otros factores que pudieran entrar en conflicto con el mismo.

### **Superficies con pintura mural**

En el proceso de investigar e identificar las fases de construcción original de un edificio, es común encontrar pinturas murales tanto en la superficie como bajo capas o agregados posteriores, las cuales pueden ser de considerable importancia como testimonios de la historia del arte. Éstas pueden estar deterioradas o sus condiciones actuales pueden estar afectándolas negativamente. De

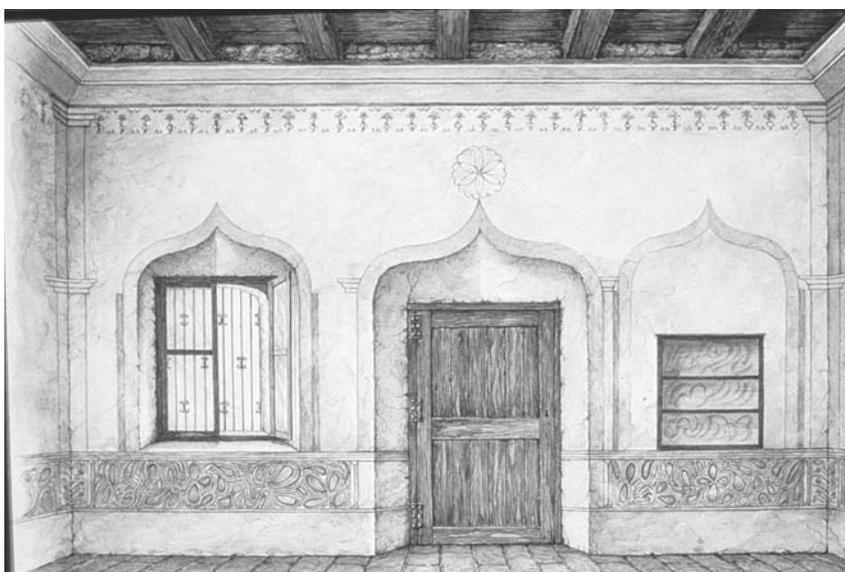
existir cualquier duda sobre su condición o sobre los daños potenciales que pudieran sufrir a consecuencia de los procedimientos de adecuación sísmica, deberá consultarse a un conservador de pintura mural, con el fin de determinar las mejores medidas para su protección.

Durante los períodos español y mexicano en California, antes del año 1850, las misiones, conventos, ranchos y residencias estaban con frecuencia decorados con pinturas que hoy no se pueden ver (Neuerburg 1987). Si bien pocas de ellas están hoy en día expuestas, existen indicios de la existencia de pinturas bajo capas posteriores de pintura o revestimiento en muchos sitios. Hasta la década de 1970, el convento de la Misión de San Fernando se distinguía por sus extraordinarias pinturas murales, ejecutadas por los aprendices de construcción del mismo y que reflejaban tanto la tradición artística de los indígenas norteamericanos como la de los colonizadores europeos. Durante la Gran Depresión, estos murales fueron registrados por artistas del Index of American Design (Índice del diseño estadounidense) (fig. 2.7).

Lamentablemente, estas pinturas ya no pueden apreciarse en la actualidad; pues se les cubrió con revestimientos y se les sobrepintó como parte de la renovación y adecuación sísmica del convento tras el terremoto de Sylmar, en 1971. Parte de estos murales se han reinterpretado en las nuevas superficies (fig. 2.8). Es posible que aún exista algo de las pinturas originales bajo el revestimiento, en espera de futuros esfuerzos de conservación. Pero su potencial sólo podrá concretarse si se conoce su existencia y se reconoce y respeta su importancia. Cuando este tipo de decoración no es visible, mediante la investigación histórico-arquitectónica se pueden producir descripciones de pinturas similares o bien ubicar antiguas fotografías que indiquen su existencia bajo acabados de superficie posteriores.

#### Evaluación de recursos histórico-arqueológicos

Ya se ha hablado del papel de historiadores e historiadores de la arquitectura en relación con el expediente sobre la estructura histórica (HSR, por sus siglas en inglés) y de las partes esenciales para beneficio del trabajo de arquitectos e



**Figura 2.7**

Misión de San Fernando, Mission Hills, California; los murales originales, según los registró el Index of American Design (© 2005 Board of Trustees, National Gallery of Art, Washington D.C.).



**Figura 2.8**

Misión de San Fernando, Mission Hills, California; restauración de los murales después de las reparaciones correspondientes al terremoto de 1971.

ingenieros. El papel de la arqueología histórica es importante porque los procedimientos o ensayos de adecuación sísmica, que contemplen la exploración de cimientos o el estudio de la geología del terreno podrían afectar los recursos arqueológicos.

Las cláusulas de la California Environmental Quality Act (Ley de calidad ambiental de California) contemplan la protección de los recursos arqueológicos de importancia y las leyes federales brindan protección a algunas áreas asociadas a los grupos indígenas, especialmente los sitios utilizados como cementerios. En el caso de las misiones y de otras iglesias, es posible hallar zonas de entierro más allá de los muros del cementerio formal. En San Diego y San Antonio por ejemplo, existió más de un cementerio y pueden hallarse sepulturas más allá de los muros actuales de los cementerios de las misiones de Santa Cruz y San Juan Bautista. A menudo, la ubicación de un cementerio antiguo no es conocida, como en el caso de la Misión de La Purísima Concepción, en Lompoc, California.

Además de la posibilidad de hallar cuerpos sepultados, los sitios con estructuras históricas de adobe generalmente son arqueológicamente delicados y, en el caso de las medidas de adecuación sísmica que requieran alterar la cimentación, generalmente requieren protección contra actividades que generen movimientos de tierra. Las perforaciones necesarias para llevar a cabo estudios geológicos caen dentro de esta categoría, al igual que las excavaciones para llevar a cabo inspecciones en la cimentación.

Los antiguos aprendices de construcción de las misiones fueron quienes aportaron la mayor parte de la mano de obra necesaria para construir los edificios históricos de adobe en California, tanto durante la época de las misiones como después, cuando se les empleó en ranchos y pueblos, en donde frecuentemente vivían como sirvientes en las mismas propiedades que los colonos californianos. Por este motivo, la mayoría de los sitios en los que se encuentran los edificios históricos de adobe requieren investigaciones arqueológicas por la posible presencia de restos asociados con grupos indígenas. Dependiendo de lo delicado de los restos arqueológicos, puede ser recomendable contar en el sitio con representantes de grupos indígenas locales que actúen como monitores, con el fin de evitar o de resolver malos entendidos con relación a la protección y el manejo de materiales producto de la excavación. El incumplimiento de las leyes que protegen los recursos arqueológicos tanto en propiedades públicas como en privadas puede llevar a consecuencias imprevistas y a menudo desagradables.

Prácticamente todos los sitios en los que hay edificios históricos de adobe presentan restos arqueológicos de importancia que podrían aportar al conocimiento de la forma en que se vivía en el pasado y, por lo tanto, requieren de la evaluación de un profesional, con el fin de determinar tanto su extensión como su conservación. La exploración de pisos o niveles en estos sitios, tanto fuera como dentro de las estructuras (pues muchas estructuras históricas de adobe tuvieron originalmente pisos de tierra compactada) requiere de la participación desde un inicio de un historiador de la arqueología. Entre las tareas que deben llevarse a cabo se cuentan la evaluación de las posibles investigaciones que pudiera acarrear el sitio, la identificación y protección de cualquier resto histórico-arqueológico de importancia y, en caso de ser necesario, el diseño de un programa para la prevención y control del algunas veces inevitable deterioro de los recursos arqueológicos. El historiador de la arqueología necesitará referirse a la investigación histórica y arquitectónica realizada. Si inicialmente se detectaran recursos históricos de importancia mediante un estudio topográfico, la conducción de pruebas o mediante datos de archivo, los profesionales que

diseñen la intervención deben intentar trabajar sin afectar dichos recursos o afectándolos de la menor manera posible.

### **Dirección y composición del equipo de levantamiento y registro**

Los historiadores de la arquitectura, de la arqueología, los arquitectos y restauradores contribuyen al proceso de levantamiento y registro bajo la coordinación de un profesional de una de las disciplinas arriba mencionadas, quien normalmente posee conocimientos especializados de la arquitectura del período de la construcción en cuestión. Dado que los historiadores de la arqueología son capaces de interpretar secuencias y relaciones de eventos son éstos los que a menudo surgen como directores del equipo de investigación de construcciones, tanto en los Estados Unidos como en otros países. Francia ha sido un país innovador en este campo y los funcionarios del centro del patrimonio cultural de la UNESCO han desarrollado programas internacionales de capacitación. El California State Parks (Departamento de parques del Estado de California) ha constituido equipos multidisciplinarios, dirigidos normalmente por un historiador de la arqueología, con el fin de conducir investigaciones en construcciones de importancia histórica. En ciertas ocasiones, los historiadores de la arquitectura también pueden asumir la dirección de este tipo de equipos.

Independientemente de a qué disciplina pertenezca, el especialista responsable del inventario deberá tener experiencia en identificar técnicas de construcción de diferentes períodos; así como también métodos y materiales de construcción, marcas de herramientas y la forma en que se han diseñado antiguas técnicas y detalles constructivos. En el pasado muchas construcciones históricas de adobe han sido “restauradas” imitando piezas y técnicas anteriores de construcción. Estos casos requieren ser identificados, pues pueden ser obra de artesanos o de grupos cuyo trabajo pudiera haber adquirido importancia con el paso del tiempo, como es el caso por ejemplo del Civilian Conservation Corps (Cuerpo de conservación civil), encargado de reconstruir la Misión de La Purísima Concepción en la década de 1930 o el caso de los frailes mexicanos que reconstruyeron la Misión de San Luis Rey en la década de 1890. El trabajo de estos artesanos merece ser preservado. Algunas otras adiciones o modificaciones podrían no tener importancia alguna y ser reemplazado por pernos de anclaje, cables o algún otro dispositivo de adecuación. Resulta crucial que el equipo de diseño cuente con información exacta sobre lo que no es importante, pues esto les dará mayor libertad al formular un programa de adecuación.

El nivel de investigación realizada variará con el tamaño y la importancia del edificio y estará en función del presupuesto y la ayuda profesional de la que se disponga; pero el tipo de información que se requiere para tomar decisiones fundamentadas no cambia. Uno puede caer en la tentación de querer escatimar gastos al tratar de categorizar a “todos” los elementos de una construcción histórica como significativos sin incurrir en el gasto de identificar los detalles realmente importantes. Pero esta forma de abordar el problema puede hacer que el diseño de la adecuación sísmica resulte casi imposible y por lo tanto, termine siendo oneroso. Por otra parte, el no identificar las cualidades que determinan el valor histórico de una construcción da como resultado la pérdida de la importancia histórica y de la designación que como tal la acompaña.

### **Resumen**

Los puntos tratados anteriormente necesitan considerarse a fondo y la información obtenida necesita ser sintetizada, para que el equipo que diseñe la intervención pueda utilizarla antes de pasar de los dibujos preliminares o del diseño

de intervención a los planos de trabajo finales, documentos de construcción y permisos que se someterán a la aprobación de las comisiones de protección del patrimonio natural o histórico. Cada construcción histórica hecha en adobe es única y presenta características individuales diferentes en cada caso.

El Historic American Buildings Survey (Registro de construcciones históricas de los Estados Unidos) documentó algunas construcciones históricas de adobe en la década de 1930 y arquitectos de esta institución prepararon algunos documentos antes de iniciar un importante programa de restauración. En casos como éste, es posible que sólo sea necesario ubicar, confirmar y actualizar los datos existentes. Vale la pena identificar planos, dibujos y fotodocumentación existente, con el fin de evitar “reinventar la rueda”. Resulta mucho más eficiente y económico el confirmar medidas en un plano que ya exista que prepararlos nuevamente. Además, en el caso de algunos sitios, existen registros completos de las actividades de mantenimiento y rehabilitación documentados en los planos, especificaciones y contratos que pueden ubicarse con facilidad. Su búsqueda deberá hacerse en los archivos locales del departamento de construcciones.

Si bien escapa al propósito de las presentes directrices, que abordan sólo las intervenciones para la adecuación sísmica, la preparación de un expediente sobre una estructura histórica es lo necesario para realizar reparaciones o modificaciones de gran escala para estabilizar una estructura. Es recomendable preparar un expediente sobre una estructura histórica siempre que se proponga un cambio significativo de uso de dicha estructura (adaptación a nuevo uso) y que pueda alterar física o socialmente el edificio. Siempre que se propongan modificaciones de importancia, aun cuando éstas se implementen con el objetivo de regresar el edificio a sus condiciones previas con intervenciones viables desde un punto de vista estructural (como la reconstrucción de muros transversales de adobe que pudieran haberse eliminado en el pasado), el proceso de revertir cambios da marcha atrás al reloj histórico, por decirlo de alguna manera. Por este motivo, este tipo de intervención, por más beneficiosa que sea, altera para siempre la edificación. Las alteraciones hacen necesaria una documentación exhaustiva de las condiciones existentes del edificio antes de efectuar los cambios propuestos. Las propuestas son analizadas cuidadosamente por funcionarios del gobierno encargados de la preservación de monumentos que requieren la preparación de informes y expedientes bien documentados.



---

## Capítulo 3

### **Aplicación práctica: Planificación y financiamiento de adecuación sísmica**

Cuando los propietarios y administradores de edificios históricos de adobe posponen la planificación de la reparación sísmica de los mismos hasta el momento en que surge una situación de emergencia, ponen en riesgo construcciones históricas irremplazables. Tomar decisiones precipitadas que no garantizan necesariamente el rendimiento óptimo de su costo son el resultado de falta de tiempo e información necesaria.

Los ingenieros experimentados en el campo de la preservación de estructuras históricas asumen que toda la construcción de un edificio histórico es importante cuando no tienen información que asevere lo contrario. Según observó un ingeniero en el expediente sobre la estructura histórica (HSR) del Colton Hall (lugar de la convención constitucional de California): “A menos que se demuestre lo contrario, debe suponerse que la mayor parte de la construcción de este edificio es significativa,” (Green 1990:16). En ausencia de información histórica y arquitectónica que identifique las partes originales de una construcción, la propuesta se complica por demasiada precaución por parte del diseñador. Esto hace la tarea sea más costosa y tome más tiempo.

Implementar procedimientos de prevención de manera sistemática evita trabajar de manera innecesaria y un proyecto puede ponerse en marcha rápidamente. Por ejemplo, el expediente sobre la estructura histórica preparado para Colton Hall ayudó al ingeniero encargado a evitar impactos irreversibles que hubieran afectado partes importantes de la construcción original. De forma similar, profundas y sistemáticas investigaciones arquitectónicas iniciadas después de que se terminó la adecuación sísmica de la Casa De la Guerra, en Santa Bárbara, California, mostraron detalles que revelaron la construcción anterior. Esto ilustra el valor que tiene una buena investigación llevada a cabo antes de dar inicio a las actividades de diseño de adecuación sísmica (Imwalle y Donaldson 1992).

A veces, surgen incluso beneficios secundarios. La planificación preventiva y la investigación llevada a cabo antes de poner en práctica el programa de adecuación sísmica de la Misión de San Juan Capistrano benefició al Museo de la Misión (Magalousis 1994). Las investigaciones históricas, arqueológicas y arquitectónicas necesarias para reunir la información requerida por el equipo de diseño generaron nueva información sobre la misión. Esta, a su vez, dió como resultado una revisión del programa del museo y de su manera de presentar la historia arquitectónica de la misión. El proceso de recolección y síntesis de la información resultó ser una fuerza revitalizadora y tuvo un impacto positivo en la experiencia de los visitantes de este importante destino turístico.

#### **Condición preliminar/Evaluaciones estructurales**

Antes de tomar decisión alguna sobre la planificación o el personal que habrá de participar en un proyecto determinado, el propietario o administrador de un

sitio debe definir el alcance del proyecto. Es recomendable contratar los servicios de un arquitecto especializado en conservación o en historia, así como los de un ingeniero con experiencia en edificios de adobe, con el fin de que evalúen las condiciones de la estructura, así como que preparen un estimado de gastos de la intervención en cuestión. Este tipo de reportes brinda información en términos generales sobre el nivel de intervención necesario con el fin de garantizar la integridad del edificio. No es necesario asumir un compromiso de empleo con los consultores en esta etapa, pero sus conclusiones y recomendaciones deberán influir en las decisiones que se tomen posteriormente. De ser necesario o deseable, pueden solicitarse otras opiniones o someter dichas conclusiones y recomendaciones al análisis de otros arquitectos o ingenieros calificados en el tema (para mayor información sobre el tipo de personal que deberá involucrarse en las etapas de planificación consultar “El equipo de planificación de adecuación sísmica” en este mismo capítulo).

Las evaluaciones preliminares sobre las condiciones de la estructura deberán determinar si un edificio se halla en condiciones como para que se pueda dar inicio al diseño de un proyecto de adecuación sísmica o si se requieren trabajos preliminares, tales como la estabilización y/o reparación de la estructura. Se deberá hacer un reconocimiento físico del edificio, así como reunir datos sobre el mismo y formular recomendaciones tanto desde el punto de visita del ingeniero como del arquitecto restaurador. La preparación que habitualmente recibe un ingeniero enfatiza los aspectos estructurales y de seguridad, en tanto que la preparación profesional de un arquitecto restaurador se centra en comprender lo que requiere hacerse (y quién debe hacerlo) para salvaguardar la integridad histórica, arquitectónica y arqueológica de una estructura. El arquitecto restaurador también está mejor capacitado para ocuparse de los aspectos relativos a la estética y al diseño de dicha estructura.

Contando con la evaluación de las condiciones del edificio y un estimado de costos, el propietario, administrador, comité o consejo responsable de la estructura estará en mejor posición para comenzar a planear la adecuación sísmica de la edificación o cualquier otro tipo de intervención.

### **Selección de una intervención adecuada**

La adecuación sísmica es un tipo específico de estabilización o intervención estructural que se considera como una medida para la conservación de un monumento. Otros tipos de intervenciones, tales como *rehabilitación*, *restauración*, *reconstrucción* y *preservación* describen distintos enfoques, los mismos que se definen en el apéndice F. Sin importar qué enfoque se adopte, toda intervención deberá respetar el principio de mantener la construcción original con el fin de preservar la autenticidad del edificio mediante la elaboración de una investigación sistemática y multidisciplinaria. Las medidas de adecuación sísmica pueden ser parte de un programa más amplio de intervención o bien pueden ser medidas aisladas, como un tipo de estabilización especializada. Un arquitecto restaurador o un historiador de la arquitectura, en colaboración con el propietario o administrador de un sitio, puede ayudar a seleccionar la intervención adecuada. En algunos casos, la evaluación de las condiciones y de la estructura, que debe realizarse antes de dar inicio a un proyecto de adecuación sísmica, podría revelar la necesidad de elaborar un programa general y no puntual de adecuación sísmica con el fin reforzar áreas en peligro o de posibilitar el planteamiento de nuevos usos. Asimismo y con el fin de estabilizar el edificio durante la planificación de la intervención a largo plazo y la búsqueda de financiamiento, podría resultar recomendable poner en marcha ciertas medidas

temporales, tales como el apuntalamiento y otras medidas de reforzamiento antisísmico a corto plazo (Harthorn 1998).

### **Circunstancias especiales**

#### **Condiciones críticas**

Desde hace mucho tiempo se sabe que el constante mantenimiento de un edificio histórico es de suma importancia para su preservación. Es muy importante el mantenimiento regular en edificios de adobe, en particular aquellos ubicados en zonas sísmicas. Según las experiencias publicadas en conferencias internacionales sobre construcciones de tierra ubicadas en áreas sísmica, los edificios de adobe tienen una mejor oportunidad de sobrevivir a un terremoto, cuando han recibido un buen mantenimiento a través del tiempo.

A continuación se presentan las condiciones a las que se debe prestar atención al plantear un programa de adecuación sísmica:

- erosión basal (formación de concavidades en la base de los muros);
- drenaje deficiente del sitio;
- humedad excesiva en muros, especialmente en aquellos recubiertos con materiales impermeables, tipo cemento;
- perforaciones de muros, en áreas estructuralmente críticas, tales como esquinas y aberturas originales;
- ausencia de muros interiores transversales ;
- relleno de interiores con materiales incompatibles y de propiedades físicas diferentes;
- ausencia de cobertura o cobertura sin anclaje a los muros;
- falta de continuidad en los elementos constructivos; y
- evidencia de daño sísmico reparado superficialmente.

Si la evaluación preliminar de las condiciones de un edificio y su análisis estructural revelan su estado crítico, es recomendable desarrollar un programa más completo con el fin de reparar las deficiencias encontradas. Sin embargo, independientemente del nivel de intervención o del programa que se adopte, la seguridad personal y la preservación de la construcción original seguirán siendo en todo momento objetivos de alta prioridad.

#### **Investigación destructiva limitada**

La necesidad de contar con información completa sobre las condiciones estructurales de un edificio, es una buena razón para llevar a cabo una extensa investigación para elaborar un buen expediente de estudio de la estructura histórica (consultar capítulo 2). La evidencia de daño sísmico u otras condiciones, tales como humedad en la base de los muros, que pudieran afectar el comportamiento sísmico de una estructura quedan a menudo ocultas al efectuarse reparaciones superficiales. El arquitecto o el ingeniero que lleve a cabo la evaluación inicial del edificio podrían recomendar la eliminación siempre limitada de algunos acabados de muro, con el fin de entender el comportamiento sísmico pasado del edificio e investigar la presencia de posibles daños por humedad. Resulta importante llevar a cabo este tipo de inspecciones ya que sin una investigación a fondo, se puede llegar a conclusiones equivocadas. Sin embargo, también es importante enfatizar que este tipo de investigaciones debe ser limitado y que los hallazgos encontrados deben ser documentados al detalle, ya que existe la posibilidad de dañar la construcción y acabados originales.

### Ensayos

Un arquitecto, ingeniero o arquitecto especializado en conservación puede recomendar diversos tipos de ensayos con el fin de obtener información confiable sobre aspectos importantes relativos a los materiales constructivos. Dentro de esta categoría se encuentran el análisis del mortero, del bloque de adobe o de los ladrillos cocidos, con el fin de determinar su composición y sus propiedades materiales (resistencia, módulo de ruptura), así como los ensayos necesarios para identificar las condiciones del suelo y verificar, si las hubiera, formaciones geológicas y condiciones hidrológicas no recomendables. Este último tipo de pruebas es necesario en caso de observarse evidencia de asentamientos o deficiencias en la cimentación.

### Aspectos de uso y disimulo de la intervención sísmica

Una consideración importante al momento de plantear la adecuación sísmica es el uso actual o el nuevo uso que se proponga para una edificación. Para determinar que tan evidentes serán las intervenciones de adecuación es necesario considerar no sólo los cálculos de ingeniería (como las cargas muertas y vivas), sino también el uso que se vaya a dar a un edificio. En una casa museo por ejemplo, es importante mantener las superficies decoradas por razones de interpretación. En dichos casos, es crucial diferenciar las áreas que son auténticas y que deban preservarse intactas, de aquellas en las que sea necesario preservar solo su apariencia. Es aquí donde, si se desea, puede reproducirse detalles de la construcción original.

En un proyecto de conservación que considere la adecuación sísmica deberán tenerse en cuenta tanto los usos actuales, como los usos probables de la edificación, ya que la forma en que se disimulen las intervenciones puede variar según el uso previsto. Por ejemplo, en Colton Hall, el primer piso se usa por el momento como oficinas, pero ya se ha decidido que habrá de convertirse en un museo escolar. El nivel de visibilidad de las medidas de adecuación sísmica que resulta aceptable en un ambiente de oficinas, en el cual los refuerzos de acero de las viguetas prácticamente pasan inadvertidos, puede resultar inaceptable en un museo. Es por ello que desde un inicio se ocultaron las medidas de reparación sísmica. Un diseño de adecuación sísmica en una edificación de determinado uso deberá tomar en cuenta posibles cambios futuros y la posibilidad de su desmantelamiento o desmontaje. Es importante adoptar un enfoque de largo plazo en relación con la estructura y entender que su uso puede cambiar varias veces en el futuro, tal y como lo ha hecho de seguro en el pasado.

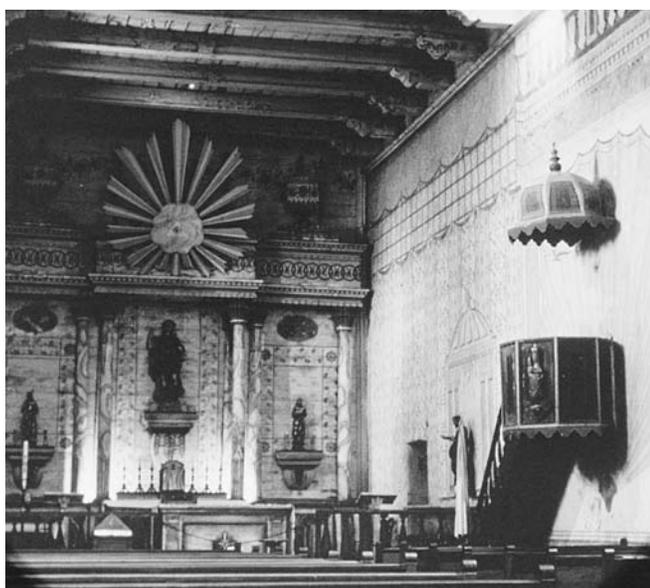
Hablando en términos generales, cuanto más se tenga que ocultar la intervención, mayor será el daño a la construcción original. Siempre que se ha necesitado ocultar la intervención, la tendencia ha sido la de eliminar partes de la construcción original (ya sea perforando las mismas o reemplazándolas por completo). Esto se presenta normalmente al tratar de ocultar elementos nuevos en el interior de muros históricos, en lugar de simplemente adosarlos a la edificación original. El impacto de elementos incorporados a la construcción original generalmente es mayor que el de los mismos colocados de forma adosada. Un ejemplo de ello es la instalación de vigas collar de concreto. Su instalación generalmente implica la remoción de la cobertura original, incluyendo sus acabados y estructura. Además, hiladas enteras de adobe en las secciones superiores de la manpostería son eliminadas total o parcialmente para el anclaje e instalación de fierros y vaciado del concreto en el sitio. Al desmontar la cobertura, las vigas de madera (en algunos casos talladas a mano) pueden dañarse o desecharse si se detecta la presencia de termitas en lugar de considerar su reparación. Es por ello que en este tipo de intervención, inevitablemente, se pierden elementos de la cobertura original.

Al encontrar pintura mural artística e histórica u otro tipo de recubrimiento histórico, la necesidad de preservar éstos acabados puede requerir el uso de medidas especiales para el disimulo de la intervención. Debe buscarse un equilibrio entre la preservación del adobe como material original pero abundante y la de las escasas y no habituales superficies decoradas, tal como fue el caso de las misiones de San Miguel y de Santa Inés (figs. 3.1, 3.2). Como han dicho algunos: “El problema al realizar una reparación sísmica de estructuras históricas radica en la dificultad para encontrar un equilibrio entre las intervenciones que reduzcan el riesgo de pérdida de vidas humanas sin destruir inútilmente porciones de construcción original” (Thomasen y Searls 1991).

### Oportunidades para llevar a cabo proyectos de estabilización sísmica

#### Cuando haya que reparar daños sísmicos

Siempre que hayan de repararse daños sísmicos con el fin de certificar que una construcción es segura, se presenta una oportunidad para su reparación sísmica. Los daños sufridos por la construcción del Adobe de Boronda, en Salinas, California, como resultado del terremoto de Loma Prieta en 1989, hicieron posible que la Monterey County Historical Association (Asociación histórica del Condado de Monterey) contratara a una compañía de ingeniería y a un arquitecto especializado en conservación para que elaboraran recomendaciones para su reparación y refuerzo antisísmico. La construcción había sido rehabilitada recientemente, recibía un buen mantenimiento y sus elementos históricos se habían evaluado y documentado antes de dicha rehabilitación. La Federal Emergency Management Agency (Agencia federal de administración de emergencias - FEMA, por sus siglas en inglés) contribuyó a las nuevas reparaciones y medidas de adecuación sísmica. De forma similar, los daños ocasionados por el terremoto de 1994 en Northridge dió como resultado la adecuación sísmica de las construcciones en los adobes De la Ossa y Andrés Pico. También fueron el caso de la construcción del Adobe Del Valle en Rancho Camulos, Piru y de la del Adobe Leonis en Calabasas; ésta última, inmediatamente después del terremoto de Northridge (fig. 3.3).



**Figura 3.1**  
Murales interiores de la Misión de San Miguel, San Miguel, California (Cortesía de la Misión de San Miguel).



**Figura 3.2**  
Murales interiores de la Misión de Santa Inés, Solvang, California.

### Cuando haya que reconstruirse el techo

La adecuación sísmica con frecuencia involucra la modificación de techos y áticos, lo que puede aumentar el costo de la intervención en caso de que resulte difícil el acceso a dichas áreas. Sin embargo, es crítico contar con una buena cobertura sobretodo en el caso de construcciones de adobe, con el fin de evitar daños ocasionados por la filtración de agua en los muros. Si es necesario rehacer el techo de una construcción de adobe; la incorporación de medidas de adecuación sísmica en dicha reconstrucción deberá ser seriamente considerada.

En 1991–92, se reemplazaron los techos de varias construcciones históricas de adobe en los condados de Monterey y San Benito, incluyendo los de las misiones de San Juan Bautista y Casa Abrego (Craig 1992). Si bien a los propietarios de las mismas se les informó de las ventajas de la adecuación sísmica al reemplazar los techos en sus propiedades, éstos prefirieron no hacerlo, perdiéndose así una oportunidad que hubiese reducido el costo para su reparación en caso de daño futuro. Los propietarios de la construcción de Adobe del Primer Tribunal Federal, en el Monterey Old Town National Historic District, sin embargo, reconocieron el beneficio de la adecuación sísmica simultánea a la reconstrucción del techo y contrataron a un ingeniero experimentado en construcciones de adobe, con el fin de que diseñara y supervisara la reparación sísmica del edificio (Comisión de preservación histórica de Monterey 1992).

### Cuando se tenga que cumplir con la Ley para discapacitados estadounidenses

En los Estados Unidos, se requiere que los edificios abiertos al público cumplan con las regulaciones de acceso público que contempla la Ley para discapacitados estadounidenses (Americans with Disabilities Act, ADA). En algunos casos, es necesario modificar sustancialmente las construcciones históricas con el fin de cumplir con estas regulaciones. Estas modificaciones son planteadas y presu-puestas cuidadosamente y a menudo son revisadas por comisiones locales para la conservación de edificaciones históricas. Antes de dar inicio al trabajo de diseño requerido para dar cumplimiento a los términos de la ADA, podría resultar ventajoso considerar también un programa de adecuación sísmica. Algunas comunidades del Estado de California, como Sonoma, han incorporado la adecuación sísmica a las obras requeridas para cumplir con los términos de la ADA. Las jurisdicciones locales pueden ayudar a los propietarios a encontrar financiamiento para las medidas requeridas con el fin de cumplir con los términos de la ley; ya sea a través de préstamos con intereses muy bajos o con el otorgamiento directo de fondos (consultar “Obtención financiamiento”, más adelante en este capítulo).

**Figura 3.3**

Construcción de Adobe Leonis, Calabasas, California (fotografía cortesía de Tony Crosby).



### Equipo de planificación para la adecuación sísmica

Planear la adecuación sísmica de un edificio histórico de adobe requiere de la participación conjunta de un equipo multidisciplinario de técnicos especialistas. El arquitecto restaurador y el ingeniero constituyen el núcleo del equipo de diseño. Puede agregarse la participación de un conservador si el arquitecto no fuera un especialista en la conservación de edificios de adobe. Todos los miembros de este núcleo deben estar en contacto permanente tanto con el cliente como entre ellos.

#### Arquitecto restaurador

Los arquitectos restauradores cuentan con experiencia en preservación o conservación arquitectónica y han sido formados para coordinar proyectos de restauración de gran escala. Entienden la necesidad y los beneficios que se derivan de trabajar con un equipo multidisciplinario con el fin de poder dar respuesta a los retos y singularidades que presentan los sitios históricos, tales como por ejemplo la presencia de restos arqueológicos. Es preferible un arquitecto restaurador especializado en conservación que esté familiarizado con las propiedades de los materiales y sistemas de construcción antiguos, tales como los empleados en mamposterías sin refuerzo de adobe, piedra y/o ladrillo (que incluye los materiales de los edificios coloniales de adobe en California y la América colonial) que un arquitecto que no tenga experiencia en el campo de la conservación.

La mayoría de los arquitectos tienen capacidad para la planificación, organización y coordinación general de proyectos de pequeña y gran escala y por ello, al reconocer necesidades específicas, tienen la capacidad de consultar a especialistas para obtener información más detallada. En caso que no pudieran contarse con los servicios de un arquitecto restaurador, ya sea por razones de que no hubiera uno disponible o por razones de distancia, presupuesto u otros factores, puede contratarse un arquitecto con una formación convencional quien, a su vez, puede subcontratar especialistas (conservadores, especialistas en materiales, consultores en preservación histórica, etc.), con el fin de que apoyen en la identificación y solución de situaciones especiales. Un arquitecto no especializado por ejemplo, requiere asistencia referente al uso e implementación del Código de construcciones históricas del Estado de California o su equivalente local, y con relación a las normas y directrices de las comisiones de restauración y agencias de financiamiento.

¿Por qué es necesario contratar un arquitecto con o sin especialización en restauración cuando la adecuación sísmica es un problema de ingeniería? La formación de un arquitecto le permite no sólo supervisar la planificación de proyectos, sino también prever las posibles consecuencias derivadas de alterar edificaciones existentes, especialmente en relación con las cualidades visuales o estéticas de las mismas. La formación que recibe un arquitecto especializado en preservación lo coloca en la posición de poder comprender el valor de preservar la construcción original y resolver los problemas que se planteen para garantizar dicha preservación; sin olvidar el hecho de que sabrá a qué especialistas recurrir para las diferentes tareas a realizar. Los ingenieros, por su parte, son capaces de resolver problemas estructurales de manera eficiente y de la manera más económica posible. Sin embargo, para que un ingeniero lleve a cabo su tarea con la exactitud que caracteriza a su profesión, deberán estipulársele con claridad los parámetros y restricciones a las que habrá de someterse. Hablando en términos generales por ejemplo, puede afirmarse que algunas necesidades de conservación arquitectónica que resultan típicas de las construcciones de adobe, tales como la eliminación de filtraciones de agua, no forman parte habitual del

campo de trabajo de un ingeniero. Un arquitecto evalúa todas las variables y define las restricciones o parámetros a los cuales el ingeniero deberá atenerse.

Habrà quien cuestione la necesidad de contratar un arquitecto para trabajar en un “simple” edificio hecho de bloques de tierra. De todas las razones por las que se recomienda contar con los servicios profesionales de un arquitecto, la más convincente tiene que ver con la importancia histórica y arquitectónica, así como con lo escaso del patrimonio arquitectónico colonial, especialmente en California. Quedan pocas estructuras históricas hechas en adobe y la autenticidad de las mismas ha ido disminuyendo con el tiempo debido a su uso inadecuado, derrumbes por terremotos y rehabilitaciones excesivas. De hecho, algunos investigadores del patrimonio arquitectónico colonial del Nuevo Mundo han descartado las contribuciones arquitectónicas de California, pues existe la percepción de que les falta integridad y de que su construcción original ha sufrido pérdidas considerables (Thomas 1991:119–149; Maish 1992:29). Los ejemplos arquitectónicos que aún sobreviven requieren de un tratamiento profesional, con el fin de asegurar su preservación para las generaciones futuras.

Entre las fuentes de información que en California pueden consultarse sobre arquitectos restauradores que cuenten con experiencia en edificios históricos hechos en adobe, se cuentan las siguientes (consultar apéndice E para mayores detalles):

- California Office of Historic Preservation (Oficina de preservación histórica de California)
- National Trust for Historic Preservation (Fondo nacional para la preservación histórica)
- Heritage Preservation Service, National Park Service (Servicios de preservación del patrimonio, Servicio nacional de parques—NPS, por sus siglas en inglés)
- American Institute of Architects (Instituto estadounidense de arquitectos - AIA, por sus siglas en inglés)

Cuando se contrate a un arquitecto restaurador, se recomienda ponerse en contacto con las agencias responsables del manejo de sitios históricos de adobe para solicitar referencias. Entre estas agencias se encuentran la Oficina de preservación histórica de California y la división de Servicios de preservación del patrimonio del Servicio nacional de parques. Ambas agencias están al cuidado de una gran variedad de construcciones históricas de adobe.

Independientemente de que sea un arquitecto el encargado de la planificación y la supervisión del proyecto o de que sea el propietario, administrador, consejo o comité de representantes del edificio, el o los que cumplan con esta función, ciertos asuntos requerirán de atención especializada, dependiendo de la naturaleza del sitio y del alcance del proyecto. Entre los más importantes se hallan la identificación y conservación de la construcción original, la identificación y preservación de los restos arqueológicos y la elaboración del informe de la estructura histórica (consultar capítulos 1 y 2).

### **Ingeniero**

Uno de los principales miembros del equipo de planificación deberá ser un ingeniero estructural especializado en edificios históricos o, de ser posible, especializado en ingeniería sísmica o en estabilización sísmica de edificios de adobe. Se puede solicitar información sobre ingenieros especializados en el tema en la Oficina de preservación histórica de California (OHP, por sus siglas en inglés), así como a la división de Servicios de preservación del patrimonio del Servicio nacional de parques, los cuales además han patrocinado en el pasado dos conferencias sobre la adecuación sísmica de construcciones históricas.

cas, junto con la Association of Preservation Technology-Western Chapter (Capítulo occidental de la Asociación de tecnología de preservación).

### **Historiador social**

Los historiadores o ciertos arqueólogos especializados en historia con bases firmes de historiografía, familiaridad con los archivos locales y regionales y expertos en el período colonial español y mexicano, pueden recopilar los datos necesarios y formular una evaluación histórica significativa de la estructura de adobe. Estos especialistas pueden ser consultados de varias formas (consultar también el apéndice E):

- La OHP cuenta con una lista de asesores disponible a través del California Historical Resources Information System (Sistema de información sobre los recursos históricos de California - CHRIS, por sus siglas en inglés).
- El California Council for the Promotion of History (Consejo californiano para la promoción de la historia) publica el Register of Professional Historians (Registro de historiadores profesionales), en el cual aparecen los nombres de aquellos historiadores especializados en los primeros años de la historia de California.
- La California Mission Studies Association (Asociación de estudios sobre las misiones de California) publica un directorio en el que aparece una lista de especialistas en la historia de este período.
- En el suroeste del país, se puede uno poner en contacto con el Southwestern Mission Research Center (Centro de investigaciones sobre las misiones del suroeste), ubicado en Tumacacori, Arizona, así como con otras agencias que manejen sitios de adobe, con el fin de obtener los nombres de especialistas locales.
- Los miembros de escuelas y facultades universitarias a menudo conocen y pueden proporcionar nombres de historiadores especializados en el estudio de las eras española y mexicana.

### **Historiador de arquitectura**

Los historiadores de arquitectura familiarizados con la arquitectura de esta época están calificados para investigar y evaluar la importancia histórico-arquitectónica de los edificios históricos de adobe. La lista de referencias de la Oficina de preservación del patrimonio (OHP) incluye los nombres de historiadores de la arquitectura y es posible pedir a la sociedad de este gremio una lista de miembros especialistas en la materia. También se puede consultar al profesorado universitario (tanto activo como retirado) especializado en la historia de la arquitectura latinoamericana. La Asociación de estudios sobre las misiones de California publica un directorio de miembros en el que aparecen profesionales que trabajan en este campo. El Centro de investigaciones sobre las misiones del suroeste, ubicado en Tumacacori, Arizona, es otra buena fuente de información (consultar apéndice E para mayor información).

### **Conservador**

Algunos conservadores de pinturas murales y de superficies decoradas tienen experiencia en la conservación de las mismas, específicamente sobre adobe, sobre muros con revestimientos de barro o de cal. Se puede solicitar información en el American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works (Instituto estadounidense para la conservación de obras históricas y artísticas),

el Getty Conservation Institute (GCI) o el NPS Conservation Center (Centro de conservación del Servicio nacional de parques) ubicado en Sante Fé, Nuevo México. Dado que las alteraciones necesarias para reforzar una estructura puede afectar revestimientos o acabados importantes y debilitar su adhesión a la estructura, deberá consultarse a un conservador:

- para confirmar si hay superficies importantes o no y, de ser el caso,
- para determinar su extensión y las condiciones en las que se encuentran y
- para recomendar intervenciones de estabilización en los recubrimientos de las estructuras que se vayan a refozar sísmicamente.

Es posible encontrar conservadores arquitectónicos especializados en el estudio de materiales de tierra o con experiencia trabajando con dichos materiales, ya sea recurriendo a las fuentes que hemos mencionado aquí o a través de los programas de capacitación en arquitectura de tierra que organizan CRATerre-EAG e ICCROM (consultar apéndice E).

### **Historiador de arqueología**

El Register of Professional Archaeologists (Registro de arqueólogos profesionales - RPA, por sus siglas en inglés) es un directorio de arqueólogos profesionalmente calificados, algunos de los cuales tienen una vasta experiencia de trabajo en estructuras históricas de adobe. También se puede consultar en la Society for Historical Archaeology (Sociedad de arqueología histórica), la Society for California Archaeology (Sociedad de arqueología de California), el directorio de la Asociación de Estudios sobre las misiones de California y el Centro de investigaciones sobre las misiones del suroeste para obtener información sobre este tipo de especialistas. Hay arqueólogos historiadores que se especializan en tecnología constructiva. Si se requiere mayor información, uno puede ponerse en contacto con el CHRIS o con el Fideicomiso de Santa Bárbara para la preservación histórica.

### **Obtención de financiamiento**

Los problemas de financiamiento se cuentan siempre entre los mayores obstáculos para poner en marcha proyectos de adecuación sísmica. Los dueños de propiedades comerciales no pueden subir las rentas como para cubrir los costos de una mejora que, en su mayor parte, no es evidente. De igual forma, un sitio histórico no puede aumentar las cuotas de entrada en proporción suficiente como para financiar un programa de adecuación sísmica. Los edificios históricos de adobe en California tienen la ventaja de ser considerados reliquias de los primeros pobladores del estado, dada su relativa rareza y su potencial educativo y turístico; los que los favorece al postular a ayuda financiera. A diferencia de los edificios comerciales urbanos de finales del siglo diecinueve hechos de mampostería no reforzada de ladrillo, las construcciones históricas hechas en adobe son todas diferentes entre sí y por tanto singulares, ya que se adaptaron a los sitios en los que se les construía y al crecimiento de las familias que las ocupaban con el tiempo. Cada una es una expresión arquitectónica única del pasado, así como un símbolo sobreviviente del cambio cultural.

Históricamente, algunas organizaciones sin fines de lucro tales como la iglesia, se han apoyado en la posibilidad de obtener servicios profesionales de manera gratuita o a precios reducidos, recurriendo a los miembros de

sus propios comités de construcción o de sus propios consejos, así como a sus parroquianos, a sociedades históricas, a organizaciones arqueológicas o de conservación, a estudiantes y a voluntarios. En algunos casos, es posible reclutar aficionados a la arqueología o estudiantes de esta disciplina, con el fin de que lleven a cabo ciertas tareas bajo supervisión profesional. No obstante, no es recomendable substituir a ciertas personas claves ni tratar de ahorrar dinero recurriendo a un contratista general en lugar de recurrir a un ingeniero con el fin de evaluar la vulnerabilidad estructural y preparar el diseño de adecuación sísmica de construcciones históricas de adobe no reforzadas. Este tipo de acciones pueden incluso aumentar la responsabilidad legal en el caso lamentable de pérdidas humanas a consecuencia de un terremoto (consultar “El equipo de planificación para la adecuación sísmica”, a principios de este capítulo).

### **Fuentes gubernamentales de financiamiento**

Entre las fuentes potenciales para el financiamiento de proyectos se cuentan los fondos de preservación histórica, provenientes de los fondos de bonos del Servicio de parques de California, los mismos que han sido aprobados por el electorado. Las agencias privadas sin fines de lucro, así como las agencias gubernamentales pueden solicitar dichos fondos por medio del Fondo de la oficina de preservación del patrimonio histórico de California. La adecuación sísmica de las construcciones de mampostería sin reforzar, es una prioridad en California para el otorgamiento de fondos federales destinados a la preservación histórica. Asimismo, se pueden solicitar fondos menores de la OHP a través de los gobiernos locales. La oficina regional occidental del National Trust for Historic Preservation (Fideicomiso nacional para la preservación histórica) otorga en California financiamiento también para el proceso de planificación, tomándolo de un fondo específicamente destinado a este estado.

Los programas de Hazard Mitigation Grants de FEMA (Fondos para la mitigación de riesgos de la Agencia Federal de Manejo de Emergencias - FEMA, por sus siglas en inglés) pueden igualar los fondos ya obtenidos por los propietarios privados para reforzar sus edificaciones en ciertas regiones azotadas por desastres. El FEMA también otorga fondos para afrontar desastres en edificios que sean propiedad de organizaciones públicas o privadas sin fines de lucro, incluyendo fondos que se destinen a procedimientos para la adecuación sísmica. En estas regiones, podría contarse incluso con fondos federales provenientes del Community Development Block Grant (Fondo de bloque para el desarrollo de comunidades), así como fondos de Economic Development Assistance (Asistencia para el desarrollo económico) en caso de que las edificaciones sean atracciones turísticas.

Algunos gobiernos locales administran programas de préstamos para la reducción de riesgos con fondos derivados del establecimiento de distritos de evaluación. La Small Business Administration (Administración de la pequeña empresa – SBA, por sus siglas en inglés) es una agencia federal que otorga préstamos a propietarios privados de edificios históricos tras una declaración federal de desastre, que aumenta hasta en un 20% sus préstamos para cubrir gastos de reducción de riesgos, incluyendo la adecuación sísmica de edificios dañados por terremotos. El uso de fondos federales o estatales hace necesario el cumplimiento de las Secretary of the Interior's Standards for the Treatment of Historic Properties (Normas para la intervención en propiedades históricas de la Secretaría del interior – apéndice F).

### **Fuentes privadas de financiamiento**

Fundaciones privadas y de comunidades locales han hecho donaciones para la adecuación sísmica y la reparación de daños ocasionados por terremotos. A

raíz del terremoto de Loma Prieta en 1989, la Fundación de la comunidad del Condado de Monterey financió las reparaciones de los daños ocasionados en la Casa de Soto con dinero proveniente del Fondo Doud. La Fundación Skaggs ayudó a pagar los costos de adecuación sísmica de la Misión Dolores tras el terremoto de Loma Prieta, así como los costos de reparación y adecuación sísmica de la misión de San Fernando a raíz del terremoto de Northridge en 1994. La Fundación Kresge apoya proyectos de “ladrillos y mortero” mediante concursos para la obtención de fondos. La Misión de San Gabriel (figs. 3.4 a, b) se reforzó y apuntaló a raíz del terremoto de Whittier Narrows en 1987, haciendo para ello uso de dinero proveniente de la Fundación Getty, que acepta solicitudes de financiamiento para la planificación e implementación de proyectos de restauración de edificios designados como Patrimonio nacional (En los Estados Unidos, la declaratoria de Monumento nacional es diferente que el estar inscrito en el Registro nacional de sitios históricos).

### La importancia de planificar con anticipación

La experiencia de llevar a cabo colectas de fondos y de redactar solicitudes para la obtención de financiamiento requiere cada vez más que se lleven a cabo los procedimientos necesarios de planificación preventiva. Todo intento por ahorrar costos mediante la omisión de dichos procedimientos para la preservación de construcciones históricas puede llevar al rechazo de las solicitudes de financiamiento, con la consiguiente pérdida de tiempo y dinero invertidos en el esfuerzo de presentar la solicitud. Existe financiamiento institucional para las etapas de planificación, entre los cuales pueden incluirse la propuesta de preservación, los estudios de adaptación a nuevo uso, la evaluación de condiciones, la evaluación estructural, los estudios de conservación, los expedientes de estudio de la estructura histórica y los planos generales del sitio. Se ha demostrado que los proyectos bien planificados y que presentan fases diferenciadas de intervención cuentan con mejores oportunidades para desarrollarse, tanto en términos económicos como en términos de su preservación cultural.

**Figura 3.4**

Misión de San Gabriel, San Gabriel, California: (a) Campanario antes del terremoto de 1987 (Cortesía de David L. Felton, California Department of Parks and Recreation) y (b) Adecuación sísmica y apuntalamiento del campanario a raíz del terremoto de 1987.



(a)



(b)

Muchas construcciones de adobe han sobrevivido a terremotos de importancia sufriendo tan sólo daños menores y otras han sufrido considerables daños estructurales. Ciertas construcciones dañadas por terremotos se han reparado con el correr de los años, pero la mayoría de ellas han sido simplemente abandonadas. La naturaleza del adobe como material de construcción y la configuración geométrica de las edificaciones en las que se ha usado, hacen de las estructuras de adobe, un prototipo único de construcción. Es decir, las edificaciones de adobe son diferentes de las construcciones hechas con otros materiales; por lo tanto, la naturaleza del adobe y la forma en que éste se utiliza como material de construcción, deben considerarse en el diseño de medidas de adecuación sísmica.

Los muros de mampostería de adobe se construyen utilizando bloques de tierra sin cocer, los mismos que se unen con un mortero de barro. La tierra que se utiliza para la elaboración de los bloques generalmente tiene un contenido de arcilla de entre el 10% y el 30%, con el añadido de materia orgánica como paja o estiércol antes de moldearlos. La paja ayuda a controlar la formación de grietas debido a la retracción que generalmente se presenta durante el secado de los bloques. El mortero de asiento generalmente se compone del mismo material que el de los bloques, pero puede variar en el contenido de material orgánico. El Mortero es casi siempre más débil que los bloques, pues el secado rápido que ocurre durante la construcción de la mampostería generalmente conlleva a una mayor retracción y agrietamiento del mismo.

Es posible que los muros de adobe se agrieten como resultado de este proceso o también debido a una cimentación insuficiente o a un asentamiento diferencial. Parte de la tradición cultural, que se observa en las zonas en las que la arquitectura vernácula está constituida por construcciones de adobe, es reparar estas grietas de manera periódica, cada vez que se renuevan los enlucidos de barro. Con el correr de los años, las estructuras de adobe pueden haber sufrido modificaciones y ampliaciones considerables y la configuración de las construcciones puede haber cambiado de manera significativa. Al ocurrir terremotos de moderados a fuertes, la mayoría de las construcciones de adobe experimentan la aparición de grietas adicionales y la reparación de estas estructuras es parte integral de la tradición y cultura local.

Las construcciones históricas de adobe generalmente se construyeron con muros gruesos, pero con sistemas de techado mal conectados a los mismos. Las paredes gruesas de las construcciones históricas de adobe son elementos importantes que mejoran la estabilidad sísmica de las mismas; pero, es la estructura del techo la que deberá estar siempre bien anclada a los muros. Desde una perspectiva estructural, la estabilidad de los muros es una característica especial de las construcciones de adobe ya que esta persiste aunque los muros estén agrietados a consecuencia de los terremotos. Es imposible evitar que las construcciones de adobe se agrieten durante los sismos importantes. Resulta por lo tanto imperativo, que la base teórica de un análisis estructural considere especialmente el comportamiento dinámico de las estructuras agrietadas de adobe.

## Principios del diseño sísmico

La comprensión que la ingeniería ha alcanzado sobre el comportamiento sísmico de estructuras es muy reciente. Fue apenas en el siglo pasado que comenzó a entenderse la forma en que las estructuras responden ante los movimientos sísmicos. Las prácticas a seguir en el caso de edificios históricos han ido evolucionando conforme se han ido acumulando experiencias por el sistema de acierto y error. Las primeras mediciones de los movimientos sísmicos durante terremotos fuertes se llevaron a cabo apenas en 1933 y no fue sino hasta 1970 que se registró por primera vez la forma en que un edificio respondía ante un terremoto suficientemente fuerte como para producirle daño. Los primeros procedimientos de la ingeniería para realizar un diseño sísmico no se formularon sino hasta principios del siglo veinte, aunque anteriormente se habían llevado a cabo algunos intentos esporádicos. A estos esfuerzos se sumó la acumulación de detalles constructivos que producían un desempeño sísmico satisfactorio.

Tras el surgimiento de los métodos modernos de construcción, en los que el acero y el concreto reforzado tomaron el lugar del ladrillo y la piedra como materiales principales de construcción, se desarrollaron diseños estructurales que permitían a los edificios soportar severas cargas ambientales (viento y movimientos sísmicos), desempeñándose de forma predecible y aceptable. Tanto el acero como el concreto reforzado son materiales dúctiles con un amplio rango de comportamiento linealmente elástico, por lo que el comportamiento de los edificios construidos con estos materiales pueden ser estudiados mediante métodos analíticos o computacionales. El análisis de edificaciones hechas con materiales frágiles y no reforzados, tales como la piedra, el ladrillo o el adobe, puede ser realizado solo mientras las construcciones estén en el rango elástico, que es muy corto, antes de que sufran daños. Una vez que se han formado grietas en este tipo de construcciones, su análisis se torna extremadamente difícil, incluso utilizando herramientas de cómputo modernas y avanzadas.

En la década de 1960 surgió una revolución conceptual en el diseño sísmico de construcciones cuando los ingenieros desarrollaron la idea de un *diseño dúctil*. Este tipo de diseño confiere a los sistemas estructurales la capacidad de poder seguir sosteniendo cargas de gravedad y cargas sísmicas cíclicas aún después de que los materiales constructivos han alcanzado su punto de fluencia. Antes de que existiera este concepto, el enfoque esencial del diseño sísmico consistía en asegurarse de que la estructura tuviera la resistencia suficiente para soportar las cargas laterales. Los distintos enfoques de diseño dúctil no han abandonado la idea de la resistencia estructural, pero se complementan con la introducción de refuerzos y detalles de conexión, de forma que los elementos tengan la capacidad de transmitir sus cargas aún después de haber sido dañados. En su forma más sencilla, el término *ductilidad* se entiende como la relación que hay entre el desplazamiento asociado a la falla estructural (definida esta como la incapacidad de continuar soportando cargas verticales y horizontales) y el desplazamiento en el que los materiales inician la fluencia (definido este como el inicio de la deformación permanente). El acero y el concreto reforzado se caracterizan por ser materiales sumamente dúctiles cuando se utilizan materiales de refuerzo suficientes y bien orientados. Los materiales frágiles (por ejemplo, mampostería de adobe, ladrillo cocido, tejas, vidrio y concreto no reforzado) presentan gran fuerza de compresión pero baja ductilidad, a menos que se les refuerce. El adobe no reforzado tiene muy baja ductilidad de material, baja resistencia a la de compresión y casi nula resistencia a la tracción; esta es la razón que se esgrime, para explicar su mal comportamiento sísmico.

Los dos criterios estándar para llevar a cabo un diseño sísmico típico son: (a) diseñar la estructura de forma que ésta mantenga su elasticidad durante movimientos sísmicos de moderados a fuertes; y (b) diseñar los elementos e individuales y conexiones de la estructura de forma que ésta se com-

porte de manera dúctil y mantenga su resistencia durante eventos sísmicos importantes. El diseño de la estructura basado en el comportamiento inelástico no se entiende de manera explícita. Los criterios de diseño de construcciones hechas de concreto armado y acero se basan en una combinación de experiencias de campo y experimentación en laboratorio.

### **El carácter único de las construcciones de adobe**

Las características fundamentales del comportamiento inelástico del adobe son totalmente diferentes de las de los materiales dúctiles de construcción, ya que el adobe es un material frágil. Cuando un muro no reforzado de adobe se agrieta, su resistencia a tracción se pierde por completo, a pesar de que el muro puede permanecer de pie y soportar cargas verticales mientras no pierda su verticalidad y su estabilidad. Las grietas en los muros de adobe pueden aparecer como resultado de fuerzas sísmicas, debido a asentamientos de la cimentación o como consecuencia de cargas internas, tales como las generadas por las vigas del techo. Generalmente, los muros de las construcciones históricas de adobe son gruesos y por lo tanto, es difícil desestabilizarlos, aún cuando estén severamente agrietados. El soporte que un sistema de techos brinda a la parte alta de los muros puede agregar estabilidad adicional, especialmente cuando está anclado a los mismos. En muchas construcciones de adobe, la esbeltez de los muros (la relación de altura a grosor) puede ser menor de 5 y los muros pueden medir entre 1.2 y 1.5 metros (de 4 a 5 pies) de espesor. Ambas realidades hacen poco probable que se volteen los muros. Es posible utilizar técnicas de adecuación sísmica para mejorar la estabilidad estructural de los muros y reducir los desplazamientos diferenciales de los segmentos de los mismos formados por las grietas de la estructura.

Muchas técnicas de adecuación sísmica en construcciones de adobe intentan fortalecer los muros de adobe agregando refuerzos dúctiles que permitan a los elementos de los muros mantener su resistencia durante una actividad sísmica severa. Un ejemplo de esto es el reemplazo del núcleo de un muro de adobe con concreto reforzado en las Sonoma Barracks, en el Sonoma State Historic Park. Este tipo de diseño se propone que los elementos del muro mantengan su fuerza y ductilidad. Fundamentalmente utiliza criterios de diseño elástico. También se colocaron núcleos de concreto reforzado en las secciones centrales de los muros de adobe del Petaluma Adobe State Historic Park, en el Condado de Sonoma. Se utilizaron parrillas de vigas de concreto armado, vigas collar y columnas de concreto armado en el Plaza Hotel, San Juan Bautista, en las construcciones del Adobe Cooper-Molera, en Monterey, y en la Misión de La Purísima Concepción, en Lompoc. No obstante, este tipo de reforzamiento sísmico resulta caro y bastante más invasivo que lo permitido por las normas de conservación. Además, la combinación de concreto armado y adobe podría traer consigo problemas de compatibilidad de materiales que se harán visibles años después de iniciada la adecuación sísmica original. De algún modo, puede considerarse que una edificación así, es una estructura de columnas y vigas de concreto armado con relleno interior de bloques de adobe, lo que representa una pérdida importante de autenticidad.

Para mejorar el desempeño estructural de las construcciones existentes de adobe, a menudo se recomienda la utilización de vigas collar de concreto armado, colocadas en la parte superior de los muros, bajo el techo (Código de construcciones históricas del Estado de California; consultar apéndice C). La función de estas vigas collar es proporcionar apoyo lateral y continuidad en la parte superior de los muros. Pero la instalación de dichas vigas collar generalmente requiere retirar el techo, lo que es un procedimiento invasivo y destructivo. Adicionalmente, el diseño de las vigas collar suelen basarse

en criterios de diseño elástico, lo que generalmente da como resultado un elemento sumamente rígido. Tras la formación de grietas en los muros de adobe por la acción de un terremoto, la rigidez de la viga collar puede exceder la de los muros por dos o tres órdenes de magnitud. Los muros de adobe así, se volcarían hacia fuera durante un terremoto debido al diferencial de rigidez existente y a la falta de una buena conexión entre la viga collar y los muros agrietados de adobe. Sin embargo, si por otros motivos ya se hubiera decidido remover el sistema de techo, la instalación de una viga collar bien anclada podría ser una opción de estabilización.

En las últimas dos décadas, muchas soluciones de diseño de ingeniería se han dirigido a la aplicación de métodos menos invasivos y estructuralmente más efectivos. Algunos tipos de refuerzo contemplan la instalación de tirantes de acero, ángulos de platinas de acero, amarres de varillas de acero al nivel de la viga collar, marcos independientes de acero, anclajes en tierra y diafragmas de triplay. En Thiel et al. 1991 se discuten en detalle estos enfoques de recientes soluciones de refuerzo sísmico para monumentos históricos específicos.

El mejoramiento sísmico de construcciones en riesgo busca brindar la mayor protección posible a la vida de sus ocupantes, antes que limitar los posibles daños a las construcciones durante un movimiento sísmico. A la fecha, el desarrollo de prácticas de refuerzo sísmico, se ha dirigido a la estabilización de edificios de múltiples niveles y de mampostería de ladrillo cocido no reforzada (URM, por sus siglas en inglés), un tipo constructivo muy común al que generalmente se le considera entre todos los tipos constructivos modernos empleados en los Estados Unidos, como el de mayor riesgo para la vida de sus ocupantes. Las estructuras URM pueden considerarse muy similares a las edificaciones de adobe, pues sus muros se construyen levantando hiladas de bloques de tierra unidos por mortero de barro. Debido a que éstos últimos son mucho más débiles que los ladrillos cocidos y el mortero de cemento, los edificios de adobe presentan grietas por daño a niveles mucho menores de actividad sísmica. Más importante aún es el hecho de que los muros de las construcciones de adobe presenten típicamente una relación altura-espesor mucho menor que la de los muros de construcciones hechas de ladrillos cocidos. Esta combinación de factores da como resultado una diferencia notable entre los problemas de estabilidad de las construcciones de adobe y las de ladrillo cocido, con sus muros relativamente más delgados. Estas diferencias deben reconocerse y tomarse en cuenta al diseñar enfoques de adecuación sísmica para los dos tipos de mampostería no reforzada (URM).

La estabilidad estructural es un requisito fundamental para asegurar un comportamiento adecuado de las construcciones de adobe en caso de ocurrir un terremoto de gran magnitud y también es un factor importante para diseñar medidas apropiadas para la adecuación sísmica de este tipo de construcciones. Los muros masivos en adobe se agrietan bajo la acción de terremotos moderados a severos porque los muros de adobe son frágiles y el adobe es un material de poca resistencia. La aceleración sísmica del suelo actúa sobre las paredes masivas, creando grandes fuerzas de inercia que el adobe como material de baja resistencia es incapaz de resistir. Una vez que se forman grietas, resulta esencial para la estabilidad de la estructura, como un todo, que los pedazos de muro agrietados se mantengan en su sitio y continúen siendo capaces de soportar las cargas verticales.

Un enfoque de adecuación sísmica basada en la estabilidad intenta capitalizar las características positivas de disipación de energía que el adobe presenta tras la aparición de grietas, minimizando los daños estructurales severos al limitar los desplazamientos relativos entre los pedazos de muro adyacentes formados por las grietas. Los resultados obtenidos durante las investigaciones llevadas a cabo durante el Getty Seismic Adobe Project (GSAP, por sus siglas en inglés) han demostrado que un enfoque basado en la estabilidad para estabilizar construcciones históricas hechas en adobe puede ser un

método muy eficaz para asegurar la vida de los ocupantes al tiempo que limita el daño sufrido por las estructuras durante un terremoto moderado o severo. El propósito de este enfoque consiste en evitar daños estructurales graves que pudieran dar como resultado el derrumbe o colapso de los muros. Aplicado de manera apropiada, este enfoque reconoce las limitaciones del adobe, al tiempo que aprovecha las características estructurales positivas inherentes a las construcciones de adobe. Los muros gruesos de adobe son de por sí estables y presentan un gran potencial de absorción de energía. Estas características pueden ser mejoradas si se aplican algunas técnicas relativamente sencillas, de estabilización sísmica.

### Estabilidad contra resistencia

Se pueden adoptar dos enfoques fundamentales para mejorar el desempeño sísmico de las construcciones de adobe. Un *diseño basado en la resistencia* trata de fortalecer el material del adobe, las conexiones entre los muros cambiando la configuración estructural general. Esto puede hacerse agregando muros de corte o diafragmas. Presupone el comportamiento elástico del edificio y se centra en la aplicación de medios tradicionales para retardar la aparición de grietas. Un *diseño basado en la estabilidad*, se centra en el comportamiento general del edificio y procura asegurar la estabilidad estructural del mismo durante la fase inelástica y última. Las características del diseño basado en la estabilidad puede reducir el potencial de daño estructural grave y de colapso aun después de que los materiales hayan sobrepasado el límite elástico.

El enfoque de la ingeniería convencional para la adecuación sísmica se basa en la resistencia; es decir, se proveen elementos estructurales como para resistir las fuerzas generadas por la respuesta elástica de la edificación durante un terremoto de diseño (definiéndose éste como el grado de terremoto máximo que un edificio es capaz de resistir sin dejar de exhibir una respuesta elástica o reversible). Se entiende que las fuerzas generadas durante un evento sísmico mayor pueden exceder las generadas durante el terremoto de diseño. Sin embargo, también se presupone que las deformaciones no lineales del material y sus conexiones habrán de presentar una ductilidad suficiente como para disipar la energía adicional en caso de un terremoto mayor.

El segundo enfoque (el de un diseño basado en la estabilidad) se ocupa de manera específica de la respuesta inelástica post-fisuración del edificio. La aplicación de este enfoque hace necesario comprender las características dinámicas de una estructura de adobe dañada como la aplicación de técnicas que eviten daños severos o colapso. Este enfoque considera la aparición de daños severos en las construcciones, y la estabilidad de los muros agrietados de la estructura con relación al colapso.

Estas dos estrategias de diseño no son mutuamente excluyentes: el enfoque basado en la resistencia se ocupa del comportamiento elástico de la estructura, en tanto que el enfoque basado en la estabilidad se ocupa del comportamiento post-elástico de la misma. De hecho, ambos enfoques pueden ser complementarios.

La aplicación de un análisis basado en la resistencia únicamente, no es suficiente para determinar el comportamiento de edificios de adobe con muros gruesos. El uso únicamente de un enfoque elástico puede justificarse sólo cuando exista una relación conocida entre el nivel al cual los materiales dejan la fase elástica y el nivel en el cual se presenta el colapso de la estructura. En el caso de construcciones de adobe de muros gruesos, no existe una relación clara entre estos dos puntos. Algunas medidas diseñadas para mejorar el comportamiento elástico de una edificación pueden tener poco o ningún efecto en la estabilidad estructural del mismo durante eventos sísmicos mayores. No obstante, las medidas de adecuación

sísmica basadas en la estabilidad, que pueden tener poco efecto sobre el inicio o prevención de grietas menores, pueden tener un impacto significativo en el desarrollo de daños severos y e incluso prevenir el colapso.

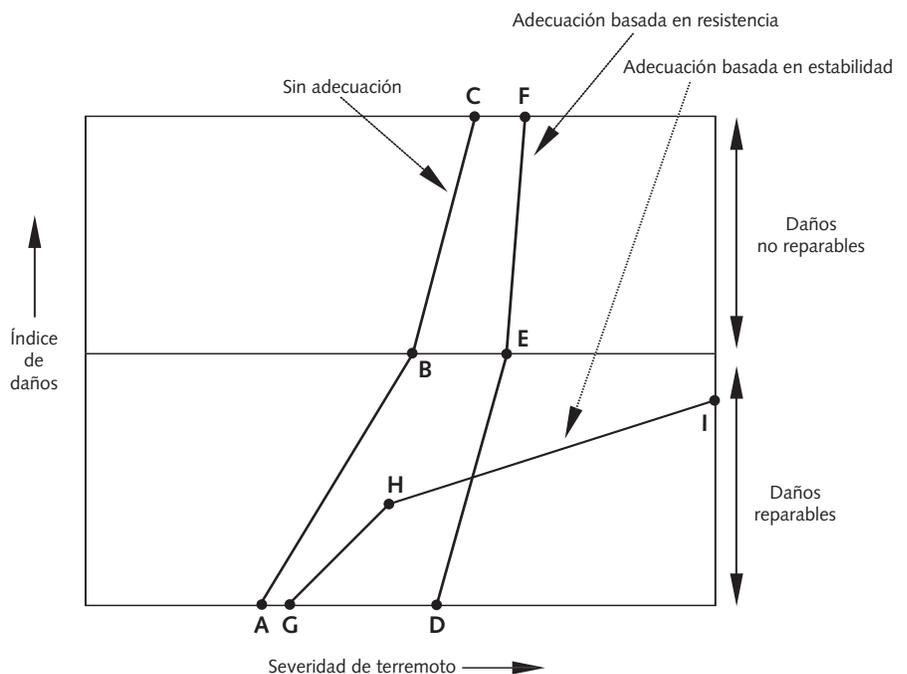
La figura 4.1 es una representación gráfica generalizada de las diferencias que hay en el comportamiento sísmico de una edificación reforzada mediante un enfoque basado en la resistencia y otro basado en la estabilidad. El eje horizontal es una función creciente de la severidad de un terremoto, en tanto que el eje vertical es el índice de daños, una medida cualitativa del daño estructural. La línea *ABC* representa el comportamiento de un edificio no adecuado sísmicamente y en sus condiciones originales; la línea *DEF* representa la variación del daño de la estructura adecuada sísmicamente basándose en la resistencia; y la línea *GHI* representa la variación del daño de la misma estructura adecuada sísmicamente con un diseño basado en la estabilidad. Una estructura de adobe no se daña sino hasta que se rebasa un cierto umbral en la severidad de un terremoto: el punto *A*. Los daños aumentan entonces hasta alcanzar el punto *B* al incrementarse la intensidad del terremoto, alcanzando luego rápidamente el punto de colapso (punto *C*), con solo pequeños aumentos en la intensidad del terremoto. Esta línea es típica del comportamiento de los materiales frágiles. Sin embargo, muchas construcciones de adobe tienen características estructurales (por ejemplo, muros gruesos) que les permiten comportarse de manera bastante menos catastrófica.

Una adecuación sísmica clásica basada en la resistencia estructural tiende a desplazar el punto de daño inicial *D* hasta un punto mayor de intensidad sísmica, tras el cual el daño aumenta hasta alcanzara un punto crítico *E*, por encima del cual los daños ya no pueden repararse. Una vez que los refuerzos de elementos estructurales individuales y sus conexiones fallan, casi dejan de tener efecto benéfico alguno en el comportamiento global de la estructura. Más allá del punto *E*, el comportamiento global de la estructura se hace dominante y el colapso ocurre en el punto *F*, con sólo aumentos pequeños en la intensidad de un terremoto. En una estructura de muros delgados, los grandes pedazos de adobe agrietados se mueven con libertad y sin restricción alguna impuesta por otros elementos de la estructura.

Los daños a la construcción adecuada sísmicamente con un diseño basado en la estabilidad estructural comienzan a aparecer en un momento de

**Figura 4.1**

Gráfica del Índice de incremento de daños versus la severidad del terremoto en estructuras sin reforzar (*ABC*), así como en estructuras reforzadas en base a criterios de estabilidad (*GHI*) y en base a criterios de resistencia (*DEF*).



tiempo similar al de la estructura no adecuada, en el punto  $G$ , ya que este enfoque no trata de evitar la aparición inicial de grietas. Esta estrategia aprovecha las características del comportamiento no lineal, centrándose en las restricciones de desplazamiento de los elementos y no en mejorar la resistencia de la estructura. Los materiales y sus conexiones ceden controladamente alcanzándose el punto  $H$ , en el cual el comportamiento global de la estructura comienza a dominar el desempeño. En este punto entran en juego los elementos estabilizadores de la adecuación sísmica y la estructura exhibe un modesto aumento de la tasa de daños reparables, resistiendo sin colapsar aún cuando se alcancen altas intensidades en la fuerza del terremoto, en el punto  $I$ .

Si bien el aumento de resistencia de una estructura permite un control de daños mucho mejor en terremotos de baja intensidad, el adecuamiento sísmico basado en un enfoque de estabilidad estructural puede ser la única forma práctica de asegurar el objetivo de proteger la integridad física de los ocupantes, evitando el colapso. Desde luego, poner en práctica una combinación de estos dos enfoques sería ideal, pues una adecuación sísmica basada en la resistencia estructural permite retrasar la aparición inicial de daños, en tanto que una adecuación sísmica basada en la estabilidad, limita los daños y evita el colapso.

### **Diseño basado en la resistencia**

Un análisis basado en la resistencia estructural o un procedimiento de diseño basado en este criterio usa técnicas analíticas en las que los cálculos de resistencia de la estructura se basan en las propiedades elásticas del material. El carácter dinámico de los movimientos sísmicos a menudo es reemplazado por una fuerza estática equivalente. Utilizando un enfoque basado en la resistencia estructural, las fuerzas de diseño asumidas son siempre sustancialmente menores (por un factor de entre 5 y 10) que las fuerzas que pueden esperarse en eventos sísmicos mayores en un sitio específico. Se asume que la ductilidad de los materiales y de las conexiones es suficiente para soportar los esfuerzos producidos por estos eventos sísmicos mayores. Un diseño convencional basado en la resistencia generalmente se preocupa únicamente de las consecuencias de las deformaciones extremas, evaluando las deformaciones elásticas bajo cargas mayores a las de diseño.

Las conclusiones de este tipo de análisis generalmente indican que las construcciones de adobe no habrán de comportarse aceptablemente, aún en el caso de terremotos moderados, durante los cuales el material de adobe fallará y conducirá a la falla completa del edificio mismo. Las construcciones históricas hechas de adobe tienen muros masivos, el adobe mismo es un material de baja resistencia, las fuerzas dinámicas o estáticas equivalentes son grandes y las capacidades tensionales del material son fácilmente rebasadas. Mientras que un análisis basado en la resistencia puede predecir con precisión cuándo ocurrirán las grietas, no sirve para comprender bien el comportamiento poselástico de las construcciones de adobe.

Las estructuras de mampostería de muros delgados pueden fallar de manera catastrófica, simplemente debido a los efectos gravitacionales, apenas las secciones de los muros se agrieten. Las estructuras de adobe de muros gruesos, sin embargo, son capaces de mantener grandes deformaciones que sobrepasan por mucho las asociadas al límite elástico del material. La estabilidad tipo de los muros gruesos puede no resultar amenazada aún cuando la deformación de los muros exceda más de cien veces la deformación del límite elástico del adobe.

La ductilidad estructural (no la ductilidad del material) de un sistema de construcción es una característica de importancia crítica en el diseño sísmico de un edificio. La *ductilidad estructural* se define como la capacidad que tiene una construcción de mantener su capacidad de carga, deformándose

dentro de los márgenes de seguridad una vez que el límite elástico del material del edificio ha sido rebasado. Las construcciones de adobe con muros gruesos pueden mostrar una gran ductilidad estructural a pesar de que el material de construcción del edificio sea frágil.

### Diseño basado en la estabilidad

En el caso de los edificios de adobe, un análisis de diseño basado en la estabilidad estructural, aprovecha las características únicas del comportamiento post-elástico del adobe, así como los efectos de un sistema de adecuación sísmica propuesto. Los muros deben ser relativamente gruesos (como lo son en la gran mayoría de las construcciones históricas hechas de adobe) para que el edificio muestre las características de comportamiento dúctil que le permitan resistir las fuerzas destructivas de un terremoto mayor.

A menudo se supone que una estructura de mampostería no reforzada (por ejemplo, una edificación de adobe o de ladrillos cocidos) es segura sólo cuando no ha sufrido daños importantes; es decir, en tanto no hayan sufrido grandes fisuras. El análisis convencional supone que, una vez que aparecen las grietas, los materiales pierden su fuerza y continuidad, haciendo inseguro el edificio. Sin embargo, una construcción de adobe de muros gruesos *no* se desestabiliza en presencia de grietas plenamente desarrolladas y el edificio es capaz de mantener características considerables de estabilidad aún en ese estado. La introducción de medidas de adecuación sísmica puede mejorar de manera importante la estabilidad global de la estructura limitando la extensión del daño hasta evitar desalineamientos permanentes importantes.

El grado de adecuación sísmica necesario para estabilizar un muro de adobe a menudo es relativamente bajo y se apoya en muchas de las propiedades inherentes a las construcciones históricas de adobe. A continuación se presentan algunas de las características más importantes en un diseño de adecuación sísmica basada en la estabilidad estructural:

- **Permite el balanceo fuera del plano.** La estabilidad fuera del plano de los muros gruesos de adobe no es una consideración muy importante como lo suponen los métodos convencionales basados en la resistencia.
- **Limita el balanceo fuera del plano en la parte superior de los muros.** El aumento de la restricción del balanceo en la parte superior de un muro grueso de adobe mejora considerablemente la estabilidad fuera del plano de los pedazos de muro que pudieran haberse separado por las fisuras.
- **Brinda conexiones flexibles de amarre entre los muros perpendiculares que sujetan las paredes entre sí.** Los muros perpendiculares presentan características de deformación sumamente diferentes, por lo que es muy importante que sus conexiones sean flexibles.
- **Provee amarres que resisten el desplazamiento relativo y permanente de los pedazos de muro adyacentes, separados por grietas.** Se requiere muy poca fuerza para reducir de manera importante tanto los movimientos en el plano como fuera del plano de los pedazos de muro durante la acción sísmica prolongada.

### Diseño basado en el comportamiento

La tendencia actual en el diseño de ingeniería consiste en diseñar para múltiples niveles, específicamente definidos, de comportamiento a diferentes niveles

de terremotos. Los códigos de construcción históricamente se han valido de una metodología de diseño en la cual la falla última de una edificación forma parte implícita del diseño (Hamburger et al. 1995). El diseño sísmico basado en el comportamiento de una construcción convencional, se vale de varias metodologías modernas de diseño, pero para el caso de construcciones no reforzadas de adobe, la ausencia de estas técnicas es lamentable.

El objetivo fundamental de un diseño basado en el comportamiento es poder predecir con precisión la respuesta de la edificación durante el incremento de los niveles de excitación sísmica. Debido a que los métodos numéricos aplicados en construcciones de adobe no arrojan resultados exactos, se debe confiar mucho en el comportamiento sísmico real de las construcciones, conocimiento que puede adquirirse ya sea mediante observaciones de campo o simulaciones en laboratorio. Las investigaciones del GSAP tomaron en cuenta ambos tipos de fuentes de conocimiento con el propósito de desarrollar y probar las técnicas de adecuación sísmica sugeridas (consultar capítulo 7). El objetivo de estas directrices es el de extrapolar los resultados en esas observaciones de campo y experimentación, con el fin de poder aplicar estos conocimientos a otras edificaciones.

### **Códigos de construcción y normas de diseño actuales**

En California, el código de construcción para las edificaciones históricas es el California State Historical Building Code (Código de construcciones históricas del Estado de California - SHBC, por sus siglas en inglés; Consejo de seguridad de edificios históricos del Estado de California). El SHBC presenta recomendaciones específicas para las construcciones de adobe y la versión del año 1998 del SHBC permite el uso de la edición 1994 del Uniform Code for Building Conservation (Código uniforme para la conservación de edificios - UCBC, por sus siglas en inglés) para edificaciones de mampostería no reforzada.

La esencia de los métodos de diseño contemplados por el SHBC y por el UCBC es simplemente especificar los valores de resistencia requeridos para las construcciones de adobe y los niveles de diseño sugeridos. El SHBC especifica 4 libras por pulgada cuadrada (psi), en tanto que el UCBC indica 3 psi. Las cargas de diseño son prescritas por el UBC de 1994 para el SHBC. Las fuerzas de diseño que contempla el UCBC son del 10% o el 13% de la gravedad en la zona sísmicamente más activa (Zona 4), dependiendo de los niveles de ocupación. El SHBC limita la relación altura-grosor de los muros a 5 para el primer piso y 6 para el segundo piso o para las edificaciones de un solo nivel. El UCBC permite una relación altura-grosor de 8. Esta relación aceptable entre altura y grosor se basa en los resultados obtenidos en el programa del GSAP. Los muros que cumplen con los valores máximos en su relación altura-grosor no requieren de medidas de fortalecimiento adicionales. El SHBC sugiere el uso de vigas collar de concreto armado o el de un diseño equivalente utilizando otros materiales, tanto a nivel del entrepiso como al nivel de techo.

Las fuerzas de anclaje no se consideran de manera explícita en el SHBC de 1998, pero el UCBC acepta a los valores asignados por el UBC. No se ofrece ninguna otra referencia para el tema del anclaje de los muros de adobe. Los valores derivados de los cálculos hechos en el UBC dan como resultado un espaciamiento muy estrecho entre los pernos de anclaje. En los modelos de edificaciones de muros moderados y gruesos que se ensayaron en el proyecto GSAP los anclajes se hicieron a intervalos mayores que los sugeridos por el UBC y no fallaron (Tolles et al. 2000). Sin embargo, las investigaciones del GSAP no se orientaron explícitamente a los temas del anclaje y de su espaciamiento en el caso de las construcciones de adobe.

Estos detalles para el diseño de construcciones de adobe conforme al UCBC o al SHBC son valores a utilizar en procedimientos de diseño simples, basados en criterios de resistencia. El cumplimiento de estas normas puede llevar a conclusiones equívocas (pues un edificio puede no ser seguro en caso de eventos sísmicos mayores) o bien puede ser tan sólo una distracción de los asuntos realmente importantes que deben considerarse para realizar un buen diseño.

Para ejemplizar la situación, supongamos que hemos de diseñar un edificio de adobe sencillo, de forma rectangular, cuyas medidas son 6.1 metros (20 pies) de ancho por 24.4 metros (80 pies) de largo, según se muestra en la figura 4.2. Los muros presentan una relación de altura-grosor de 4. Se trata de muros muy robustos y su volteo es poco probable si las condiciones de las bases son buenas.

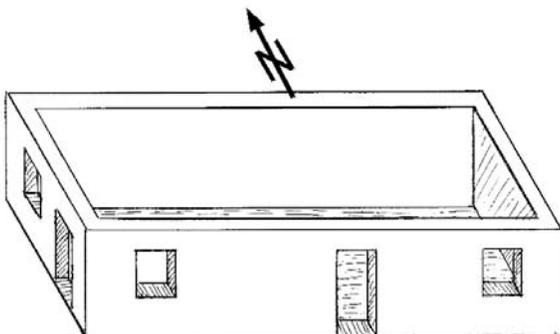
Basado en un análisis de estabilidad, los muros deberán tener anclajes nominales en su parte superior (a aproximadamente 1.20 m. ó 4 pies en el centro) y el sistema deberá atarse usando un diafragma flexible de baja resistencia o bien un sistema de cables. Podrían agregarse varillas verticales en el centro del muro a intervalos regulares o en sitios específicos, con el fin de limitar los daños en caso de eventos sísmicos mayores. Pero, con o sin dichas varillas centrales, sería extremadamente difícil que esta estructura colapse.

Basado en un análisis de resistencia, los anclajes de la parte superior de los muros deberán colocarse a intervalos cortos en el centro (de entre 20 y 30 cm. ó 8 a 12 pulg), el techo requeriría fortalecerse y esfuerzos de corte actuantes en los muros serían significativamente más altos que los que se tendrían con un sistema de techo más flexible. La preocupación principal estriba en distribuir las fuerzas fuera del plano a los muros en el plano, aun cuando el comportamiento sísmico real de este edificio no justifica este tipo de intervención.

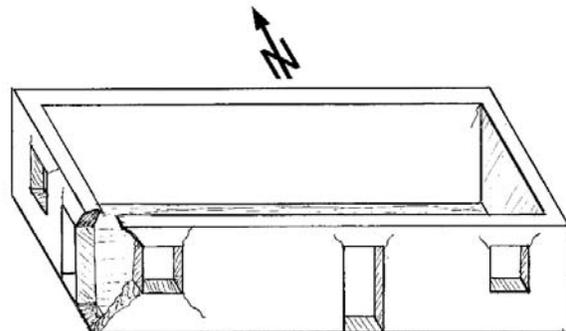
El problema más grave de este tipo de edificación puede ser su esquina suroeste. Tanto la ventana como la puerta se hallan muy cerca de esta esquina y esto podría dar como resultado el colapso de toda la esquina, aun con la presencia de anclajes en la parte superior del muro (fig. 4.3). El simple cumplimiento de los procedimientos basados en la resistencia, podría conducir a una falsa sensación de seguridad.

Un buen análisis basado en la estabilidad podría reconocer que esta área es problemática. Un mapa que localice los patrones predecibles de aparición de fisuras (consultar capítulo 7) permitiría la identificación de las áreas de potencial inestabilidad, permitiendo tomar medidas de adecuación sísmica (tirantes, cables o elementos verticales centrales), con el fin de evitar este tipo de inestabilidad local.

El diseño de edificios históricos de adobe deberá usar los procedimientos basados, en la resistencia, sólo como una guía muy general. Es más importante identificar las áreas de una edificación que pudieran ser frágiles y susceptibles de sufrir daños severos o incluso colapsar.



**Figura 4.2**  
Pequeña construcción de adobe, sin daños.



**Figura 4.3**  
Pequeña construcción de adobe, dañada.

---

## Capítulo 5

### **Clasificación de los daños sísmicos en construcciones históricas de adobe**

Resulta esencial documentar los daños ocasionados por terremotos fuertes para comprender de qué modo se comportan los edificios históricos de adobe durante este tipo de eventos. Si bien es cierto que algunas porciones de las construcciones de adobe y aun edificaciones enteras pueden colapsar durante un terremoto fuerte, *no* es cierto que las construcciones de adobe sean inestables simplemente porque sus paredes se hayan agrietado. Este capítulo describe los tipos de daños que pueden presentarse y el grado de daño que es dable esperar en construcciones históricas de adobe al ocurrir movimientos fuertes del suelo.

#### **Niveles de daño en diseños sismorresistentes**

El comportamiento de las construcciones de adobe varía de manera importante según sea la magnitud del movimiento sísmico. Mientras no sufra daños, un edificio se comportará de manera elástica durante un período corto. Mediante el uso de técnicas analíticas conocidas puede simularse este tipo de comportamiento dinámico. Si los muros de la construcción se hubieran agrietado, formando pedazos de muros de adobe independientes, entonces la utilidad de un análisis elástico convencional es cuestionable, pues el material de adobe ha perdido su continuidad. Una vez que se han producido fisuras, la estabilidad de los muros depende de la gravedad y cobra importancia la llamada fricción de Coulomb, generada a lo largo de las grietas existentes entre los diferentes segmentos de muro.

Es casi seguro que se generen grietas durante eventos sísmicos de gran magnitud, pues los esfuerzos que estos eventos generan en los muros muy probablemente excederán la capacidad de tracción del adobe como material. Al desarrollarse estas grietas, las características de respuesta dinámica de la estructura sufren cambios drásticos: la frecuencia de vibración fundamental disminuye de manera dramática y la magnitud de los desplazamientos de muro o segmentos de muro, pueden aumentar hasta en dos o tres órdenes de magnitud. El movimiento a lo largo de las grietas cobra importancia al cruzarse las distintas grietas, formando segmentos independientes de muros de adobe. De este modo, el comportamiento dinámico de una estructura de adobe dañada ya no puede predecirse mediante técnicas analíticas convencionales, ya que éstas pueden aplicarse sólo en modelos de respuesta elástica de edificios de adobe que no hayan sufrido daños.

#### **Comportamiento elástico**

El comportamiento elástico de la mayoría de las estructuras de adobe se caracteriza por una respuesta de relativamente alta frecuencia y por desplazamientos

pequeños de deformación estructural. A pesar de que el adobe presenta un módulo de elasticidad bajo (típicamente menor a 690 Mpa [100,000 psi]) en comparación con los módulos de elasticidad de otros materiales constructivos, los muros de las construcciones de adobe generalmente son muy gruesos, presentan menos aberturas y, por consiguiente, son relativamente rígidos. La frecuencia del modo principal de vibración de una construcción residencial típica de un solo piso está en el rango de entre 5 y 10 Hertz. Las estructuras más grandes de adobe, tales como las iglesias de las misiones por ejemplo, presentan frecuencias fundamentales más bajas antes de sufrir daños, pero estas frecuencias aun serían relativamente altas si se les compara con la frecuencia de vibración de las estructuras agrietadas.

### Agrietamiento inicial

Las construcciones históricas de adobe casi siempre presentan grietas generadas por actividad sísmica anterior, por deformación de los muros o por asentamiento de la cimentación. Los muros agrietados son una característica típica de este tipo de construcciones y las grietas generalmente se forman en áreas en las que se concentra altos esfuerzos, tales como las esquinas de aberturas (puertas y ventanas), en las intersecciones de muros perpendiculares y en la base de los muros. Las grietas en puertas y ventanas pueden formarse como resultado ya sea de fuerzas fuera del plano (flexión) o de fuerzas en el plano (corte) en los muros. Las grietas verticales o diagonales en la intersección de muros se dan como resultado de una combinación de fuerzas de flexión y de tracción. El movimiento fuera del plano de muros largos a menudo genera grietas horizontales cerca de la base del muro. Las cargas de gravedad inducidas por el peso del muro y por las cargas tributarias, influyen mucho en la altura de estas grietas horizontales. En los muros masivos de adobe de las iglesias de las misiones en California por ejemplo, las grietas horizontales generalmente se presentan a una altura de entre 1.5 y 3 m. (de 5 a 10 pies) por encima de la base de los muros.

El grosor de los muros es muy importante en el comportamiento de una edificación de adobe. Los muros moderados o gruesos se definen aquí en términos de la esbeltez de sus paredes o como la relación entre la altura y el grosor ( $S_L$ ) de los mismos:

- muro grueso:  $S_L < 6$
- muro moderado:  $S_L = 6-8$
- muro delgado:  $S_L > 8$

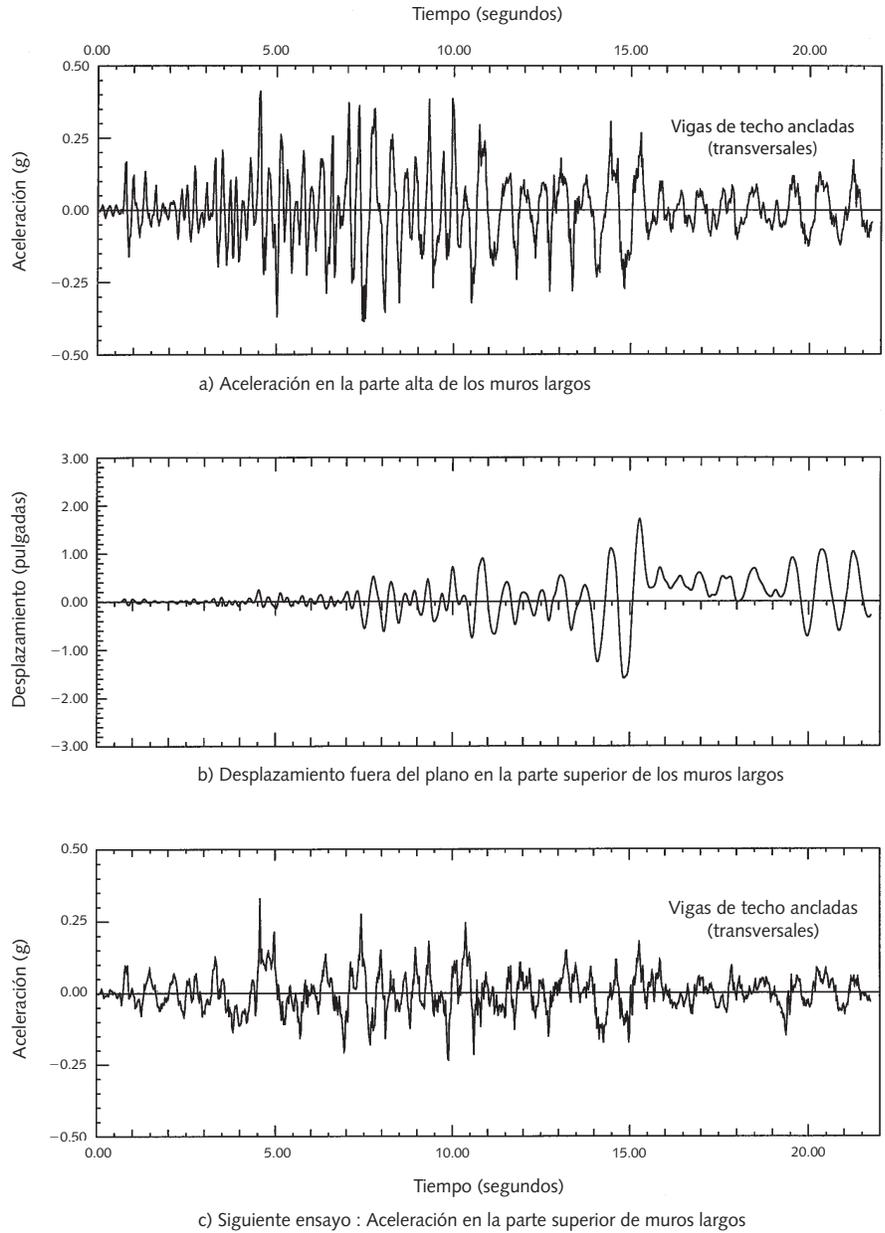
Los muros delgados de adobe pueden convertirse en inestables rápidamente tras la aparición inicial de grietas en los mismos. Sin embargo, una construcción de adobe con muros gruesos seguirá conservando un gran margen de estabilidad aun después de que hayan aparecido las primeras grietas. Una edificación de adobe deberá pasar por muchas modificaciones en sus características dinámicas y sufrir desplazamientos mucho mayores que los que se generen por la fisuración inicial, antes de convertirse en una edificación inestable.

### Cambios en el comportamiento dinámico

Las características dinámicas de un edificio de adobe se modifican dramáticamente con el desarrollo de grietas. En los muros largos y en movimientos fuera del plano, la frecuencia efectiva del movimiento disminuye y los desplazamientos dinámicos aumentan. El término *frecuencia efectiva* se utiliza como representación de la frecuencia aparente del movimiento en materiales no lineales. Este cambio de comportamiento se puede observar en la construcción de adobe a escala mostrada en la figura 5.1 sometida a ensayos sobre mesa vibra-

**Figura 5.1**

Gráficas que ilustran la aceleración fuera del plano de la parte superior de los muros, mostrando una disminución conforme aumentan los daños estructurales. El primer ensayo muestra (a) una disminución en las aceleraciones del muro con el paso del tiempo durante la vibración y (b) desplazamientos crecientes con el tiempo. En el siguiente ensayo (c), las aceleraciones son mucho menores, aun cuando el desplazamiento de la mesa vibradora aumentó en alrededor de un 30%.

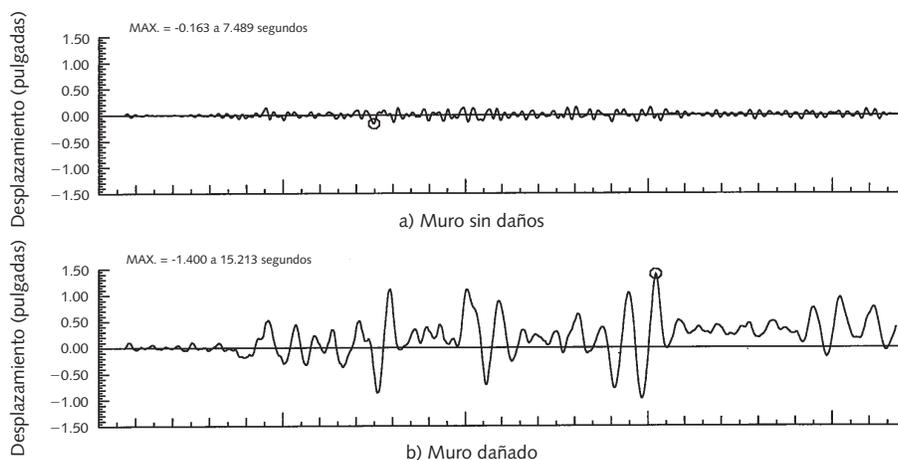


dora durante el GSAP. El primer registro (fig. 5.1a) muestra las aceleraciones del muro fuera del plano; el segundo registro (fig. 5.1b) muestra los desplazamientos de la construcción durante el movimiento de suelo, en funciones del tiempo. Mientras más tiempo dura un sismo, mayor daño se produce en la estructura. Hacia la mitad del registro, la aceleración del muro comienza a disminuir, la frecuencia de vibración fundamental disminuye y los desplazamientos empiezan a crecer drásticamente. La gráfica del tercer registro (fig. 5.1c) muestra la aceleración del muro en la siguiente prueba. Aunque el movimiento de la mesa de base es aproximadamente 30% mayor que en la prueba anterior, tanto el pico de aceleraciones del muro como el de la frecuencia efectiva han disminuido.

La diferencia de desplazamientos de muros fuera del plano entre edificios dañados y no dañados, es mostrada eficazmente por comparación directa entre el desplazamiento fuera del plano de un modelo de construcción dañado y uno no dañado durante la misma prueba. En los resultados que se muestran en la figura 5.2, el desplazamiento en la construcción dañada es casi

**Figura 5.2**

Comparación de desplazamientos fuera del plano durante una prueba de mesa vibratoria: (a) muro sin daños; y (b) muro después de la aparición de grietas importantes.



diez veces mayor que en la estructura no dañada. Aun con el gran aumento del desplazamiento, el valor mostrado para el muro dañado (fig. 5.2b) es apenas de una décima parte de lo necesario para voltear el muro.

Los desplazamientos y las aceleraciones de muros en su plano sufren cambios menos drásticos al desarrollarse las fisuras y generalmente no representan una amenaza para la estabilidad de una estructura de adobe. Al formarse las grietas y deslizarse los segmentos de muro, la fricción entre ellos limita los desplazamientos en el plano del muro mucho más que lo que la misma fricción limita dichos desplazamientos en dirección fuera del plano. Sin embargo, cuando se forman grietas diagonales en las esquinas de una construcción, podría presentarse una falla progresiva en el plano o fuera de él.

#### **Daño moderado a severo y posible colapso**

Al aumentar el grado de los daños sufridos por una construcción de adobe, el tamaño de las fisuras crecerá durante los ciclos de movimiento sísmico y la frecuencia efectiva de la construcción continuará bajando. Cuando el patrón de grietas se ha desarrollado por completo, cada muro se convierte en un conjunto de segmentos de forma irregular. Estos segmentos, separados por las *fisuras* del muro, pueden limitarse a una porción de la altura del muro o bien puede extenderse al piso siguiente. Un segmento de muro también puede extenderse desde un muro interior al contiguo o bien de una abertura a otra. A pesar de que la construcción puede tener fisuras completamente desarrolladas, cuyas intersecciones podrían haber formado segmentos independientes de adobe, es muy probable que la estructura siga siendo capaz de resistir movimientos considerables de tierra antes de desestabilizarse.

Los desplazamientos fuera del plano representan la mayor amenaza de derrumbe para las construcciones de adobe. Los tres factores principales que afectan la estabilidad fuera del plano (volteo) de muros seriamente fisurados, son: (1) el grosor y la relación de esbeltez (altura-grosor) del muro; (2) las restricciones que pueden limitar la deflexión en la parte superior (conexiones en el entrepiso o techo), o en los lados (muros perpendiculares) o entre los segmentos formados en el muro; y (3) el aumento de las cargas por gravedad provenientes del techo o de la estructura de entrepiso. Se pueden formar grietas verticales en los encuentros de los muros perpendiculares que los conviertan en inestables. Debe hacerse notar que se requiere poca restricción (fuerza) en la parte superior de un segmento para reducir de manera importante el potencial de volteo de dicho muro.

Los muros que no son portantes, aun cuando sean más cortos que los portantes, generalmente son los primeros en derrumbarse. Esto es así porque, en la mayoría de las construcciones históricas de adobe, con frecuencia estos muros están poco o mal conectados al techo o al entrepiso y su movimiento no es restringido por cargas tributarias. El riesgo es mayor para el tímpano de los muros, debido a su mayor esbeltez (relación altura-grosor) y a las escasas conexiones que tienen con los sistemas de techo y piso.

Los muros de carga también pueden colapsar y hay una gran probabilidad de que su colapso pudiera resultar catastrófico, tanto desde el punto de vista de la conservación de las estructuras como desde el punto de vista de la protección de vidas. En el caso de muros de adobe gruesos con fisuras formadas en su totalidad, la longitud de muro tendrá poco efecto sobre el potencial de volteo del mismo. Un muro de 30 m. (98 pies) de largo totalmente fisurado en su base y lados podría presentar un riesgo de colapso igual al de un muro de 4 m. (13 pies) de largo con grietas similares. Los principales factores que generan el colapso de un muro de carga son su grosor, su relación de esbeltez, y el grado de restricción que tenga en su parte superior. La dimensión longitudinal de un muro o de un segmento independizado puede tener poca probabilidad de volteo y colapso, si es que la parte superior del mismo está anclado al entrepiso o techo. Para evitar el volteo, resulta esencial una conexión adecuada entre los muros y el techo o entrepiso. La colocación inadecuada de las vigas de techo o entrepiso y la ausencia de una buena conexión pueden permitir que un muro de carga se desplace hasta dejar de sostener dichas vigas.

El daño debido al corte coplanar de los muros será mayor en caso de eventos sísmicos fuertes y pueden generar grietas diagonales en secciones de muros sin aberturas. El movimiento de los segmentos de muro puede aumentar al no cesar el movimiento del suelo, haciendo a estos pedazos de muro susceptibles a desplazamientos permanentes cerca de los extremos y a lo largo de las grietas diagonales.

### **Evaluación de la intensidad de los daños sísmicos**

Esta sección define, en términos generales, el nivel relativo y la ubicación de daños que pueden presentarse en construcciones de adobe a raíz de un terremoto y también discute la correlación existente entre la aceleración máxima del suelo y los niveles de daño.

### **Estados de daño**

Para poder describir y comparar los niveles relativos de daños sufridos por edificaciones a raíz de un terremoto, resulta útil contar con una guía normalizada que describa el incremento en la severidad del daño. Esta guía normalizada de estados de daño fue desarrollada por el Earthquake Engineering Research Institute (Instituto de investigación en ingeniería sísmica - EERI, por sus siglas en inglés) en 1994. La tabla 5.1 contiene una descripción de los niveles de daño, y una descripción correspondiente de daños en edificios históricos de adobe.

### **Tipología de daños**

Las subsecciones que siguen incluyen descripciones, figuras y fotografías de los tipos de daño observados en edificios históricos de adobe. Los tipos representativos de daño se ilustran en la figura 5.3 y se presenta un listado más completo en la tabla 5.2.

Resulta importante comprender la severidad relativa de los diversos tipos de daño y su relación con la seguridad de vida de los ocupantes y la

**Tabla 5.1**  
Prototipos de daño

Tipo de daño	Descripción del EERI	Comentarios sobre cómo estos daños afectan los edificios históricos de adobe
A. Ninguno	Ausencia de daño, pero podría cambiar. Sólo riesgo incidental.	No hay daño ni evidencia de nuevas fisuras.
B. Ligero	Daños menores en elementos no estructurales. Podría tener que cerrarse el edificio temporalmente, pero probablemente podría abrirse en menos de una semana tras su limpieza <sup>a</sup> . Sólo riesgo incidental.	Las fisuras preexistentes se han abierto ligeramente. Podrían haber comenzado a desarrollarse nuevas micro-grietas en las esquinas de las puertas y ventanas o en la intersección de muros perpendiculares.
C. Moderado	Daño fundamentalmente no estructural, pero podría haber daños estructurales menores, no graves. El edificio probablemente se cerraría entre 2 a 12 semanas <sup>a</sup> .	Daño de fisuras en toda la edificación. Grietas en los lugares esperados (aberturas, intersecciones de muros, desplazamientos entre marcos y muros). Los desalineamientos en las grietas son pequeños. Ninguna de las secciones de muro es inestable.
D. Extenso	Abundantes daños estructurales y no estructurales. Será de esperarse un cierre de largo plazo, debido a la cantidad de trabajo o a la búsqueda de financiamiento para reparar la estructura. Podrían ser comunes la presencia de sectores bien definidos donde se ponga en riesgo la vida de los ocupantes.	Abundante daño por la presencia de fisuras en todo el edificio. Los desalineamientos en las grietas son grandes en muchos sitios. Los segmentos entre grietas de los muros son inestables. El apoyo vertical para los pórticos de entresuelo y techo es débil.
E. Completo	Colapso total o daño cuya reparación no es económicamente viable. Se presentan riesgos de vida de los ocupantes en cada construcción que caiga dentro de esta categoría.	Daños muy generalizados. Colapso total o parcial de gran parte de la estructura. Debido a la pérdida de varios muros por colapso, la reparación del edificio requiere la reconstrucción de muchos de los muros.

<sup>a</sup> La duración del cierre es difícil de definir, pues depende fundamentalmente del tamaño de la edificación y del proceso que se emplee para efectuar las reparaciones. La reparación de monumentos históricos deberá llevarse a cabo de forma mucho más planificada que la manera típica en que se reparan los edificios modernos.

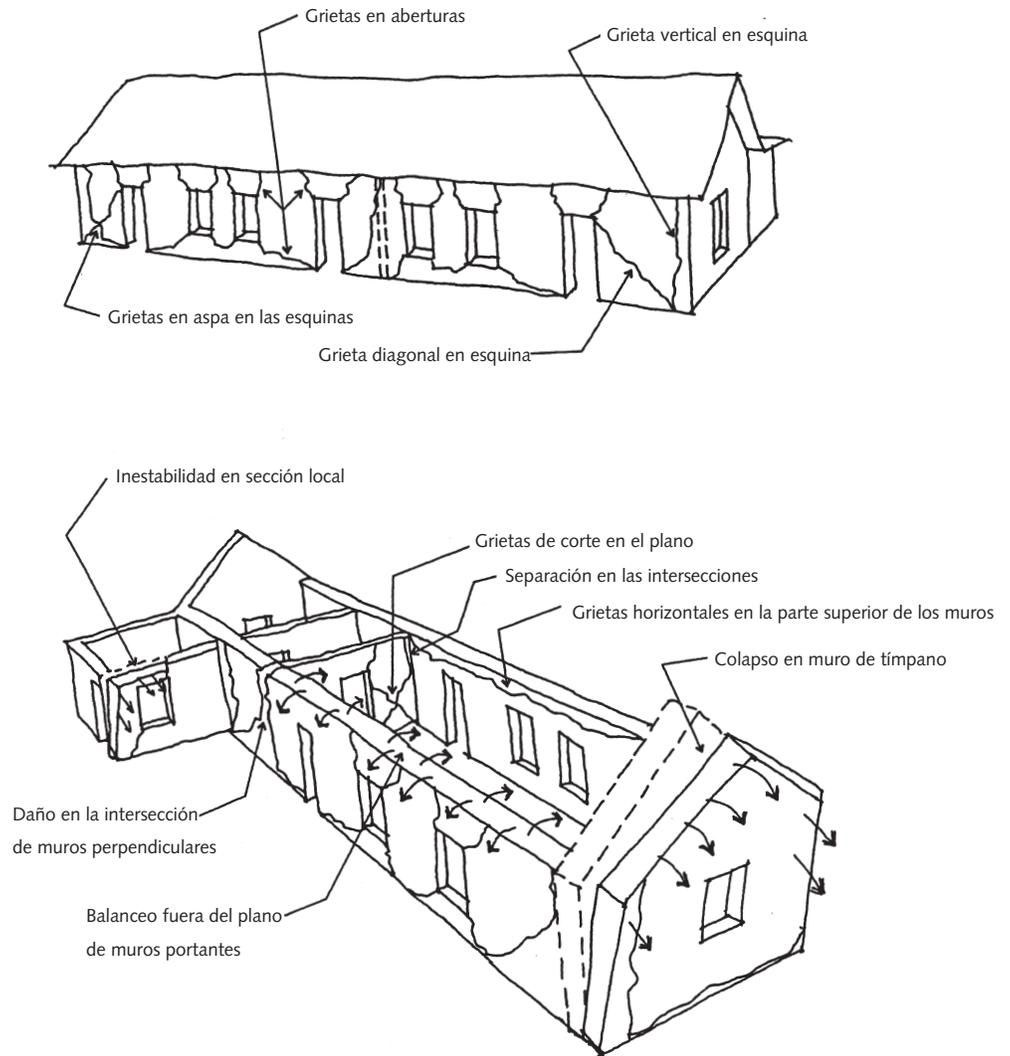
protección de construcciones históricas. Al hacerlo así, se pueden establecer prioridades para la estabilización, reparación y/o adecuación sísmica según el tipo de daño. Si existen altas posibilidades de que cierto sector o elementos específicos se pueda degradar rápidamente si no se interviene rápidamente, éstos adquieren alta prioridad con relación a otros. Si los daños sufridos por un elemento estructural vital, como el techo o un muro completo, aumentaran el riesgo de colapso, se debería priorizar su reparación para la seguridad de la vida de sus ocupantes. Si los daños que pudieran resultar en la pérdida de un elemento significativo de la construcción (como un muro que pusiera en riesgo la integridad histórica de toda una estructura) reparar éste sería crucial antes que reparar un daño que produzca sólo una falla parcial de la estructura y no una pérdida total de la misma.

La tabla 5.2 ofrece detalles sobre las posibles consecuencias en la seguridad de los ocupantes así como en la preservación de construcciones históricas para cada tipo de daño. Como se menciona en la tabla, ciertos tipos de daño generalmente no se consideran graves, pero pueden convertirse en serios si la estructura se somete a cargas mayores, a cargas de mayor duración o a los efectos de terremotos consecutivos, especialmente cuando no se llevan a cabo reparaciones correctivas después de los mismos.

En la mayoría de los casos los diferentes tipos de daño no actúan de manera independiente, sino combinada. De hecho, varios de los tipos de

**Figura 5.3**

Tipos de daño típicos observados en edificios históricos de adobe después del terremoto de Northridge en 1994.



daño son realmente consecuencia de otros.. En algunos casos, las relaciones específicas entre diferentes tipos de daño son sencillas, en tanto que en otros casos, estas relaciones pueden ser extremadamente complejas.

#### *Daños de muros por acciones fuera del plano*

Los muros de adobe son muy susceptibles a generar fisuras debido a los esfuerzos de flexión que ocasionan los movimientos de suelo fuera del plano. Las fisuras causadas por flexión fuera del plano generalmente ocurren en un muro ubicado entre dos muros transversales. Las grietas normalmente comienzan en cada intersección, se extienden vertical o diagonalmente hacia abajo hasta alcanzar la base del muro y luego se extienden horizontalmente a lo largo de éste. El muro se mece hacia delante y hacia atrás, fuera de su plano, rotando alrededor de la grieta horizontal de su base. Las fisuras ocasionadas por los movimientos fuera del plano son generalmente el primer tipo de daño que aparece en las edificaciones de adobe. Las grietas por acciones fuera del plano se inician en un muro de adobe no dañado cuando las aceleraciones máximas del suelo alcanzan aproximadamente 0.2 g.

Las grietas de muro ocasionadas por las fuerzas fuera del plano se presentan tempranamente, pero la extensión del daño no es seria, si es que se evita

Tabla 5.2

Tipologías de daño sísmico en estructuras históricas de adobe y su efecto en la protección de vidas y monumentos históricos.

Tipo	Descripción	Asuntos relativos a la protección de vidas y a la preservación de la construcción histórica
<b>Daños fuera del plano</b> Falla del tímpano	Los tímpanos sufren grietas severas que a menudo llevan a la inestabilidad. Son altos, no están bien conectados con el resto del edificio, presentan relaciones de esbeltez (altura-grosor) grandes y no soportan cargas verticales. Estos muros son altamente susceptibles al colapso.	El colapso de tímpanos es una amenaza seria para la vida de los ocupantes de una estructura y ocasiona grandes pérdidas en la construcción histórica.
<b>Daños fuera del plano</b> Grietas de flexión y colapso	Las grietas de flexión comienzan como grietas verticales en muros transversales, se extienden vertical o diagonalmente hacia abajo, hacia la base de los muros y se extienden horizontalmente hacia el siguiente muro perpendicular. <i>La existencia de grietas no significa necesariamente que un muro sea inestable.</i> Los muros pueden mecerse sin convertirse en inestables. Después del desarrollo de grietas, la estabilidad fuera del plano de un muro depende de la relación de esbeltez, de la conexión con la estructura, de las cargas verticales y de las condiciones del muro en su base.	Cuando los muros sólo desarrollan grietas y están estabilizados en su parte superior para evitar que se volteen hacia un lado, no tienen un tipo de daño severo. Muchos muros de carga en edificios de adobe con grandes daños, se comportaron de manera estable durante el terremoto de Northridge. El caso de volteo lateral de muros, es riesgoso para la vida de los ocupantes, pues no sólo se cae el muro, sino que también puede derrumbarse la estructura del techo.
<b>Daños fuera del plano</b> Grietas a media altura	Los muros largos, altos, esbeltos, con aparejos de una o dos hiladas verticales sin trabazón que interconecten las mismas, son susceptibles a la formación de grietas horizontales de media altura, debido a los movimientos sísmicos fuera del plano.	Los daños constituidos por grietas horizontales de media altura, no son graves por sí mismos, ni en relación con otros muros. Sin embargo, el potencial de daños mayores es importante. En caso de haber más temblores, el movimiento fuera del plano del muro podría causar que la parte superior o inferior del muro se desestabilicen y colapsen, lo que significaría una gran amenaza para la seguridad de los ocupantes.
<b>Daños en el plano</b>	Las grietas clásicas en "X" o diagonal son causadas por fuerzas de corte en el plano.	Las fisuras de corte en el plano generalmente no constituyen un riesgo para la vida de los ocupantes, Sin embargo, este tipo de daño puede ocasionar daños importantes a los muros y sus enlucidos, que pueden tener importancia histórica. Al presentarse desalineamientos horizontales y verticales a lo largo de estas grietas, los costos de reparación pueden llegar a ser muy altos y representar pérdidas de integridad histórica importantes.
<b>Daño en esquinas</b> Vertical	Pueden desarrollarse grietas verticales en las esquinas en uno o en ambos planos de la intersección de los muros.	El riesgo de vida es mínimo. Puede presentarse el colapso de toda una esquina cuando se presentan grietas verticales en ambos planos de la intersección, lo que resulta en una pérdida de construcción histórica y en una reparación costosa.
<b>Daño en esquinas</b> Diagonal	Las grietas diagonalmente diagonales que se extienden desde la parte inferior hacia la esquina superior de un muro, pueden ser ocasionadas por fuerzas de corte en el plano o por fuerzas de flexión fuera del plano.	El riesgo de vida es mínimo. Pueden ocurrir deslizamientos inclinados a lo largo de las fisuras diagonales que bajen hacia la parte inferior de una esquina. Si hubiera mucho deslizamiento vertical, podría resultar difícil reparar el muro, lo que pondría en riesgo la integridad histórica.
<b>Daños en esquinas</b> En aspa	Una grieta diagonal que se extienda desde una esquina inferior puede cruzarse con una grieta diagonal que venga desde la esquina superior, formando un agrietamiento en forma de aspa.	El riesgo de vida es mínimo. Un patrón complejo de fisuras puede llevar a desplomes importantes entre segmentos de muros. Los daños ocasionados podrían resultar difíciles de reparar lo que pondría en riesgo la integridad histórica.
<b>Grietas en aberturas</b>	Normalmente aparecen grietas en la parte superior de puertas y otras aberturas, propagándose vertical o diagonalmente hacia arriba. También pueden nacer grietas en las esquinas inferiores de las ventanas. Estas grietas pueden deberse a movimientos en el plano o fuera del plano.	El riesgo de vida es mínimo. Las grietas que se presentan en la parte superior e inferior de las aberturas generalmente no son graves, salvo en la medida en que afecten los enlucidos que podrían tener importancia histórica.

Table 5.2  
continued

Tipo	Descripción	Asuntos relativos a la protección de vidas y a la preservación de la construcción histórica
<b>Daños en las intersecciones de muros perpendiculares</b>	Los muros perpendiculares pueden separarse unos de otros y dañarse al golpearse entre sí.	El riesgo de vida es mínimo, a menos que se presenten problemas a raíz de este tipo de daño. El daño a la construcción histórica es mínimo, a menos que se desprendan los enlucidos de valor histórico.
<b>Deslizamiento entre muros y marcos de madera</b>	Las estructuras de techo, cielo raso y entrepiso a menudo se separan de los muros de adobe. Normalmente, en construcciones históricas las estructuras de madera no están o están mal ancladas a los muros de adobe.	Si el deslizamiento entre muros y marcos de madera no es grande, el riesgo es mínimo, pero su reparación podría ser costosa. Si el deslizamiento fuera importante, podría ser una indicación de que los muros se están convirtiendo en inestables, lo que presenta una condición de mucho riesgo de pérdida de vidas humanas. Generalmente, la construcción histórica es ligeramente comprometida.
<b>Daños en el muro o en las varillas de anclaje</b>	Las fisuras a menudo se inician a partir de los anclajes o traviesas estructurales. Resulta difícil evitar la concentración de esfuerzos en estos puntos y esto generalmente lleva a la aparición de grietas y de otros daños, como el aplastamiento del material.	El riesgo de pérdida de vidas humanas es mínimo, a menos que el daño puntual en un inicio lleve a problemas más severos al nivel de la estructura. El daño a la construcción histórica es puntual.
<b>Inestabilidad local de segmentos de muro</b>	Ciertas porciones de muro pueden convertirse en inestable como resultado de fisuras que surjan en las esquinas de la edificación y en las aberturas de ventanas y puertas.	En el área inmediata, el riesgo de pérdida de vidas humanas y el posible daño a la construcción histórica podrían ser de considerable importancia.
<b>Grietas horizontales en la parte superior del muro</b>	Pueden aparecer grietas horizontales cerca de la parte superior de los muros, en donde haya una viga collar o en donde el techo se ancle a la misma. Estas grietas son ocasionadas por una combinación de fuerzas horizontales y pequeños esfuerzos de compresión vertical que se presentan cerca de la parte superior del muro.	El riesgo es mínimo. Estas grietas se presentan cuando existen vigas collar o cuando el techo está anclado a los muros. Si las vigas collar no estuvieran ancladas a los muros, pueden deslizarse. De otro modo, generalmente sólo surge una grieta horizontal en la interfase, lo que no es particularmente importante.
<b>Contribución a la inestabilidad por daños de humedad</b>	Los daños de humedad en la base de los muros pueden ocasionar la inestabilidad de los mismos. En algunos casos, el muro podría derrumbarse fuera del plano, dado que un lado del muro habría sufrido debilitamiento o erosión. En otros casos, la saturación o la repetición de ciclos de humedecimiento y secado pueden debilitar la parte inferior de los muros de adobe, creando en la base planos de deslizamiento débiles y el colapso total del muro.	Importante riesgo de pérdida de vidas humanas. Los daños derivados de la humedad en la base de un muro pueden traer consigo inestabilidad y derrumbe de un muro que, anteriormente se hubiera considerado estable. La restricción de movimiento en la parte superior de un muro con este tipo de daño, tendrá poco efecto sobre la estabilidad del mismo.

que el muro se voltee. Los principales factores que afectan la estabilidad fuera del plano de un muro de adobe son los siguientes:

- ( $S_L$ ); Grosor del muro y relación de esbeltez.
- conexión entre los muros y el sistema del techo y/o entrepiso;
- si el muro es de carga o no;
- la distancia entre los muros transversales; y
- la condición de la base del muro.

La relación de esbeltez de un muro es un indicador fundamental de su estabilidad (de su resistencia al volteo). Resulta prácticamente imposible voltear un muro grueso ( $S_L < 6$ ); éste se deslizará horizontalmente sobre su base antes de voltearse. Por otra parte, los muros delgados ( $S_L > 8$ ) son muy susceptibles de voltearse o de pandearse a media altura.

La existencia de conexiones entre los muros y los sistemas de techo y/o entrepiso puede mejorar de manera significativa la estabilidad fuera del plano de un muro. No es necesario que el entrepiso o el techo se conecten como un sistema de diafragma completo, para que éstas sean capaces de mejorar la estabilidad fuera del plano de manera importante. Una viga collar hecha de madera o incluso un diafragma parcial de triplay pueden ser suficientes para estabilizar los movimientos fuera del plano de los muros. Incluso anclar un muro a un sistema de techo o de entrepiso sin fortalecer el diafragma puede tener un efecto positivo en la estabilidad fuera del plano de dicho muro. Las cargas verticales que descansan sobre la parte superior de los muros de carga más gruesos también sirven para estabilizar dichos muros. Al moverse un muro fuera de su plano, la carga se mueve hacia el borde del muro que oscila hacia arriba y resiste el volteo al empujar hacia abajo la esquina que se eleva.

Las condiciones de la base de un muro de adobe también pueden afectar su estabilidad fuera del plano. Las siguientes condiciones contribuyen a la inestabilidad fuera del plano o incrementan las posibilidades de volteo: erosión basal que reduce el área de soporte; contenido de humedad excesivo que reduce la resistencia; y ciclos consecutivos de humedecimiento y secado, los cuales también debilitan al adobe.

El colapso de cualquier muro es a todas luces una falla grave, que resulta en la pérdida de construcción histórica y conlleva un alto costo de reconstrucción, así como un grave riesgo para la seguridad e integridad de los ocupantes del edificio dañado.

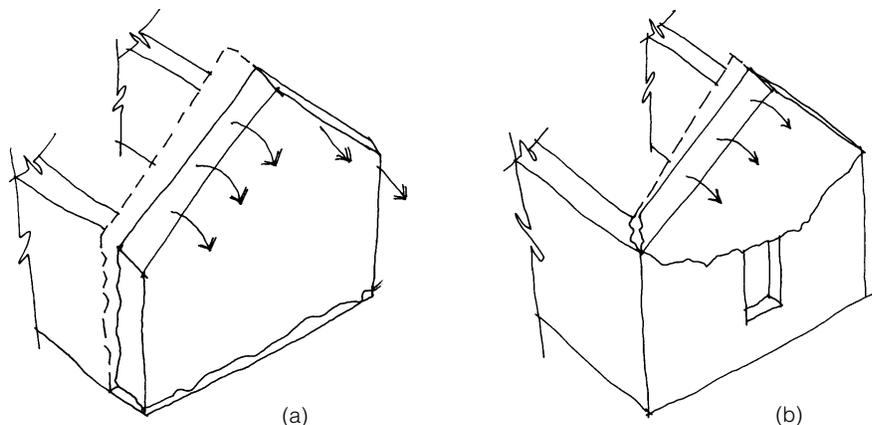
#### *Colapso de tímpanos*

El volteo (que es el tipo principal de daño que sufren los tímpanos) es un caso especial de falla fuera del plano que requiere una consideración específica, pues estos muros típicamente son los elementos más susceptibles a resultar dañados en las edificaciones históricas de adobe. Los tímpanos son altos y delgados, no soportan cargas y generalmente no están bien conectados con la estructura al nivel del entrepiso, ático o techo. Su volteo es ocasionado por movimientos de tierra perpendiculares (fuera del plano) a los muros. Pueden surgir problemas de inestabilidad debido a los movimientos sísmicos en el plano, cuando los segmentos de muro se deslizan a lo largo de grietas diagonales y se presenta inestabilidad por deslizamiento fuera del plano, especialmente en las esquinas.

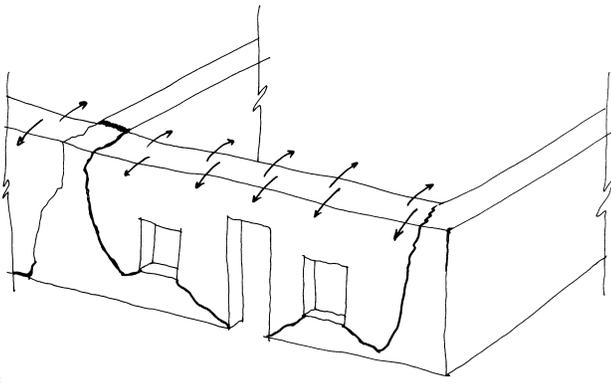
Los daños más severos provocan el colapso de todo un muro, lo que destruye grandes cantidades de construcción histórica y plantea una grave amenaza para la vida de los ocupantes (fig. 5.4a). La flexión fuera del plano puede o no ser grave, dependiendo del grado de agrietamiento y desplazamientos permanentes. Particularmente preocupante es el hecho de que un segmento

**Figura 5.4**

Colapso de muro de tímpano: (a) volteo desde la base del muro; y (b) colapso desde media altura.



de muro se independice del resto de la estructura debido al patrón de agrietamiento (fig. 5.4b). La inestabilidad de un segmento como el indicado se considera grave porque, al no tener restricción alguna, podría colapsar aun con movimientos sísmicos moderados.



**Figura 5.5**  
Flexión fuera del plano de muro portante.

#### *Grietas de flexión fuera del plano y colapso*

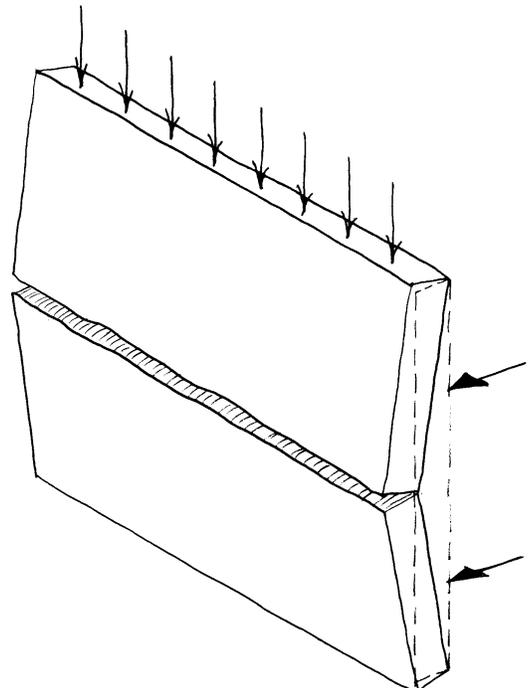
El agrietamiento por flexión fuera del plano es uno de los primeros tipos de fisuras que aparecen en las construcciones de adobe durante un evento sísmico. Este tipo de daño y el movimiento de oscilación asociado con él se ilustran en la figura 5.5. Los muros independientes, tales como los muros de jardín, son los más vulnerables al volteo, pues generalmente no hay ningún tipo de soporte horizontal a lo largo de los mismos, tal como el provisto por muros perpendiculares o por sistemas de techo o de entrepiso. Este tipo de muro, específicamente el muro Norte del jardín del convento de

la Misión de San Fernando, se volteó durante el terremoto de Northridge (fig. 5.6). Aunque este muro se construyó con bloques estabilizados de adobe y tenía una relación de esbeltez de 5, no fue capaz de resistir el balanceo severo fuera del plano al que se vió sujeto.

#### *Daños de flexión fuera del plano, a media altura*

En su mayoría, las construcciones históricas de adobe no son propensas a sufrir daños a media altura, debido a flexiones fuera del plano, pues sus muros generalmente son gruesos y presentan relaciones de esbeltez pequeñas. Sin embargo, pueden formarse grietas horizontales cuando los muros de carga son largos y la parte superior del muro está restringido por efecto de una viga collar o de una conexión al techo o al sistema de techo (fig. 5.7).

**Figura 5.6**  
Muro de cerco ( $S_L = 5$ ), sin apoyo, volteado. Misión de San Fernando después del terremoto de Northridge de 1994.



**Figura 5.7**  
Daño por flexión fuera del plano, a media altura.

Generalmente, este tipo de daño y su eventual mecanismo de falla, sólo se observa en edificios de mampostería de muros delgados ( $S_L > 8$ ).

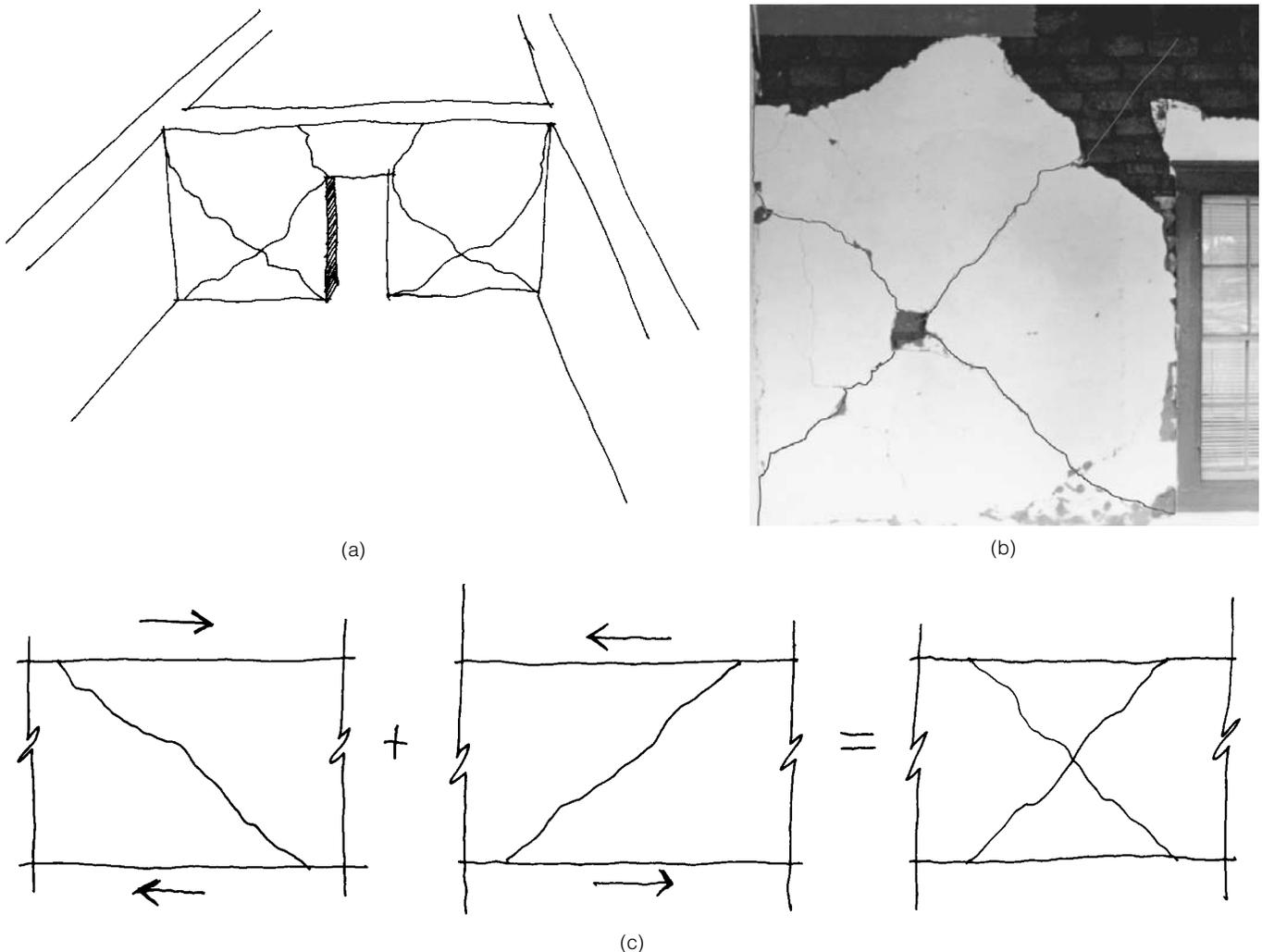
### Grietas de corte en el plano

Las fisuras diagonales (figs. 5.8a, b) son el resultado típico de la acción de fuerzas de corte en el plano. Las grietas son causadas por fuerzas horizontales que actúan en el plano del muro, lo que produce esfuerzos de tracciones en un ángulo de aproximadamente 45 grados con relación a la horizontal. Las grietas en forma de "X" se presentan cuando la secuencia de movimientos del suelo genera fuerzas de corte que actúan alternativamente en una dirección y en la opuesta (fig. 5.8c). Estas grietas a menudo se presentan en muros o en segmentos de muro entre aberturas de ventana.

La gravedad de las grietas en el plano se juzga por el grado de desplazamiento permanente (desfasamiento) que se presenta entre segmentos o bloques adyacentes del muro cuando termina la vibración sísmica. Una estructura puede sufrir daños severos cuando se presenta un desfasamiento horizontal en el plano en combinación con un desplazamiento vertical; es decir, cuando el patrón de grietas sigue una línea diagonal más directa y no forma un patrón "de escalera" a lo largo de las uniones del mortero. Las fisuras de corte diagonal pueden ocasionar graves daños durante movimientos de suelo prolongados, porque la gravedad opera constantemente en combinación con las fuerzas sísmicas agravando el daño.

**Figura 5.8**

Las ilustraciones muestran (a) el dibujo de grietas de corte en forma de "X" en un muro interior; (b) un patrón típico en "X" (edificio del Adobe de Leonis, Calabasas, California); y (c) la manera en que se forman las grietas en forma de "X" como resultado de una combinación de grietas de corte ocasionadas por movimientos sísmicos alternos en direcciones opuestas.



Tanto las grietas de corte en el plano, los daños en los puntos de anclaje de muro y las grietas horizontales, no se consideran daños graves. Sin embargo, aunque las fuerzas de corte en el plano no se consideren riesgosas desde el punto de vista de la vida de los ocupantes, sus efectos resultan costosos en términos de pérdida de construcción histórica. Las grietas de corte en el plano ocasionan daños severos a enlucidos y estucos de importancia histórica, tales como las pinturas murales.

#### *Daños en esquinas*

Frecuentemente, se presentan daños en las esquinas de las construcciones debido a la concentración de esfuerzos en la intersección de muros perpendiculares. Con frecuencia hay inestabilidad en las esquinas debido a que ninguno de los dos muros tiene restringido su movimiento y puede colapsar hacia afuera de la edificación.

#### *Grietas verticales en las esquinas*

Es común que aparezcan fisuras verticales en las esquinas durante la interacción de muros perpendiculares debido a la flexión y fracción de los movimientos fuera del plano. Este tipo de daño puede ser particularmente severo cuando se presentan grietas verticales en ambas caras, lo que permite el colapso de toda la esquina (fig. 5.9).

#### *Grietas diagonales en las esquinas*

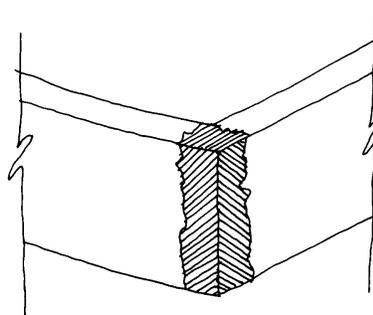
Las fuerzas de corte en el plano ocasionan grietas diagonales que comienzan en la parte superior de un muro y se extienden hacia la esquina inferior. Este tipo de grieta da como resultado que parte del muro se mueva lateralmente y hacia abajo durante movimientos de suelo prolongados. Este tipo de daño es difícil de reparar y puede requerir una reconstrucción. En la figura 5.10 se ilustra este tipo de daño.

#### *Combinaciones con otros tipos de grietas o daños preexistentes*

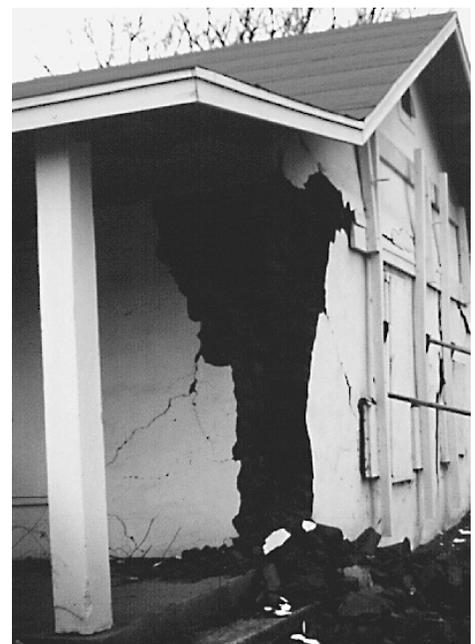
Una combinación de grietas diagonales y verticales puede dar como resultado un muro de adobe con fracturas severas y muchos pedazos de dicho muro podrían ser propensos a grandes desfases o al colapso. La figura 5.11 (consultar también la figura 5.9a) ilustra un ejemplo de sección de muro altamente vulnerable a daños graves. Las grietas diagonales en esa zona permiten el movimiento

**Figura 5.9**

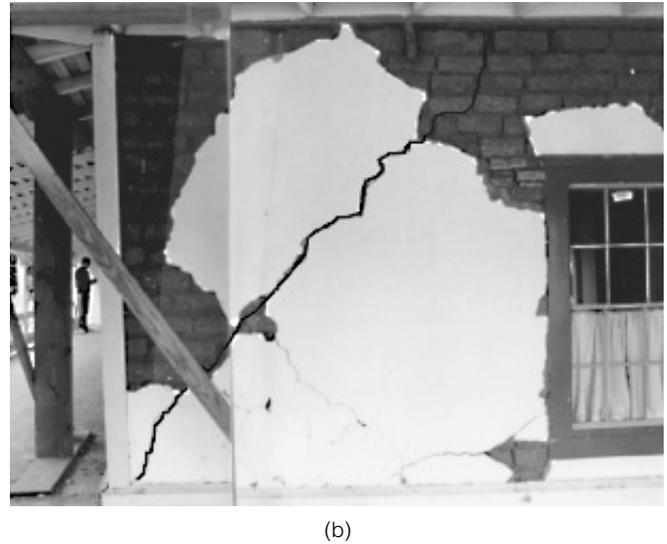
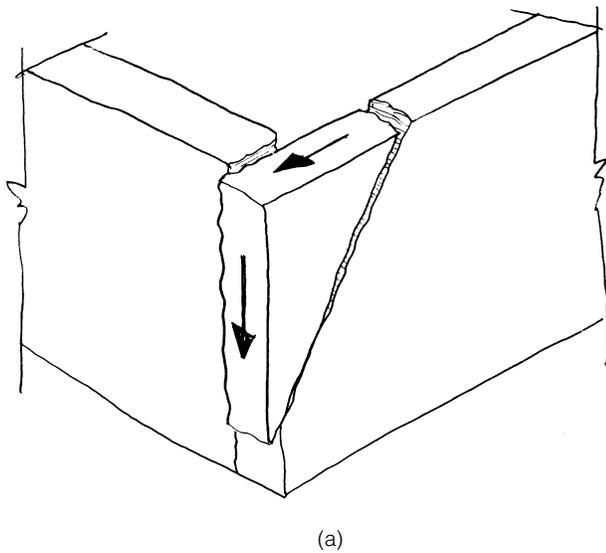
Ilustraciones que muestran (a) cómo las grietas verticales en las esquinas pueden conducir a la inestabilidad de la intersección y (b) ejemplo de colapso de esquina (construcción del Adobe de Sepúlveda, Calabasas, California).



(a)

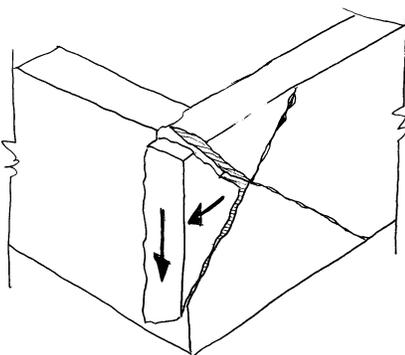


(b)



**Figura 5.10**

Grietas de esquina: (a) ilustración de desplazamiento vertical hacia abajo y horizontal de una porción de muro en esquina y (b) ejemplo de segmento de muro desplazado (edificio del Adobe de Leonis).



**Figura 5.11**

Ilustración que muestra la forma en que una combinación de grietas de corte y de grietas de flexión pueden dar como resultado el desplazamiento o el colapso de esquina.

**Figura 5.12**

Ilustración de grietas que se originan en puntos de concentración de esfuerzos: (a) grietas que aparecen primero en las esquinas superiores de la abertura de una ventana, seguidas por grietas en las esquinas inferiores; y (b) grietas en esquinas superiores de una abertura de puerta.

hacia fuera de las secciones agrietadas del muro. Las esquinas pueden ser más propensas al colapso si se presentaran grietas verticales y la base del muro estuviera debilitada por humedad preexistente.

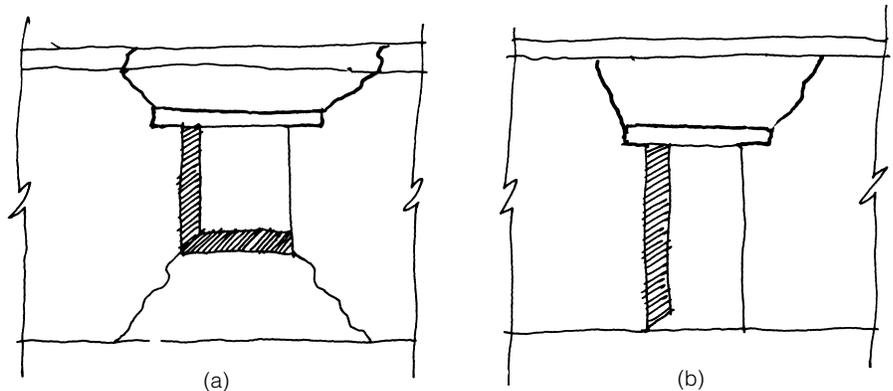
#### *Grietas en las aberturas*

Se forman grietas en las aberturas de ventanas y de puertas con mayor frecuencia que en ninguna otra zona de una edificación. Además de los terremotos, el asentamiento de la cimentación y la deformación debida a la absorción de humedad en la base de los muros pueden también causar fisuras. Las grietas en las aberturas se deben a la alta concentración de esfuerzos en estos sitios y a la incompatibilidad física entre el adobe y los dinteles de madera. Las fisuras pueden empezar tanto en las esquinas superiores como en las inferiores de las aberturas y extenderse diagonal o verticalmente hasta alcanzar la parte superior de los muros, según se ilustra en la figura 5.12.

La aparición de grietas en las aberturas no es necesariamente una señal de daños graves. Los pedazos de muro a cada lado de las aberturas generalmente evitan que estas grietas se transformen en desfases importantes. Sin embargo, en algunos casos, estas fisuras forman pequeños segmentos sobre las aberturas, los mismos que podrían dislocarse y representar un riesgo para la seguridad.

#### *Intersección de muros perpendiculares*

Es frecuente que se presenten daños en el punto de intersección de muros perpendiculares. Un muro puede mecerse fuera del plano mientras el muro perpen-



dicular se mantiene muy rígido en su plano. La aparición de daños en estos puntos es inevitable durante los grandes movimientos de suelo y puede significar la aparición de brechas entre los muros perpendiculares (fig. 5.13a) o la aparición de fisuras verticales en el muro fuera del plano (fig. 5.13b). Este tipo de daño puede ser importante cuando se forman grandes grietas y daños asociados en la estructura del techo. Un anclaje de los muros al sistema de estructura horizontal o a otros elementos de continuidad, pueden reducir mucho la gravedad de este daño.

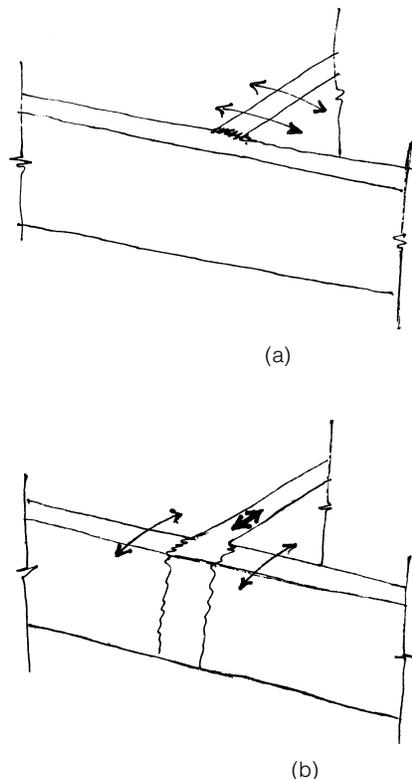
Los daños que aparecen en el encuentro de muros perpendiculares generalmente no son graves desde un punto de vista de la seguridad de los ocupantes. Sin embargo, al presentarse los daños en esquina, los muros adyacentes quedan aislados y se comportan como muros libres. Si esto ocurre, aumenta de manera significativa la posibilidad de volteo o colapso, lo que puede resultar en una amenaza grave a la integridad y seguridad de los ocupantes. Además, en caso de ocurrir desfases permanentes de importancia, su reparación podría ser difícil y costosa.

#### *Deslizamiento entre muros de adobe y estructuras de techo o de entrepiso*

Suele presentarse deslizamiento entre la estructura horizontal de entrepisos o techos y los muros de adobe. En las construcciones típicas de adobe, hay poca unión entre los muros y el sistema de techos. Las viguetas del entre piso o del techo generalmente se embuten en muescas hechas en la parte superior de los muros. El sistema de techo se asienta directamente sobre la parte superior de los muros, con o sin placas para recibirlas. En estas prácticas, es muy común observar deslizamientos permanentes entre la estructura de techo y el muro de adobe (fig. 5.14) y las fallas de este tipo pueden ir desde lo cosmético hasta lo grave. Los muros de adobe pueden deslizarse hacia afuera debajo de la estructura del techo, lo que podría llevar al colapso del muro y del techo. Esto también se ha observado en construcciones de adobe más recientes en las que se

**Figura 5.13**

Ilustraciones que muestran: (a) el modo en que puede presentarse una separación entre muros en el plano y fuera del plano; y (b) el modo en que ocurren grietas verticales en muros fuera del plano en las intersecciones con muros perpendiculares en el plano.



**Figura 5.14**

Desfasamiento entre viguetas de entrepiso y muro de tímpano y muro portante (construcción del Adobe Del Valle, Museo de Rancho Camulos, Piru, California).

han usado vigas collar de concreto y en las que, como resultado de la falta de una unión mecánica entre el muro de adobe y la viga collar, los muros se desplazan hasta salirse de abajo de la viga collar rígida.

El deslizamiento entre muros y techos normalmente no es grave en términos de su impacto en la construcción histórica. En algunos casos, el área de soporte en el muro de las viguetas de techo resulta inadecuada y el deslizamiento puede ser una amenaza grave para la integridad personal. Sin embargo, a menos que otras partes de la estructura fallen al mismo tiempo, no es muy probable que un deslizamiento excesivo ocasione el colapso del techo. Desde luego que, si los dos muros que sostienen el techo se desplazaran hacia fuera, entonces la situación se tornaría extremadamente crítica, pudiendo presentarse el catastrófico colapso de todo el techo.



**Figura 5.15**

Falla de anclaje de la varilla de acero; la placa de anclaje se ha hundido en el muro.

#### *Daños en los puntos de anclaje*

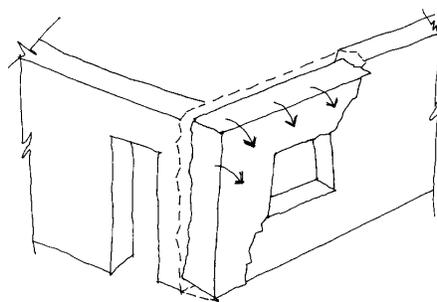
El propósito de los puntos de anclaje (varillas de sujeción) es el de mantener un muro bien unido contra otro perpendicular o contra un diafragma. Resulta común instalar puntos de anclaje después de la presencia de daños por terremoto o por asentamiento. Después de que esto ocurre, pueden surgir daños de muros en dichos puntos de anclaje, dada la concentración de esfuerzos que se crea durante los movimientos de suelo. (fig. 5.15). Resulta difícil colocar con éxito puntos de anclaje en muros de adobe, pues el adobe mismo es débil en esfuerzos de corte y tracción. Con el fin de diseñar puntos de anclaje eficaces, es importante comprender el comportamiento físico de los bloques y el mortero de adobe, alrededor de dichos puntos de anclaje.

#### *Inestabilidad local*

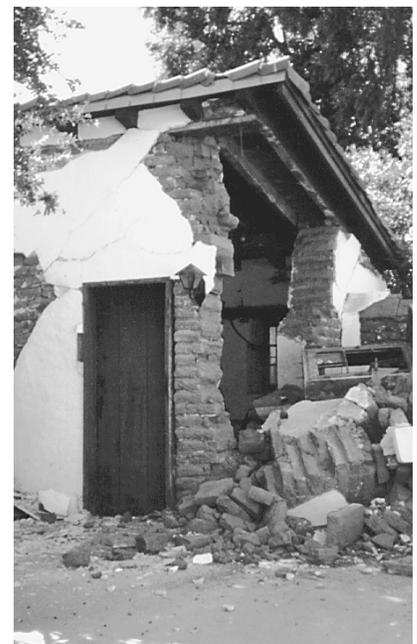
Ciertas partes de una construcción de adobe pueden tornarse inestables después de la formación de grietas y esto es particularmente cierto en el caso de segmentos de muro que se aislen del resto de la edificación debido a que las aberturas en los muros están muy próximas a las esquinas. La figura 5.16 muestra un ejemplo de este tipo de problema. La propensión a la inestabilidad local puede predecirse evaluando el patrón general de grietas que pueda presentarse durante un terremoto. La aparición de fisuras en las aberturas y esquinas generalmente puede predecirse, y los segmentos de muro defini-

**Figura 5.16**

Inestabilidad local: (a) ilustración de cómo una parte local de muro, puede volverse inestable, si el patrón de grietas origina la formación de un bloque aislado susceptible de colapso; y (b) ejemplo de falla de segmento de muro de garaje como resultado de la formación de grietas en las aberturas de ventana y puerta (construcción del Adobe de Andrés Pico, Mission Hills, California).



(a)



(b)

dos por el patrón de grietas, puede entonces examinarse para determinar cuál de ellos podría tornarse inestable durante movimientos del suelo.

#### *Grietas horizontales en la parte superior de los muros*

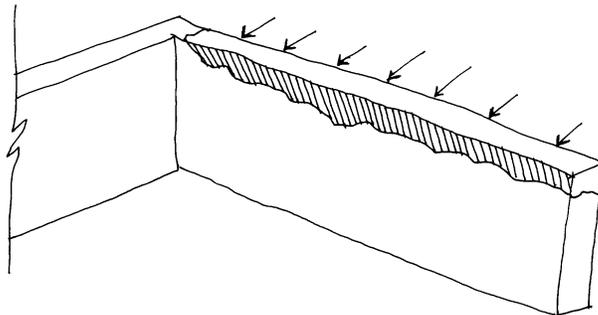
Cuando los muros están anclados al sistema de techo o a una viga collar, pueden aparecer grietas horizontales en la parte superior de los muros. Como consecuencia de movimientos fuera del plano o de movimientos en el plano, pueden surgir grietas horizontales en la unión entre un muro y la viga collar o entre un muro y el sistema de techo o en las proximidades de estas áreas, según se ilustra en la figura 5.17a. En la fig. 5.17b se muestra un ejemplo de este tipo de fisura. Se ha presentado una grieta en la parte inferior de una viga collar de concreto, pero el daño no era grave y la viga collar parece haber funcionado de manera eficaz. Otro ejemplo de este tipo de falla se presentó en la parte superior de los muros de otra estructura histórica de adobe, según se muestra en la figura 5.17c. Parece haber cierto grado de anclaje del techo con el muro. Típicamente, sino hay anclaje, el techo o la estructura del mismo puede deslizarse respecto a la parte superior del muro antes de que se desarrollen grietas horizontales.

**Figura 5.17**

Grietas horizontales: (a) ilustración de la forma en que las fuerzas laterales pueden producir una grieta horizontal en la parte superior del muro cuando un techo o una viga collar se unen al muro; (b) ejemplo de grietas horizontales en la base de una viga collar de concreto armado (construcción del Adobe López, San Fernando, California); y (c) grietas horizontales en la sección superior del muro del segundo piso (construcción del Adobe de Andrés Pico, Mission Hills, California).

#### **Efecto de las condiciones preexistentes**

Las condiciones preexistentes pueden tener una profunda influencia en el comportamiento sísmico de una construcción de adobe. Llevar a cabo una evaluación de las condiciones de cualquier construcción histórica de adobe antes de que ocurra un terremoto, puede ayudar a determinar los tipos y gravedad de problemas que podrían presentarse durante un evento sísmico.



(a)



(b)



(c)

### Daño por humedad

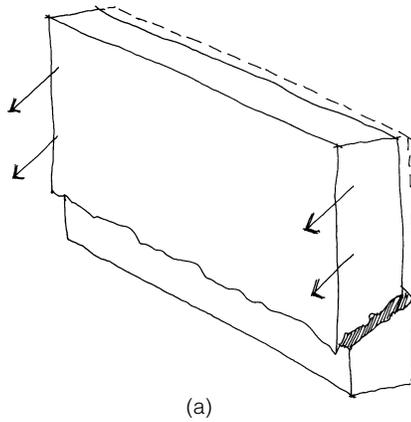
El agua es la amenaza no sísmica más seria para los edificios de adobe, tanto en áreas de alta como de baja sismicidad. El agua puede dañar un muro de adobe al erosionar partes del muro y reducir la resistencia del material. La *erosión basal*, que consiste en la desintegración y pérdida de una porción de un muro de adobe en su base, puede deberse al flujo del agua de lluvia por la superficie o a la caída de agua desde el techo, que salpica contra la base del muro. También puede deberse a la absorción de agua por capilaridad que luego se desplaza hacia la superficie del muro para poder evaporarse. El agua puede contener sales solubles que se cristalizan cerca de la superficie al evaporarse. En el proceso de cristalización, las sales se expanden y pueden fracturar el adobe. El depósito y la cristalización constantes de sales solubles van erosionando lentamente la superficie. El grado de erosión basal puede aumentar por el efecto abrasivo del viento y la arena, así como por efecto de los orificios hechos por animales, entre ellos los insectos, y el crecimiento de plantas.

Independientemente de la causa de erosión basal, el resultado es que el área del muro que soporta las cargas se reduce. Cuando las cargas exceden la fuerza de compresión del material, se presenta la falla. Es posible que un muro se vuelva inestable y se voltee si es que una de las caras del muro se erosiona lo suficiente.

Cuando el adobe de la base de un muro se debilita por efecto de la humedad, puede desarrollarse un plano débil y la parte superior del muro puede deslizarse y derrumbarse a lo largo de este plano, según se ilustra en la figura 5.18a. Esta condición se muestra de forma muy clara en la figura 5.18b, en donde se ve la falla de un muro en la esquina de la cocina. El adobe de la base del muro se había debilitado por una repetida exposición a la humedad, lo que hizo que se desarrollara un plano débil de falla y pareciera ser que el muro se deslizó a lo largo de este plano, derrumbándose. Un modo de falla similar fue la causa probable del problema que se ilustra en la figura 5.18c. Cuando se derrumba un muro, la ubicación del escombros puede dar información sobre la probable ubicación de la falla original. El muro que se muestra en la figura 5.18c parece haberse derrumbado sobre sí mismo, pues la parte superior del muro se halla sobre la pila de escombros muy cerca de la posición original del muro. Si se hubiera producido un volteo, la parte superior del muro se habría encontrado a mayor distancia de la ubicación original del muro.

La principal diferencia entre el comportamiento del adobe y el de otros materiales de mampostería, tales como el ladrillo o la piedra, consiste en la dramática reducción de resistencia que experimenta el adobe cuando se moja. El ladrillo y la piedra pueden saturarse y sin embargo mantener una gran proporción de su resistencia, mientras que mucho antes de alcanzar su grado de saturación, las fuerzas de compresión y tracción del adobe pueden reducirse entre un 50% y un 90%. Esta reducción de capacidad puede dar como resultado que un material falle aun bajo condiciones normales de carga.

Cuando la humedad ocasiona una reducción en su resistencia, el adobe comienza a deformarse lentamente y esta deformación se acelera conforme el adobe va absorbiendo cada vez más humedad. La aparición de un ensanchamiento en la base de un muro de adobe es señal de este tipo de asentamiento o deformación. La repetición de ciclos de humedecimiento-secado también puede reducir de manera importante la resistencia del adobe. Cuando el componente de arcilla del adobe pasa en repetidas ocasiones de un estado húmedo a uno seco y viceversa, la unión entre las partículas de la arcilla y otros elementos se rompe, lo que da como resultado un material debilitado, aun cuando el adobe se haya secado.



(a)

**Figura 5.18**

Ilustración que muestra: (a) la manera en que los daños ocasionados por la humedad pueden ocasionar la formación de un plano de debilidad a lo largo del cual una porción de muro puede deslizarse; ejemplos que muestran la manera en que (b) los daños ocasionados por la humedad contribuyeron al colapso de la esquina del muro de la cocina (construcción del Adobe de Andrés Pico); y (c) los daños por humedad en la parte inferior de un muro contribuyeron al colapso catastrófico de estos dos muros (construcción del Adobe Del Valle).



(b)



(c)

No es necesario que un muro de adobe esté húmedo al momento de ocurrir un terremoto, para que el agua sea la principal causa de falla. La reducida resistencia del adobe dañado por agua da como resultado muros especialmente propensos a sufrir daños o colapso. El desprendimiento de pedazos de enlucidos de tierra pueden haber sido ocasionado por una combinación del movimiento sísmico y una debilitada adherencia entre el adobe y el material del enlucido. Esto se ilustra en la figura 5.19. Si toda la sección de un muro se humedeciera o si el adobe se hubiera debilitado por la repetición de ciclos de humedecimiento-secado, el muro podría presentar una falla súbita (consultar figura 5.18c).

**Figura 5.19**

Desprendimiento del revestimiento exterior y parte del muro de adobe en la zona inferior de un muro dañado por el agua (construcción del Adobe de Andrés Pico).



**Muros fuera de su plomo**

Los muros desalineados verticalmente pueden acabar por voltearse, lo que probablemente constituya el daño más grave que pueda ocurrirle a una construcción de adobe durante un terremoto, tanto en términos de riesgo para la integridad física y la vida, como en términos de la probable pérdida de construcción histórica y generalmente del alto costo de reparación. Cuando un muro de adobe ha perdido el plomo, será más propenso a colapsar que cuando un muro es casi vertical. Por ejemplo, un muro de 50 cm. (20 pulgadas) de espesor que se hubiera desalineado entre 2.5 y 5 cm. (1–2 pulgadas) y no presente daños provocados por humedad, tiene pocas probabilidades de hallarse en grave peligro de voltearse. Sin embargo, si se hubiera desalineado unos 15 cm. (6 pulgadas), podría ser extremadamente vulnerable al volteo en caso de un terremoto, a menos que se uniera firmemente a otros elementos estructurales de la construcción.

**Grietas preexistentes**

Las grietas preexistentes aumentan la susceptibilidad de un edificio a sufrir daños sísmicos en caso de ocurrir movimientos de suelo moderados. Estas fisuras podrían haber aparecido por efecto de terremotos previos, por deformación de los muros, o bien por asentamiento de las cimentaciones. Las construcciones de adobe presentan una gran probabilidad de sufrir daños severos cuando el movimiento de suelo es intenso (con una aceleración máxima del suelo [PGA, por sus siglas en inglés] de 0.4 g), prescindiendo de la condición de las construcciones antes del evento. No obstante, si los movimientos de tierra son moderados (PGA de 0.2 g.), el nivel de daño que sufra un edificio dependerá en gran medida de las condiciones existentes antes de ocurrir el terremoto, y se espera que el daño sea mucho mayor durante un movimiento moderado de suelo en caso de haber habido grietas preexistentes.

---

## Capítulo 6

### Resultados del Getty Seismic Adobe Project

La investigación llevada a cabo en el Getty Seismic Adobe Project (GSAP) se diseñó con el propósito de entender las diferentes formas de daño sísmico que sufren las estructuras de adobe, con la intención de verificar si pudiera resultar apropiado aplicar un enfoque de estabilización para diseñar sistemas de adecuación sísmica en edificios históricos de adobe y profundizar el conocimiento de los detalles sobre el modo de poner en práctica dichos sistemas. El esfuerzo de investigación incluyó tanto una revisión de la información pertinente publicada como la recolección de experiencias, el análisis de daños históricos y recientes en las edificaciones de adobe, la realización de estudios teóricos y la conducción de ensayos sobre mesa vibradora de modelos de construcción de adobe. Dada la complejidad del comportamiento dinámico de los edificios de adobe, se puso énfasis en las pruebas de mesa vibradora de los modelos a escala.

Durante el período de investigación del GSAP, se presentó el sismo de Northridge, California, en 1994, tras el cual se realizó un estudio de daños que brindó valiosa información sobre el comportamiento sísmico de algunos edificios históricos de adobe (Tolles et al. 1996). La combinación de las valiosas observaciones de campo hechas después del terremoto de Northridge y de los resultados obtenidos en el curso de un amplio y dinámico programa de investigación hizo posible el desarrollo de teorías, herramientas y técnicas de adecuación sísmica de edificios históricos de adobe, eficaces y sobre todo, respetuosas de las construcciones históricas.

En el presente capítulo, así como en el apéndice A, se presenta una breve revisión de los enfoques adoptados en el GSAP, así como los resultados obtenidos. Para mayores detalles, consultar Tolles et al. 2000, y Ginell y Tolles 2000.

#### **Medidas de adecuación sísmica investigadas y experimentadas**

Durante el programa de pruebas del GSAP, se evaluó el concepto de un diseño basado en la estabilidad, y algunas medidas de adecuación sísmica capaces de conferir estas propiedades a edificaciones con muros de adobe. Las principales medidas de adecuación sísmica investigadas en el GSAP fueron aquellas que tenían un efecto mínimo sobre los monumentos históricos. Estas medidas, incluían lo siguiente:

- cables horizontales en la parte superior e inferior de los muros
- tirantes verticales
- varillas verticales centrales
- diafragmas parciales de madera
- vigas collar de madera
- conexiones al nivel de entepiso y techo entre muros, viguetas y cables horizontales exteriores

Los tirantes o cables horizontales y verticales tienen el propósito de reducir el movimiento y el desplazamiento relativos de los segmentos en los que se dividen los muros de adobe durante un sismo. Al instalar estos refuerzos, las construcciones de adobe continúan manteniéndose estables, mientras se disipan grandes cantidades de energía por fricción. La estabilidad concedida permite a las estructuras mantenerse en pie. Los tirantes y cables se conectan a través de los muros usando amarres transversales de lado a lado.

Se llevaron a cabo pruebas con refuerzos de varillas verticales centrales de diámetro pequeño, con el fin de evaluar un método de adecuación sísmica que no afecte las superficies de los muros, pues a menudo éstos presentan enlucidos históricamente importantes. Los resultados de estas pruebas mostraron que las varillas centrales son extremadamente eficientes en retrasar la aparición de grietas, para reducir daños irreparables y, en general, para mejorar el comportamiento de un edificio. Aunque se han utilizado elementos internos de mayor diámetro (10–15 cm. [4–6 pulgadas]) en muchos otros tipos de edificios, el diámetro de las varillas probadas en el curso de este programa fue el equivalente a 1.3–2 cm. (0.5–0.8 pulgadas) en edificios de tamaño real.

Se usaron diafragmas parciales para probar la hipótesis de que el uso de diafragmas completos no es necesario para estabilizar estructuras con muros gruesos, ya que se requiere poca fuerza en la parte superior de éstos para evitar su volteo. (En el caso de muros delgados [ $S_L > 8$ ] podría ser necesario el uso de diafragmas completos.) El anclaje en muros de adobe es un problema serio, pues las cargas se concentran en las conexiones y pueden exceder el esfuerzo cortante del adobe, que es relativamente bajo. Por esa razón, se utilizó un sistema de anclaje alternativo que conecta la estructura del entrepiso del ático con un cable horizontal perimetral. En movimientos sísmicos severos no se detectó signo alguno de falla alrededor de estas conexiones dúctiles. Tras el terremoto de Northridge de 1994, se detectaron fallas en los puntos de anclaje al nivel de entrepiso, en sistemas de adecuación sísmica recientemente instalados en la Mansión de Pío Pico.

Aunque no se investigaron a profundidad, se hicieron pruebas con algunos otros elementos de adecuación sísmica. Se experimentó con cortes de cierra en los muros como un intento de redirigir la trayectoria de las grietas, de manera que éstas no afectaran zonas estructuralmente críticas, sino otras de menor importancia. Se usaron amarres locales con el fin de conectar partes de muro previamente separadas por fisuras. No obstante, la colocación de amarres en puntos en los que potencialmente podrían aparecer grietas requiere conocer los patrones de agrietamiento específicos de cada edificio. Algunos puntos de agrietamiento son predecibles, pero otros ocurren al azar y dependen de la combinación de detalles locales de construcción y distribución de esfuerzos.

También se experimentó con sistemas de anclaje en la parte superior de los muros (con varillas, por ejemplo) similares a los utilizados en diseños convencionales, pero éstos no fueron el foco central en los estudios del GSAP. El sistema de anclaje al nivel de entrepiso que usa amarres conectados al cable horizontal perimetral resultó ser un método muy eficaz y dúctil para conectar la estructura del entrepiso con los muros de carga exteriores.

Se llevaron a cabo experimentos dinámicos mediante el uso de mesas vibratorias en modelos de edificios a escala, con el fin de determinar la eficacia de las medidas de adecuación sísmica seleccionadas y su influencia en la estabilidad general de dichos edificios. Se construyó un total de once modelos de edificios a escala, sometiéndolos a pruebas con niveles crecientes de excitación del suelo:

- Los modelos 1–6 eran estructuras sencillas, de cuatro muros, de escala reducida (1:5) y sin sistemas de techo.
- Los modelos 7–9 eran modelos pequeños (escala 1:5) con tímpanos en dos muros, que incluían ático, entrepiso y estructuras de techo.
- Los modelos 10 y 11 fueron construídos a mayor escala (1:2) e incluían la presencia de tímpanos. Eran prácticamente idénticos a los modelos 8 y 9. Estos modelos se construyeron con la intención de documentar el comportamiento dinámico de las edificaciones y medir las tensiones en elementos específicos del sistema de adecuación sísmica estructural.

Los objetivos principales que se querían alcanzar con el uso de modelos a diferentes escalas fueron los de reunir datos numéricos y comparar el comportamiento dinámico de los mismos, específicamente con el fin de evaluar la influencia de las cargas de gravedad en las modalidades de falla estructural.

### Resumen de los resultados de la investigación

Los resultados del programa de investigación mostraron con claridad la aplicación de la teoría de que las medidas basadas en un enfoque de estabilidad estructural, pueden ser eficaces tanto para proteger la construcción original como la integridad física y la vida de los ocupantes en construcciones históricas de adobe. Los primeros modelos que se sometieron a pruebas demostraron la eficacia general de las medidas de adecuación sísmica y el resto de la investigación se enfocó en llevar a cabo estudios paramétricos, a identificar modalidades de falla y analizar la forma en que pudieran funcionar estos tipos de medidas de adecuación sísmica. Algunos de los valores numéricos obtenidos en el curso de las pruebas llevadas a cabo con modelos a mayor escala pueden utilizarse para estimar las cargas máximas en elementos estructurales y de adecuación sísmica similares. Es posible diseñar elementos de adecuación sísmica utilizando estos valores pero está claro que, al trabajar con estructuras históricas de adobe sobre las cuales se tenga información incompleta, deberá aplicarse un cierto criterio de ingeniería.

Asegurar la continuidad de toda la estructura es el aspecto más importante que deberá observarse al diseñar un sistema de adecuación sísmica y, en términos generales, el comportamiento global del sistema se ve afectado de manera secundaria por el grosor de los muros. Los edificios con muros más gruesos ( $S_L < 8$ ) son inherentemente más estables, siempre y cuando el adobe no haya sufrido daños y se halle en buenas condiciones. Su estabilidad fuera del plano se debe fundamentalmente a la resistencia a la rotación que presenta la base de los muros. Se requiere de un mínimo de fuerzas restrictivas para asegurar una estabilidad fuera del plano y éstas pueden ser provistas usando tirantes o cables horizontales o bien varillas verticales de anclaje en la parte superior de los muros.

Pueden usarse tirantes o cables verticales para conferir estabilidad fuera del plano en estructuras de adobe de muros más delgados o para mejorar la ductilidad de dichos muros durante un movimiento prolongado del suelo. Los muros que colapsaron en los modelos sin adecuación sísmica (modelos 8 y 10) no colapsaron, cuando se reforzaron con tirantes verticales y horizontales (modelos 9 y 11), aun cuando dichos muros se dañaron severamente.

La inserción de varillas verticales en el centro de los muros es una medida de adecuación sísmica muy eficaz, especialmente cuando dichas varillas están en contacto continuo con los muros de adobe. La eficacia de esta medida de adecuación sísmica fue particularmente evidente en el modelo a mayor escala (modelo 11), en el cual se logró exitosamente reducir los daños en el plano y fuera del plano, a la formación de únicamente grietas menores.

Los cementos epóxicos resultaron eficaces para anclar las varillas en los muros de adobe de las edificaciones ensayadas gracias a la penetración irregular de la resina epóxica en el adobe circundante. Con este tipo de unión, las varillas centrales actuaron como refuerzos, fortaleciendo los ensambles de muro. Aun si la unión entre adobe y resina epóxica no fuera particularmente fuerte, las varillas centrales funcionan de manera satisfactoria, pues obran como eficaces barras de corte entre las secciones adyacentes del muro agrietado. Al trabajar de este modo, las varillas centrales mejoran en gran medida tanto la fuerza en el plano como la fuerza fuera del mismo, así como la estabilidad de los muros de adobe.

---

## Capítulo 7

### El proceso de diseño

Antes de adentrarse en el proceso de diseño de las medidas de estabilidad sísmica, el equipo de planificación deberá dedicar tiempo y esfuerzo a identificar los objetivos que puedan alcanzarse a través de la adecuación sísmica de una edificación de adobe. Existe una amplia gama de objetivos posibles, así como de combinaciones de opciones y como primer paso deberá hacerse una selección racional de dichos objetivos y opciones, basada en el establecimiento de prioridades. Todos los códigos de construcción especifican que la prioridad más alta es la de proteger la integridad física y la vida de los ocupantes de una estructura. En el caso de los edificios históricos de adobe, la adecuación sísmica deberá cumplir con objetivos de diseño adicionales, tales como:

- tener un efecto mínimo en la integridad de la construcción histórica;
- minimizar los cambios en la apariencia de la construcción;
- poder remover la intervención con un efecto mínimo en la estructura o en su apariencia;
- proteger selectivamente determinados detalles arquitectónicos o históricos;
- dirigir los daños hacia áreas de menor importancia;
- minimizar los daños durante terremotos leves o moderados (Magnitud Richter menor a 6);
- minimizar los daños estructurales durante terremotos mayores (Magnitud Richter mayor a 6).

Aunque todas estas opciones son objetivos de diseño deseables, es inevitable el tener que priorizar entre ellos. Es necesario seleccionar objetivos que (1) sean compatibles desde un punto de vista de ingeniería; (2) sean viables dentro del presupuesto con el que se cuente; y (3) sean congruentes con las prioridades establecidas por el equipo de planificación. La selección de los objetivos principales de diseño habrá de determinar el tipo de intervención o la combinación de las mismas que resulte más adecuado para cada caso determinado. Las que siguen son algunas de estas posibilidades:

- **Niveles mínimos de intervención:** en el caso de estructuras con muros medianos o gruesos, sería posible lograr niveles razonables de seguridad sísmica, así como una importante reducción de riesgo de vida de los ocupantes, usando simplemente anclajes en la parte superior de los muros.
- **Niveles moderados de seguridad e intervención:** Un diseño más completo puede incluir tirantes verticales y horizontales, un sistema de redundancia estructural, un fortalecimiento del sistema de techo y/o la adición de vigas collar.

- **Altos niveles de seguridad y control de daños:** Puede usarse varillas verticales al centro de los muros, en conjunción con otras medidas de adecuación sísmica para aumentar de manera significativa los niveles de seguridad y reducir el impacto en la construcción histórica, así como la probabilidad de daños estructurales severos.

La anterior no es una lista completa, pero da una idea de la gama de soluciones con las que cuenta el proyectista de la adecuación sísmica.

El proceso de diseño deberá ceñirse a la siguiente secuencia lógica:

1. Desarrollar una estrategia de diseño global que dé continuidad al edificio y diseñar un sistema que confine toda la construcción. Es importante que la base del diseño de adecuación sísmica permita al edificio funcionar como un sistema integrado.
2. Predecir los lugares de aparición y el patrón de agrietamiento que pudiera presentarse durante grandes terremotos, y dedicarse a los problemas potenciales de estabilidad y las modalidades de falla probables que pudieran presentar cada segmento de muro agrietado según lo predicho.
3. Diseñar medidas de adecuación sísmica capaces de asegurar la estabilización de cada segmento del muro agrietado y limitar los daños permanentes a niveles aceptables.

Los anteriores temas básicos de diseño son el tema principal de este capítulo. Sin embargo, es importante considerar el tema de la severidad de los terremotos.

### **Diseño en función de la severidad de un terremoto**

Al inicio de la selección de diseños de refuerzo sísmico para un edificio de adobe habitado, lo primero que se debe plantear es obtener información sobre la probabilidad de ocurrencia de terremotos, los niveles de magnitud sísmica dable de esperar y los tipos y ubicación de aquellos elementos de las construcciones históricas que requieran máxima protección. Los anteriores factores deberán considerarse al momento de formular un diseño global que garantice una continuidad estructural integral (consultar “Temas integrales de diseño” en la sección a continuación) y que minimice la ocurrencia de los tipos de falla más importantes (tales como el volteo de muros, el colapso de muros que se genere a media altura y la falla hacia afuera o colapso de las esquinas) o de fallas que surjan de una combinación de movimientos en el plano y fuera del mismo. Las construcciones de adobe pueden tener un comportamiento estructural muy flexible durante un terremoto, si simplemente sus muros y el techo se encuentran bien unidos entre sí.

El tema de la seguridad de la vida de los ocupantes debe resolverse independientemente de que el nivel del sismo de diseño del proyecto sea mayor o menor. No obstante, todo análisis llevado a cabo durante el diseño de un sistema de adecuación sísmica deberá brindar seguridad durante el evento sísmico más grande que se haya pronosticado.

### **Para los terremotos más frecuentes, de menores a moderados**

Puede elegirse una estrategia de estabilización sísmica que disminuya los daños. Si bien un sistema de adecuación sísmica basado en la estabilidad incrementa en gran medida la seguridad de la vida de los ocupantes, podría ser insuficiente para disminuir el daño durante estos terremotos. Los daños ocurridos durante terremotos menores y moderados pueden ser tratados con medidas que tengan

poco efecto sobre la estabilidad estructural integral. Por ejemplo, en una edificación que presente grietas preexistentes ocasionadas por daños sísmicos, en la cual se hubiera utilizado un sistema de adecuación sísmica basado en la estabilidad, podría ser deseable reparar las fisuras con mortero a presión. Aunque el relleno de las grietas preexistentes no tendrá efectos importantes en la estabilidad estructural de la construcción durante eventos sísmicos fuertes, podría tener un efecto importante en el daño de la obra durante terremotos menores.

#### Para terremotos mayores

Podría ser difícil reducir todos los daños en caso de un terremoto severo, pero algunas medidas de adecuación sísmica son mejores que otras para controlar más eficientemente los daños estructurales. Estas medidas pueden ser más caras e invasivas que otras, pero su incorporación al diseño de adecuación sísmica puede reducir la severidad de los daños sufridos durante un evento sísmico mayor y prevenir pérdidas catastróficas.

#### Temas integrales de diseño

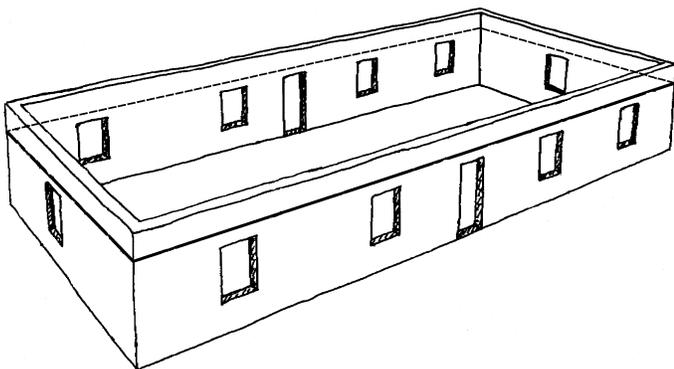
El reconocimiento de los temas integrales de diseño es el punto de partida del proceso. Los elementos básicos de un diseño integral son:

- elementos horizontales superiores de muro (obligatorio)
- elementos verticales de muro (opcional, salvo en el caso de estructuras de muros delgados)
- elementos horizontales inferiores de muros (opcional)

#### Elementos horizontales superiores de muro

Estos elementos son los más importantes de la adecuación sísmica de una construcción de adobe, porque la modalidad de falla más común es el volteo; los elementos superiores son diseñados para evitar este tipo de falla. Por lo tanto, la medida inicial de un diseño integral consiste en instalar elementos horizontales superiores de muro, según se muestra de manera conceptual en la figura 7.1; estos elementos horizontales llevan a cabo las siguientes funciones:

- Otorgan anclaje al techo o entrepiso;
- Otorgan resistencia y rigidez fuera del plano;
- Establecen continuidad en el plano.



**Figura 7.1**

Ilustración que muestra elementos horizontales superiores de muro usados para evitar el volteo fuera del plano y los desplazamientos en el plano. Dichos elementos pueden estar constituidos por una viga collar, por tirantes usados en conjunto con sistemas de entrepiso o techo o por un diafragma parcial.

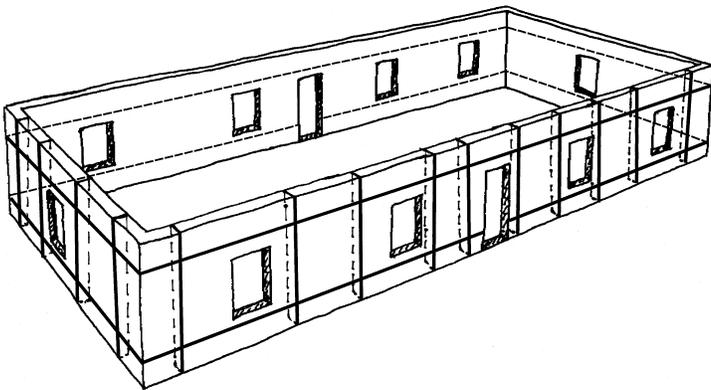
Existen tres tipos de elementos superiores de muro que son (1) diafragma parcial hecho de triplay; (2) viga collar de concreto o de madera; (3) tirantes exteriores de nylon o de acero, conectados con el techo flexible o entrepiso existente. La instalación de vigas collar de concreto puede requerir la eliminación de una parte importante de la estructura de techo y, por lo tanto, una gran pérdida de construcción histórica; esta pérdida no resulta tan grande si se instalan vigas collar de madera.

Además de evitar el volteo, los elementos horizontales superiores de muro garantizan también una continuidad en el plano, lo que evita que los segmentos de muro que forman las fisuras, se salgan del plano del mismo. El empleo de una viga collar de tirantes o cables horizontales, garantiza una continuidad en el plano, pues éstos son elementos continuos a todo lo largo de los muros. Un diafragma

parcial de triplay puede estar constituido simplemente por una hoja de triplay de 1.20 m. de ancho clavada en la parte superior de las viguetas de techo. Los diafragmas parciales de triplay deberán contemplar miembros templadores similares a los usados en el diseño de diafragmas convencionales. Estos miembros garantizan la continuidad en el plano a lo largo de los muros reforzados y pueden actuar como portadores de fuerzas “de ala” de la viga del diafragma parcial de triplay. El uso de varillas verticales embutidas en el muro y conectadas con la viga collar o diafragma de techo, es asimismo altamente eficaz para conseguir la continuidad.

### Elementos verticales de muro

Los elementos verticales de muro pueden mejorar sustancialmente la flexibilidad de una estructura durante movimientos de suelo telúricos prolongados y pueden ayudar a minimizar la extensión de los daños en caso de eventos sísmicos mayores. El grosor de los muros y el nivel de seguridad deseado determinarán si se usan elementos verticales. Entre los ejemplos de elementos verticales de muro se cuentan los tirantes de nylon y los tirantes o cables de acero, y todos ellos deberán conectarse a las superficies tanto interiores como exteriores de los muros. El uso de elementos verticales puede aumentar de manera importante la “ductilidad” de los muros, tal como se muestra junto con elementos de muro superiores e inferiores, en la figura 7.2.



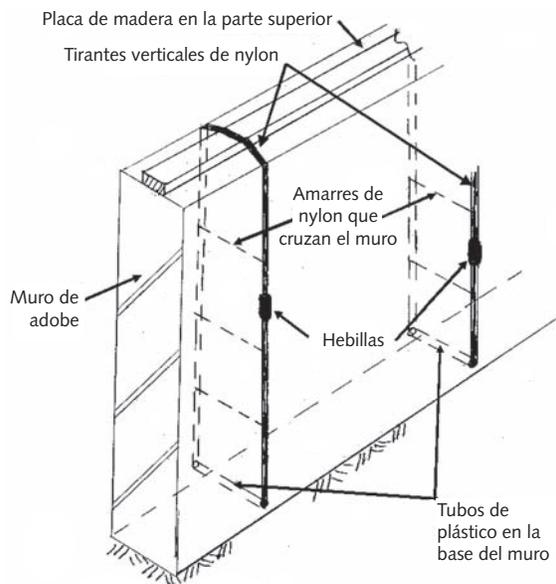
**Figura 7.2**

Ilustración que muestra la forma en que los elementos verticales agregan flexibilidad y redundancia al sistema estructural, restringiendo el desplazamiento de segmentos de un muro agrietado. Estos elementos pueden ser tirantes de superficie o bien varillas para su inserción en el centro de los muros.

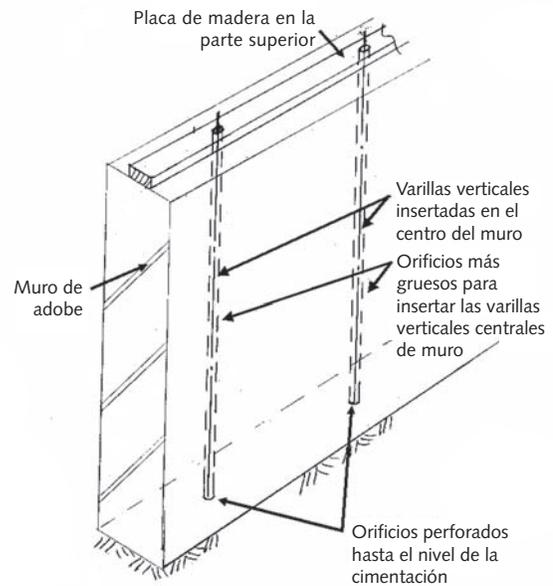
La necesidad de contar con elementos verticales de muro es más importante en el caso de las estructuras de adobe con muros delgados. Los muros gruesos presentan una menor probabilidad de requerir el uso de tirantes verticales, sin embargo, el empleo de varillas centrales de muro puede ayudar a reducir los desplazamientos de corte. Los muros medianamente gruesos pueden reforzarse con elementos verticales, con el fin de mejorar el comportamiento de los mismos y reducir desplomes durante terremotos prolongados.

Los muros de adobe delgados ( $S_L \geq 8$ ) requieren el uso de tirantes verticales (fig. 7.3), de varillas centrales de muro (fig. 7.4) o de algún otro tipo de tratamiento que ayude a evitar fallas fuera del plano. Las varillas centrales de muro, embutidas en orificios con un diámetro mayor al de dichas varillas, relleno el espacio sobrante con resina epóxica, poliéster o alguna mezcla cementosa o bien la instalación de tirantes verticales a ambos lados de un muro, pueden utilizarse como elementos de refuerzo para evitar fallas fuera del plano. Las varillas centrales de muro embutidos en agujeros rellenos se adhieren bien al adobe, ya que el material de relleno se adhiere de manera irregular al mismo. En el caso de muros más gruesos de adobe, los elementos centrales de muro tienden a actuar como varillas de corte más que como refuerzos para la flexión. Aunque el comportamiento de los muros en presencia de las varillas podría analizarse en términos de un refuerzo flexible, la principal función de las varillas centrales de muro es el de ser varillas de corte, por lo que deberá hacerse un análisis basándose en esta función.

El diámetro de las varillas centrales usadas en muros a escala natural puede variar entre los 12 y 25 mm (0.5–1 pulgada), y las varillas deberán insertarse en orificios de un diámetro mayor según el material utilizado para anclarlas. Las investigaciones hechas por el GSAP se basaron en un prototipo de muro de adobe de 41 cm. (16 pulgadas) de ancho y en estos muros las varillas de 17 mm. (0.67 pulgadas) de diámetro tuvieron un funcionamiento



**Figura 7.3**  
Ilustración de tirantes verticales y amarres que atraviesan un muro de adobe.



**Figura 7.4**  
Dibujo de varillas verticales insertadas en el centro de un muro de adobe.

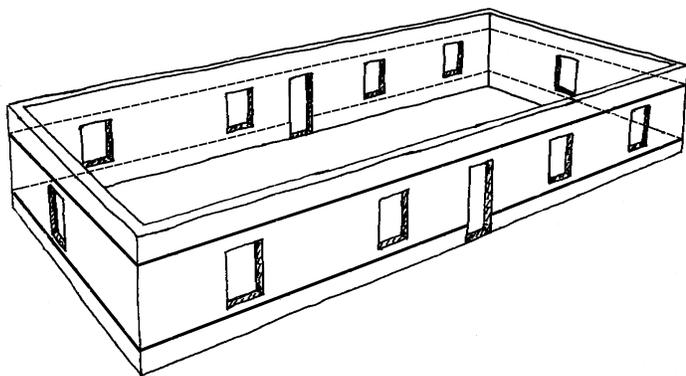
satisfactorio sin relleno. Se deberá usar varillas de diámetro pequeño y orificios de menos de 50 mm. (2 pulgadas) de diámetro, pues los elementos centrales más gruesos podrían actuar como “puntos duros”, los mismos que podrían ayudar a partir el muro de adobe, que es un material de baja resistencia.

#### Elementos horizontales inferiores de muro

Los elementos horizontales inferiores de muro pueden utilizarse para mejorar el comportamiento de los muros de adobe, evitando que los segmentos de muro agrietado se “salgan” a lo largo del plano. En algunos casos, una porción de muro podría desplazarse hacia un vano de puerta, aunque los problemas

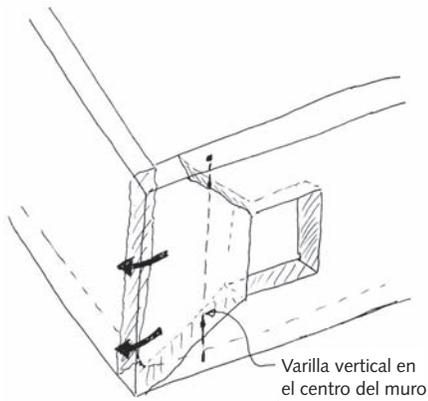
más graves, suelen presentarse en los extremos de los muros, en donde los segmentos de muro formados por las grietas no encuentran restricciones y pueden desplazarse hacia fuera de la base. En algunos casos, las reparaciones pueden contemplar tan sólo el relleno de grietas, pero en otros casos, si el muro no fuera restringido de manera adecuada, podría ser necesario reconstruirlo completamente. En la figura 7.5 se muestra un dibujo esquemático de elementos superiores e inferiores de muro.

Los elementos horizontales inferiores de muro pueden consistir en tirantes o cables y aun contrafuertes. Una de las características críticas de



**Figura 7.5**  
Ilustración que muestra el modo en que los elementos horizontales inferiores de muro pueden evitar desplazamientos en la base de los mismos.

los elementos horizontales inferiores de muro es el de la conexión en el extremo, pues pueden generarse grandes cargas cuando los segmentos de muro entre fisuras tienden a moverse hacia afuera. Un medio efectivo para asegurar este tipo de soporte es el uso de varillas elementos centrales de muro con el fin de estabilizar aquellas porciones de muro que pudieran fallar a lo largo de las grietas diagonales que los forman, según se muestra en la figura 7.6. La varilla vertical central de muro atraviesa la fisura diagonal e impide el deslizamiento de las partes del muro agrietado actuando como una varilla de corte.



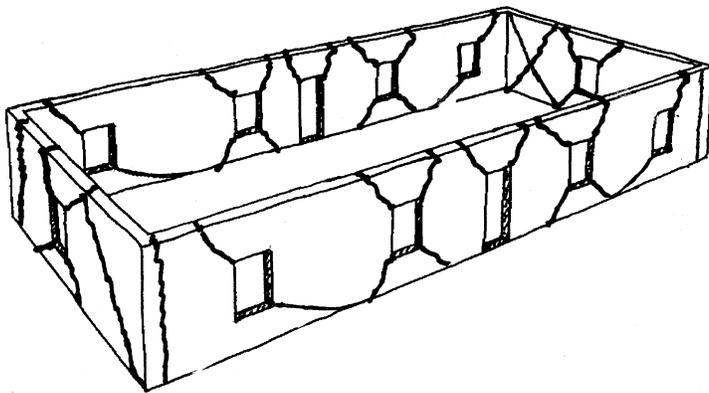
**Figura 7.6**

Figura que muestra la estabilización de una esquina de muro cerca de una abertura en el mismo, con el uso de una varilla vertical central de muro.

### Predicción de grietas

Durante los terremotos, los muros de adobe se agrietan, formando grandes segmentos o pedazos de muro. La mayoría de los colapsos son localizados y se presentan por la inestabilidad de dichos segmentos del muro agrietado. Cada uno de ellos puede desplazarse y voltearse de manera independiente al resto del edificio. Sin embargo, si se predicen los patrones básicos de fisuras antes de que ocurran, se puede diseñar un sistema de adecuación sísmica integral que establezca los numerosos pedazos de muro que pudieran colapsar o sufrir daños permanentes de importancia. Una vez originadas las fisuras, el comportamiento del edificio depende en gran medida de la estabilidad de los diferentes segmentos de muro formados por dichas fisuras y el diseño del sistema de adecuación sísmica deberá dirigirse a la estabilización de cada uno de esos segmentos. Dichos pedazos se forman por las grietas que aparecen en las aberturas de muro, en las esquinas y en otras intersecciones de muros, en la parte media de los mismos y en puntos tales como las zonas de incompatibilidad entre materiales. En la figura 7.7 se muestra un patrón de predicción de grietas (consultar el capítulo 5 en relación a las formas típicas de daño).

Si bien a menudo puede predecirse el lugar de la aparición de las fisuras más importantes, otras áreas de agrietamiento son difíciles de identificar. Ciertas fisuras podrían ya existir debidos a daños ocasionados por la presencia de humedad, por asentamiento de la cimentación o por hundimiento de los muros, o podrían ocurrir en áreas imprevistas. Sería recomendable contar con elementos verticales adicionales para proveer una redundancia en el sistema estructural.



**Figura 7.7**

Mapa de la probable formación de segmentos de adobe resultante de la predicción de patrones de agrietamiento, prerequisite necesario para el diseño de un sistema de estabilización.

### Medidas de adecuación sísmica

La selección de medidas de adecuación sísmica para una estructura específica, requiere considerar la orientación esperada de las fuerzas sísmicas, con relación a los detalles constructivos de la edificación en cuestión.

### Diseño fuera del plano

El diseño de un sistema de estabilización sísmica que controle los desplazamientos de muro fuera del plano, es el aspecto más importante de cualquier diseño de adecuación sísmica, ya que el colapso fuera del plano (volteo) es un tipo de falla costoso, catastrófico y muy peligroso para la vida de las personas. Los muros de adobe más gruesos son más resistentes al volteo que los muros más delgados, y se requiere de una fuerza mínima en la parte superior para estabilizar aquellos muros que sean gruesos y medianos. Por lo tanto, la unión de un muro a algún elemento superior o a un sistema de techos, es crítica en el diseño; en este caso, la necesidad de fortalecer o aumentar la rigidez con un diafragma no es una consideración de diseño importante.

Pueden utilizarse métodos de análisis de elasticidad para entender la interacción entre un muro de adobe y los elementos horizontales de parte superior de muro. Sin embargo, si se usara un análisis elástico para el diseño de un sistema de refuerzo que transmita las fuerzas dinámicas de los muros fuera del plano a los muros en el plano, el elemento horizontal resultante sería extremadamente rígido y muy probablemente ocasionaría por ello problemas adicionales. Un elemento rígido superior de muro (como una viga collar

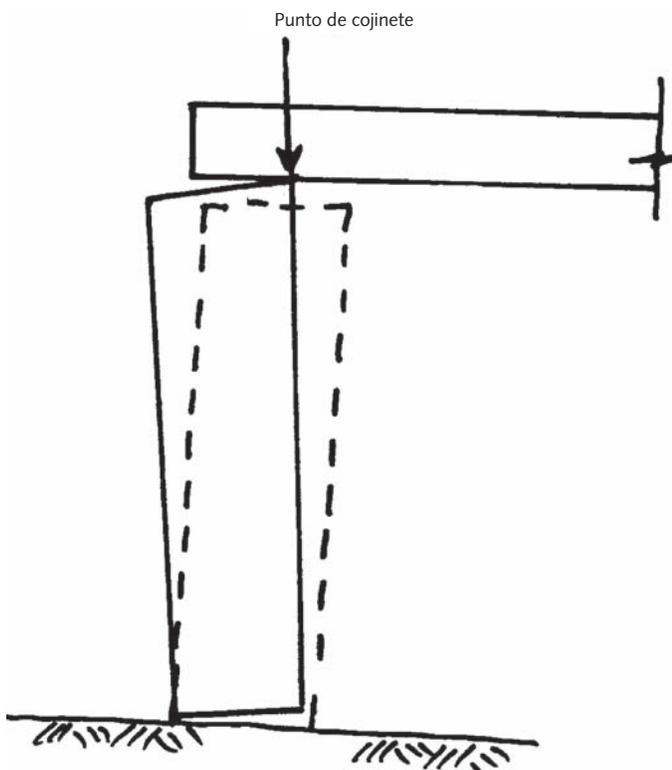
robusta) puede transmitir una gran parte de la carga lateral a los muros transversales, lo que ocasionaría una sobrecarga de los mismos, causándoles daños por corte en el plano que serían difíciles de reparar.

Hablando en dimensiones de escala natural (prototipo), la viga collar de madera utilizada en algunas de las pruebas del GSAP en mesa vibradora era de tan sólo  $5 \times 19$  cm. ( $2 \times 7.5$  pulgadas) y de 7 m. (23 pies) de largo. En la fase de comportamiento elástico, esta viga collar de unión hubiera tenido un efecto mínimo en el comportamiento dinámico de los muros. Sin embargo, una vez que se forman fisuras, la presencia de una viga collar puede tener un gran impacto en el comportamiento fuera del plano de los muros. La resistencia y rigidez de la viga collar de madera que se utilizó en las pruebas fue más que suficiente para transmitir cargas a los muros en el plano.

Se demostró que sólo se necesita pequeñas fuerzas para evitar el desplazamiento fuera del plano de muros de adobe de un espesor de mediano a grueso (Tolles y Krawinkler 1990). El simple anclaje de la parte superior de los muros a las vigas de techo previno el colapso de los muros fuera del plano, por lo que la rigidez horizontal propia de un diafragma no era necesaria. Instalar elementos que hubieran agregado tan sólo un poco más de rigidez horizontal hubiera sido suficiente para evitar la falla fuera del plano de estos muros, la misma que se dió a altos niveles de aceleración y grandes desplazamientos. Por ello, se requiere de poca rigidez fuera del plano para evitar el volteo de muros de adobe moderadamente gruesos ( $S_L = 6-8$ ). Los muros de adobe delgados ( $S_L > 8$ ) no son resistentes al volteo por lo que se les deberá colocar elementos verticales de refuerzo, tales como varillas centrales de muro. También deberá instalarse como apoyo un diafragma completo en su parte superior. En el caso de muros delgados, la viga collar o el diafragma de techo, será el factor más importante que determinará el comportamiento dinámico y, en última instancia, la estabilidad de una edificación.

**Figura 7.8**

Ilustración de un muro grueso portante, que es más estable que los muros no portantes, dadas las restricciones superiores de la estructura de techo o marco de entrepiso.



#### *Muros portantes y no portantes*

Los muros de adobe portantes son más resistentes a los daños provocados por terremotos que los muros no portantes. Su mejor comportamiento, es el resultado de los efectos estabilizadores que ofrece la estructura que soportan los muros. Esto será así aun cuando no exista una conexión positiva entre la estructura soportada y los muros que la cargan, lo que resulta típico en las construcciones históricas de adobe del período comprendido entre 1800 y 1900. La estructura ofrece restricciones al movimiento lateral del muro por dos razones: brinda una resistencia directa a los movimientos fuera del plano de los muros y la estructura ejerce una fuerza hacia abajo sobre el muro cuando éste comienza a mecerse (fig. 7.8). La fuerza vertical resultante del peso del sistema de techo da estabilidad al muro al ofrecer resistencia a las fuerzas de volteo.

#### *Muros de tímpano*

En una construcción de adobe, los muros de tímpano son los más susceptibles a colapsar. En primer lugar, estos muros son más altos que otros muros del edificio, aunque usualmente son del mismo grosor. En segundo lugar, los muros de tímpano generalmente no son portantes y el techo, ático y/o la estructura de entrepiso ofrecen poca restricción contra el movimiento hacia

afuera. Los muros de tímpano deberán anclarse firmemente a la construcción a nivel del entrepiso y del ático para asegurar su estabilidad fuera del plano. Las varillas centrales de muro resultan especialmente útiles para evitar el colapso fuera del plano de este tipo de muros.

### Diseño en el plano

La característica de diseño más importante que es capaz de mejorar el comportamiento post-elástico en el plano del muro es asegurar la continuidad en el plano a todo lo largo del mismo. Es posible disipar grandes cantidades de energía en el plano de un muro, si los segmentos del muro agrietado se mantienen juntos mediante elementos de continuidad que permitan que las partes se muevan y disipen energía por fricción, sin ocasionar el deterioro del muro. Una viga collar anclada puede mejorar de manera significativa la continuidad a lo largo de la parte superior del muro, y tirantes horizontales altos o bajos pueden mantener juntos los segmentos de muro fisurado para evitar la degradación del muro. La capacidad última de los muros de corte puede aumentarse significativamente, añadiéndoles elementos de continuidad en el plano. Se ha comprobado experimentalmente (Tolles y Krawinkler 1990) que un muro dotado de continuidad en el plano se comporta de mejor manera que un muro con el doble de “área de corte”, pero sin esta característica.

Las varillas centrales de muro mejoran significativamente el comportamiento de los muros de corte, pues dichos elementos aumentan el nivel del umbral de daños, reducen el agrietamiento durante una vibración o sacudimiento prolongado y aumentan la ductilidad del elemento estructural. Dada esta mejora, el análisis estático de diseño podría incluir un incremento en el corte permitido en muros de adobe reforzados con varillas centrales de muro.

Los patrones de falla observados en los modelos de construcción del GSAP, también se observaron en muchas construcciones históricas de adobe tras el terremoto de Northridge, en 1994 (Tolles et al. 1996). El tipo más común de daño grave se dió en forma de grietas diagonales en las esquinas de las edificaciones (consultar figura 7.6). El pedazo de muro adyacente a una esquina puede deslizarse hacia afuera y abajo. Este tipo de grieta puede resultar difícil y costosa de reparar y puede llevar a la inestabilidad de todo el muro si su deslizamiento llegara a ser considerable.

Una alternativa preferible al simple análisis estático de diseño consiste en permitir mecarse a los muros gruesos fuera del plano, aunque asegurando cierta restricción en el movimiento de los muros en el plano. Sin embargo, forzar a grandes cargas provenientes de los muros fuera de plano a pasar a los muros en el plano, podría fácilmente sobrecargar a éstos últimos, lo que daría como resultado otro tipo de daño difícil de reparar.

Tras el terremoto de Northridge, se observó que numerosos muros de adobe presentaban los patrones de fisuras clásicos y característicos del balanceo fuera del plano. Los muros de 61 cm. (24 pulgadas) de grosor pueden fácilmente mecarse 15 cm. (6 pulgadas) o más, en cualquier dirección, pero su tendencia es a volver a su posición original. Se requiere tan sólo de una leve resistencia para evitar el volteo de los muros de adobe más gruesos. El diseño de un sistema de diafragma dependerá del tipo de análisis que se haya usado para determinar la distribución de cargas entre los muros en el plano y fuera de él, para cada dirección de las mismas.

El comportamiento en el plano de muros con varillas centrales de muro fue significativamente mejor que el de muros con cualquier otro tipo de adecuación sísmica. Este mejor comportamiento fue particularmente significativo en las pruebas con modelos a gran escala que se realizaron en el contexto del GSAP, en los cuales se observó que las fisuras terminaban en los sitios en los que se habían insertado las varillas. Los muros en el plano que se había

reforzado con varillas centrales sufrieron pocos daños y no se observó en ellos desplazamiento alguno, ni siquiera durante las pruebas dinámicas de desplazamiento más extremas.

### **Diseño de diafragmas**

El diseño de un sistema de diafragma para construcciones históricas de adobe será diferente del utilizado para casi cualquier otro tipo de edificio. En un diseño convencional, el propósito de un diafragma es el de transferir cargas generadas en una dirección de movimiento dada desde los muros que trabajan fuera de plano y el techo, a los muros que trabajan en el plano. Los muros de una construcción convencional son débiles fuera del plano y fuertes en él y, por lo tanto, se requiere el uso de diafragmas capaces de transferir las cargas.

El diseño de diafragmas para edificios históricos de adobe con muros más gruesos deberá ser diferente. Este tipo de muros tiene mucha más estabilidad en la dirección fuera del plano y las fuerzas requeridas para estabilizarlos son relativamente pequeñas. Mientras un muro de adobe se mantenga firme, los daños que sufra durante su oscilación fuera del plano no serán severos. Generalmente, los daños que ocurren se limitan a grietas horizontales a lo largo de la base y a grietas verticales junto a los muros perpendiculares. La estabilidad se relaciona directamente con el grosor absoluto y con la relación altura-grosor del muro.

El segundo factor que afecta el diseño de diafragmas en edificios históricos de adobe es la capacidad en el plano de los muros de adobe. Si un diafragma es rígido, las cargas se transferirán de los muros fuera de plano a los muros en el plano para una dirección de movimiento dada. Como resultado de esto, los muros en el plano pueden resultar sobrecargados y dañarse severamente. Aunque los muros fuera del plano pueden fácilmente oscilar 15 cm. (6 pulgadas) hacia adelante y atrás, un desplazamiento de entre 2.5 y 5.0 cm. (1 a 2 pulgadas) en los muros en el plano puede producir daños de importancia y de un alto costo. Por lo tanto la rigidez del diafragma, que determina su capacidad de transmisión de cargas, no requiere ser muy grande, sino lo suficiente para estabilizar los muros fuera del plano.

Una vez más, las edificaciones de adobe de muros delgados no presentan la misma resistencia al volteo que las de muros gruesos. Estas edificaciones deberán incorporar sistemas de diafragma similares a los usados en tipos de construcción más convencionales.

### **Detalles de conexión**

Los detalles de conexión en los muros de adobe en particular deberán diseñarse de manera apropiada, pues el adobe es un material de muy poca resistencia. Las conexiones pueden fallar en sus puntos de apoyo y, por ende, no funcionar en la forma prevista. Las concentraciones de esfuerzos ocurren en los puntos de anclaje dando como resultado la formación de grietas en dichos puntos o cerca de ellos. Sin embargo, estas mismas grietas con frecuencia no resultan ser importantes, a menos que conduzcan a la generación de otros tipos de daño o a la inestabilidad.

Las directrices fundamentales del diseño de conexiones para muros de adobe son las siguientes:

- Siempre que sea posible, distribuir la carga para disminuir las concentraciones de esfuerzos.
- Predecir los patrones de agrietamiento, evaluar el impacto de dichas grietas en la estabilidad e instalar sistemas de adecuación sísmica según se requiera.
- Evitar el empleo de conexiones frágiles; diseñar los detalles que permitan un comportamiento dúctil.

- Incluir mecanismos de redundancia siempre que sea posible.

Esta sección presenta un número de sugerencias para detalles de adecuación sísmica de estructuras históricas de adobe. Las ilustraciones fotográficas muestran los tipos de daño que pueden presentarse y los dibujos y detalles que se incluyen ilustran aquello que *no* debe hacerse. Se presentan otros detalles para mostrar cómo deberán construirse conexiones flexibles y dúctiles en muros de adobe.

#### *Anclaje en muros*

El anclaje en muros de adobe puede originar una concentración de esfuerzos que bien puede llevar a fallas locales del material. El adobe resiste de mejor manera las cargas distribuidas que las cargas concentradas. La disipación de energía puede ser un concepto útil y puede emplearse ciertos métodos de anclaje que aseguren que se cause daño localizado al adobe sin causar fisuras en el muro. Si se diseñan de manera apropiada, este tipo de conexiones disipará mucho más energía que un tipo de conexión frágil. El uso de conexiones múltiples o de un segundo tipo de conexión, puede ofrecer redundancia. El empleo de conexiones múltiples distribuye la carga y agrega un segundo tipo de conexión que brinda un respaldo al primero.

Conocer los modos de falla puede ayudar a identificar el lugar en el que deben colocarse conexiones secundarias o dónde ubicar elementos que brinden resistencia en caso de falla. Si pudiera tolerarse un nivel limitado de daños alrededor de los puntos de conexión, podría no ser necesario contar con otros elementos de respaldo. Por otro lado, si la falla de una conexión pudiera producir inestabilidad, entonces el uso de una conexión o detalle secundario redundante podría ser muy recomendable.

#### *Conexiones del techo al muro*

Las estructuras de techo de las construcciones históricas de adobe suelen estar ligeramente unidas a los muros. Frecuentemente, la estructura realmente no está unida a los muros y tan sólo se apoya en éstos, como se muestra en la figura 7.9. Por este motivo, la estructura de techo puede deslizarse en relación con los muros o puede safar bloques de la parte superior de los mismos. Unir la estructura del techo a los muros es importante para lograr una estabilidad integral de la estructura y para evitar movimientos relativos techo-muro. Esto generalmente se logra mediante varillas de acero.

El problema con los anclajes en la parte superior de los muros radica en que, aunque son críticos para un buen desempeño de la estructura, tienden a generar conexiones frágiles. El empleo de múltiples puntos de anclaje

**Figura 7.9**

Estructura de techo descansando sobre la hilada superior de bloques de adobe, sin estar unida a la misma.



entre el sistema de techo y los muros, puede ayudar a distribuir la carga de manera más uniforme sobre la parte superior de los muros. Un sistema de cableado horizontal en la parte superior de los muros puede servir, asimismo, como un elemento redundante en caso de que los puntos de anclaje de dicha parte llegaran a fallar.

#### *Conexiones entre el entrepiso y el muro*

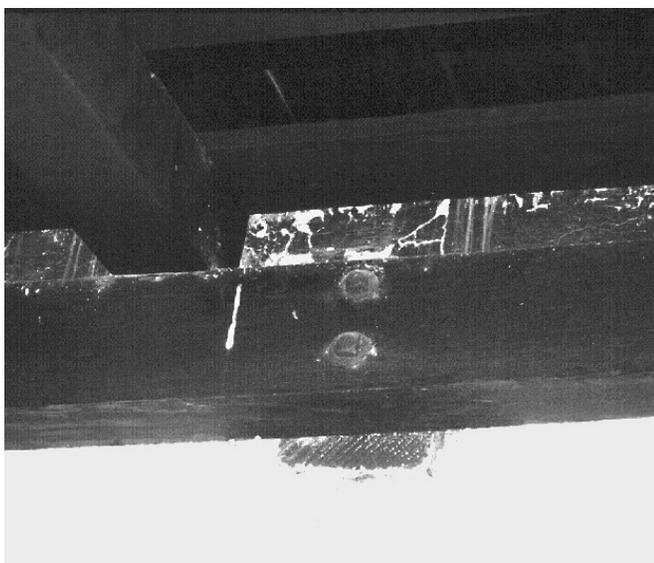
Las conexiones entre el entrepiso y el muro pueden ser difíciles de practicar pero, cuando se llevan a cabo de manera correcta, pueden resultar muy eficaces, dada la gran presión que presenta el muro superior. Cuando no existe anclaje alguno, puede presentarse un deslizamiento de las viguetas del entrepiso con respecto al muro (capítulo 5, fig. 5.14). En los detalles del segundo piso de la construcción del Adobe Andrés Pico, se muestra un ejemplo de una buena conexión de entrepiso a muro. Esta conexión funcionó muy bien durante el terremoto de Northridge en 1994, a pesar de que el edificio sufrió daños de importancia en otros sectores. Se instaló un elemento continuo externo a las vigas del entrepiso que atravesaban los muros. Se anclaron pernos en el extremo de las vigas (fig. 7.10) para evitar el movimiento relativo de los muros y las vigas de entrepiso. En general, no se recomienda instalar pernos en el punto extremo de una viga pero, en este caso, la unión tuvo la resistencia suficiente para evitar los movimientos relativos durante el terremoto. El detalle aparece en la figura 7.10b.

La unión de las vigas de entrepiso a un cable horizontal perimetral es otro método eficaz para anclarlas. En los ensayos del GSAP, se usaron tirantes para unir las viguetas de entrepiso, a través del muro externo, al tirante horizontal perimetral (fig. 7.11). La conexión no era rígida, pero evitó que la estructura sufriera daños graves. Se usó una conexión similar en la construcción del Adobe Del Valle, en Rancho Camulos y, en ese caso, las vigas de entrepiso se unieron a armellas a través de los cuales se colocó un cable perimetral externo (fig. 7.12). Este detalle se muestra en la figura 7.13a. Otra opción, que se muestra en la figura 7.13b, puede emplearse si las vigas de entrepiso no son visibles desde abajo o si la visibilidad de la conexión no es un factor de importancia.

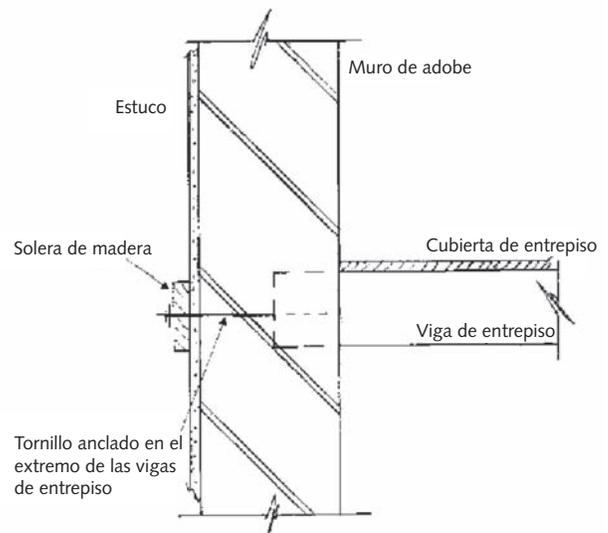
Otro tipo de sistema de anclaje, usado al nivel del entrepiso del ático en la Mansión de Pío Pico, falló durante el terremoto de Northridge, en el cual la relativamente baja aceleración máxima horizontal del suelo fue infe-

**Figura 7.10**

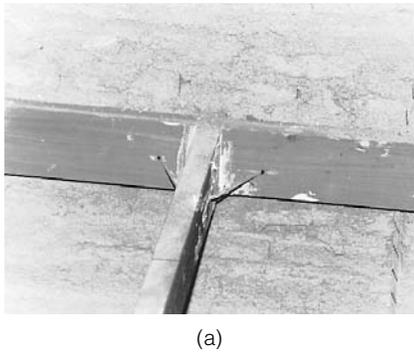
Conexiones de entrepiso a muro: (a) lado del muro que muestra la solera de madera continua y los tornillos fijados en el extremo de una viga de entrepiso; y (b) sección transversal en el que se muestran el tornillo, la solera y la viga de piso.



(a)



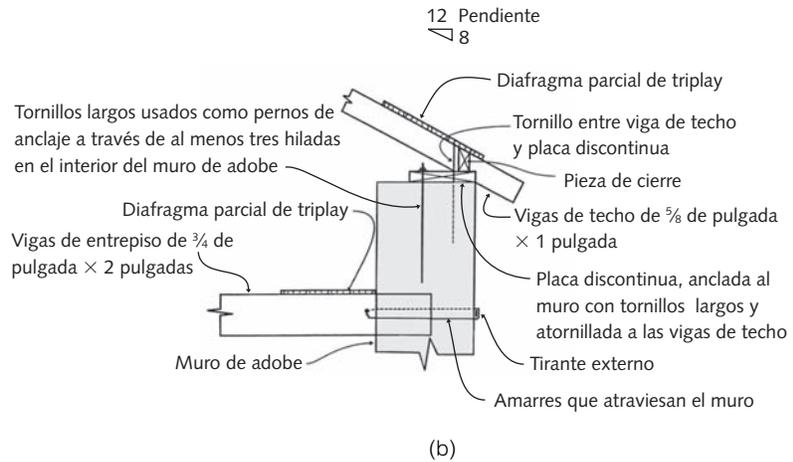
(b)



(a)

**Figura 7.11**

Sistemas de conexión: (a) la fijación de las vigas de entrepiso al cable horizontal externo puede ofrecer una conexión eficaz (modelo 11 del GSAP); y (b) sección transversal de refuerzo muro-techo-entrepiso ensayada sobre una mesa vibradora.



(b)

rior a 0.15 g. Un detalle de este anclaje se muestra en la figura 7.14a. Se ancló un tirante plano (banda) al muro, usando una mezcla de adobe, barro y ceniza. El anclaje pareció funcionar, salvo que el tarugo completo fue arrancado del muro, como se muestra en la figura 7.14b. Las cargas sobre estas conexiones en el borde del tímpano pueden ser muy grandes. Este tipo de conexión resultó ser frágil y no tenía elementos redundantes en otras partes del sistema de adecuación sísmica que hubieran podido servirle como respaldo.

#### *Conexiones de muro a muro*

Es común el empleo de conexiones para mejorar el soporte lateral en muros de adobe. Sin embargo, en el caso de que estas conexiones fueran rígidas, las fuerzas generadas localmente pueden ser muy grandes y, como resultado de ello, las conexiones podrían fallar o no funcionar según lo esperado o bien podrían ocurrir daños no previstos al muro.

**Figura 7.12**

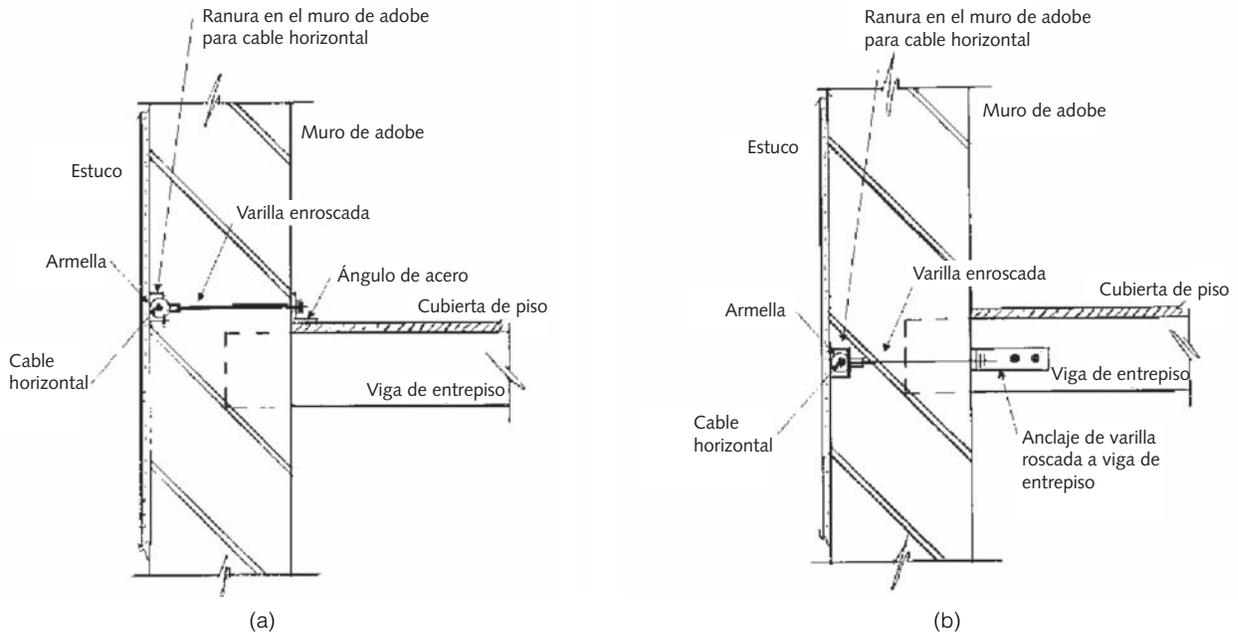
Reparación en la construcción del Adobe Del Valle, Rancho Camulos, Piru, California: (a) vista interior de las armellas usadas para unir el cable externo horizontal con las vigas de entrepiso y (b) vista exterior de las armellas.



(a)



(b)



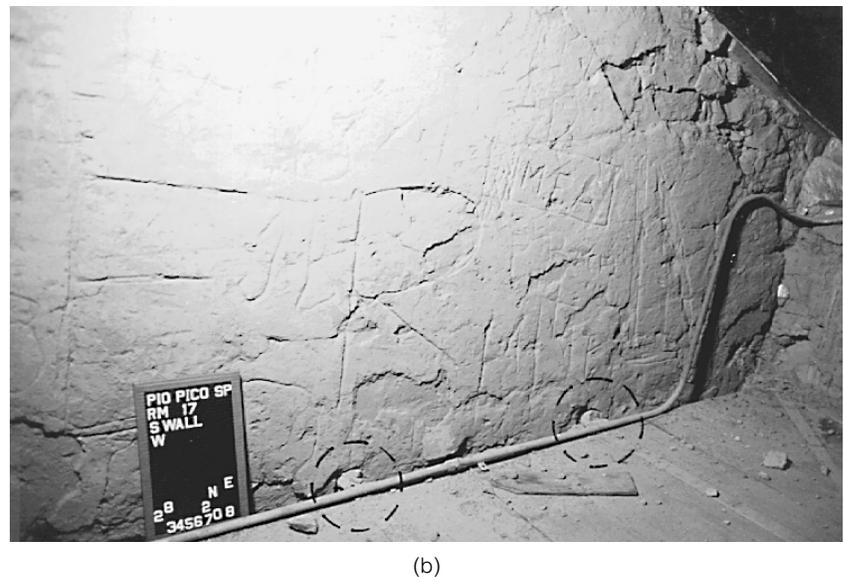
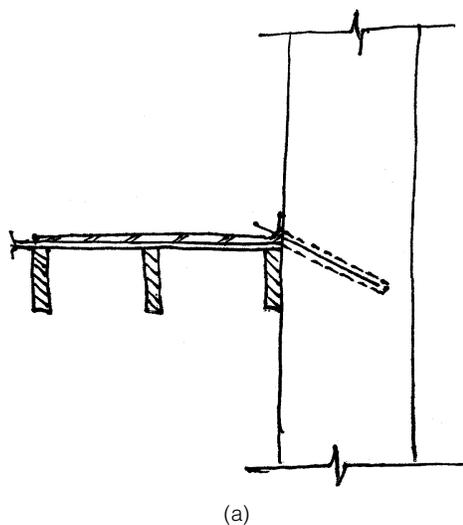
**Figura 7.13**

Ilustración de la reparación del edificio del Adobe Del Valle: (a) sección transversal de unión de la armella fijada entre el cable horizontal, la cubierta y la viga de entepiso y (b) sección transversal de la unión de la armella fijada entre el cable horizontal y la viga de entepiso: método alternativo.

**Figura 7.14**

Mansión Pío Pico, Whittier, California: (a) sección transversal que muestra la conexión de una platina de acero anclada a un muro de tímpano de adobe, utilizando un mortero de ceniza de baja retracción y barro (b) fotografía tomada después del terremoto de Northridge en 1994; la conexión falló al salirse del muro todo el tapón de mortero.

Frecuentemente se instalan tirantes de amarre en edificios históricos de adobe, ya sea después de resultar dañados por un terremoto o antes de que esto ocurra, con el fin de evitar el volteo de dos muros delgados paralelos. Los tirantes de amarre generalmente son varillas de acero roscadas, aseguradas con tuercas y platinas de distribución de esfuerzos en la parte externa de los muros paralelos. Los tirantes pueden dar el soporte requerido por una estructura, pero también pueden crear daños importantes. La figura 7.15 muestra las numerosas reparaciones que se tuvieron que llevar a cabo en el extremo de un tirante de amarre, para reparar los daños generados. El anclaje mostrado en la figura 7.16a se ha hundido en el muro, permitiendo que el tirante de amarre de acero quede suelto y pierda su utilidad, según se muestra en la figura 7.16b. Los anclajes también pueden producir daños en el muro en el área adyacente al anclaje. El fuerte agrietamiento que se presentó en el punto de anclaje mostrado en la figura 7.17 es típico y ha provocado la pérdida de estabilidad del muro a la izquierda del anclaje. Este tipo de amarre se ha empleado con





**Figura 7.15**

Numerosas reparaciones en el muro, en el área de la placa extrema de la varilla de amarre (edificio del Adobe De la Ossa, Encino, California).



(a)



(b)

**Figura 7.16**

Fotografías que muestran (a) la forma en que la placa de distribución de tensiones de la varilla de amarre se hundió en el muro; y (b) varilla de amarre suelta y, por lo tanto, ineficaz.

**Figura 7.17**

Daños al muro alrededor del punto de anclaje de madera (Rancho San Andrés Castro, Watsonville, California).



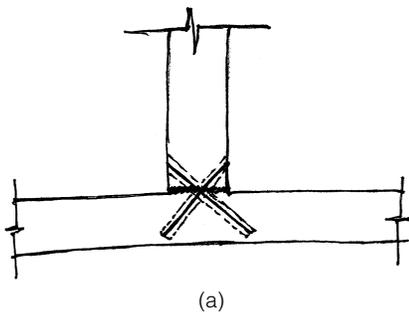
frecuencia para intentar estabilizar muros fuera del plano en construcciones de mampostería no reforzada. Desgraciadamente, estos amarres pueden provocar el agrietamiento vertical de los extremos de los muros, lo que agrava la inestabilidad de dichos muros, que no son portantes.

Lograr conexiones eficaces entre muros perpendiculares puede ser difícil, dada la gran diferencia entre los movimientos en el plano y fuera de él que presentan los muros de adobe. Las conexiones entre muros que se intersectan pueden tener suficiente resistencia para soportar movimientos sísmicos moderados, siempre y cuando la construcción original tenga bloques o refuerzos que se traslapen. El relleno de grietas o la colocación de varillas confiere a la estructura cierta capacidad de soportar movimientos de suelo moderados. En la figura 7.18a se ilustra este tipo de reparación. Sin embargo, durante sismos fuertes, los muros de adobe se dañarán en los puntos de unión o cerca de ellos. Aunque rellenar grietas y colocar varillas puede ser beneficioso durante los movimientos de suelo moderados, estas medidas tendrán poco efecto en caso de movimientos mucho más fuertes. Las grietas que se hubieran presentado en las esquinas en ausencia de las varillas, probablemente aparezcan justo cerca a las varillas instaladas, tal como se muestra en la figura 7.18b.

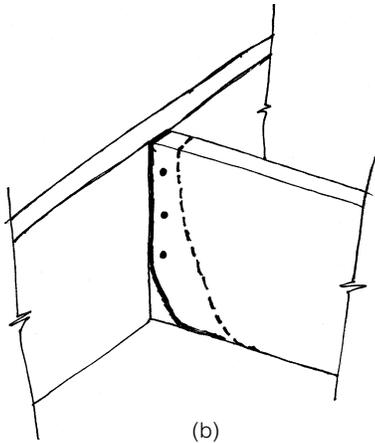
Aunque la instalación de anclajes locales entre muros puede ser una forma eficaz de limitar los daños, probablemente fallarán en caso de terremotos mayores, por lo que deberán diseñarse otros elementos del sistema integral de adecuación sísmica que entren en acción una vez que se hayan formado grietas. Los elementos horizontales de un sistema integral de adecuación sísmica pueden ser sumamente eficaces en conferir estabilidad estructural al edificio una vez que hayan aparecido grietas en los puntos de intersección de los muros. Los puntos locales de anclaje pueden combinarse con una solución integral de tirantes, con el propósito de contar con un juego completo de medidas que resulten eficaces tanto durante eventos sísmicos moderados como mayores.

### **Redundancia**

Instalar deliberadamente vías simultáneas de distribución de las fuerzas inducidas por un terremoto es lo que se



(a)



(b)

### Figura 7.18

Ilustraciones de relleno de grietas e instalación de varillas de anclaje en las que se muestra la forma en que: (a) las varillas de anclaje pueden ser eficaces en muros interiores perpendiculares durante movimientos de tierra moderados; y (b) durante movimientos de tierra fuertes, pueden presentarse grietas en las áreas adyacentes a las varillas (línea punteada).

conoce como *redundancia*. En caso de existir sólo una vía de distribución, podría haber consecuencias catastróficas en caso de que dicha vía no funcionara. Dado que el análisis sísmico de las estructuras de adobe aún no puede considerarse una ciencia exacta, predecir el comportamiento sísmico de una construcción de adobe o la aparición de grietas en una estructura dada, sigue siendo un ejercicio impreciso. No obstante, incluir en el diseño el establecimiento de vías alternativas y redundantes para la transferencia de fuerzas podría brindar mayor confianza en el diseño de adecuación sísmica para daños graves en áreas no previstas.

### Problemas de humedad

Los daños por humedad en la base de muros de adobe son un problema muy común que debe considerarse y resolverse como parte de cualquier diseño de adecuación sísmica. En las figuras 7.19 y 7.20 se muestran los resultados de algunos problemas relacionados con la presencia de humedad. El deslizamiento de todo un pedazo de muro (consultar figura 5.18a) es otra posible consecuencia de los daños producidos por la humedad. La resistencia al volteo de los muros de adobe gruesos se ve muy disminuída cuando no se corrigen los daños producidos por la humedad. Podría ser necesario cambiar los bloques de adobe deteriorados de la base de un muro (consultar figura 5.19) antes de que la resistencia al volteo propia al grosor de los muros, sea requerida.



Figura 7.19

Ejemplo de desgaste y destrucción de un muro de adobe por daños de humedad (fotografía cortesía de Tony Crosby).



Figura 7.20

Ejemplo de colapso de muro debido a daños producidos por el agua en su base (fotografía cortesía de Tony Crosby).



---

## Capítulo 8

### **Puesta en práctica del diseño y herramientas de adecuación sísmica**

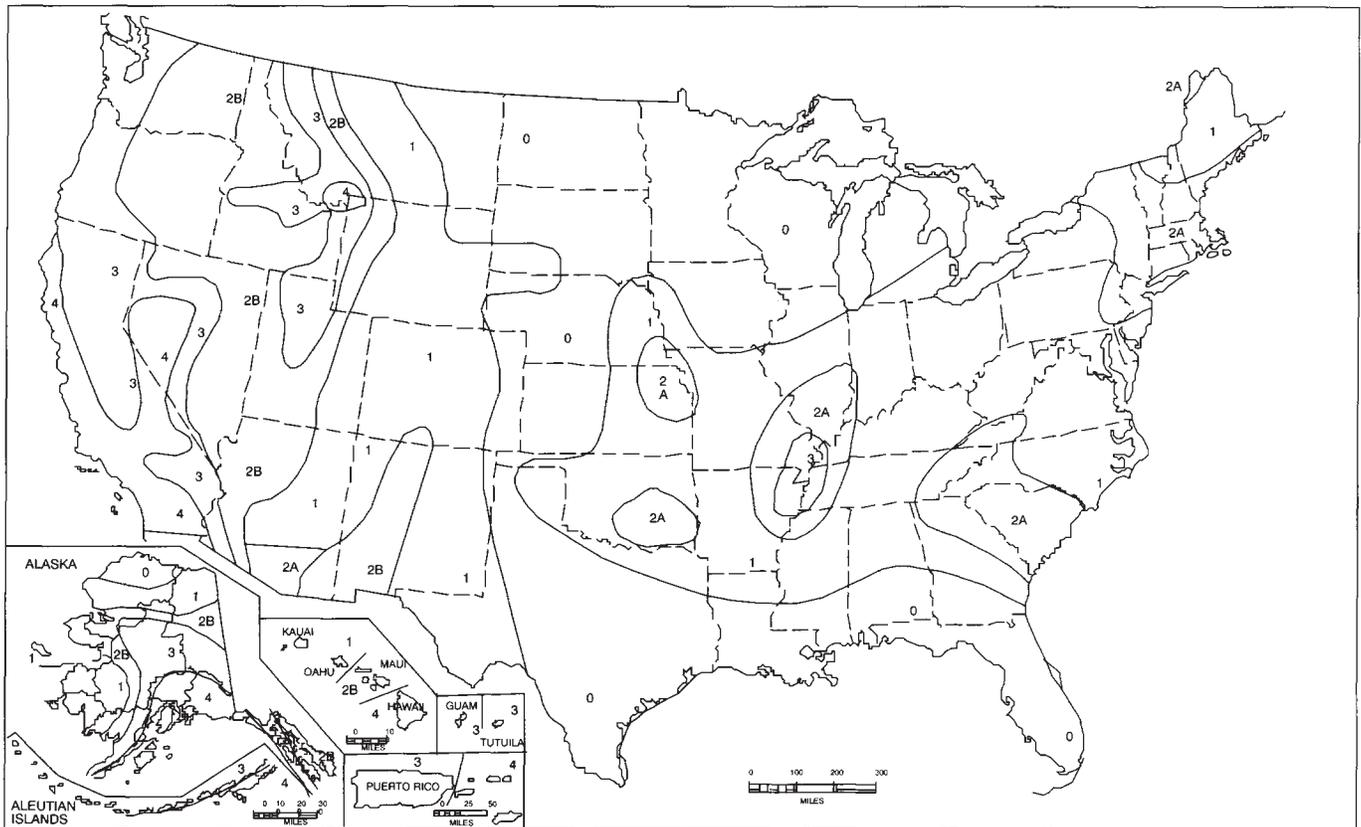
Si bien el énfasis de la investigación del GSAP tenía como propósito evaluar los diseños de adecuación sísmica basados en la estabilidad, los diseños basados en la resistencia que incluyan análisis laterales horizontales también deberán formar parte de una documentación de diseño completa. En la siguiente sección se hace una revisión breve a los procedimientos de diseño lateral convencionales que sean aplicables al caso de los muros de adobe. Después, se considerarán ciertos elementos específicos del diseño de muros, así como una discusión de la puesta en práctica de varias medidas de adecuación sísmica que se estudiaron durante las investigaciones del GSAP. Se proporcionan algunos ejemplos sencillos que muestran los efectos relativos del grosor de los muros.

#### **Recomendaciones de diseño lateral convencional**

Las investigaciones realizadas como parte del proyecto GSAP no abordaron de manera específica temas asociados con los niveles de fuerza del diseño básico, según lo contemplan los códigos de construcción tales como el Uniform Building Code (Código uniforme para la construcción - UBC, por sus siglas en inglés), el Uniform Code for Building Conservation (Código uniforme para la conservación de edificaciones - UCBC, por sus siglas en inglés) o el State Historical Building Code (Código de construcciones históricas del Estado de California - SHBC, por sus siglas en inglés). Sin embargo, todos los procedimientos de diseño deberán incluir típicamente análisis estáticos o dinámicos que determinen las fuerzas que son distribuidas hacia los muros de corte y que ellos deberán resistir.

El nivel de actividad sísmica esperable en el área de ubicación de una construcción habrá de definir los niveles de fuerzas laterales. El mapa sísmico de los Estados Unidos que aparece en la figura 8.1 se tomó del UBC (1997). Las fuerzas laterales, tal y como se contemplan en el UBC de 1997, pueden ser más altas que las contempladas en versiones anteriores del UBC, pues la edición más reciente contempla los efectos de fuentes adyacentes (Structural Engineers Association of California 1999). El código define fallas sísmicas de Tipo A, así como zonas que se hallan a 5, 10 y 15 km. de dichas fallas (fig. 8.2). Si el sitio a considerar se hallara dentro de una de estas zonas, el factor de carga sísmica aumentará según lo establecido por el código.

Una conclusión principal del estudio del GSAP, que es uno de los principios fundamentales de la metodología de diseño, es que los procedimientos de diseño elástico suelen no predecir el comportamiento último de las construcciones hechas de mampostería no reforzada. Por lo tanto, deberán emplearse con precaución aquellos procedimientos de diseño basados en la resistencia; asimismo, se debe comprender de qué modo puede colapsar una edificación de adobe y de qué modo puede evitarse dicho colapso, lo cual es mucho más



**Figura 8.1**

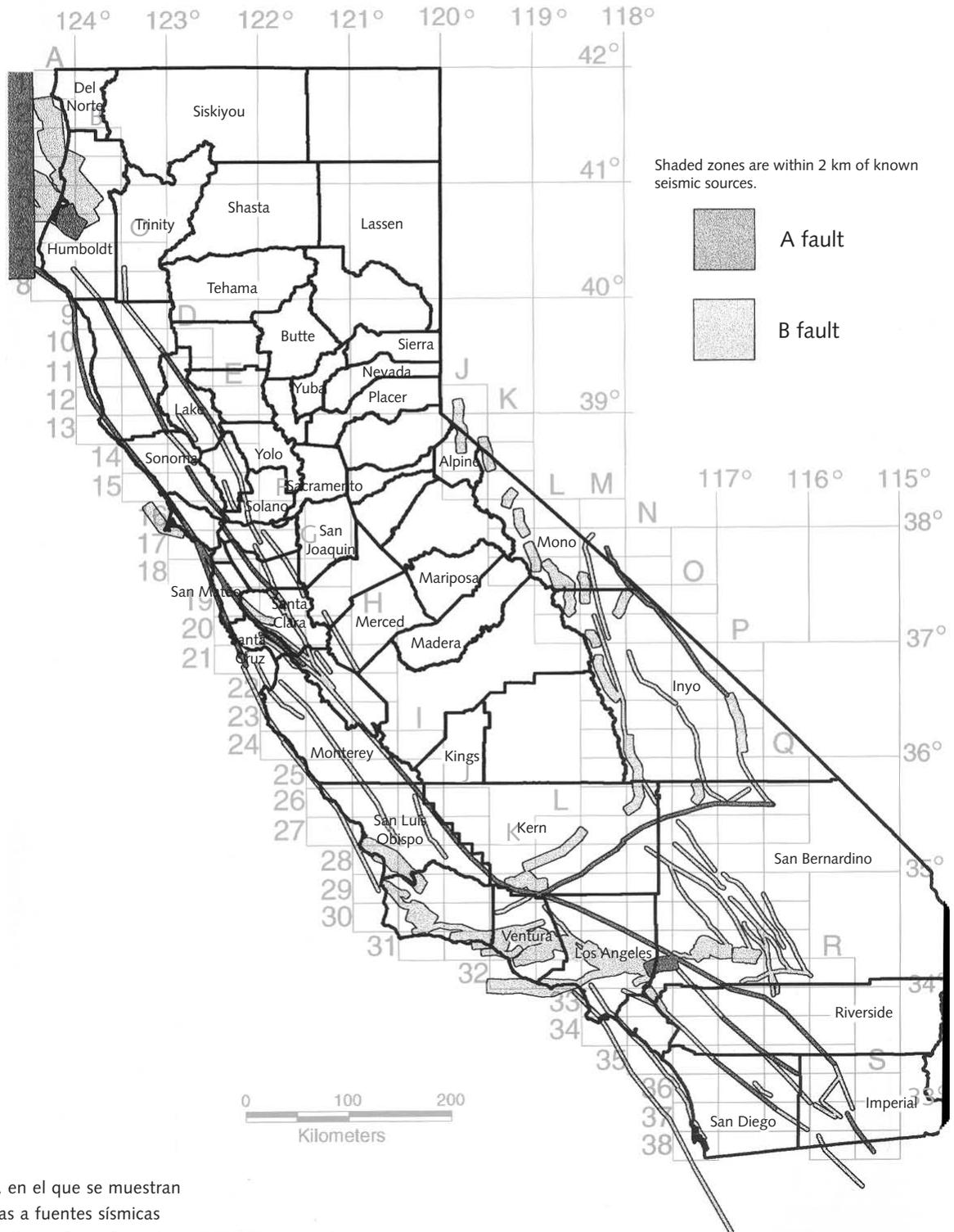
Mapa de zonas sísmicas de los Estados Unidos de América (© International Code Council).

importante que determinar el nivel exacto de esfuerzo que actúa en los muros de corte.

No obstante deben hacerse, al nivel de diseño algunas observaciones derivadas de los resultados de las pruebas, en relación con los esfuerzos de corte en los muros de adobe. Se emplearon dos procedimientos simplificados, basados en el UCBC y en el SHBC, para determinar las tensiones de corte en los muros de adobe. Cuando se usaron elementos de continuidad en la parte superior de los muros de adobe en el plano, se comportaron de manera satisfactoria incluso durante las pruebas dinámicas más extremas, conducidas tanto en modelos a pequeña escala como en modelos a escala mayor. Muchas edificaciones presentaron un agrietamiento severo, pero los muros de corte en el plano no fallaron.

El SHBC permite fuerzas de corte de hasta 28 KPa (4 psi) en muros de adobe y utiliza niveles de fuerza de diseño UBC para el diseño estático. En la Zona 4, que incluye una gran parte de California, estos niveles de fuerza serían correspondientes a aceleraciones entre el 14% y el 18% de la gravedad (0.14–0.18 g). El UCBC permite un nivel de diseño menor, que es del 10% (0.10 g) de la gravedad para edificaciones con un número de carga de ocupantes menor a cien personas y del 13.3% (0.133 g) para edificaciones con un número mayor de ocupantes, si bien la fuerza de corte de diseño que este código contempla es tan sólo de 21 KPa (3 psi). Cuando se aplican a modelos de edificios, ambos procedimientos de diseño son más o menos equivalentes. El SHBC permite esfuerzos mayores, pero las fuerzas de diseño también son mayores.

Los esfuerzos de diseño en los muros de corte de los edificios modelo, se verificaron utilizando cada procedimiento de diseño y se encontró que son ligeramente menores a los prescritas tanto por el SHBC como por el UCBC. Dado que todos los muros de corte en el plano de los modelos sobrevivieron aun a las pruebas dinámicas más extremas, se consideró que el procedimiento de diseño



**Figura 8.2**

Mapa de California, en el que se muestran las regiones próximas a fuentes sísmicas conocidas (© International Code Council).

utilizado, resultaba adecuado para efectos del diseño general, si bien los muros de corte en el plano sufrieron mucho menos daño de corte en las pruebas de modelos a gran escala. Partiendo de esta información limitada, puede aseverarse que estos muros no fueron sobrediseñados ni subdiseñados. Es por ello que no se recomienda la introducción de cambio importante alguno, ni en los niveles de fuerzas de diseño, ni en los esfuerzos de corte permisibles (sin medidas de adecuación sísmica importantes necesarias para aumentar la ductilidad).

## Diseño de muros

### Diseño de muros fuera del plano

Como ya se discutió previamente, el diseño de adecuación sísmica para un muro de adobe se ve afectado en gran medida por el grosor del muro y los muros más delgados requieren niveles de intervención mucho mayores que los muros gruesos.

Los muros gruesos, sin embargo, son tan propensos a las fisuras de corte como a las fisuras fuera del plano. Los principales esfuerzos de adecuación sísmica deberán centrarse en un sistema que confine a la estructura. Un muro grueso ( $S_L < 6$ ) puede voltearse, por lo que es necesario anclarlo en la parte superior al sistema de techo. En el caso de muros gruesos, pueden darse las recomendaciones de adecuación sísmica que siguen, basadas en el nivel de seguridad del diseño y en la posibilidad de daños estructurales permanentes:

- **Niveles de seguridad bajos y medios:** Anclar los muros al sistema de techo sin necesidad de reforzar los mismos.
- **Niveles de seguridad altos y niveles de daño mínimos:** Anclar los muros al sistema de techo y reforzar los muros con varillas centrales de muro, ya sea en las esquinas o a lo largo de los muros. Las varillas centrales disminuirán los desplazamientos por corte que pudieran presentarse tanto en el plano como fuera del mismo.

Los muros moderadamente gruesos ( $S_L = 6-8$ ) son propensos a la aparición de fisuras de corte y es poco probable que se presenten fallas a media altura, fuera del plano. Es probable que surjan grietas fuera del plano antes de que surjan grietas en el plano. Dado que hay poca probabilidad de fallas a media altura, fuera del plano, no se requiere instalar refuerzos en estos muros a niveles de seguridad mínimos. Pueden hacerse las siguientes recomendaciones de adecuación sísmica basadas en el nivel de seguridad y en la posibilidad de daños estructurales permanentes:

- **Niveles de seguridad mínimos:** Anclar los muros al sistema de techo para evitar el derrumbe lateral. No se requiere refuerzo adicional alguno.
- **Niveles de seguridad moderados:** Anclar los muros al sistema de techo y utilizar tirantes verticales a intervalos regulares. Esto aumenta en gran medida la ductilidad del sistema estructural y reduce las posibilidades de que haya una falla progresiva en el muro.
- **Niveles de seguridad altos y niveles de daños mínimos:** Anclar los muros al sistema de techo y reforzar los muros con varillas centrales a intervalos regulares. La instalación de varillas centrales disminuirá los desplazamientos de corte que pudieran presentarse en el plano y fuera del mismo.

Los muros delgados ( $S_L > 8$ ) son inherentemente inestables y pueden fallar por rotación en la base. También pueden colapsar por fallas a media altura, fuera del plano, las que pueden presentarse antes de que surjan grietas en el plano. Por lo tanto, se requiere el uso de elementos verticales de refuerzo en el caso de los muros delgados. Pueden hacerse las siguientes recomendaciones de adecuación sísmica basadas en el nivel de seguridad requerido y en la posibilidad de daños estructurales permanentes. Los muros delgados fuera del plano *deben tener* algún tipo de refuerzo de adecuación.

- **Niveles de seguridad mínimos a moderados:** Anclar muros al sistema de techo y emplear tirantes verticales a intervalos regulares para asegurar que el edificio no colapse en el caso de movimientos sísmicos fuertes. Los muros con sistemas de adecuación sísmica pueden degradarse de manera importante durante terremotos fuertes y prolongados, pero es poco probable que fallen.
- **Niveles de seguridad altos y niveles de daño mínimos:** Anclar los muros al sistema de techo y utilizar varillas centrales de muro a intervalos regulares. Esto hará que los muros se comporten bien tanto en el plano como fuera del mismo y disminuyan los desplazamientos de corte que pueden darse tanto en el plano como fuera de él.

### Diseño de muros en el plano

Los esfuerzos de corte en el plano calculados suelen ser un factor de control de la resistencia de diseño en construcciones de adobe. Dado que los movimientos fuera del plano en muros de adobe de moderados a gruesos son resistidos en gran medida por la rotación en la base, los valores calculados serán mayores que las fuerzas reales de los muros fuera del plano. Si los esfuerzos de corte en el plano calculados son mayores que los valores aceptables, el uso de varillas centrales en los muros existentes de adobe podría justificar un aumento en esfuerzos de diseño para los muros de adobe. El comportamiento sísmico de muros de corte en pruebas hechas con modelos a escala que habían sido reforzados con varillas verticales centrales fue significativamente mejor que el de los muros no modificados. Los niveles de diseño de corte permisibles en muros podrían ser mayores mediante la instalación de varillas verticales centrales de muro a intervalos entre 1 y 2 metros (3–7 pies). Basados en los resultados obtenidos en las pruebas dinámicas de modelos, esta parecería ser la razón del aumento entre el 50% y el 100% en el esfuerzo de diseño.

### Cables, tirantes y varillas centrales de muro

Pueden emplearse cables y tirantes para reforzar y dar más ductilidad a un sistema estructural de mampostería no reforzada. No se requiere pretensar los cables pero los tirantes deberán tensarse sólo hasta eliminar la falta de tensión en los elementos. El propósito de los tirantes y los cables es el de brindar (1) límites al desplazamiento relativo de los segmentos del muro (2) resistencia a la flexión fuera del plano y (3) continuidad en el plano.

Pueden usarse elementos centrales de muro para evitar el tipo de fallas de esquina que se ilustraron en el capítulo anterior (consultar fig. 7.6). Cualquier sitio donde una puerta o ventana está muy cerca a una esquina puede ser vulnerable al colapso durante un terremoto. La instalación selectiva de elementos centrales de muro con rellenos de mortero bien anclados al sistema de techo o a una viga collar, resulta eficaz para evitar daños importantes en todo tipo de construcciones de adobe.

### Caso de estudio 1: Rancho Camulos

La puesta en práctica de un sistema de adecuación sísmica integral basado en la estabilidad puede verificarse en la residencia principal del Adobe Del Valle, en el Museo de Rancho Camulos, cerca de Piru, en el Condado de Ventura, California, a unos 80 kilómetros al norte de la Ciudad de Los Ángeles (Ginell y Tolles 1999).

La construcción del Adobe Del Valle se conocía originalmente con el nombre de Rancho San Francisco y era un rancho de la Misión de San Fernando. A través de los años, la estructura se fue modificando hasta llegar a ser un complejo en forma de “U”, construido alrededor de un patio central. El Historic American Buildings Survey (Inventario de edificios históricos de los Estados Unidos) fechó la porción más antigua del edificio en 1841, determinando que el resto del edificio debió construirse alrededor del año 1846 (HABS: CA-38); pero en publicaciones más recientes se han dado versiones diferentes (Delong 1980; Smith 1977).

El complejo Rancho Camulos se considera uno de los mejores ejemplos de viejo rancho californiano, pues muchos de los elementos típicos (como la cocina, la capilla y la cava de vinos) han sobrevivido esencialmente sin alteraciones. Es sin duda, el más famoso de los ranchos que aún existen y se le ha identificado como el hogar de la heroína de *Ramona*, una conocida novela romántica, escrita por Helen Hunt Jackson, que se desarrolló durante el período de la temprana California. Es difícil sobreestimar su importancia como símbolo nacional de los tiempos más antiguos de California. A Rancho Camulos se le ha designado Monumento histórico nacional.

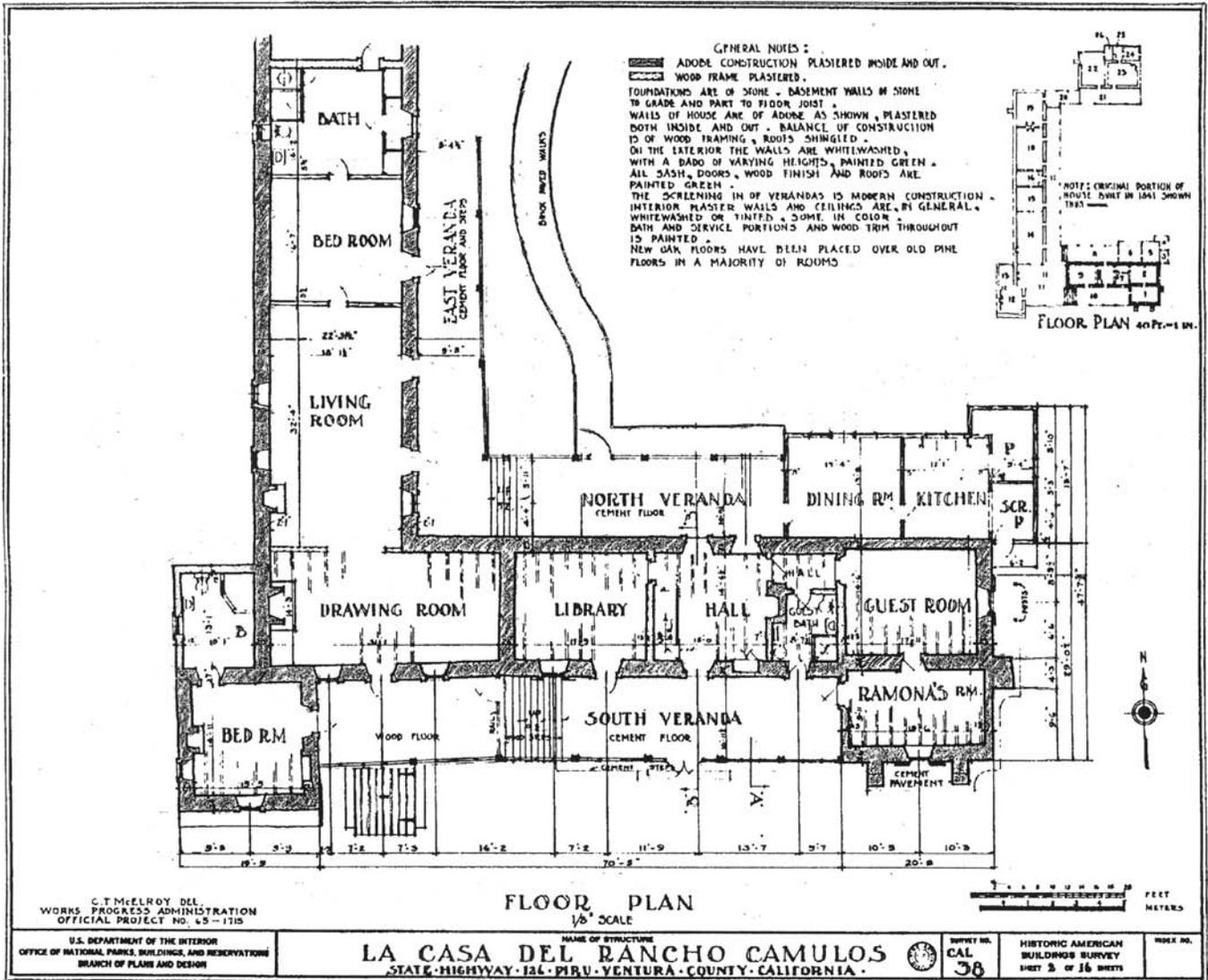
En la figura 8.3 se muestra un plano del complejo. La figura 8.4 es un dibujo del edificio sin techo, en el cual se muestra el alcance de los daños que sufrió la construcción a raíz del terremoto de Northridge, en 1994. La necesidad de reforzar sísmicamente la estructura se especificó en el reporte histórico de la estructura histórica que se preparó antes de terminar el diseño de las modificaciones estructurales. La preparación del Historic Structural Report (expediente sobre la estructura histórica - HSR) fue financiada por el California Heritage Fund.

La parte sur del complejo de construcciones es una estructura de piso y medio de altura, dotada de un tímpano y constituye fundamentalmente la estructura original. La esquina noroeste y las alas occidentales del edificio son de un piso de altura, al igual que la cocina, ubicada en el lado norte del complejo. El “cuarto de Ramona” se halla en la esquina sureste de la construcción y se trata de una habitación de un solo piso, adosada a la sección de piso y medio de altura. La edificación fue seriamente dañada durante el terremoto de Northridge. Dos muros del cuarto de Ramona se derrumbaron (fig. 8.5, y consultar fig. 5.18c) y el muro adyacente al tímpano sufrió daños severos pero no se derrumbó. La habitación de la esquina suroeste también colapso (fig. 8.6 y consultar fig. 1.4a). Todo el edificio sufrió daños por fisuras y hubo muchos desprendimientos y colapsos de adobes, especialmente en aquellas áreas ya debilitadas por la presencia de humedad (Tolles et al. 2000).

El sistema de adecuación sísmica que se empleó en la construcción del Adobe Del Valle consistió en un sistema de cables de acero inoxidable y un diafragma parcial hecho de triplay como elementos horizontales y también se usaron bandas tejidas de nylon como refuerzo vertical de los muros existentes. Adicionalmente, se colocaron varillas centrales en los muros reconstruidos que fueron de 30 y 60 cm de espesor. (12 y 24 pulgadas).

Se recomendó el uso de cables como elementos de refuerzo superior del muro, dada su mayor fuerza y rigidez que la de los tirantes de nylon. Contar con un mayor grado de rigidez puede ser una ventaja cuando los elementos horizontales se ven sujetos a grandes cargas a lo largo de longitudes mayores que las de cargas verticales. Se requirió también que los elementos verticales se adaptaran a dobles de radio pequeño, por lo que se necesitó que fuesen de una mayor flexibilidad.

Se instalaron tirantes verticales en los muros transversales de corte, con el fin de asegurar la ductilidad de estos elementos estructurales. Algunos de los muros interiores existentes tenían un grosor de 30 cm. (12 pulgadas) y entre

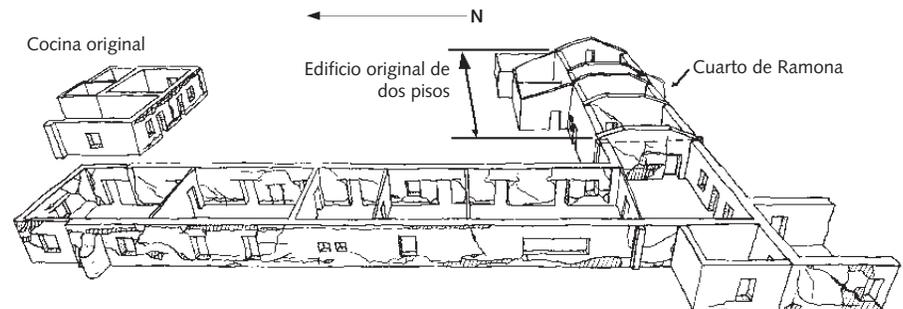


**Figura 8.3**  
 Plano de la construcción del Adobe Del Valle, Museo de Rancho Camulos, Piru, California (cortesía del Library of Congress, Prints and Photographs Division, Historic American Buildings Survey).

2.7 y 3.3 m. (9 a 11 pies) de altura, ( $S_L = 9-11$ ); otros tenían 60 cm. (24 pulgadas) de grueso ( $S_L = 6$ ), pero habían sufrido graves daños en el plano o habían sido modificados anteriormente, agregándoseles puertas y ventanas. En los muros reconstruidos que se hubieran derrumbado durante el terremoto de Northridge de 1994 se usaron varillas verticales centrales de muros, empleados en conjunción con armaduras en forma de escaleras horizontales.

No se usaron materiales galvanizados en sitios en los que pudiera haber contacto con estuco o mortero de cal frescos. La cal, que es altamente alcalina, puede reaccionar químicamente con los materiales galvanizados húmedos,

**Figura 8.4**  
 Daños sísmicos ocurridos en el edificio del Adobe Del Valle (Tolles et al. 1996).





**Figura 8.5**

Colapso de muro en el cuarto de Ramona, edificio del Adobe Del Valle.



**Figura 8.6**

Colapso de muro en la habitación suroeste del edificio del Adobe Del Valle.

por lo que se escogió utilizar acero inoxidable en aquellos elementos que estuvieran en contacto o en proximidad con las superficies de los muros de adobe.

Los extremos de cables y tirantes se diseñaron de modo que pudieran distribuirse los esfuerzos y asegurar su ductilidad. La generación de esfuerzos en estos elementos puede dañar el adobe adyacente y es necesario controlar éste mismo al mínimo.

Los extremos de los cables utilizados en el edificio del Adobe Del Valle se muestran en la figura 8.7. Los cables se instalaron de manera que corrieran en líneas rectas y terminaran en secciones con roscadas atornilladas a platinas de acero. Las platinas a su vez, se montaron sobre una malla de alambre que reduciría los esfuerzos concentrados en el adobe. A través del muro y a lo largo de los cables se instalaron amarres fuertes y sólidos de nylon, tipo electrónico a intervalos de aproximadamente 1 m. (3.3 pies), con el fin de que los cables paralelos quedaran amarrados entre sí.

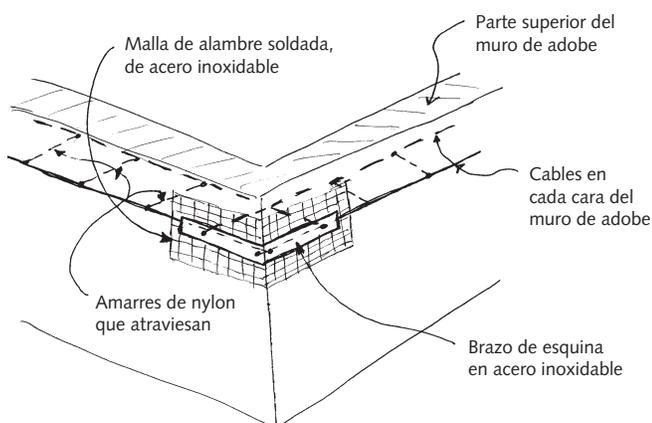
En el croquis que aparece en el capítulo anterior (consultar fig. 7.3), se muestran detalles de la instalación de los tirantes verticales utilizados en el edificio del Adobe Del Valle. Dichos tirantes se pasaron a través de un orificio en la base del muro y luego por encima de la plancha de madera que se instaló en la parte superior del mismo. Estos cables se tensaron utilizando dos juegos de anillos en forma de "D" instalados en una de las caras del muro. El orificio de la base del muro se forró con una sección de tubo de plástico de 3.8 cm. (1.5 pulgadas) de diámetro, con el fin de reducir el daño por abrasión que pudiera sufrir el adobe durante la instalación y durante la actuación de grandes cargas dinámicas como las que se presentan en un terremoto.

Se colocaron tirantes y cables en ranuras de 2.5 cm. (1 pulgada) localizadas en el enlucido de los muros de adobe. Las ranuras fueron cubiertas después con malla de alambre de acero inoxidable y recubiertas con enlucido nuevo similar al existente.

El diseño de los elementos de adecuación sísmica se basó en una combinación de criterio de ingeniería y datos de las pruebas físicas. Las cargas en los cables y tirantes se midieron durante las pruebas en modelos a gran escala del GSAP, las que se basaron en prototipo de construcción con muros de adobe de 0.4 m. (16 pulgadas) de grosor. La fuerza máxima en el elemento horizontal fue de 286 kg (631

**Figura 8.7**

Conexiones de extremo de los cables horizontales utilizadas en la reparación del edificio del Adobe Del Valle.



libras) y sólo de 55 kg (120 libras) en los elementos verticales. Las cargas permisibles tanto para los cables como para los tirantes se hallaron muy por encima de estos niveles. Se seleccionó un cable de acero inoxidable muy común, de 13 mm. (0.5 pulgadas) de diámetro, por su buena relación costo-beneficio. Las bandas planas de nylon tejido de 3.8 cm. (1.5 pulgadas) de ancho que se usaron fueron capaces de resistir fuerzas de 1,364 kg (3000 libras)

En las zonas de la edificación que tenían dos pisos el cable horizontal se unió a la estructura del segundo piso. La carga máxima en los cables horizontales durante las pruebas de gran escala del GSAP fue de 172 kg (380 libras).

Los muros internos se reforzaron usando varillas horizontales, las que se conectaron con los tirantes verticales y los cables horizontales de los muros externos. Esto produjo un sistema flexible de apoyo para los delgados muros internos, muchos de los cuales tenían relaciones de esbeltez de 9 a 10.

Los amarres pasantes de nylon que conectaban los tirantes verticales externos e internos a media altura de los muros se mantuvieron intactos y no fallaron durante las pruebas del GSAP. Las máximas fuerzas en los amarres pasantes fueron significativamente menores que las medidas en los tirantes a nivel del segundo piso. Los amarres de cable de nylon sólido que se usaron en las pruebas soportaron niveles de tensión de trabajo de 1.7 MPa (247 psi).

La reparación de la residencia principal de Rancho Camulos incluyó la reconstrucción completa de cuatro porciones de muros externos, la reparación de muros muy agrietados en todo el edificio y el reemplazo de entre el 15% y el 20% de los enlucidos que se desprendieron completamente de los muros de adobe o, su readhesión era imposible. El costo total de la reparación y del refuerzo sísmico con tirantes, cables y varillas centrales de muro fue de unos \$463 dólares americanos por metro cuadrado (\$43 dólares americanos por pie cuadrado); siendo el costo de la ejecución de \$301 dólares americanos por metro cuadrado (\$28 dólares americanos por pie cuadrado).

## Caso de estudio 2: Casa De la Torre

El segundo caso que estudiaremos es el de la Casa De la Torre, edificación histórica de adobe ubicada en el Monterey National Landmark District de California. Aunque el edificio no ha sufrido daños recientes debidos a un terremoto, se le reforzó sísmicamente a solicitud del propietario. La Ciudad de Monterey brindó cierto apoyo financiero para alentar la participación de especialistas y profesionales del campo de la conservación. Como en el caso de la adecuación sísmica de la edificación Del Valle Adobe, se preparó un expediente histórico sobre la estructura antes de finalizar el diseño. La preparación del expediente histórico sobre la estructura (HSR) en este caso fue subvencionada por la Cities of Monterey Historic Preservation Commission (Comisión de preservación histórica de las ciudades de Monterey).

Francisco Pinto construyó la Casa De la Torre entre los años 1851 y 1852. En 1862, José De la Torre compró la casa de adobe, que entonces era una estructura de piso y medio, ocupándola con su familia hasta el año 1923. En 1924, el artista Myron Oliver compró la edificación y la remodeló de manera significativa. Eliminó el medio piso superior y creó un estudio, instalando una alta ventana de arco en el muro norte. El interior del estudio se diseñó en forma de capilla misionera, con cielo raso de catedral de madera de pino rojo, una plataforma de coro y puertas talladas con escenas del "Río de la Vida". También se reemplazó el techo existente por un techo de tejas estilo neo-Misión.

Mientras se preparaba el mencionado estudio y se diseñaba el sistema de adecuación sísmica para la Casa De la Torre, había también que

considerar el preservar las modificaciones hechas en 1924 por Oliver, quien ha sido considerado el padre del movimiento de preservación histórica en Monterey. En la figura 8.8 se muestra un plano de la Casa De la Torre y en las figuras 8.9 y 8.10 se muestran, respectivamente, fotografías del techo inferior (lado poniente) y del muro y portal de la ventana (lados norte y oriente). Las dimensiones de los muros este y oeste de la sección principal miden  $11.3 \times 4.3 \times 0.6$  m. ( $37 \times 14 \times 2$  pies). Los muros de extremo, que tienen 6.1 m. (20 pies) de longitud, acaban en tímpano y la plataforma del desván cubre alrededor del 30% del extremo sur de la sección principal.

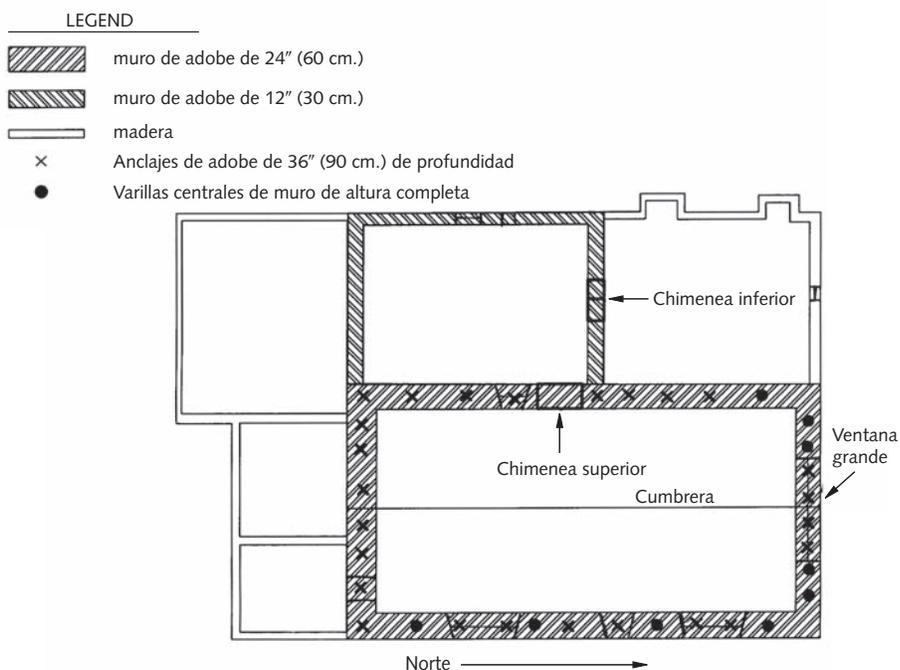
El área más vulnerable a daños sísmicos era el muro norte terminado en tímpano y con una gran ventana de vidrio. Para reforzar y estabilizar este muro, se instalaron dos varillas verticales centrales de muro de 1.9 cm. (0.75 de pulgada) de diámetro, a cada lado de la ventana. Los extremos superiores de las varillas se atornillaron a la plancha de madera instalada en la parte superior del muro. Las varillas, que se extendían tan sólo hasta la parte superior de la cimentación de piedra, se fijaron con una mezcla cementada de mortero de gran resistencia. También se instalaron varillas centrales en cada pilastra del muro oriente (consultar fig. 8.8), pues el techo independiente del portal brindaba poco o muy limitado soporte.

Dado que los muros de los lados oeste y sur se hallaban unidos por el techo a 1.2–1.6 m. (4–6 pies) de la parte superior de dichos muros, no se fue necesario instalar en ellos varillas centrales, salvo una en la primera pilastra adyacente al muro norte. Esta varilla se colocó para reforzar la esquina y resistir las fuerzas que pudieran producirse en caso de que el muro norte tendiera a moverse hacia afuera. Se colocaron varillas cortas de anclaje de techo de 1.6 cm. de diámetro por 91 cm. de longitud ( $0.625 \times 36$  pulgadas) a ciertos intervalos a lo largo de la parte superior de los muros y se fijaron utilizando mortero cementado.

Sólo el costo de la adecuación sísmica de la parte alta de los muros de la Casa De la Torre fue de unos \$25,000 dólares americanos, lo que representa alrededor de \$364 dólares americanos por metro cuadrado (\$34 dólares americanos por pie cuadrado).

**Figura 8.8**

Plano de la Casa De la Torre; Monterey, California.





**Figura 8.9**  
Casa De la Torre, vista del lado oeste.



**Figura 8.10**  
Casa De la Torre, muros norte (ventana) y este (fotografía cortesía de Tony Crosby).

### Resumen de consideraciones para la adecuación sísmica de construcciones de adobe de muros con diferentes relaciones de esbeltez

Como ya se discutió, un elemento muy importante que afecta el diseño de adecuación sísmica para una estructura histórica de adobe es la relación de esbeltez de sus muros. La sección que sigue describe en términos generales algunas de las consideraciones que deberán tomarse en cuenta al definir un diseño basado en la estabilidad para reforzar edificaciones con muros gruesos, medianos o delgados.

#### Ejemplo de diseño: Construcciones de muros gruesos ( $S_L < 6$ )

##### *Distribución de cargas laterales*

Se requiere anclar la parte superior de los muros al sistema de techo, con el fin de evitar el volteo por rotación en su base. Los muros de corte estarán sujetos a niveles de carga muchos menores que los valores calculados utilizando un procedimiento de diseño estático típico, dada la resistencia fuera del plano al volteo de muros gruesos. Podría justificarse una reducción de las fuerzas de corte calculadas que se distribuyan a los muros en el plano.

##### *Refuerzos verticales en muros*

En la mayor parte de los casos, los muros podrían no necesitar refuerzos verticales, pues el desplazamiento de éstos tendría que ser muy grande antes de que se empiecen a crear problemas de estabilidad. Sin embargo, si el objetivo fuera limitar los desplomes permanentes durante movimientos sísmicos importantes, deberían utilizarse elementos verticales de refuerzo centrales.

#### Ejemplo de diseño: Edificios con muros medianamente gruesos ( $S_L = 6-8$ )

##### *Distribución de cargas laterales*

Se requiere anclar la parte superior de los muros al sistema de techo, con el fin de evitar el volteo por rotación en su base. Un refuerzo en los sistemas de techo o de entepiso agregará un cierto grado de redundancia al sistema

estructural. Los muros de corte estarán sujetos a niveles de carga muchos menores que los valores de carga calculados utilizando métodos típicos de diseño estático, dada la resistencia fuera del plano al volteo de estos muros. También en este caso podría justificarse un cálculo reducido de fuerzas de corte para los muros en el plano.

#### *Refuerzos verticales en muros*

Podría requerirse un refuerzo vertical de estos muros para aumentar la ductilidad de los mismos o bien para reducir el tamaño de los desplomes permanentes. La instalación de tirantes verticales aumentará la ductilidad, mientras que el empleo de varillas centrales resultará en un aumento de la ductilidad y en una reducción de los desfases permanentes.

### **Ejemplo de diseño: Edificios con muros delgados ( $S_L > 8$ )**

#### *Distribución de cargas laterales*

Los muros delgados presentan poca o ninguna resistencia al volteo y rotan libremente sobre sus bases. Se hace necesario el empleo de un sistema de diafragma de techo o de entrepiso capaz de transferir fuerzas a los muros de corte en el plano.

#### *Refuerzos verticales en muros*

En muros delgados, *deberán* usarse refuerzos verticales, con el fin de garantizar que los mismos se comporten de forma adecuada en la dirección fuera del plano. El empleo de tirantes verticales puede ofrecer suficiente seguridad en la mayoría de situaciones, pero una solución más segura consiste en agregar varillas verticales centrales; lo que aumenta tanto la ductilidad como la resistencia, al tiempo que evita la degradación estructural durante los movimientos sísmicos prolongados.

#### **Adobe dañado por humedad**

Todos los muros de adobe deberán inspeccionarse para detectar daños producidos por humedad, especialmente cerca de sus bases. La estabilidad inherente a los muros gruesos es comprometida cuando los bloques de adobe de sus bases han sido dañados por efecto de ciclos de humedecimiento y secado o cuando el muro cuenta con humedad excesiva. En ambos casos, resulta particularmente importante examinar las superficies recubiertas con materiales a base de cemento Portland si las hubiera, ya que es un material que no permite la rápida evaporación del agua. En caso de daños producidos por humedad como los descritos, hay una gran probabilidad de pérdida de capacidad de carga en los muros y de derrumbe de los mismos. Las reparaciones estructurales son obligatorias, pero no deberán llevarse a cabo sino hasta cuando la fuente de agua se haya eliminado y el muro esté seco. Los bloques de adobe dañados deberán retirarse, y ser reemplazados e instalados con mortero. Si no pudiera eliminarse la fuente de daños de humedad, los nuevos bloques deberán ser de adobe estabilizado, capaz de resistir el deterioro por contacto con el agua.

El análisis de resultados de los eventos sísmicos de los años más recientes, en particular el del terremoto de Northridge de 1994, sugiere que la falta de estabilización sísmica de las construcciones históricas de adobe contribuirá a la pérdida total de este patrimonio. El reto de adecuar sísmicamente una construcción de adobe es una actividad beneficiosa en el largo plazo, ya que preserva los recursos históricos así como garantiza la seguridad de vida de sus ocupantes. La pérdida de construcciones originales no debe permitirse ni por la ejecución de medidas de adecuación sísmica poco eficientes e intrusivas, ni tampoco por los efectos de la actividad sísmica. Es posible alcanzar un equilibrio que garantice tanto la autenticidad de una construcción histórica como la seguridad de sus ocupantes. Los lineamientos que aquí hemos presentado tienen el propósito de brindar información útil para poner en práctica una estrategia de adecuación sísmica que sea congruente con los principios de la conservación.

Además de las pérdidas culturales, los terremotos pueden afectar económicamente a construcciones históricas de adobe de interés turístico, tales como las misiones de California. Recientes investigaciones llevadas a cabo por el Estado en el sector de turismo, indican que los sitios históricos ocupan el segundo lugar de preferencia entre los visitantes a California, después de las maravillas naturales que éste estado posee. Es por ello que las misiones de California se encuentran entre los destinos turísticos más visitados (Murphy 1992).

La arquitectura de las estructuras históricas de adobe y la de las primeras misiones españolas de California se asocia con la identidad del Estado ante el mundo y es el resultado de una intensa actividad que comenzó a principios del siglo diecinueve y que promovió al estado como la región ideal para vivir o visitar. La presente generación y las generaciones futuras tienen la responsabilidad de preservar lo que queda de estas estructuras, salvaguardándolas y protegiendo a sus ocupantes de posibles daños ocasionados por terremotos.

Al intentar cumplir con el reto de preservar y proteger las construcciones históricas de adobe como ejemplos de la arquitectura antigua del Nuevo Mundo, es importante ceñirse a procedimientos de planeamiento juiciosos, independientemente del tamaño de los presupuestos. Considerar todos los asuntos relevantes durante el diseño de un plan de adecuación sísmica será beneficioso proporcionalmente al esfuerzo para implementarlo. Existe el riesgo de que por ejemplo, por no contarse con la información requerida sobre la importancia histórica y arquitectónica de una construcción, se pierdan o se alteren características importantes de la misma de las cuales el dueño o el administrador de una propiedad pudieran ser responsables (aunque sea sólo ante la historia), de la pérdida de la autenticidad de la construcción.

Desde luego que los lineamientos aquí expuestos no son absolutos, ni garantizan la eficiencia de un sistema de adecuación sísmica. No se puede

garantizar que la puesta en práctica de los mismos asegure el desempeño eficiente de un equipo de diseño, ni que reciba una opinión favorable por parte de una comisión de protección del patrimonio histórico. El empleo de un arquitecto como supervisor de un proyecto no garantiza tampoco que dicho proyecto sea aprobado, pero en general mejora las oportunidades de que el proyecto resulte exitoso. Tampoco se puede depender únicamente de la adecuación sísmica para prevenir el daño por efecto de un terremoto. Sin embargo, se pueden aplicar algunas medidas de seguridad pública y de control de daños, al mismo tiempo que se preserva una parte importante de la autenticidad de la edificación histórica.

Los diseños de adecuación sísmica de agresividad mínima que se han esbozado en este texto han sido evaluados de manera metodológica y se ha demostrado bajo pruebas con simuladores sísmicos que los modelos a escala fueron adecuados sísmicamente. No debe inferirse que los diseños descritos aquí sean los únicos que funcionen, ni que diseños diferentes a los tratados aquí no puedan ofrecer resultados igualmente satisfactorios. Sin embargo, es nuestro sentir que el principio de buscar asegurar la estabilidad sísmica (más que mejorar su resistencia) ha demostrado ser eficaz y deberá ser considerado al diseñar adecuaciones sísmicas futuras para estructuras históricas de adobe.

Según lo hizo notar Jokilehto (1985), con pocas excepciones, la preocupación de preservar el legado cultural se ha expresado desde la antigüedad. Sólo los conceptos y los procedimientos han cambiado con el tiempo. Es por ello que resulta prudente desarrollar una política de conservación bien pensada, que utilice un enfoque de caso por caso, más que seguir ciegamente los llamados preceptos establecidos.

## Getty Seismic Adobe Project

El objetivo del Getty Seismic Adobe Project (Proyecto sísmico en estructuras de adobe del Getty - GSAP, por sus siglas en inglés) fue hacer contribuciones al conocimiento global sobre el comportamiento sísmico de las construcciones históricas de adobe mediante el desarrollo de una mejor comprensión de las modalidades de falla y mediante el desarrollo de procedimientos técnicos que mejoren el comportamiento sísmico de las estructuras monumentales existentes de adobe que resulten congruentes con la preservación de los valores arquitectónicos, históricos y culturales.

Los principales logros de este proyecto de conservación fueron la formulación de un marco teórico general para entender el comportamiento dinámico de las construcciones históricas de adobe ante la actividad sísmica, el desarrollo de una metodología que permitiera diseñar sistemas de adecuación sísmica para construcciones históricas de adobe y la presentación de datos relacionados con un cierto número de medidas de refuerzo experimentalmente verificadas que puedan utilizarse para la estabilización de estas estructuras.

El resultado final de estos esfuerzos no es un manual de diseño paso por paso, sino un documento que requiere estudio, así como la aplicación de criterios de ingeniería. Diseñar un sistema de adecuación para una construcción de mampostería no reforzada hecha de adobe es parte ciencia y parte arte, y requiere de un entendimiento cabal de las fortalezas y debilidades del adobe.

### Estructura general del proyecto

El trabajo llevado a cabo durante el GSAP se dividió en tres fases:

**Fase 1:** Evaluación del conocimiento y las prácticas existentes con relación a la estabilización sísmica de construcciones históricas de adobe y el desarrollo de un fundamento técnico sobre el cual pudieran basarse distintos métodos para mejorar la resistencia sísmica de las mismas.

**Fase 2:** Iniciar un proceso de investigación de diferentes conceptos de adecuación sísmica y complementar lo que se sabe en la actualidad. Entre las investigaciones realizadas se incluía la ejecución de pruebas sobre mesas vibratoras, al igual que la realización de modelos analíticos. El terremoto de Northridge en 1994 en el área de Los Ángeles resultó ser una magnífica oportunidad para estudiar los efectos de un terremoto fuerte en construcciones históricas existentes de adobe. La investigación resultante se agregó al plan original de la Fase 2.

**Fase 3:** Preparación y distribución de informes de investigación, artículos técnicos, presentaciones en conferencias especializadas y

publicación del presente libro, que consiste en una serie de guías, directrices y recomendaciones para la planificación y adecuación sísmica de estructuras históricas de adobe. Las secciones de planificación analizan aspectos importantes relacionados con las estructuras históricas de adobe, así como los valores de culturales y de conservación. También brindan un esbozo de las medidas a tomar para la planificación de la adecuación sísmica de una construcción histórica de adobe. El aspecto de ingeniería del libro ofrece una base teórica desde la cual entender el comportamiento sísmico y los procedimientos técnicos utilizados para el diseño de medidas de adecuación sísmica a emplearse en estructuras históricas de adobe.

Se pensó que, con el fin de que éstas guías resultaran útiles, éstas requerirían contar con el apoyo por parte de la comunidad de profesionales que trabajan en este tema. Para lograr este objetivo, su aplicación debería ser viable y dar respuesta a problemas reales de adecuación sísmica. Por lo tanto, se tomó la decisión de plantear el GSAP como un esfuerzo de cooperación entre un grupo de individuos expertos en el análisis del comportamiento sísmico de las estructuras de adobe e individuos que estuviesen familiarizados con los muchos y complejos aspectos culturales que influyen en la posible modificación de estructuras históricas de adobe.

Asimismo, el GSAP se benefició del apoyo brindado por un comité asesor, constituido con el fin de garantizar que el proyecto avanzara de una forma lógica que le permitiera alcanzar sus objetivos. El Comité asesor del GSAP tuvo dos responsabilidades principales:

- Monitorear las actividades del proyecto y asesorar al director del mismo sobre la dirección del GSAP; y
- Revisar las actividades técnicas y los logros del GSAP y asesorar al director del proyecto y al gerente del mismo sobre las conclusiones alcanzadas por el proyecto.

### **Comité asesor y personal del proyecto**

#### **Miembros del Comité asesor del GSAP**

Edward E. Crocker, arquitecto conservador y contratista, Santa Fé, Nuevo México

Anthony Crosby, arquitecto historiador, anteriormente trabajó para el National Park Service, Denver, Colorado

M. Wayne Donaldson, arquitecto historiador, San Diego, California

Melvyn Green, ingeniero estructural sísmorresistente, Torrance, California

James Jackson, arquitecto, California State Parks, Sacramento, California

Helmut Krawinkler, profesor principal, Ingeniería Estructural, Stanford University, Palo Alto, California

John Loomis, arquitecto, Thirtieth Street Architects, Newport Beach, California

Nicholas Magalousis, profesor, Santa Ana College y anteriormente conservador de la Misión de San Juan Capistrano, San Juan Capistrano, California

Julio Vargas Neumann, profesor principal, Ingeniería Estructural,  
Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú

#### Personal del GSAP

Neville Agnew, director general del GSAP, Getty Conservation  
Institute

William S. Ginell, administrador del GSAP y científico de materia-  
les, Getty Conservation Institute

Edna E. Kimbro, historiadora de la arquitectura y conservadora

Charles C. Thiel, Jr., ingeniero sismorresistente

E. Leroy Tolles, principal investigador e ingeniero sismorresistente

Frederick A. Webster, ingeniero sismorresistente

#### Resumen de actividades del GSAP

Las actividades del GSAP incluyeron la investigación, la conducción de pruebas de laboratorio y las investigaciones de campo. Las consultas llevadas a cabo con los miembros del Comité asesor, así como con otros profesionales aumentaron la relevancia de los esfuerzos del GSAP en relación con los problemas ocasionados por daños sísmicos en sitios de valor histórico. Los resultados finales de estos esfuerzos se plasmaron en informes técnicos interinos, en un informe final sobre los estudios de investigación (Tolles et al. 2000), en presentaciones en conferencias especializadas, en artículos en publicaciones técnicas, en un estudio de los daños sísmicos que en construcciones históricas de adobe provocó el terremoto de Northridge (Tolles et al. 1996) y en las presentes guías, recomendaciones y directrices.

La Fase 1 incluyó una revisión de las prácticas de adecuación existentes, una revisión de la literatura sobre el tema y el desarrollo preliminar de las directrices de planificación (Thiel et al. 1991). Tras cumplirse las investigaciones de la Fase 1 y después de haber sostenido conversaciones con el Comité asesor, se esbozó el programa de investigación. Éste incluyó la conducción de pruebas en la mesa vibradora de Stanford University, utilizando para ello modelos de estructuras de adobe a escala 1:5. Las pruebas hechas en los tres primeros modelos se detallaron en el informe relativo a las actividades del segundo año del GSAP (Tolles et al. 1993).

Después de realizar las pruebas iniciales, ocurrió el terremoto de Northridge en el área de Los Ángeles. Aunque resultó desafortunado que tantos edificios resultaran dañados por el mismo, este acontecimiento resultó muy beneficioso para nuestras investigaciones. Pudo recolectarse una gran cantidad de información detallada y previamente indocumentada sobre los daños sísmicos sufridos por construcciones históricas. Ésto llevó a la realización de pruebas de otros seis modelos a escala sobre la mesa vibradora que se llevaron a cabo en Stanford University después del terremoto de Northridge. Una vez terminadas estas pruebas adicionales, se realizaron dos estudios complementarios, utilizando modelos a escala 1:2. Para ello, se utilizó una mesa vibradora de grandes dimensiones, localizada en Skopje, República de Macedonia.

La siguiente es una cronología de las principales actividades del GSAP:

- 1991–92 Fase 1, investigación y reunión preliminar del Comité asesor
- 1991 Informe de las actividades del primer año (Thiel et al. 1991)

- 1992 Prueba de los modelos de adobe 1, 2 y 3, hechos a escala 1:5.
- 1993 Informe de las actividades del segundo año (Thiel et al. 1993)
- 1994 Prueba de los modelos de adobe 4,5 y 6, hechos a escala 1:5.
- 1994–95 Estudio e informe de daños a edificios históricos de adobe en el terremoto de Northridge, en 1994 (Tolles et al. 1996)
- 1994 Prueba del modelo 7, con tímpano, hecho a escala 1:5, con medidas de adecuación para una construcción de adobe
- 1995 Prueba del modelo 8 (reforzado sísmicamente) y 9 (modelo de control sin refuerzo), ambos con tímpano, y construídos a escala 1:5, utilizando muros medianamente gruesos
- 1996 Prueba de los modelos 10 y 11, hechos a escala 1:2 (Gavrilovic et al. 1996)
- 2000 Informe final, que resume todas las actividades experimentales (Tolles et al. 2000)
- 2001 Informe de actividades del tercer año: pruebas en mesa vibradora de estructuras de adobe a gran escala (Ginell et al. 2001)
- 2002 El presente volumen, que resume y sintetiza los aspectos más importantes del esfuerzo de investigación.

## Ley de edificios de mampostería no reforzada, SB547

*Esta traducción al español no sirve como traducción formal y sólo se ofrece con el propósito de informar. Favor de consultar el texto en inglés, que aparece a continuación, para leer la ley oficial de construcción.*

A continuación, se presenta el capítulo 12.2 de la Ley de edificios de mampostería no reforzada, SB547 de la Seismic Safety Commission (Comisión para la seguridad sísmica 2000).

### Capítulo 12.2 Seguridad constructiva para casos de sismo

*El capítulo 12.2 fue complementado con las Stats. 1986, c. 250, §2.*

**§ 8875. Definiciones. A menos de que el contexto demande otra cosa, las definiciones que siguen habrán de regir la interpretación del presente capítulo.**

- (a) La expresión “edificio potencialmente peligroso” alude a cualquier edificio con muros de mampostería no reforzada construido antes de la adopción de códigos locales de construcción que hagan obligatorio un diseño resistente a los terremotos. La expresión “edificio potencialmente peligroso” comprende todas las construcciones de este tipo incluyendo, aunque sin limitarse a ellas, escuelas públicas y privadas, teatros, lugares de reunión pública, edificios de departamentos, hoteles, moteles, estaciones de bomberos, estaciones de policía y edificios que alberguen servicios o equipo de emergencia, tales como edificios de gobierno, centros para asistencia en caso de desastres, instalaciones de comunicación, hospitales, bancos de sangre, almacenes, plantas y expendios farmacéuticos al menudeo. La expresión “edificio potencialmente peligroso” no incluye, para los efectos de la subdivisión (a) de la Sección 8877, ningún edificio que se haya clasificado como “propiedad histórica” y que hubiera sido designado como tal por una agencia gubernamental apropiada, conforme a lo estipulado en la Sección 37602 del Health and Safety Code (Código de salud y seguridad).
- (b) “Departamento local de construcción” significa cualquier departamento o agencia de una ciudad o condado encargado de hacer cumplir los códigos locales de construcción.

#### **§ 8875.1 Establecimiento del programa, identificación de edificios potencialmente peligrosos, informe de recomendaciones**

Por medio del presente se establece un programa en todas las ciudades, tanto aquellas que operen bajo las leyes generales como aquellas que tengan su pro-

pia constitución, así como en todos los condados y porciones de los mismos que se ubiquen dentro de la zona sísmica 4, según se define e ilustra ésta en el Capítulo 2-23 de la Parte 2 del Título 24 del California Administrative Code (Código administrativo de California), con el fin de identificar todo edificio potencialmente peligroso, así como con el fin de establecer un programa de mitigación para los edificios potencialmente peligrosos que se identifiquen de esta manera.

Para el 1° de septiembre de 1987, la Comisión para la seguridad sísmica, en cooperación con las ciudades de la League of California Cities (Liga de California), County Supervisors Association of California (la Asociación de supervisores del Condado de California) y los funcionarios de construcción en California deberán preparar un informe de recomendaciones para las jurisdicciones locales, en el cual se incluyan los criterios y los procedimientos requeridos conforme a lo estipulado en la Sección 8875.2.

*(Anteriormente § 8876, complementado por las Estads. 1986, c. 250, § 2. Renumerado como § 8875.1 y enmendado por las Estads. 1987, c. 56 § 62.)*

#### **§ 8875.2 Departamentos locales de construcción, participación en programas de mitigación, informes**

Los departamentos locales de construcción deberán llevar a cabo todo lo que sigue:

- (a) Identificar todos los edificios potencialmente peligrosos dentro de sus respectivas jurisdicciones, a más tardar para el día 1° de enero de 1990. Esta identificación deberá incluir el uso actual al que estuvieran destinados estos edificios, así como su carga diaria de ocupación. En relación con la identificación y el inventariado de edificios, los departamentos locales de construcción podrán establecer una tabla de cuotas con el fin de recuperar el costo de identificación de edificios potencialmente peligrosos, así como el costo de las demás medidas que contempla el presente capítulo.
- (b) Establecer un programa de mitigación para edificios potencialmente peligrosos que incluya la notificación a sus propietarios de que el edificio en cuestión se considera como perteneciente a un cierto tipo general de estructura que históricamente haya demostrado tener poca resistencia ante los movimientos telúricos. El programa de mitigación puede incluir la adopción por ordenanza de un programa para edificios riesgosos, de medidas para fortalecer dichos edificios, de medidas para cambiar el uso de la construcción a niveles de ocupación aceptables o de medidas para la demolición de este tipo de edificios, de incentivos fiscales que procedan para efectos de su rehabilitación sísmica, de préstamos de bajo costo para rehabilitación sísmica, conforme a lo contemplado por la División 32 (comenzando con la Sección 5506) del Código de salud y seguridad, de la aplicación de las normas estructurales necesarias para garantizar la preservación de la integridad física de los ocupantes que rebasen los requisitos del código vigente y de otros incentivos que pudieran existir al nivel de programas federales, estatales y/o locales para la reparación de edificios. El cumplimiento de cualquier ordenanza para edificios peligrosos o de un programa de mitigación que hubieran podido adoptarse será responsabilidad del (de los) propietario(s) del edificio en cuestión.

Nada de lo contemplado en el presente capítulo deberá interpretarse de forma que un edificio estatal sujeto a un programa de mitigación local o que un gobierno estatal o local resulten responsables de pagar por el costo de reforzar una estructura de propiedad privada, de reducir su nivel de ocupación, de demoler una estructura dada, de preparar análisis ingenieriles o arquitectónicos, de llevar a cabo investigaciones o realizar diseños, como tampoco de pagar ningún otro costo asociado con el cumplimiento de programas de mitigación adoptados localmente.

- (c) A más tardar el 1° de enero de 1990, toda información relativa a edificios potencialmente peligrosos y todos los programas de mitigación de edificios peligrosos deberán reportarse al cuerpo legislativo apropiado de cada ciudad o condado, presentándose ante la Comisión para la seguridad sísmica.

#### **§ 8875.3 Jurisdicciones locales, inmunidad ante responsabilidad**

Las jurisdicciones locales que lleven a cabo inventarios y evaluaciones estructurales de edificios potencialmente peligrosos conforme al presente capítulo gozarán de la misma inmunidad por acciones que hubieran podido emprender o por abstenerse de emprenderlas conforme a lo contemplado en el presente capítulo, según se establece en la Sección 19167 del Código de salud y seguridad en relación con acciones o abstención de ellas que hubieran podido llevarse a cabo o no conforme al Artículo 4 (comenzando con la Sección 19160) del Capítulo 2 de la Parte 3 de la División 13 del Código de salud y seguridad.

#### **§ 8875.4 Informe anual**

La Comisión para la seguridad sísmica informará anualmente, a partir de o antes del 30 de Junio de 1987, a la Legislatura sobre la puesta en práctica de cualquier programa de mitigación generado en las jurisdicciones locales. El informe anual que contempla esta sección revisará y evaluará la eficacia de las normas de reconstrucción de edificios que adopten las ciudades y condados, de conformidad con lo contemplado en el presente artículo y dicho informe habrá de substituir al requisito de informe que contempla la Sección 19169 del Código de salud y seguridad.

#### **§ 8875.5 Coordinación de responsabilidades**

La Comisión para la seguridad sísmica coordinará las responsabilidades relativas a terremotos que a las agencias gubernamentales imponga el presente capítulo, con el fin de garantizar el cumplimiento de los propósitos del mismo.

#### **§ 8875.6 Transferencia de propiedad de construcciones de mampostería no reforzada con pisos o techos de bastidor de madera, obligación de entregar a la parte compradora una guía de seguridad sísmica**

A partir del 1° de enero de 1993, toda persona (o su representante) que transfiera la propiedad de cualquier construcción de mampostería no reforzada con pisos o techos de bastidor de madera que hubiera sido construída antes del 1° de enero de 1975 y que se encuentre en cualquier condado o ciudad deberá, tan pronto como sea posible después de la venta, transferencia o intercambio, entregar a la parte compradora una copia de la Commercial Property Owner's Guide to Earthquake Safety (*Guía de seguridad sísmica para dueños de propiedades comerciales*) que se describe en la Sección 10147 del Business and Professions Code (Código de negocios y profesiones). *Esta sección no procederá para ninguna de las transferencias que se describen en la Sección 8893.3.*

**§ 8875.7**

Asumiendo que la parte que reciba la transferencia de una propiedad haya recibido el aviso que contempla la Sección 8875.8, de no asegurarse que la propiedad o estructura en cuestión esté en todo conforme a las normas establecidas en un plazo no mayor a cinco años, contados a partir de la fecha de dicha transferencia, no podrá recibir pagos de ningún programa de asistencia estatal que tenga el propósito de efectuar la reparación de daños ocasionados por un terremoto sino hasta que todos los solicitantes hubieran recibido dicha asistencia.

**§ 8875.8**

- (a) En un plazo de tres meses, contados a partir de la fecha de entrada en vigor de la ley que enmienda la presente sección, misma que se aprobó en Sesión regular del año 1991–92, todo propietario que hubiera recibido notificación real o constructiva de que un edificio ubicado en la zona sísmica 4 está constituido por mampostería no reforzada deberá colocar un cartel en un lugar visible a la entrada del edificio en los términos que se detallan a continuación: este cartel no deberá medir menos de  $5 \times 7$  pulgadas (12.7 cm.  $\times$  17.8 cm.), el texto del mismo no podrá ser menor a 30 puntos de tamaño, deberá estar en negritas y deberá decir lo siguiente:

**Este es un edificio de mampostería no reforzada. Los edificios de mampostería no reforzada pueden ser inseguros en caso de un terremoto severo.**

- (b) En la *Guía de seguridad sísmica para dueños de propiedades comerciales* deberá incluirse una nota sobre la obligación de colocar un cartel, según lo contempla la subdivisión (a) del presente.

**§ 8875.9**

Lo contemplado por la Sección 8875.8 no procederá en el caso de construcciones de mampostería no reforzada si los muros de éstas no fueran muros de carga y contaran con una estructura de acero o de concreto.

**§ 8875.95**

Ninguna transferencia de título de propiedad será invalidada por la sola razón de que no se hubieran cumplido las condiciones que contempla el presente capítulo.

---

## Apéndice B

### The Unreinforced Masonry Building Law, SB547

Following is chapter 12.2 of the Unreinforced Masonry Building Law, SB547, of the Seismic Safety Commission (2000).

#### **Chapter 12.2 Building Earthquake Safety**

*Chapter 12.2 was added by Stats. 1986, c. 250, § 2.*

**§ 8875. Definitions.** Unless the context otherwise requires, the following definitions shall govern the construction of this chapter:

- (a) “Potentially hazardous building” means any building constructed prior to the adoption of local building codes requiring earthquake resistant design of buildings and constructed of unreinforced masonry wall construction. “Potentially hazardous building” includes all buildings of this type, including, but not limited to, public and private schools, theaters, places of public assembly, apartment buildings, hotels, motels, fire stations, police stations, and buildings housing emergency services, equipment, or supplies, such as government buildings, disaster relief centers, communications facilities, hospitals, blood banks, pharmaceutical supply warehouses, plants, and retail outlets. “Potentially hazardous building” does not include any building having five living units or less. “Potentially hazardous building” does not include, for purposes of subdivision (a) of Section 8877, any building which qualifies as “historical property” as determined by an appropriate governmental agency under Section 37602 of the Health and Safety Code.
- (b) “Local building department” means a department or agency of a city or county charged with the responsibility for the enforcement of local building codes.

#### **§ 8875.1 Establishment of program; identification of potentially hazardous buildings; advisory report**

A program is hereby established within all cities, both general law and chartered, and all counties and portions thereof located within seismic zone 4, as defined and illustrated in Chapter 2-23 of Part 2 of Title 24 of the California Administrative Code, to identify all potentially hazardous buildings and to establish a program for mitigation of identified potentially hazardous buildings.

By September 1, 1987, the Seismic Safety Commission, in cooperation with the League of California cities, the County Supervisors Association of California, and California building officials, shall prepare an advisory report for local jurisdictions containing criteria and procedures for purposes of Section 8875.2.

*(Formerly § 8876, added by Stats. 1986, c. 250, § 2. Renumbered § 8875.1 and amended by Stats. 1987, c. 56, § 62)*

**§ 8875.2 Local building departments; participation in mitigation programs; reports**

Local building departments shall do all of the following:

- (a) Identify all potentially hazardous buildings within their respective jurisdiction on or before January 1, 1990. This identification shall include current building use and daily occupancy load. In regard to identifying and inventorying the buildings, the local building departments may establish a schedule of fees to recover the costs of identifying potentially hazardous buildings and carrying out this chapter.
- (b) Establish a mitigation program for potentially hazardous buildings to include notification to the legal owner that the building is considered to be one of a general type of structure that historically has exhibited little resistance to earthquake motion. The mitigation program may include the adoption by ordinance of a hazardous buildings program, measures to strengthen buildings, measures to change the use to acceptable occupancy levels or to demolish the building, tax incentives available for seismic rehabilitation, low-cost seismic rehabilitation loans available under Division 32 (commencing with Section 5506) of the Health and Safety Code, application of structural standards necessary to provide for life safety above current code requirements, and other incentives to repair the buildings which are available from federal, state, and local programs. Compliance with an adopted hazardous buildings ordinance or mitigation program shall be the responsibility of building owners.

Nothing in this chapter makes any state building subject to a local building mitigation program or makes the state or any local government responsible for paying the cost of strengthening a privately owned structure, reducing the occupancy, demolishing a structure, preparing engineering or architectural analysis, investigation, or design, or other costs associated with compliance of locally adopted mitigation programs.

- (c) By January 1, 1990, all information regarding potentially hazardous buildings and all hazardous building mitigation programs shall be reported to the appropriate legislative body of a city or county and filed with the Seismic Safety Commission.

**§ 8875.3 Local jurisdictions; immunity from liability**

Local jurisdictions undertaking inventories and providing structural evaluations of potentially hazardous buildings pursuant to this chapter shall have the same immunity from liability for action or inaction taken pursuant of this chapter as is provided by Section 19167 of the Health and Safety Code for action or failure to take any action pursuant to Article 4 (commencing with Section 19160) of Chapter 2 of Part 3 of Division 13 of the Health and Safety Code.

**§ 8875.4 Annual report**

The Seismic Safety Commission shall report annually, commencing on or before June 30, 1987, to the Legislature on the filing of mitigation programs from local jurisdiction. The annual report required by this section shall review

and assess the effectiveness of building reconstruction standards adopted by cities and counties pursuant to this article and shall supersede the reporting requirement pursuant to Section 19169 of the Health and Safety Code.

#### **§ 8875.5 Coordination of responsibilities**

The Seismic Safety Commission shall coordinate the earthquake-related responsibilities of government agencies imposed by this chapter to ensure compliance with the purposes of this chapter.

#### **§ 8875.6 Transfer of unreinforced masonry building with wood frame floors or roofs; duty to deliver to purchaser earthquake safety guide**

On and after January 1, 1993, the transferor, or his or her agent, of any unreinforced masonry building with wood frame floors or roofs, built before January 1, 1975, which is located within any county or city will, as soon as practicable before the sale, transfer, or exchange, deliver to the purchaser a copy of the *Commercial Property Owner's Guide to Earthquake Safety* described in Section 10147 of the Business and Professions Code. *This section shall not apply to any transfer described in Section 8893.3.*

#### **§ 8875.7**

If the transferee has received notice pursuant to Section 8875.8, and has not brought the building or structure into compliance within five years of that date, the owner shall not receive payment from any state assistance program for earthquake repairs resulting from damage during an earthquake until all other applicants have been paid.

#### **§ 8875.8**

- (a) Within three months of the effective date of the act amending this section, enacted at the 1991–92 Regular Session, any owner who has received actual or constructive notice that a building located in seismic zone 4 is constructed of unreinforced masonry shall post in a conspicuous place at the entrance of the building, on a sign not less than 5 × 7 inches, the following statement, printed in not less than 30-point bold type:

This is an unreinforced masonry building. Unreinforced masonry buildings may be unsafe in the event of a major earthquake.

- (b) Notice of the obligation to post a sign, as required by subdivision (a), shall be included in the *Commercial Property Owner's Guide to Earthquake Safety*.

#### **§ 8875.9**

Section 8875.8 shall not apply to unreinforced masonry construction if the walls are non-load-bearing with steel or concrete frame.

#### **§ 8875.95**

No transfer of title shall be invalidated on the basis of failure to comply with this chapter.



---

## Apéndice C

### **Código de construcción histórica de California y fuentes de información sobre seguridad sísmica**

#### **Código de construcciones históricas del Estado de California**

El California State Historical Building Code (Código de construcciones históricas del Estado de California - SHBC, por sus siglas en inglés), revisado en 1999, puede solicitarse a la International Code Council, con domicilio en el número 5360 de Workman Mill Road, Whittier, California, 90601-2298, USA. Para solicitar copias, llamar al (562) 699-0541 o visitar el sitio de Internet, ubicado en [www.iccsafe.org](http://www.iccsafe.org).

Lo contemplado en el código que procede en relación con las construcciones de adobe se expresa en el capítulo 8-8, sección 8-806. El capítulo 8-1, “Administración”, en su sección 8-104, trata de revistas y apelaciones.

Es posible ponerse en contacto con el director ejecutivo del State Historical Building Safety Board (Consejo de seguridad en edificios históricos del Estado) en la división de arquitectura del Estado, en el 1130 de K Street, Suite 101, Sacramento, CA 95814; el teléfono es el (916) 445-7627.

#### **Comisión para la seguridad sísmica**

El domicilio de la Seismic Safety Commission (Comisión para la seguridad sísmica) es el 1755 Creekside Oaks Drive, Suite 100, Sacramento, CA 95833; (916) 263-5506; su dirección de Internet es [www.seismic.ca.gov](http://www.seismic.ca.gov).

Entre las publicaciones relativas a seguridad sísmica y adecuación que pueden obtenerse de la Comisión para la seguridad sísmica se cuentan las siguientes (muchas pueden obtenerse en la Internet, en formato PDF):

- “Architectural Practice and Earthquake Hazards: A Report of the Committee on the Architect’s Role in Earthquake Hazard Mitigation” (Prácticas arquitectónicas y riesgos sísmicos: Informe del comité sobre el papel del arquitecto en la mitigación de riesgos sísmicos). Informe n° SSC 91-10 de la Comisión para la seguridad sísmica.
  - “Guidebook to Identify and Mitigate Seismic Hazards in Buildings” (Guía para identificar y mitigar los riesgos sísmicos en edificios). Informe n° SSC 87-03 de la Comisión para la Seguridad sísmica, diciembre de 1987.
  - “Status of the Unreinforced Masonry Building Law” (Estado de la ley de construcción de estructuras de mampostería no reforzada). Informe bienal del año 2000 a la Legislatura. Informe n° SSC 00-02 de la Comisión para la seguridad sísmica.
- Herramientas de manejo de riesgos sísmicos para personas o entidades encargadas de la toma de decisiones:

- “A Guide for Decision Makers” (Guía para personas o entidades encargadas de la toma de decisiones). Publicación n° SSC 99-06.
- “Mitigation Success Stories” (Casos exitosos de mitigación). Publicación n° SSC 99-05.
- “A Toolkit for Decision Makers” (Herramientas para las personas o entidades encargadas de la toma de decisiones). Publicación n° SSC 99-04.

## Recursos para la preparación de expedientes sobre la estructura histórica

A continuación, se brindan la metodología, así como algunas fuentes de formatos para la preparación de informes de estructura histórica:

- Cultural Resource Management (Manejo de recursos culturales)*, vol. 13: n°s 4 y 6, 1990. Estos dos números del boletín técnico del National Park Service están dedicados a la elaboración de expedientes de la estructura histórica. Se les puede obtener a través de la sección de documentos gubernamentales en mayores bibliotecas (sírvase ponerse en contacto con el encargado de su biblioteca local) o bien en línea, en formato PDF, en la siguiente dirección electrónica: [www.crm.cr.nps.gov](http://www.crm.cr.nps.gov).
- “Heritage Recording” (Registro del legado), *APT Bulletin: The Journal of Preservation Technology (Boletín APT: Registro de tecnología de conservación)*, vol. 22, n°s 1 y 2, 1990. Disponible mediante préstamo interbibliotecario en bibliotecas públicas locales.
- “Historic Structure Report” (Expediente de la estructura histórica). Nuevas directrices para la preparación de informes de estructura histórica, expedidas en el año 2002. Disponible por medio de la American Standards for Testing and Materials (Sociedad estadounidense de pruebas y materiales - ASTM, por sus siglas en inglés); 100 Bar Harbor Drive, P.O. Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959; [www.astm.org](http://www.astm.org).
- Historic Structure Report Format (Formato del expediente de la estructura histórica). Este sencillo esbozo se revisa periódicamente y se le puede obtener a través de la State Preservation Office (Oficina de preservación histórica), California National Park Service, P.O. Box 942896, Sacramento, CA 94296-0001.
- “Historic Structure Reports: Special Issue” (Expediente de la estructura histórica: Número especial). *APT Bulletin: The Journal of Preservation Technology (Boletín APT: Registro de tecnología de conservación)*, volumen 28, n° 1, 1997. Once ensayos sobre el uso de informes de estructura histórica.
- “Preparing a Historic Structure Report” (Preparación de un informe de estructura histórica), NPS-28, Cultural Resource Management Guideline (Directriz de manejo de recursos culturales), julio de 1994, Orden del director n° 28. National Park Service, U.S. Department of the Interior (Servicio nacional de parques, Departamento estadounidense del interior), Washington, D.C. Disponible a través de la sección de documentos gubernamentales de bibliotecas mayores (sírvase ponerse en contacto con el encargado de su biblioteca local).



## Fuentes de información y asistencia

Las siguientes organizaciones ofrecen información útil y guía profesional sobre diferentes aspectos de la conservación de monumentos:

La **American Association for State and Local History** (Asociación estadounidense de historia estatal y local - AASLH, por sus siglas en inglés) brinda “liderazgo y apoyo para aquellos miembros que se encarguen de preservar e interpretar la historia estatal y local, con el fin de hacer más significativo el pasado para todos los estadounidenses”. Se incluye información relativa a la preservación en la publicación trimestral *History News* (Noticias sobre la historia). La AASLH también publica una serie de folletos técnicos e informes especiales sobre temas pertinentes, así como otras publicaciones. AASLH, 1717 Church Street, Nashville, TN 37203-2991; (615) 320-3203; [www.aaslh.org](http://www.aaslh.org)

El **American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works** (Instituto estadounidense para la conservación de obras históricas y artísticas - AIC, por sus siglas en inglés) publica el folleto “Guidelines for Selecting a Conservator” (Directrices para seleccionar un conservador) y brinda ayuda para localizar y seleccionar servicios de profesionales de la conservación por medio de la “AIC Guide to Conservation Services” (Guía AIC de los servicios de conservación). El AIC también publica el *Journal of the American Institute for Conservation* (Boletín del instituto estadounidense de conservación), así como el *AIC Directory* (Directorio del AIC), que es un listado de sus miembros, clasificados por especialización, nombre y ubicación. AIC, 1717 K Street, N.W., Suite 200, Washington, D.C. 20006; (202) 452-9545; [aic.stanford.edu](http://aic.stanford.edu).

El **American Institute of Architects** (Instituto estadounidense de arquitectos - AIA, por sus siglas en inglés) publica “Guide to Historic Preservation” (Guía para la preservación histórica) que puede obtenerse en línea, en formato PDF, en la dirección de Internet [www.aia.org/pia/hrc/8752PreservationGuide.pdf](http://www.aia.org/pia/hrc/8752PreservationGuide.pdf). La AIA también cuenta con un Historic Resources Committee (Comité de recursos históricos). AIA, 1735 New York Avenue, N.W., Washington, D.C., 20006; (800) 626-7300; [www.aia.org](http://www.aia.org). AIA, San Francisco Chapter, 130 Sutter Street, Suite 600, San Francisco, CA 94104; (415) 362-7397; [www.aia.org](http://www.aia.org).

La **Association of Preservation Technology International** (Asociación internacional para la tecnología de preservación - APT, por sus siglas en inglés) publica el *APT Communiqué* (carta informativa trimestral), que es un directorio de miembros, así como el *APT Bulletin*, importante fuente de información técnica sobre preservación. Las voluminosas memorias de las dos conferencias de Seismic Retrofit of Historic Buildings (sobre la adecuación sísmica de edificios históricos, libro de trabajo sobre la conferencia) se pueden obtener a través del capítulo occidental de la APT, 4513 Lincoln Ave., Suite 213, Lisle, IL 60532-1290; (630) 968-6400; [www.apti.org](http://www.apti.org). APT Western Chapter, 85 Mitchell Blvd., Suite 1, San Rafael, CA 94903; (415) 491-4088.

El **California Committee for the Promotion of History** (Consejo californiano para la promoción de la historia - CCPH, por sus siglas en inglés) se fundó para promover la preservación, documentación, interpretación y manejo de los recursos históricos del Estado de California. El CCPH publica una carta informativa, la *California History Action* (Acción histórica de California) y organiza una conferencia anual, entre otras actividades. El CCPH también publica el Registro de historiadores profesionales (disponible en línea, en formato PDF), así como un directorio de organizaciones en el estado que se dedican a la historia. CCPH, California State University, Sacramento, 6000 J Street, Sacramento, CA 95819-6059; (916) 278-4296; [www.csus.edu/org/ccph/index.htm](http://www.csus.edu/org/ccph/index.htm).

La **Californian Missions Study Association** (Asociación de estudios de las misiones de California - CMSA, por sus siglas en inglés) se dedica al estudio y a la preservación del pasado indígena, hispánico y estadounidense temprano del Estado de California. Se encarga de publicar una carta informativa que incluye artículos sobre actividades de conservación relacionadas con las misiones, los presidios, las construcciones de adobe y los sitios arqueológicos e históricos de la era española, así como un directorio de sus miembros, en el cual se ofrece información profesional. La conferencia anual de la CMSA a menudo ofrece un taller de preservación o presentaciones sobre actividades de preservación. CMSA, P.O. Box 3357, Bakersfield, CA 93385; [www.ca-missions.org](http://www.ca-missions.org).

La **California Office of Historic Preservation** (Oficina californiana de preservación histórica - OHP, por sus siglas en inglés), que forma parte del Departamento de parques y recreación, es la principal agencia para la preservación del Estado de California. Personal de la OHP está a cargo de la Comisión de recursos históricos del Estado y administra los programas del Registro nacional, el Registro de California y el de Sitios históricos del Estado de California, entre otros. La oficina brinda asistencia para la conservación, solicitudes de fondos, certificación de créditos fiscales e información sobre el status de designación histórica. La OHP ofrece una gran variedad de publicaciones, incluyendo una carta informativa publicada regularmente, relativa a la preservación histórica, así como la publicación aparecida en abril del año 2001 “Historic Preservation Incentives in California” (Incentivos para la preservación histórica en California). OHP, P.O. Box 942896, Sacramento, CA 94296-0001; (916) 653-6624; [www.ohp.parks.ca.gov](http://www.ohp.parks.ca.gov).

El **California Historical Resources Information System** (Sistema de información de recursos históricos de California) de la OHP (CHRIS, por sus siglas en inglés) cuenta con una lista de referencias de consultores en recursos históricos “que hayan documentado de manera satisfactoria y que cumplen con las normas de la Secretaría del interior en relación con dicha profesión”. En la lista se incluyen historiadores de la arqueología y de la arquitectura, e historiadores en general. Es posible ponerse en contacto con el coordinador del CHRIS en la dirección anterior o por vía telefónica, al (916) 653-9125.

La **California Preservation Foundation** (Fundación para la preservación de California - CPF, por sus siglas en inglés) publica *California Preservation* (Preservación en California), que es una carta informativa trimestral; asimismo, publica informes sobre asuntos relativos a la preservación, incluyendo la adecuación sísmica. La CPF organiza talleres de preservación y patrocina anualmente la Conferencia para la preservación en California, junto con la Oficina para la preservación histórica de California. CPF, 1611 Telegraph Avenue, Suite 820, Oakland, CA 94612; (510) 763-0972; [www.californiapreservation.org](http://www.californiapreservation.org).

El **California State Historical Building Safety Board** (Consejo para la seguridad en edificios históricos del Estado de California - SHBSB, por sus

siglas en inglés) publica el State Historic Building Code (Código estatal de construcciones históricas - SHBC, por sus siglas en inglés), que puede obtenerse a través de la Conferencia internacional de funcionarios de construcción (ICBO, por sus siglas en inglés), 5360 Workman Mill Road, Whittier, CA 90601-2298; (800) 284-4406; [www.icbo.org](http://www.icbo.org). Lo contenido en el código que resulta relevante para las construcciones hechas de mampostería de adobe puede encontrarse en el capítulo 8-8, “Archaic Materials and Methods of Construction” (Materiales y métodos de construcción arcaicos), sección 8-806, “Adobe”; en el capítulo 8-7 “Alternative Structural Regulations” (Regulaciones estructurales alternativas); y en el capítulo 8-1, sección 8-104, “Appeals, Alternative Proposed Design, Materials and Methods of Construction” (Apelaciones, diseño, materiales y métodos de construcción alternativos propuestos). State Historical Building Safety Board (Consejo de seguridad en construcciones históricas del Estado), c/o Division of the State Architect, 1130 K Street, Suite 101, Sacramento, CA 95814; (916) 445-7627; [www.dsa.dgs.ca.gov/SHBSB/shbsb\\_main.asp](http://www.dsa.dgs.ca.gov/SHBSB/shbsb_main.asp).

El **International Centre for Earth Construction** (Centro internacional de la construcción con Tierra - CRATerre-EAG) tiene su sede en la Universidad de Grenoble, Francia. Ofrece una gran cantidad de información sobre materiales de tierra y su uso, además de cursos de capacitación sobre la tecnología de la construcción con materiales de tierra. CRATerre-EAG, F-38092 Villefontaine Cedex, France; [www.craterre.archi.fr](http://www.craterre.archi.fr).

El **Historic American Buildings Survey** (Inventario de edificios históricos de los Estados Unidos) se encarga de documentar construcciones históricas por medio de informes históricos, fotografías y planos. Muchos de éstos pueden obtenerse en línea; para mayor información, dirigirse a [www.cr.nps.gov/habshaer/coll/index.htm](http://www.cr.nps.gov/habshaer/coll/index.htm). Pueden solicitarse fotografías y dibujos en papel por medio de la Library of Congress, Prints and Photographs Division, 101 Independence Avenue, S.E., Washington, D.C., 20540-4730, atención: Reference Section.

El **ICCROM** (Centro internacional para el estudio de la preservación y restauración de propiedades culturales), a través de su programa GAIA, desarrolló cursos de capacitación y alentó la diseminación de investigaciones e información sobre edificios históricos y culturalmente significativos hechos con materiales de tierra, entre los cuales se incluye el adobe. La organización tiene una gran biblioteca sobre conservación arquitectónica. ICCROM, Via di San Michele, 13. I-00153, Roma, Italia; +39 06 585531; [www.iccrom.org](http://www.iccrom.org).

El **National Park Service** (Servicio nacional de parques - NPS, por sus siglas en inglés) ofrece asistencia para la preservación, así como una serie de publicaciones informativas, incluyendo *Preservation Tech Notes* (Notas técnicas de preservación) y *Preservation Briefs* (Notas sobre preservación). El NPS es la agencia nacional más importante para la preservación histórica, estando a su cargo la administración de varios programas federales, incluyendo el Registro nacional de sitios históricos y el programa de Sitios históricos nacionales, así como varios sitios y monumentos históricos. Heritage Preservation Services (Servicios de preservación del legado), NPS, 1849 C Street, N.W., NC330, Washington, D.C., 20240; [www2.cr.nps.gov/tps/index.htm](http://www2.cr.nps.gov/tps/index.htm).

El **National Trust for Historic Preservation** (Fondo nacional para la preservación histórica) publica la revista *Preservation* (Conservación), *Forum News* (Noticias del foro) y el *Preservation Journal* (Boletín de conservación), así como una serie de información y diversas publicaciones sobre temas específicos de preservación. El Fondo nacional también administra varios programas de otorgamiento de fondos y préstamos y brinda asistencia e información sobre actividades de preservación, entre otras actividades. National Trust

for Historic Preservation, 1785 Massachusetts Avenue, N.W., Washington, D.C., 20036; (202) 588-6000; www.hthp.org.

**Partners for Sacred Places** (Socios para los lugares sagrados) publica una guía para solicitar fondos relacionados con propiedades de importancia religiosa y produce una carta informativa publicada con regularidad, además de organizar una serie de conferencias (Legados sagrados) sobre el cuidado de las construcciones religiosas antiguas e históricas y de los sitios sagrados de los Estados Unidos. Esta organización también cuenta con una base de datos en línea sobre fuentes de información y recursos, así como un programa dirigido a los profesionales dedicados a la restauración de propiedades religiosas históricas. Partners for Sacred Places, 1700 Sansom Street, Tenth Floor, Philadelphia, PA 19103; (215) 567-3234; www.sacredplaces.org.

El **Register of Professional Archaeologists** (Registro de arqueólogos profesionales - RPA, por sus siglas en inglés) es un directorio de arqueólogos “que han acordado regirse conforme a un código explícito de conducta y conforme a ciertas normas de desempeño investigativo y que se encuentran en posesión de un postgrado en arqueología, antropología, historia del arte, estudio de los clásicos, historia u otra disciplina pertinente, además de contar con una experiencia práctica importante”. Existe una función de búsqueda de sus miembros en el directorio en línea y dicho directorio se actualiza trimestralmente; una versión impresa del mismo se publica todos los años. RPA, 5024-R Campbell Blvd., Baltimore, MD 21236; (410) 933-3486; www.rpanet.org.

La **Society of History of Archaeology** (Sociedad para la arqueología histórica - SHA, por sus siglas en inglés) “promueve la investigación académica y la diseminación del conocimiento relativo a la arqueología histórica” y “se ocupa específicamente de la identificación, excavación, interpretación y conservación de sitios y materiales, tanto en tierra como bajo el agua”. La SHA publica un boletín trimestral, *Historical Archaeology*; una carta informativa trimestral; y publicaciones especiales de aparición ocasional. Todos los años, en el mes de enero, la SHA organiza la Conferencia sobre arqueología histórica y subacuática. SHA, P.O. Box 30446, Tucson, AZ, 85751-0446; (520) 886-8006; www.sha.org.

El **Southwestern Mission Research Center** (Centro para la Investigación de las misiones del suroeste estadounidense - SMRC, por sus siglas en inglés) produce la *SMRC Newsletter*, (carta informativa de la SMRC), que a menudo incluye información sobre preservación. Puede obtenerse a través del Arizona State Museum, P.O. Box 210026, Tucson, AZ, 85721. La conferencia anual de Gran Quivira es organizada por los lectores de la carta, que incluye a historiadores, arqueólogos, arquitectos, conservadores y personas interesadas en el tema. SMRC, P.O. Box 213, Tumacacori, AZ 85640; (520) 558-2396.

---

## Apéndice F

### **Normas federales para el tratamiento de propiedades históricas**

*Esta traducción al español no sirve como traducción formal y sólo se ofrece con el propósito de informar. Favor de consultar el texto en inglés, que aparece a continuación, para leer la ley oficial de construcción.*

El U.S. Department of the Interior (Departamento estadounidense del interior), a través del National Park Service (Servicio nacional de parques), ha establecido normas a seguir para la alteración de propiedades históricas y ha esbozado criterios para determinar qué propiedades califican para su inclusión en el Registro nacional de sitios históricos. Todo planificador deberá conocer dichas normas y criterios (que se citan literalmente aquí) al considerar diseños con el fin de efectuar alteraciones para la mitigación de daños sísmicos en propiedades históricas.

#### **Normas de la Secretaría del interior**

##### **Título 36 – Parques, bosques y propiedades públicas**

##### **CAPÍTULO I – SERVICIO NACIONAL DE PARQUES, DEPARTAMENTO DEL INTERIOR**

##### **PARTE 68 – NORMAS DE LA SECRETARÍA DEL INTERIOR PARA EL TRATAMIENTO DE PROPIEDADES HISTÓRICAS**

#### **§ 68.1 Intención.**

La intención de esta parte es establecer normas para el tratamiento de propiedades históricas que establezcan parámetros para la preservación, rehabilitación, restauración y reconstrucción. Estas normas se aplicarán a todos los proyectos de desarrollo con otorgamiento de fondos de ayuda que se propongan ante el Fondo nacional de preservación histórica. La parte 67 del CFR 36 contempla “estructuras históricas certificadas”, definiéndose éstas del modo en se hace en el Código fiscal de 1986. Estas regulaciones se utilizan en el Programa de incentivos fiscales para la preservación. La parte 67 del CFR 36 deberá continuar utilizándose cuando los propietarios de inmuebles busquen obtener la certificación con el fin de obtener estímulos fiscales federales.

#### **§ 68.2 Definiciones**

Las normas para el tratamiento de propiedades históricas las utilizará el Servicio nacional de parques y los funcionarios para la preservación histórica estatales para efectos de poder planear, llevar a cabo y supervisar proyectos

asistidos mediante el otorgamiento de fondos para la preservación, rehabilitación, restauración y reconstrucción. Para los fines de esta parte:

- (a) *Preservación* significa el acto o proceso de aplicar las medidas necesarias para mantener la forma existente, la integridad y los materiales de una propiedad de carácter histórico. Las obras, incluyendo aquellas medidas preliminares encaminadas a la protección y estabilización de una propiedad, generalmente se centran en el mantenimiento constante y en la reparación de materiales y características históricas y no en el reemplazo a gran escala de los mismos ni en construcción nueva. Agregar elementos externos nuevos no se halla dentro del campo de este tratamiento; no obstante lo anterior, la actualización limitada y ponderada de los sistemas mecánicos, eléctricos e hidráulicos, así como otras obras requeridas por el código para la mejor funcionalidad de una propiedad se consideran obras apropiadas en el contexto de un proyecto de preservación.
- (b) *Rehabilitación* significa el acto o proceso de hacer posible el uso eficiente y compatible de una propiedad mediante reparaciones, alteraciones y adiciones, al tiempo que se preservan las porciones o características que comunican los valores históricos, culturales o arquitectónicos de la misma.
- (c) *Restauración* significa el acto o proceso de mostrar la forma, características y el carácter de una propiedad según hubiera sido en un período específico, valiéndose para ello de la eliminación de ciertos elementos agregados en otros períodos históricos y reconstruyendo elementos faltantes del período que se desee restaurar. La actualización limitada y ponderada de sistemas mecánicos, eléctricos e hidráulicos, al igual que otras obras requeridas por el código de construcción con el fin de hacer funcional una propiedad se considerarán apropiadas en el marco de un proyecto de restauración.
- (d) *Reconstrucción* significa el acto o proceso de mostrar, valiéndose de construcción nueva, la forma, características y detallamiento de un sitio, paisaje, edificio, estructura u objeto que no hubiera sobrevivido, con el fin de replicar la apariencia que pudiera haber tenido en un período determinado en su ubicación histórica original.

### § 68.3 Normas

Procederá un juego de normas (preservación, rehabilitación, restauración o reconstrucción) en relación con una propiedad sometida a tratamiento, dependiendo de la importancia de la misma, de su condición física existente, del grado de documentación de que se disponga y de los objetivos interpretativos perseguidos, cuando esto proceda. Las normas procederán tomando en consideración la viabilidad económica y técnica de cada proyecto.

- (a) *Preservación*
  - (1) Una propiedad se utilizará de la forma en que se utilizó históricamente o se le dará un nuevo uso que maximice la retención de sus materiales distintivos, elementos constructivos, espacios y relaciones espaciales. En el caso de que no se hubiera identificado su uso o no se hubiera determinado su tratamiento, una propiedad histórica deberá protegerse y, de ser necesario, se estabilizará hasta que puedan llevarse a cabo obras adicionales.

- (2) El carácter histórico de una propiedad se retendrá y preservará. Deberá evitarse el reemplazo de materiales históricos intactos o reparables, así como la alteración de elementos, espacios y relaciones espaciales que pudieran caracterizar a una propiedad determinada.
  - (3) Cada propiedad deberá reconocerse como un registro físico de su tiempo, lugar y uso. Las obras necesarias para estabilizar, consolidar y conservar materiales y elementos históricos existentes se harán física y visualmente de manera compatible e identificable mediante una inspección cuidadosa, documentándose de manera apropiada para efectos de las investigaciones futuras.
  - (4) Todo cambio hecho a una propiedad que hubiera, por sí mismo, adquirido importancia histórica deberá retenerse y preservarse.
  - (5) Deberá preservarse todo material, elemento, acabado y técnica constructiva o ejemplo de artesanado que caracterice a una propiedad.
  - (6) Se evaluarán los elementos históricos de la condición existente de una construcción, con el fin de determinar el nivel apropiado de intervención que fuera necesario. Cuando la severidad del deterioro requiera reparación o reemplazo limitado de un elemento distintivo, el nuevo material deberá corresponder al antiguo en composición, diseño, color y textura.
  - (7) Se llevarán a cabo tratamientos químicos o físicos, de resultar apropiado, utilizando para ello los métodos menos agresivos que se pueda. No se utilizarán tratamientos que ocasionen daños a materiales históricos.
  - (8) Los recursos arqueológicos se protegerán y preservarán en su sitio. Si dichos recursos debieran perturbarse, deberán tomarse medidas de mitigación.
- (b) *Rehabilitación*
- (1) Una propiedad podrá utilizarse conforme a su uso histórico o se le dará un nuevo uso que requiera cambios mínimos a sus materiales, elementos y relaciones espaciales distintivos.
  - (2) Se buscará mantener y preservar el carácter histórico de una propiedad. Se evitará eliminar materiales distintivos o alterar elementos, espacios y relaciones espaciales que caractericen a dicha propiedad.
  - (3) Cada propiedad se reconocerá como un registro físico de su tiempo, lugar y uso. Deberá evitarse todo cambio que cree un sentido falso de desarrollo histórico, como agregar elementos especulativos o elementos de otras propiedades históricas.
  - (4) Se retendrán y preservarán aquellos cambios hechos a una propiedad que hubieran podido adquirir importancia histórica por derecho propio.
  - (5) Se preservarán los materiales, elementos, acabados y técnicas de construcción o ejemplos de trabajo artesanal que resulten distintivos de una propiedad.
  - (6) Se buscará reparar, más que reemplazar aquellos elementos históricos distintivos que estuvieran deteriorados. Cuando la severidad del deterioro haga necesario el reemplazo de un elemento distintivo, el nuevo elemento deberá corresponder al antiguo en diseño, color, textura y, siempre que sea posible, en material. El reemplazo de elementos faltantes se documentará mediante evidencia documental o física.

- (7) Los tratamientos químicos o físicos, de resultar necesarios, se llevarán a cabo utilizando los medios menos agresivos que se pueda. No se utilizarán tratamientos que ocasionen daño a los materiales históricos.
  - (8) Los recursos arqueológicos se protegerán y preservarán en su sitio. Si fuera inevitable perturbar dichos recursos, deberán tomarse medidas de mitigación.
  - (9) Todo agregado, alteración exterior o construcción nueva relacionada que haya de emprenderse no deberá destruir materiales, elementos ni relaciones espaciales históricos que caractericen a la propiedad. Toda obra nueva que se emprenda deberá diferenciarse de la construcción original y deberá ser compatible con los materiales históricos, así como con los elementos, tamaño, escala y proporción originales, cuidándose en todo momento proteger la integridad de la propiedad y su entorno.
  - (10) Todo elemento agregado y adyacente o toda construcción nueva relacionada se llevará a cabo de tal forma que, en caso de eliminarse en el futuro, la forma e integridad esenciales de la propiedad histórica y de su entorno queden intactas.
- (c) *Restauración*
- (1) A una propiedad se le dedicará a su uso histórico o se le asignará un nuevo uso que interprete tanto a la propiedad misma como al período de su restauración.
  - (2) Los materiales y elementos de su período de restauración deberán retenerse y preservarse. No se eliminarán materiales ni se alterarán elementos, espacios y relaciones espaciales que caractericen al período.
  - (3) Toda propiedad se reconocerá como registro físico de su tiempo, espacio y uso. Toda obra necesaria para estabilizar, consolidar y conservar materiales y elementos del período de restauración de una estructura deberá ser física y visualmente compatible, identificable mediante una inspección cuidadosa y documentada de manera apropiada para efectos de investigaciones futuras.
  - (4) Todo material, elemento, espacio y acabado que caracterice a otros períodos históricos deberá documentarse antes de su alteración o eliminación.
  - (5) Deberán preservarse los materiales, elementos, acabados, técnicas constructivas o ejemplos de artesanado característicos del período de restauración de una estructura dada.
  - (6) Se buscará reparar más que reemplazar aquellos elementos deteriorados que daten del período de restauración de una estructura. Cuando la severidad del deterioro haga necesario el reemplazo de un elemento distintivo, el nuevo elemento deberá corresponder al antiguo en diseño, color, textura y, siempre que resulte posible, en material.
  - (7) El reemplazo de elementos faltantes del período de restauración deberá sustentarse mediante evidencia documental y física. No deberá crearse un sentido falso de la historia agregando elementos especulativos, elementos provenientes de otras propiedad o combinando elementos que nunca coexistieron históricamente.
  - (8) Todo tratamiento químico y físico, de ser necesario, se llevará a cabo de la forma menos agresiva posible. No deberán usarse tratamientos que ocasionen daños a los materiales históricos.

- (9) Los recursos arqueológicos que resulten afectados por algún proyecto deberán protegerse y preservarse en su sitio. Si fuera necesario perturbar dichos recursos arqueológicos, deberán tomarse medidas de mitigación de daños.
  - (10) No se construirán diseños que nunca hubieran sido ejecutados históricamente.
- (d) *Reconstrucción*
- (1) Se utilizará el recurso de la reconstrucción para mostrar porciones desaparecidas de una propiedad cuando exista evidencia documental y física que permita una reconstrucción exacta con un mínimo de especulación, siempre y cuando dicha reconstrucción resulte esencial para la comprensión pública de la propiedad en cuestión.
  - (2) Toda reconstrucción de un paisaje, edificio, estructura u objeto en su sitio histórico deberá ser precedida de una investigación arqueológica exhaustiva, con el fin de identificar y evaluar aquellos elementos y artefactos que resulten esenciales para una reconstrucción exacta. Si fuera necesario perturbar dichos recursos, deberán tomarse medidas de mitigación.
  - (3) Toda reconstrucción habrá de incluir medidas que garanticen la preservación de cualquier material, elemento o relación espacial de carácter histórico.
  - (4) Toda reconstrucción habrá de basarse en una duplicación exacta de características y elementos históricos, sustentados mediante evidencia documental o física y no partiendo de una base especulativa o de la disponibilidad de elementos diferentes de otras construcciones de carácter histórico. La reconstrucción de una propiedad deberá buscar recrear la apariencia de la propiedad histórica desaparecida, tanto en el aspecto de sus materiales, como en el de su diseño, color y textura.
  - (5) Toda reconstrucción deberá identificarse con claridad como una recreación contemporánea.
  - (6) No se construirán diseños que nunca se hubieran ejecutado históricamente.

### **Normas para lugares históricos del Registro histórico nacional**

#### **¿Cuáles son los criterios de calificación?**

Las normas de evaluación del Registro nacional para evaluar la importancia de las propiedades propuestas para su registro se desarrollaron con el fin de reconocer los logros de todos los grupos humanos que hayan hecho una contribución significativa a la historia y legado de nuestro país. Los criterios se han desarrollado con el fin de guiar a los gobiernos estatales y locales, a las agencias federales y a otras entidades en la evaluación de propiedades que pudieran ser candidatos potenciales para su inscripción en el Registro Nacional.

#### **Criterios de evaluación**

La importancia en la historia, arquitectura, arqueología, ingeniería y cultura estadounidenses se halla presente en distritos, sitios, construcciones, estructuras y objetos que posean integridad de ubicación, diseño, materiales, trabajo, sensación y asociación y:

- A. Que estén asociados con eventos que hubieran hecho una contribución importante a los patrones amplios de nuestra historia; o
- B. Que estén asociados con las vidas de personas importantes de nuestro pasado; o
- C. Que representen las características distintivas de un tipo, período o método de construcción o que represente el trabajo de un maestro o que posea altos valores artísticos o que represente una entidad importante y distintiva, cuyos componentes pudieran carecer de distinción individual; o
- D. Que hayan brindado o puedan brindar información importante para la comprensión de la historia o la prehistoria.

### Consideraciones de los criterios

Regularmente, los cementerios, lugares de nacimiento, tumbas de personajes históricos, propiedades de instituciones religiosas o utilizadas para fines religiosos, las estructuras que se hayan movido de sus sitios originales, los edificios históricos reconstruidos, las propiedades de naturaleza fundamentalmente conmemorativa y las propiedades que hubieran alcanzado importancia en los últimos 50 años no podrán considerarse para su inscripción en el Registro Nacional. Sin embargo, los tipos anteriores de propiedad podrían calificar si fueran parte integral de distritos que sí cumplan con los criterios de admisión o si cayeran dentro de una de las siguientes categorías:

- a. Propiedad religiosa que derive su importancia fundamental de su distinción arquitectónica o artística o de su importancia histórica; o
- b. Edificio o estructura retirada de su ubicación original, pero cuya importancia fundamental radicara en su valor arquitectónico o si fuera una estructura superviviente asociada de manera más importante con un personaje o acontecimiento histórico; o
- c. Lugar de nacimiento o tumba de un personaje histórico de importancia notable, en caso de no haber un sitio apropiado o edificio asociado con la vida productiva de dicho personaje; o
- d. Cementerio que derive su importancia fundamental del hecho de contener las tumbas de personajes de importancia trascendente, debido a su edad, a sus características distintivas de diseño o a su asociación con acontecimientos históricos; o
- e. Edificio reconstruido, siempre y cuando se le ejecute con exactitud en un entorno adecuado y se le presente de forma digna como parte de un plan maestro de restauración y cuando no haya otro edificio o estructura supervivientes con la misma asociación; o
- f. Propiedad fundamentalmente de carácter conmemorativo si su diseño, edad, tradición o valor simbólico le hubiera conferido una importancia excepcional; o
- g. Propiedad que hubiera logrado alcanzar importancia en los últimos 50 años o cuya importancia fuera excepcional.

FUENTES: Código de Regulaciones Federales, Título 36, Capítulo I, Parte 68 del Código Electrónico de Regulaciones Federales (e-CFR), 14 de junio de 2002: [www.access.gpo.gov/nara/cfr/cfrhtml\\_00/Title\\_36/36cfr68\\_00.html](http://www.access.gpo.gov/nara/cfr/cfrhtml_00/Title_36/36cfr68_00.html); \*\* Criterios para la evaluación del Servicio nacional de parques, sitio de Internet del Registro nacional de sitios históricos, 18 de junio de 2002: [www.cr.nps.gov/nr/listing.htm](http://www.cr.nps.gov/nr/listing.htm).

## Federal Standards for Treatment of Historic Properties

The U.S. Department of the Interior, through the National Park Service, has established standards that apply to the alteration of historic properties and has outlined criteria for determining the eligibility of such properties for inclusion in the National Register of Historic Places. Planners should be aware of these standards and criteria (quoted verbatim here) when considering designs for seismic damage mitigation alterations to historic properties.

### The Secretary of the Interior's Standards

#### Title 36—Parks, Forests, and Public Property

#### CHAPTER I—NATIONAL PARK SERVICE, DEPARTMENT OF THE INTERIOR

#### PART 68—THE SECRETARY OF THE INTERIOR'S STANDARDS FOR THE TREATMENT OF HISTORIC PROPERTIES

##### § 68.1 Intent.

The intent of this part is to set forth standards for the treatment of historic properties containing standards for preservation, rehabilitation, restoration and reconstruction. These standards apply to all proposed grant-in-aid development projects assisted through the National Historic Preservation Fund. 36 CFR part 67 focuses on “certified historic structures” as defined by the IRS Code of 1986. Those regulations are used in the Preservation Tax Incentives Program. 36 CFR part 67 should continue to be used when property owners are seeking certification for Federal tax benefits.

##### § 68.2 Definitions.

The standards for the treatment of historic properties will be used by the National Park Service and State historic preservation officers and their staff members in planning, undertaking and supervising grant-assisted projects for preservation, rehabilitation, restoration and reconstruction. For the purposes of this part:

- (a) *Preservation* means the act or process of applying measures necessary to sustain the existing form, integrity and materials of an historic property. Work, including preliminary measures to protect and stabilize the property, generally focuses upon the ongoing maintenance and repair of historic materials and features rather than extensive replacement and new construction. New exterior additions are not within the scope of this

treatment; however, the limited and sensitive upgrading of mechanical, electrical and plumbing systems and other code-required work to make properties functional is appropriate within a preservation project.

- (b) *Rehabilitation* means the act or process of making possible an efficient compatible use for a property through repair, alterations and additions while preserving those portions or features that convey its historical, cultural or architectural values.
- (c) *Restoration* means the act or process of accurately depicting the form, features and character of a property as it appeared at a particular period of time by means of the removal of features from other periods in its history and reconstruction of missing features from the restoration period. The limited and sensitive upgrading of mechanical, electrical and plumbing systems and other code-required work to make properties functional is appropriate within a restoration project.
- (d) *Reconstruction* means the act or process of depicting, by means of new construction, the form, features and detailing of a non-surviving site, landscape, building, structure or object for the purpose of replicating its appearance at a specific period of time and in its historic location.

### § 68.3 Standards.

One set of standards—preservation, rehabilitation, restoration or reconstruction—will apply to a property undergoing treatment, depending upon the property's significance, existing physical condition, the extent of documentation available and interpretive goals, when applicable. The standards will be applied taking into consideration the economic and technical feasibility of each project.

- (a) *Preservation.*
  - (1) A property will be used as it was historically, or be given a new use that maximizes the retention of distinctive materials, features, spaces and spatial relationships. Where a treatment and use have not been identified, a property will be protected and, if necessary, stabilized until additional work may be undertaken.
  - (2) The historic character of a property will be retained and preserved. The replacement of intact or repairable historic materials or alteration of features, spaces and spatial relationships that characterize a property will be avoided.
  - (3) Each property will be recognized as a physical record of its time, place and use. Work needed to stabilize, consolidate and conserve existing historic materials and features will be physically and visually compatible, identifiable upon close inspection and properly documented for future research.
  - (4) Changes to a property that have acquired historic significance in their own right will be retained and preserved.
  - (5) Distinctive materials, features, finishes and construction techniques or examples of craftsmanship that characterize a property will be preserved.
  - (6) The existing condition of historic features will be evaluated to determine the appropriate level of intervention needed. Where the severity of deterioration requires repair or limited replacement of

a distinctive feature, the new material will match the old in composition, design, color and texture.

- (7) Chemical or physical treatments, if appropriate, will be undertaken using the gentlest means possible. Treatments that cause damage to historic materials will not be used.
- (8) Archeological resources will be protected and preserved in place. If such resources must be disturbed, mitigation measures will be undertaken.

(b) *Rehabilitation.*

- (1) A property will be used as it was historically or be given a new use that requires minimal change to its distinctive materials, features, spaces and spatial relationships.
- (2) The historic character of a property will be retained and preserved. The removal of distinctive materials or alteration of features, spaces and spatial relationships that characterize a property will be avoided.
- (3) Each property will be recognized as a physical record of its time, place and use. Changes that create a false sense of historical development, such as adding conjectural features or elements from other historic properties, will not be undertaken.
- (4) Changes to a property that have acquired historic significance in their own right will be retained and preserved.
- (5) Distinctive materials, features, finishes and construction techniques or examples of craftsmanship that characterize a property will be preserved.
- (6) Deteriorated historic features will be repaired rather than replaced. Where the severity of deterioration requires replacement of a distinctive feature, the new feature will match the old in design, color, texture and, where possible, materials. Replacement of missing features will be substantiated by documentary and physical evidence.
- (7) Chemical or physical treatments, if appropriate, will be undertaken using the gentlest means possible. Treatments that cause damage to historic materials will not be used.
- (8) Archeological resources will be protected and preserved in place. If such resources must be disturbed, mitigation measures will be undertaken.
- (9) New additions, exterior alterations or related new construction will not destroy historic materials, features and spatial relationships that characterize the property. The new work will be differentiated from the old and will be compatible with the historic materials, features, size, scale and proportion, and massing to protect the integrity of the property and its environment.
- (10) New additions and adjacent or related new construction will be undertaken in such a manner that, if removed in the future, the essential form and integrity of the historic property and its environment would be unimpaired.

(c) *Restoration.*

- (1) A property will be used as it was historically or be given a new use that interprets the property and its restoration period.
- (2) Materials and features from the restoration period will be retained and preserved. The removal of materials or alteration of features,

spaces and spatial relationships that characterize the period will not be undertaken.

- (3) Each property will be recognized as a physical record of its time, place and use. Work needed to stabilize, consolidate and conserve materials and features from the restoration period will be physically and visually compatible, identifiable upon close inspection and properly documented for future research.
- (4) Materials, features, spaces and finishes that characterize other historical periods will be documented prior to their alteration or removal.
- (5) Distinctive materials, features, finishes and construction techniques or examples of craftsmanship that characterize the restoration period will be preserved.
- (6) Deteriorated features from the restoration period will be repaired rather than replaced. Where the severity of deterioration requires replacement of a distinctive feature, the new feature will match the old in design, color, texture and, where possible, materials.
- (7) Replacement of missing features from the restoration period will be substantiated by documentary and physical evidence. A false sense of history will not be created by adding conjectural features, features from other properties, or by combining features that never existed together historically.
- (8) Chemical or physical treatments, if appropriate, will be undertaken using the gentlest means possible. Treatments that cause damage to historic materials will not be used.
- (9) Archeological resources affected by a project will be protected and preserved in place. If such resources must be disturbed, mitigation measures will be undertaken.
- (10) Designs that were never executed historically will not be constructed.

(d) *Reconstruction.*

- (1) Reconstruction will be used to depict vanished or non-surviving portions of a property when documentary and physical evidence is available to permit accurate reconstruction with minimal conjecture and such reconstruction is essential to the public understanding of the property.
- (2) Reconstruction of a landscape, building, structure or object in its historic location will be preceded by a thorough archeological investigation to identify and evaluate those features and artifacts that are essential to an accurate reconstruction. If such resources must be disturbed, mitigation measures will be undertaken.
- (3) Reconstruction will include measures to preserve any remaining historic materials, features, and spatial relationships.
- (4) Reconstruction will be based on the accurate duplication of historic features and elements substantiated by documentary or physical evidence rather than on conjectural designs or the availability of different features from other historic properties. A reconstructed property will re-create the appearance of the non-surviving historic property in materials, design, color and texture.
- (5) A reconstruction will be clearly identified as a contemporary re-creation.
- (6) Designs that were never executed historically will not be constructed.

## National Historic Register of Historic Places Standards

### What Are the Criteria for Listing?

The National Register's standards for evaluating the significance of properties were developed to recognize the accomplishments of all peoples who have made a significant contribution to our country's history and heritage. The criteria are designed to guide State and local governments, Federal agencies, and others in evaluating potential entries in the National Register.

### Criteria for Evaluation

The quality of significance in American history, architecture, archeology, engineering, and culture is present in districts, sites, buildings, structures, and objects that possess integrity of location, design, setting, materials, workmanship, feeling, and association, and:

- A. That are associated with events that have made a significant contribution to the broad patterns of our history; or
- B. That are associated with the lives of significant persons in our past; or
- C. That embody the distinctive characteristics of a type, period, or method of construction, or that represent the work of a master, or that possess high artistic values, or that represent a significant and distinguishable entity whose components may lack individual distinction; or
- D. That have yielded or may be likely to yield information important in history or prehistory.

### Criteria Considerations

Ordinarily cemeteries, birthplaces, graves of historical figures, properties owned by religious institutions or used for religious purposes, structures that have been moved from their original locations, reconstructed historic buildings, properties primarily commemorative in nature, and properties that have achieved significance within the past 50 years shall not be considered eligible for the National Register. However, such properties will qualify if they are integral parts of districts that do meet the criteria or if they fall within the following categories:

- a. A religious property deriving primary significance from architectural or artistic distinction or historical importance; or
- b. A building or structure removed from its original location but which is primarily significant for architectural value, or which is the surviving structure most importantly associated with a historic person or event; or
- c. A birthplace or grave of a historical figure of outstanding importance if there is no appropriate site or building associated with his or her productive life; or
- d. A cemetery that derives its primary importance from graves of persons of transcendent importance, from age, from distinctive design features, or from association with historic events; or
- e. A reconstructed building when accurately executed in a suitable environment and presented in a dignified manner as part of a restoration master plan, and when no other building or structure with the same association has survived; or

- f. A property primarily commemorative in intent if design, age, tradition, or symbolic value has invested it with its own exceptional significance; or
- g. A property achieving significance within the past 50 years if it is of exceptional importance.

SOURCES: Code of Federal Regulations, Title 36, Chapter I, Part 68, from the Electronic Code of Federal Regulations (e-CFR), June 14, 2002: [www.access.gpo.gov/nara/cfr/cfrhtml\\_00/Title\\_36/36cfr68\\_00.html](http://www.access.gpo.gov/nara/cfr/cfrhtml_00/Title_36/36cfr68_00.html); Criteria for Evaluation from the National Park Service, National Register of Historic Places Web site, June 18, 2002: [www.cr.nps.gov/nr/listing.htm](http://www.cr.nps.gov/nr/listing.htm).

---

## Referencias

- Alva Balderrama, Alejandro  
1989 Earthquake damage to historic masonry structures. En *Conservation of Building and Decorative Stone*, vol. 2, ed. John Ashurst y Francis G. Dimes. London: Butterworth-Heinemann.
- Araoz, Gustavo Jr. y Brian L. Schmuecker  
1987 Discrepancies between U.S. national preservation policy and the Charter of Venice. En *Symposium Papers, ICOMOS General Assembly: Old Culture in New Worlds*, vol. 2, subtema 4. Washington, D.C.: ICOMOS.
- Bowman, J. N.  
1951 *Adobe Houses in the San Francisco Bay Region*. San Francisco: California Division of Mines.
- Brandi, Cesare  
1977 *Principles for a Theory of Restoration*. Trans. Annalisa D'Amico. Rome: ICCROM.
- California's State Historical Building Safety Code Board  
1999 *State Historical Building Code (SHBC)*: Parte 8, Título 24, California Code of Regulations, revisado junio 1998. Sacramento, Calif.: State Historical Building Safety Code Board.
- Craigo, Steade  
1992 Conversación con Edna Kimbro.
- DeLong, David, ed.  
1980 *Historic American Buildings: California*. 3 vols. New York and London: Garland Publishing.
- EERI  
1994 *Expected Seismic Performance of Buildings*. Oakland, Calif.: Earthquake Engineering Research Institute.
- Feilden, Bernard  
1988 Conservation of historic buildings between two earthquakes. En *Proceedings of the First International Seminar on Modern Principles in Conservation and Restoration of Urban and Rural Cultural Heritage in Seismic-Prone Regions*, 31–38. Skopje, Yugoslavia: Institute of Earthquake Engineering and Engineering Seismology (IZIIS).
- Gavrilovic, Predrag, V. Sendova, Lj. Taskov, L. Krstevska, W. S. Ginell, y E. L. Tolles  
1996 Shaking Table Tests of Adobe Structures. Report IZIIS 96-36. Skopje, Republic of Macedonia.
- Ginell, William S., y E. Leroy Tolles  
1999 Preserving safety and history: The Getty Seismic Adobe Project at work. *Conservation* 14, no. 1: 12–14.
- 2000 Seismic stabilization of historic adobe structures. *Journal of the American Institute for Conservation* 39, no. 1: 147–63.

- Ginell, William S., E. Leroy Tolles, P. Gavrilovic, L. Krstevska, V. Sendova, y L. Taskov  
2001 *Getty Seismic Adobe Project: Report of Third Year Activities: Shaking Table Tests of Large Scale Adobe Structures*. Los Angeles: Getty Conservation Institute.
- Green, Melvyn  
1990 Informe sobre la evaluación estructural de Colton Hall. Melvyn Green and Associates, Torrance, Calif.
- Hamburger, Ronald O., Anthony B. Court y Jeffrey R. Soulages  
1995 Vision 2000: A framework for performance based engineering of buildings. En *Proceedings of the 64th Annual Convention of the Structural Engineers Association of California*. Whittier, Calif.: Structural Engineers Association of California.
- Harthorn, Roy  
1998 *Temporary Shoring and Stabilization of Earthquake-Damaged Historic Buildings*. Santa Barbara, Calif.: Roy Harthorn.
- Historic American Buildings Survey (HABS)  
1933 Library of Congress, Prints and Photographs Division. Washington, D.C.
- ICOMOS  
1999 ICOMOS charters and other international documents. *US/ICOMOS Scientific Journal* 1, no. 1. (Revisión de las cartas y directrices despachadas entre 1904 y 1999.)
- Imwalle, Michael  
1992 Conversación con Edna Kimbro.
- Imwalle, Michael y M. Wayne Donaldson  
1992 Conversación con Edna Kimbro.
- Index of American Design  
1943 Decoración de sobrepuerta. Archives of the National Gallery of Art, Washington, D.C., no. 1943.8.5941.
- Jandl, H. Ward  
1988 *Rehabilitating Interiors in Historic Buildings: Identifying and Preserving Character-Defining Elements*. Preservation Briefs 18. Washington, D.C.: U.S. Department of the Interior, National Park Service, Preservation Assistance Division.
- Jokilehto, Jukka  
1985 Authenticity in restoration principles and practices. Presentation, *APT Bulletin—The Journal of Preservation Technology (Association for Preservation Technology)* 12, nos. 3 y 4: 5–11.  
1988 Modern principles of architectural conservation. En *Proceedings of the First International Seminar on Modern Principles in Conservation and Restoration of Urban and Rural Cultural Heritage in Seismic-Prone Regions*, 1–8. Skopje, Yugoslavia: Institute of Earthquake Engineering and Engineering Seismology (IZIIS).
- Magalouis, Nicholas  
1994 Conversación con Edna Kimbro.
- Maish, James H.  
1992 Mission accomplished: A landmark is rehabbed and restored. *Historic Preservation News* (National Trust for Historic Preservation) November.
- Maroevic, Ivo  
1988 Material structure and authenticity. En *Proceedings of the First International Seminar on Modern Principles in Conservation and Restoration of Urban and Rural Cultural Heritage in Seismic-Prone Regions*, 9–16. Skopje, Yugoslavia: Institute of Earthquake Engineering and Engineering Seismology (IZIIS).

- Marquis-Kyle, Peter, and Meredith Walker  
1992 *The Illustrated Burra Charter: Making Good Decisions about the Care of Important Places*. Sydney: Australia ICOMOS.
- Monterey Historic Preservation Commission  
1992 Minutas de reunión. City of Monterey, California, Planning Department. Manuscrito en archivo.
- Murphy, Donald  
1992 Conversación con Edna Kimbro.
- Nelson, Lee H.  
n.d. *Architectural Character: Identifying the Visual Aspects of Historic Buildings as an Aid to Preserving Their Character*. Preservation Briefs 17. Washington, D.C.: U.S. Department of the Interior, National Park Service, Preservation Assistance Division.
- Neuerburg, Norman  
1977 Painting in the California missions. *American Art Review* IV, no. 1.  
1987 *The Decoration of the California Missions*. Santa Barbara, Calif.: Bellerophon.
- Oddy, Andrew, and Sara Carroll, eds.  
1999 *Reversibility—Does It Exist?* British Museum Occasional Paper no. 135. London: British Museum.
- Park, Sharon, Kay Weeks, Lauren Meier, Tim Buehner, and J. Ward Jandl  
1991 *Preserving the Past and Making It Accessible to Everyone: How Easy a Task?* CRM Supplement. Washington, D.C.: U.S. Department of the Interior, National Park Service, Cultural Resources Preservation Assistance.
- Riegl, Alois  
1964 *Proceedings of the Second International Congress of Historic Monuments: Decisions and Resolutions (The Venice Charter)*. Venice, Italy.  
1982 The modern cult of monuments: Its character and its origin. Trans. Kurt Forster. *Oppositions 25: A Journal for Ideas and Criticism in Architecture* 25 (otoño): 21–51.
- Ruskin, John  
1851–53 *The Stones of Venice*. London: Smith, Elder, and Co.
- Seismic Safety Commission  
1987 *Guidebook to Identify and Mitigate Seismic Hazards in Buildings*. Seismic Safety Commission Report no. SSC 87-03. Sacramento, Calif.: Seismic Safety Commission.  
2000 *Status of the Unreinforced Masonry Building Law*. 2000 Annual Report to the Legislature. Seismic Safety Commission Report no. SSC 00-02. Sacramento, Calif.: Seismic Safety Commission.
- Smith, Wallace E.  
1977 *This Land Was Ours: The Del Valles and Camulos*. Ed. Grant W. Heil. Ventura, Calif.: Ventura Historical Society.
- Structural Engineers Association of California  
1999 *Recommended Lateral Force Requirements and Commentary*. Whittier, Calif.: Structural Engineers Association of California.
- Thiel, Charles Jr., E. Leroy Tolles, Edna E. Kimbro, Frederick A. Webster, and William S. Ginell  
1991 GSAP: Getty Conservation Institute guidelines for seismic strengthening of adobe project: Report of first year activities. Informe. Getty Conservation Institute, Los Angeles.
- Thomas, David Hurst, ed.  
1991 *Harvesting Ramona's garden: Life in California's mythical mission past*. En *Colombian Consequences: The Spanish Borderlands in Pan-American Perspective*, vol. 3. Washington, D.C.: Smithsonian Institution Press.

- Thomasen, S. E. y Carolyn L. Searls  
1991 Seismic retrofit of historic structures in California. En *Structural Repair and Maintenance of Historical Buildings II: Proceedings of the 2nd International Conference, Seville, Spain*, vol. 2, 45–51. Southampton, U.K.: Computational Mechanics Publications.
- Tolles, E. Leroy, Edna E. Kimbro, Charles C. Thiel Jr., Frederick A. Webster y William S. Ginell  
1993 GSAP: Getty Conservation Institute guidelines for seismic strengthening of adobe project: Report of second year activities. Informe. Getty Conservation Institute, Los Angeles.
- Tolles, E. Leroy, Edna E. Kimbro, Frederick A. Webster y Anthony Crosby  
1996 *Survey of Damage to Historic Adobe Buildings after the January 1994, Northridge Earthquake*. GCI Scientific Program Reports. Los Angeles: Getty Conservation Institute.
- Tolles, E. Leroy, Edna E. Kimbro, Frederick A. Webster y William S. Ginell  
2000 *Seismic Stabilization of Historic Adobe Structures: Final Report of the Getty Seismic Adobe Project*. GCI Scientific Program Reports. Los Angeles: Getty Conservation Institute.
- Tolles, E. Leroy y Helmut Krawinkler  
1990 Seismic studies on small-scale models of adobe houses. Ph.D. tesis, John A. Blume Earthquake Engineering Center, Department of Civil Engineering, Stanford University, California.
- Uniform Building Code (UBC): Modern Criteria for Seismic Design and Construction*  
1997 Whittier, Calif.: International Conference of Building Officials.
- Vargas-Neumann, Julio  
1984 *Earthquakes and Earthen Structures*. Informe. ICCROM, Rome.
- Viollet-le-Duc, E. E.  
[1858–72] 1959 *Discourses on Architecture*. London: G. Allen and Unwin.
- Watkins, Malcolm C.  
1973 Observations and opinions about the Boronda Adobe. Manuscrito archivado en Monterey County Historical Association, Salinas, California.

---

## Lecturas adicionales

- Allen, D., G. Sanchez, y J. Hill. The effects of the Loma Prieta earthquake on the seismically retrofitted Santa Cruz Mission Adobe. En *The Seismic Retrofit of Historic Buildings Conference Workbook*. San Francisco: Western Chapter of the Association for Preservation Technology, 1991.
- Ambraseys, N. N. An earthquake engineering viewpoint of the Skopje earthquake, 26th July, 1963. En *Proceedings of the Third World Conference on Earthquake Engineering*, vol. 3, S-22–S-38. Wellington: New Zealand National Committee on Earthquake Engineering, 1965.
- Arango, I., et al. Adobe-type dwellings: A method to optimize their replacement. En *Proceedings, Ninth World Conference on Earthquake Engineering*, vol. 7, artículo 13-1-7, 563–68. Tokyo: 9WCEE Organizing Committee, Japan Association for Earthquake Disaster Prevention, 1989.
- Architectural Resources Group. *An Assessment of Damage Caused to Historical Resources by the Loma Prieta Earthquake*. San Francisco: National Trust for Historic Preservation, 1990.
- Association for Preservation Technology. Historic structure reports: Special issue. *APT Bulletin: The Journal of Preservation Technology* 28, no. 1. Once ensayos sobre la implementación de los informes de estructura histórica, 1997.
- Attar, Ghassan. Authenticity vs. stability: The conservation engineer's dilemma. *APT Bulletin: The Journal of Preservation Technology* 23, no. 1 (1991).
- Ayres, James E., comp. *The Archaeology of Spanish and Mexican Colonialism in the American Southwest, Colombian Quincentenary Series*. Guides to the Archaeological Literature of the Immigrant Experience in America, no. 3. Ann Arbor: Society for Historical Archaeology, 1995.
- Bariola, J., y M. A. Sozen. Seismic tests of adobe walls. *Earthquake Spectra* 6, no. 1 (1990): 37–56.
- Bates, F. L., y C. D. Killian. Changes in housing in Guatemala following the 1976 earthquake, with special reference to earthen structures and how they are perceived by disaster victims. *Disasters* 6, no. 2 (1982): 92–100.
- Blumenthal, Sara K., comp. *Federal Historic Preservation Laws*. Revisado por Emogene A. Bevitt. Washington, D.C.: U.S. Department of the Interior, National Park Service, Cultural Resources Programs, 1993.
- The California Missions*. Menlo Park, Calif.: Sunset Publishing, 1979.
- California Native American Heritage Commission. *A Professional Guide for the Preservation and Protection of Native American Remains and Associated Grave Goods*. Sacramento: California Native American Heritage Commission, 1991.
- Cao, S. K., y L. Zhao. *The Earthquake Resistant Characteristics of the Raw Earth Buildings in Ningxia. Yinchuan, China: Ningxia*. Industrial Design Institute, 1981.

- Castano, J. C., et al. The possible influence of soils conditions on earthquake effects: A case study. En *Proceedings, Eleventh World Conference on Earthquake Engineering*, disc 2, artículo no. 1068. Oxford: Pergamon, Elsevier Science, 1996.
- Cox, Rachel S. *Controlling Disaster: Earthquake Hazard Reduction for Historic Buildings*. Information Series no. 61. Washington, D.C.: Western Regional Office, National Trust for Historic Preservation, 1992.
- Delahanty, Randolph y E. Andrew McKinney. *Preserving the West*. New York: Pantheon Press, 1985.
- Dudley, E. Disaster mitigation: Strong houses or strong institutions? *Disasters* 12, no. 2 (1988): 111–21.
- Earthen Building Technologies. *Workshop on the Seismic Retrofit of Historic Adobe Buildings*. Pasadena, Calif.: Earthen Building Technologies, 1995.
- Erdik, M. O., ed. *Middle East and Mediterranean Regional Conference on Earthen and Low-Strength Masonry Buildings in Seismic Areas, Ankara, Turkey*. Dallas: Intertect, 1986.
- Feilden, Bernard M. *Between Two Earthquakes: Cultural Property in Seismic Zones*. Marina del Rey, Calif.: Getty Conservation Institute; Rome: ICCROM, 1987.
- Freeman, Allen. Adobe duo. *Historic Preservation* 43, no. 4, 1991.
- Gere, James M. y Hareesh C. Shah. *Terra Non Firma: Understanding and Preparing for Earthquakes*. The Portable Stanford. Stanford, Calif.: Stanford Alumni Association, 1984.
- Getty Conservation Institute. Taller sobre la estabilización sísmoresistente de estructuras históricas de adobe. Expediente de la conferencia que tuvo lugar en el J. Paul Getty Museum, Malibu, California. Los Angeles: Getty Conservation Institute, 1995.
- Glass, R. I., et al. Earthquake injuries related to housing in a Guatemalan village—a seismic construction techniques may diminish the toll of deaths and serious injuries. *Science* 197, no. 4304 (1977): 638–43.
- Grieff, Constance. *The Historic Property Owner's Handbook*. Washington, D.C.: Preservation Press, National Trust for Historic Preservation, 1977.
- Guidelines for the Evaluation of Historic Unreinforced Brick Masonry Buildings in Earthquake Hazard Zones* (ABK Methodology). Sacramento: California State Department of Parks and Recreation, 1986.
- H. J. Degenkolb Associates. *Balancing Historic Preservation and Seismic Safety*. San Francisco: H. J. Degenkolb Associates, 1992.
- Hovey, Lonnie J. Evolving preservation standards and strategies for the octagon: Reemphasizing the significance of structural fabric. *Historic Preservation Forum* 5, no. 2 (March/April 1991).
- Jester, Thomas C. y Sharon C. Park. *Making Historic Properties Accessible*. NPS Preservation Briefs 32. Washington, D.C.: U.S. Department of the Interior, National Park Service, Preservation Assistance Division, 1993.
- Jones, Barclay, ed. *Cultural Heritage in Peril from Natural Disasters; Protecting Historic Architecture and Museum Collections from Earthquakes and Other Natural Hazards*. Washington, D.C.: Architectural Research Centers Consortium, 1984.
- Kirker, Harold. California architecture and its relation to contemporary trends in Europe and America. *California Historical Quarterly* (winter 1978).
- Langenbach, Randolph. Bricks, mortar, and earthquakes: Historic preservation vs. earthquake safety. *APT Bulletin: The Journal of Preservation Technology* 21, no. 3/4 (1989).
- Look, David W. Preservation and seismic retrofit of historic resources: NPS technical assistance in the Middle East. *Cultural Resource Management* 16, no. 7 (1993).

- . *The Seismic Retrofit of Historic Buildings*. NPS Preservation Briefs 41. Washington, D.C.: U.S. Department of the Interior, National Park Service, Preservation Assistance Division, 1997.
- Mahmood, H. Damages in masonry structures and counter measures. *Bulletin of the International Institute of Seismology and Earthquake Engineering* 26 (1992): 177–84.
- May, G. W. y Frederick C. Cuny, eds. International workshop on earthen buildings in seismic areas. En *Proceedings of International Workshop, University of New Mexico, Albuquerque, May 24–28*. Albuquerque: Univ. of New Mexico Press, 1981.
- Merritt, John. *History at Risk*. Oakland, Calif.: California Preservation Foundation, 1990.
- Meli, Roberto, Oscar Hernandez y M. Dadilla. Strengthening of adobe houses for seismic actions. En *Proceedings of the Seventh World Conference on Earthquake Engineering*, vol. 4, 465–72. Istanbul: Turkish National Committee on Earthquake Engineering, 1980.
- Neumann, Julio Vargas. Earthquake resistant rammed earth (*tapiál*) buildings. En *Terra 93: Proceedings of the Seventh International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architecture, Silves, Portugal, October 1993*, editado por Margarida Alcada, 503–8. Rome: ICCROM, 1993.
- Philippot, Paul. Historic preservation: Philosophy, criteria, guidelines. En *Preservation and Conservation: Principles and Practices*. Washington, D.C.: Preservation Press, 1976.
- Qamaruddin, M. y B. Chandra. Behaviour of unreinforced masonry buildings subjected to earthquakes. *The Masonry Society Journal* 9, no. 2 (1991): 47–55.
- Razani, R. Investigation of lateral resistance of masonry and adobe structures by means of a tilting table. En *Proceedings, Sixth World Conference on Earthquake Engineering, Meerut, India*, editado por Sarita Prakashan, vol. 2, 2130–31. Roorkee, India: Society of Earthquake Technology, 1977.
- . Seismic protection of unreinforced masonry and adobe low-cost housing in less developed countries: Policy issues and design criteria. *Disasters* 2, no. 2/3 (1978): 137–47. Roorkee, India.
- Roselund, Nels. Repair of cracked adobe walls by injection of modified mud. En *Adobe 90: Proceedings of the Sixth International Conference on the Conservation of Earthen Architecture, Las Cruces, New Mexico, USA, October 1990*, ed. Neville Agnew, Michael Taylor y Alejandro Alva Baderama, 336–41. Los Angeles: Getty Conservation Institute, 1990.
- Scawthorn, Charles. Relative benefits of alternative strengthening methods for low strength masonry buildings. En *Proceedings of the Third National Conference on Earthquake Engineering, Charleston, South Carolina*. Oakland, Calif.: Earthquake Engineering Research Institute, 1986.
- Schuetz-Miller, Mardith K. *Architectural Practice in Mexico City: A Manual for Journeyman Architects of the Eighteenth Century*. Tucson: Univ. of Arizona Press, 1987.
- Secretary of the Interior. *The Secretary of the Interior's Standards for the Treatment of Historic Properties with Guidelines for Preserving, Rehabilitating, Restoring, and Reconstructing Historic Buildings*. Washington, D.C.: U.S. Department of the Interior, National Park Service, Preservation Assistance Division, 1995.
- Seismic Safety Commission. *Architectural Practice and Earthquake Hazards: A Report of the Committee on the Architect's Role in Earthquake Hazard Mitigation*. Publicación no. SSC 91-10. Sacramento, Calif.: Seismic Safety Commission, 1991.
- . *Earthquake Risk Management Tools for Decision Makers: A Guide for Decision Makers*. Publicación no. SSC 99-06. Sacramento, Calif.: Seismic Safety Commission, 1999.

Spence, R. J. S., et al. Correlation of ground motion with building damage: The definition of a new damage-based seismic intensity scale. En *Proceedings of the Tenth World Conference on Earthquake Engineering, Madrid, Spain*. vol. 1, 551–56. Rotterdam: A. A. Balkema, 1992.

Spennemann, Dirk H. R. y David W. Look, eds. *Disaster Management Programs for Historic Sites*. Washington, D.C.: National Park Service, Association for Preservation Technology, Western Chapter; Albury, Australia: Johnstone Centre, Charles Sturt University, 1998. Los siguientes capítulos son de especial interés:

- Donaldson, Milford Wayne. Conserving the historic fabric: A volunteer disaster worker's perspective; The first ten days: Emergency response and protection strategies for the preservation of historic structures.
- Kariotis, John. The tendency to demolish repairable structures in the name of life safety.
- Langenbach, Randolph. Architectural issues in the seismic rehabilitation of masonry buildings.
- Mackensen, Robert. Cultural heritage management and California's State Historical Building Code.

Webster, Frederick A. y J. D. Gunn. Seismic retrofit techniques for historic and older adobes in California. En *Terra 93: Proceedings of the Seventh International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architecture, Silves, Portugal, October 1993*, edited by Margarida Alcada, 521–25. Rome: ICCROM, 1993.

---

## Sobre de los autores

**William S. Ginell** es un especialista en ciencia de los materiales con amplia experiencia en la industria. En 1943, tras graduarse del Polytechnic Institute of Brooklyn, obteniendo su bachillerato en Química, pasó a formar parte del equipo reservado de investigación que en la Universidad de Columbia trabajaba en el desarrollo de la bomba atómica. Después de la guerra, estudió un doctorado en físico-química en la Universidad de Wisconsin, pasando luego nueve años en el Laboratorio Nacional de Brookhaven, en Long Island, Nueva York, seguido de veintiséis años trabajando para compañías aeroespaciales de California. En 1984, se unió al Getty Conservation Institute como director de Ciencia de los Materiales. Durante la elaboración de la versión inglesa de la presente publicación era el principal investigador científico en conservación en GCI y fue director del Getty Seismic Adobe Project.

**Edna E. Kimbro** era conservadora e historiadora de la arquitectura, especializada en la investigación y preservación de la arquitectura del período colonial español y mexicano, así como de las culturas tempranas de California. Estudió historia de la arquitectura en la Universidad de California, Santa Cruz. Durante la década de 1980, estuvo involucrada en la restauración de la Misión de Adobe, Santa Cruz para el California State Parks. En 1989, asistió al ICCROM en Roma y estudió protección sísmica de edificios históricos de adobe. En 1990, se convirtió en especialista de conservación para el Getty Seismic Adobe Project. Hasta el 2005, trabajó como historiadora del Distrito de Monterey (California) para el California State Parks y preparaba informes de estructura histórica en relación con las construcciones hechas de adobe. Lamentablemente, Edna nos dejó en mayo del 2005.

**E. Leroy Tolles** ha trabajado en diseño sísmico, elaboración de pruebas y estabilización de construcciones de adobe desde principios de la década de los 80, especializándose en el diseño estructural y la construcción de edificios de tierra y madera. Recibió su doctorado de la Universidad de Stanford en 1989, en donde su trabajo se centró en el diseño y conducción de pruebas sísmicas en casas de adobe en países en vías de desarrollo. Ha sido director de equipos multidisciplinarios a cargo de estudios de daños sísmicos después de los terremotos de 1985 en México, de 1989 en Loma Prieta y de 1994 en Northridge. Fue investigador principal para el Getty Seismic Adobe Project y ha sido coautor de numerosas publicaciones sobre ingeniería sísmica. Actualmente, es director de ELT & Asociados, compañía de ingeniería y arquitectura del Norte de California.



