



ICOMOS
INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE FOR ANALYSIS AND
RESTORATION OF STRUCTURES OF ARCHITECTURAL HERITAGE

RECOMENDACIONES PARA EL ANÁLISIS, CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN ESTRUCTURAL DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO

Edición especial para los asistentes al XXVII Cursillo de Intervención en el Patrimonio Arquitectónico del Colegio de Arquitectos de Cataluña del 16 al 19 de diciembre de 2004

Traducción del original en inglés de Agnès González Dalmau.
Revisada por José Luís González Moreno-Navarro y Pere Roca Fabregat



ÍNDICE

OBJETO DEL DOCUMENTO

PARTE I - PRINCIPIOS

1. Criterios generales
2. Investigación y diagnóstico
3. Medidas terapéuticas y de control

PARTE II - DIRECTRICES

1. Criterios generales
2. Obtención de datos: información e investigación
 - 2.1 Aspectos generales
 - 2.2 Investigación histórica, estructural y arquitectónica
 - 2.3 Inspección visual de la estructura
 - 2.4 Investigación de campo y ensayos de laboratorio
 - 2.5 Monitorización
3. El comportamiento estructural
 - 3.1 Aspectos generales
 - 3.2 El esquema estructural y el daño
 - 3.3 Las características de los materiales y los procesos de deterioro
 - 3.4 Las acciones en la estructura y los materiales
4. Diagnóstico y evaluación del nivel de seguridad
 - 4.1 Aspectos generales
 - 4.2 Identificación de las causas (diagnóstico)
 - 4.3 Evaluación del nivel de seguridad
 - 4.3.1 El problema de la evaluación del nivel de seguridad
 - 4.3.2 Análisis histórico
 - 4.3.3 Análisis cualitativo
 - 4.3.4 Enfoque analítico
 - 4.3.5 Enfoque experimental
 - 4.4 Las decisiones y el informe explicativo o memoria



ICOMOS
INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE FOR ANALYSIS AND
RESTORATION OF STRUCTURES OF ARCHITECTURAL HERITAGE

5. Daño estructural, deterioro de los materiales y medidas terapéuticas

5.1 Aspectos generales

5.2 Obra de fábrica

5.3 Madera

5.4 Hierro y acero

5.5 Hormigón armado

Apéndice 1. – Miembros del Comité

Apéndice 2. – Glosario



ICOMOS
INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE FOR ANALYSIS AND
RESTORATION OF STRUCTURES OF ARCHITECTURAL HERITAGE

OBJETO DEL DOCUMENTO

Las estructuras del patrimonio arquitectónico, por su propia naturaleza e historia (material y constructiva), plantean desafíos específicos en la diagnosis y la restauración que limitan la aplicación de las normas y reglamentos actuales sobre edificación. Formular recomendaciones es deseable y necesario tanto para asegurar la aplicación de métodos de análisis racionales como para recuperar métodos adecuados al contexto cultural.

Estas *Recomendaciones* pretenden ser útiles para todos los implicados en los problemas de la conservación y la restauración, pero de ninguna manera pueden sustituir el conocimiento específico propio de documentos culturales y científicos.

Las *Recomendaciones* que se exponen en el conjunto del documento se dividen en dos partes: los ***Principios***, donde se presentan los conceptos básicos de la conservación, y las ***Directrices***, donde se analizan las reglas y la metodología que debería aplicar el proyectista. Sólo los *Principios* tienen la calificación de documento aprobado/ratificado por ICOMOS.



PARTE I - PRINCIPIOS

1. Criterios generales

1.1 La conservación, la consolidación y la restauración del patrimonio arquitectónico requieren un enfoque multidisciplinario.

1.2 El valor y la autenticidad del patrimonio arquitectónico no pueden valorarse con criterios fijos, puesto que el respeto debido a todas las culturas exige además que su patrimonio físico sea valorado dentro del contexto cultural al que pertenece.

1.3 El valor de un edificio histórico no reside sólo en la apariencia de sus elementos individuales, sino también en la integridad de todos sus componentes, considerados como un producto único de la tecnología constructiva específica de su tiempo y lugar. Por consiguiente, eliminar las estructuras internas y mantener sólo una fachada no satisface los criterios de conservación.

1.4 Cualquier cambio de uso debe tener en cuenta todos los requisitos de conservación y seguridad.

1.5 Cualquier intervención en una estructura histórica debe valorarse en el contexto de la restauración y conservación de todo el edificio.

1.6 Las estructuras del patrimonio arquitectónico, por su peculiaridad y su compleja historia, requieren una organización de los estudios y análisis en distintos pasos, similares a los que se utilizan en medicina: anamnesis, diagnóstico, terapia y controles, que corresponden respectivamente a la inspección inicial, la identificación de las causas del daño y el deterioro, la elección de las medidas terapéuticas y el control de la eficacia de las intervenciones. Para ser rentables y producir un impacto mínimo en el patrimonio arquitectónico, a menudo es conveniente que los estudios repitan esos pasos de modo iterativo.

1.7 No debe emprenderse ninguna acción sin haber evaluado los beneficios y perjuicios que pueda suponer para el patrimonio arquitectónico. Cuando sean necesarias medidas urgentes de salvaguardia para evitar el colapso inminente de la estructura, debe evitarse en lo posible una alteración irreversible de las fábricas.

2. Investigación y diagnóstico

2.1 Normalmente un equipo multidisciplinario, seleccionado de acuerdo con el tipo y el alcance del problema, debe trabajar conjuntamente desde la primera fase del estudio, es decir, la inspección inicial del sitio y la preparación del programa de investigación.



ICOMOS

INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE FOR ANALYSIS AND
RESTORATION OF STRUCTURES OF ARCHITECTURAL HERITAGE

2.2 Normalmente es necesario primero analizar los datos disponibles para después poder elaborar, si es necesario, un plan de actividades más amplio adecuado a los problemas de la estructura.

2.3 Todo proyecto de restauración y conservación requiere una total comprensión del comportamiento estructural y las características de los materiales. Es esencial tener información sobre la estructura en su estado original y en los estados anteriores a la intervención, así como sobre las técnicas que se utilizaron para su construcción, sobre las alteraciones y sus efectos, sobre los fenómenos que la han afectado y, finalmente, sobre su estado actual.

2.4 En los yacimientos arqueológicos pueden presentarse problemas específicos porque la estructura debe estabilizarse durante la excavación, cuando su conocimiento aún no es completo. El comportamiento estructural de una construcción que debe excavar puede ser completamente diferente al de una construcción «a la vista». Las soluciones estructurales sobre el terreno urgentes, necesarias para estabilizar la estructura mientras se está excavando, no deben poner en peligro el concepto, la forma o el uso globales del edificio.

2.5 El diagnóstico se basa en información histórica y análisis cualitativos y cuantitativos. El análisis cualitativo parte de la observación directa del daño estructural y el deterioro del material, así como de la investigación histórica y arqueológica, mientras que el análisis cuantitativo precisa ensayos de materiales y estructurales, monitorización y análisis de la estructura.

2.6 Antes de tomar una decisión sobre una intervención en la estructura, es indispensable primero determinar las causas del daño y el deterioro y, después, evaluar el nivel de seguridad actual de la estructura.

2.7 La evaluación del nivel de seguridad, que es el paso posterior al diagnóstico, es la fase en la que se toma la decisión de intervenir y debe aunar el análisis cualitativo con el cuantitativo.

2.8 A menudo, la aplicación de los niveles de seguridad concebidos para el diseño de edificios nuevos exige refuerzos excesivos, cuando no imposibles, en los edificios antiguos. En estos casos, enfoques distintos del tratamiento de la seguridad son posibles a partir de otros métodos convenientemente justificados.

2.9 Todo lo relativo a la información obtenida, al diagnóstico (incluida la evaluación del nivel de seguridad) y a las decisiones sobre intervención debe exponerse en un informe explicativo o memoria.

3. Medidas terapéuticas y de control

3.1 La terapia debe dirigirse a la raíz de los problemas, no a los síntomas.

3.2 Un mantenimiento adecuado puede limitar o retrasar la necesidad de otras intervenciones.



3.3 Las medidas de conservación y consolidación deben basarse en la evaluación del nivel de seguridad y en la comprensión del significado histórico y cultural de la construcción.

3.4 No debe emprenderse ninguna acción si no se ha demostrado que es indispensable.

3.5 Las intervenciones serán proporcionales a los objetivos de seguridad y se mantendrán en el nivel mínimo de intervención que garantice la seguridad y durabilidad causando el menor perjuicio posible a los valores patrimoniales.

3.6 El diseño de la intervención debe basarse en una total comprensión del tipo de acciones (fuerzas, aceleraciones, deformaciones, etc.) que han causado el daño y el deterioro, así como de aquellas que actuarán en el futuro.

3.7 La elección entre técnicas «innovadoras» y «tradicionales» debe ser sopesada caso por caso; se dará preferencia a aquellas que resulten menos invasivas y más compatibles con los valores patrimoniales, teniendo siempre presentes los requisitos de seguridad y durabilidad.

3.8 En ocasiones, la dificultad para evaluar los niveles de seguridad y los beneficios de la intervención pueden sugerir un «método observacional», es decir, un enfoque gradual que parta de un nivel mínimo de intervención con la posible adopción subsiguiente de una serie de medidas suplementarias o correctoras.

3.9 Siempre que sea posible, las medidas que se adopten deberán ser «reversibles», de tal modo que puedan ser eliminadas y sustituidas por otras más adecuadas a raíz de nuevos conocimientos. Cuando las intervenciones no sean completamente reversibles, no deben impedir intervenciones posteriores.

3.10 Las características de los materiales que se usen en los trabajos de restauración (especialmente los materiales nuevos) y su compatibilidad con los existentes deben ser completamente conocidas. Este conocimiento debe incluir los efectos a largo plazo, de modo que se eviten efectos secundarios indeseables.

3.11 No deben destruirse las características distintivas de la estructura y su entorno en su estado original o de cualquier cambio posterior significativo.

3.12 Toda intervención debe respetar, en la medida de lo posible, la concepción y las técnicas constructivas originales, así como el valor histórico de la estructura y las pruebas históricas que proporciona.

3.13 La intervención debe ser el resultado de un plan integral que dé la importancia adecuada a los distintos aspectos de la arquitectura, la estructura, las instalaciones y la funcionalidad de la construcción.

3.14 La eliminación o alteración de cualquier material histórico o cualquier característica arquitectónica distintiva debe evitarse en la medida de lo posible.



3.15 La reparación es siempre preferible a la sustitución.

3.16 Las imperfecciones y las alteraciones, cuando se hayan convertido en parte de la historia de la estructura, deben conservarse, siempre y cuando no comprometan los requisitos de seguridad.

3.17 Sólo debe recurrirse al desmontaje y la reconstrucción cuando lo requiera la naturaleza de los materiales y de la estructura y/o cuando la conservación por otros medios resulte más perjudicial.

3.18 No se adoptarán medidas cuyo control durante la ejecución sea imposible. Cualquier propuesta de intervención debe ir acompañada de un programa de monitorización que se llevará a cabo, en la medida de lo posible, durante la ejecución de los trabajos.

3.19 Todas las actividades de control y monitorización deben documentarse y conservarse como parte de la historia de la estructura.



PARTE II - DIRECTRICES

1. Criterios generales

Para el estudio de todo patrimonio arquitectónico es indispensable una combinación de experiencia y de conocimientos científicos y culturales. Sólo partiendo de esa perspectiva, estas directrices pueden contribuir a una mejor conservación, refuerzo y restauración de los edificios. El objetivo de todos los estudios, investigaciones e intervenciones es la salvaguardia del valor histórico y cultural del edificio en su conjunto y la ingeniería de estructuras constituye la base científica necesaria para conseguirlo. La conservación del patrimonio arquitectónico normalmente requiere un enfoque multidisciplinario, que implica a distintos profesionales y organizaciones. Estas directrices se han preparado para ayudar en ese trabajo y facilitar la comunicación entre los profesionales implicados.

Para planificar una conservación estructural son necesarios tanto datos cualitativos, basados en la observación directa del deterioro del material y del daño estructural, en la investigación histórica etc., como datos cuantitativos, basados en ensayos específicos y modelos matemáticos como los que se emplean en la ingeniería moderna. Esta combinación de enfoques hace muy difícil establecer reglas y códigos. Si bien la falta de directrices claras puede llevar fácilmente a ambigüedades y a decisiones arbitrarias, las normas destinadas a las estructuras modernas a menudo se aplican de modo inapropiado en estructuras históricas. Por ejemplo, la aplicación de las normas sísmicas y geotécnicas puede conducir a adoptar medidas drásticas y a menudo innecesarias que no consideran adecuadamente el comportamiento real de la estructura.

Los aspectos subjetivos implicados en el estudio y valoración de la seguridad de un edificio histórico, las incertidumbres respecto a los datos disponibles y las dificultades para obtener una evaluación precisa de los fenómenos pueden conducir a conclusiones de fiabilidad dudosa. Es importante, por consiguiente, presentar claramente todos esos aspectos, en particular el cuidado que se ha tenido en el desarrollo del estudio y la fiabilidad de los resultados, en el informe explicativo. Este informe deberá presentar un análisis cuidadoso y crítico de la seguridad de la estructura a fin de justificar cualquier medida de intervención y ayudará a determinar el juicio final sobre la seguridad de la estructura, así como las decisiones que se tomen.

La evaluación de un edificio, a menudo, requiere un enfoque holístico, es decir, que considere el edificio en su conjunto y no sólo una valoración de los elementos individuales.



2. Obtención de datos: información e investigación

2.1. Aspectos generales

La investigación de la estructura requiere un enfoque interdisciplinario que trasciende las simples consideraciones técnicas, puesto que la investigación histórica puede descubrir fenómenos sobre el comportamiento estructural y, al mismo tiempo, las cuestiones históricas a veces pueden responderse a partir del conocimiento del comportamiento estructural. Así pues, es importante contar con un equipo formado por investigadores que dispongan de una variedad de conocimientos adecuados en relación con las características del edificio y asimismo dirigido por alguien con la experiencia apropiada.

Para conocer una estructura se precisa información sobre su concepción, sobre las técnicas que se usaron en su construcción, los procesos de daño y deterioro y las alteraciones que le han afectado y, finalmente, sobre su estado actual. Normalmente este conocimiento se puede conseguir a partir de los siguientes pasos:

- definición, descripción y comprensión de la importancia histórica y cultural del edificio;
- descripción de los materiales y las técnicas constructivas originales;
- investigación histórica que abarque la vida completa de la estructura y que incluya tanto las modificaciones de su forma como cualquier intervención estructural anterior;
- descripción de la estructura en su estado actual que incluya identificación de daños, deterioro y posibles fenómenos progresivos, utilizando los ensayos adecuados;
- descripción de las acciones implicadas, del comportamiento estructural y los tipos de materiales.

Estos estudios deben estar orientados por una inspección preliminar tanto del entorno como del edificio.

Como estos estudios pueden realizarse con distintos grados de detalle, es importante establecer un programa de actividades que prevea una adecuada utilización de los recursos disponibles, que sea proporcional a la complejidad de la estructura y que también dé cuenta del beneficio real que se obtendrá con el conocimiento adquirido. En algunos casos es conveniente realizar estos estudios en varias fases, empezando con el más simple.

2.2. Investigación histórica, estructural y arquitectónica

El objetivo del estudio histórico es entender la concepción y la importancia del edificio, las habilidades y técnicas utilizadas en su construcción, los cambios que se hayan producido tanto en la estructura como en su entorno y finalmente los sucesos que puedan haber causado algún daño. Los documentos usados para ello deben quedar adecuadamente registrados.

Deben valorarse las fuentes en cuanto a su fiabilidad como medio para reconstruir la historia de la construcción. Es esencial interpretarlas cuidadosamente para obtener datos fiables sobre la historia estructural del edificio.



Deben indicarse claramente las suposiciones realizadas durante la interpretación del material histórico. Debe prestarse especial atención a los daños, roturas, reconstrucciones, anexionen, cambios, trabajos de restauración, modificaciones estructurales y cambios de uso que han llevado el edificio a su situación actual.

Cabe recordar que los documentos que se utilizan habitualmente han sido elaborados para fines distintos de los de la ingeniería de estructuras y, por tanto, puede que contengan información técnica que sea incorrecta u omite o falsee hechos o sucesos importantes desde el punto de vista de la estructura.

2.3. Inspección visual de la estructura

La observación directa de la estructura, realizada habitualmente por un equipo cualificado, constituye una fase esencial del estudio; su finalidad reside en proporcionar una comprensión inicial de la estructura que, a su vez, permita enfocar apropiadamente las investigaciones posteriores. Sus objetivos principales son los siguientes:

- identificar el deterioro y los daños,
- determinar si los fenómenos están o no estabilizados,
- decidir si hay riesgos inmediatos y por tanto se deben adoptar medidas urgentes,
- identificar efectos del entorno sobre el edificio.

El estudio de las alteraciones estructurales comienza con el levantamiento de los daños visibles. Durante este proceso, la interpretación de la información recogida debe guiar el levantamiento, de forma que el perito pueda hacerse una idea sobre el comportamiento estructural, con lo que, a su vez, podrá examinar más detalladamente los aspectos críticos de la estructura. Los levantamientos de planos deben localizar los diferentes tipos de materiales, consignando su deterioro e irregularidades estructurales así como los daños, poniendo particular atención en el cuadro fisurativo y en los fenómenos de aplastamiento.

Debe tenerse en cuenta que las irregularidades geométricas pueden ser resultado de deformaciones previas, pero también pueden indicar una coincidencia entre distintas fases constructivas o modificaciones de las fábricas.

Es importante descubrir cómo el medio ambiente o el entorno pueden estar dañando un edificio. Esta forma de daño puede acentuarse debido a un diseño original poco elaborado, por defectos de construcción (falta de desagües, condensación, humedad creciente, etc.), por el uso de materiales inadecuados o por deficiencias en el mantenimiento posterior.

La observación de las zonas donde se concentran los daños como resultado de compresión intensa (zonas con aplastamientos) o de tracciones intensas (zonas agrietadas o elementos separados) y de la dirección de las grietas y fisuras, junto con una investigación de las condiciones del terreno, puede indicar las causas del daño. Estas observaciones pueden completarse con información obtenida mediante ensayos específicos.



2.4. Investigación de campo y ensayos de laboratorio

El programa de ensayos debe estar basado en una clara descripción preliminar de los fenómenos cuya comprensión sea importante. Los ensayos normalmente tienen como objetivo identificar las características mecánicas (resistencia, deformabilidad, etc.), físicas (porosidad, etc.) y químicas (composición, etc.) de los materiales, las tensiones y deformaciones de la estructura y la presencia de cualquier discontinuidad dentro de la estructura.

Como norma, se debe dividir el programa de ensayos en varias fases, comenzando con la recopilación de datos básicos y continuando con un examen más amplio a partir de ensayos basados en la valoración de las implicaciones de los datos iniciales.

Los ensayos no destructivos son preferibles a los ensayos que impliquen alteraciones de la estructura; si no son suficientes, es preciso valorar el beneficio que se obtendrá haciendo calas o pequeñas intervenciones en la estructura teniendo en cuenta la pérdida de material con valor cultural que ello pueda suponer (análisis de costes y beneficios).

Los ensayos siempre deben ser realizados por personas experimentadas capaces de evaluar correctamente su fiabilidad y deben valorarse cuidadosamente las implicaciones de sus resultados. Si es posible deben utilizarse varios métodos y comparar los resultados. También puede ser preciso realizar ensayos sobre muestras tomadas de la estructura.

2.5. Monitorización

La observación de la estructura durante un cierto período de tiempo puede ser necesaria no sólo para obtener información útil acerca de la existencia de fenómenos progresivos, sino también para el seguimiento de un proceso de renovación estructural de carácter secuencial. En este último caso, se monitoriza el comportamiento en cada fase (enfoque observacional) y los datos que se obtienen proporcionan la base para cualquier acción posterior.

Normalmente un sistema de monitorización tiene como objetivo registrar los cambios en las deformaciones, fisuras, grietas, temperaturas, etc. La monitorización dinámica se utiliza para registrar aceleraciones, como las que ocurren en zonas sísmicas.

La monitorización puede actuar también como un sistema de alarma

El método más simple y económico para monitorizar las grietas o fisuras consiste en situar un testigo en ellas. A veces es preciso utilizar sistemas de monitorización informatizados para poder registrar los datos en tiempo real.

Como regla general, el uso de un sistema de monitorización debe estar sujeto a un análisis de costes y beneficios, de modo que los datos que se registren sean los estrictamente necesarios para caracterizar la evolución de los fenómenos progresivos.



3. El comportamiento estructural

3.1. Aspectos generales

El comportamiento de cualquier estructura se ve influido por tres factores principales: la forma y conexiones de la estructura, los materiales constructivos y las acciones, es decir, las fuerzas, aceleraciones y deformaciones que le afectan; a continuación se examinan esos factores en detalle.

3.2. El esquema estructural y el daño

El comportamiento estructural depende de las características de los materiales, las dimensiones de la estructura, las conexiones entre los distintos elementos, las condiciones del terreno, etc. El comportamiento real de un edificio es normalmente tan complejo que obliga a representarlo como un «esquema estructural» simplificado, esto es, una idealización del edificio que muestra, en el nivel de precisión necesario, cómo resiste las diferentes acciones. El esquema estructural muestra cómo el edificio transforma las acciones en esfuerzos y asegura la estabilidad.

Un edificio puede representarse con diferentes esquemas que muestren distintos grados de complejidad y de aproximación a la realidad. El esquema estructural original puede haber cambiado como resultado de daños (grietas, fisuras, etc.), refuerzos u otras modificaciones del edificio. Normalmente el esquema que se utiliza para el análisis de la estructura es una solución intermedia entre un esquema próximo a la realidad pero demasiado complejo para el cálculo y un esquema fácil de calcular pero demasiado alejado de la realidad del edificio.

El esquema utilizado debe tener en cuenta las alteraciones y debilidades, tales como grietas, fisuras, desconexiones, aplastamientos, desplomos, etc., cuyos efectos tengan una influencia significativa en el comportamiento estructural. Estas alteraciones pueden producirse a causa de fenómenos naturales o como resultado de intervenciones humanas. En este último caso puede tratarse de la creación de aberturas, nichos, etc.; de la eliminación de arcos, losas, paredes, etc., que pueden generar fuerzas desequilibradas; del aumento de la altura de la estructura, lo cual puede aumentar el peso; de excavaciones, galerías, edificios cercanos, etc., que pueden reducir la capacidad portante del terreno.

3.3. Las características de los materiales y los procesos de deterioro

Las características de los materiales (particularmente la resistencia), que son los parámetros básicos para realizar cualquier cálculo, pueden verse reducidas por procesos de deterioro debido a acciones químicas, físicas o biológicas. El grado de deterioro depende de las propiedades de los materiales (tales como la porosidad) y del grado de protección de la estructura (aleros, etc.), así como de su mantenimiento. Aunque el deterioro puede manifestarse en la superficie, de modo que puede detectarse de manera inmediata en la inspección superficial (eflorescencia, aumento de la porosidad etc.), hay también procesos de deterioro que sólo se detectan con ensayos más sofisticados (la madera afectada por termitas, etc.).



3.4. Las acciones en la estructura y los materiales

Las acciones son definidas como cualquier agente (fuerzas, deformaciones, etc.) que produce esfuerzos y tensiones en la estructura o cualquier fenómeno (químico, biológico, etc.) que afecta los materiales, normalmente reduciendo su resistencia. Las acciones originales, que actúan desde el principio de la vida del edificio (cargas muertas, por ejemplo), pueden experimentar cambios durante la vida del edificio, y a menudo son estos cambios los que causan los daños y el deterioro.

Las acciones tienen naturalezas muy diferentes con efectos muy distintos tanto en la estructura como en los materiales.

Frecuentemente, más de una acción (o cambios en las acciones originales) habrá afectado la estructura, con lo que es necesario identificar claramente esas acciones antes de determinar las medidas de reparación.

Las acciones pueden dividirse en acciones mecánicas que afectan a la estructura y acciones biológicas y químicas que afectan a los materiales. Las acciones mecánicas pueden ser estáticas, que a su vez pueden ser directas o indirectas, o dinámicas (ver cuadro 1).

Cuadro 1 — Clasificación de los distintos tipos de acciones en estructuras y materiales

1 Acciones mecánicas que afectan a la estructura	i) Acciones estáticas	a) Acciones directas (p. ej. cargas aplicadas)
		b) Acciones indirectas (p. ej. deformaciones impuestas)
	ii) Acciones dinámicas (aceleraciones impuestas)	
2 Acciones i) físicas ii) químicas iii) biológicas que actúan sobre los materiales		

1) Las **acciones mecánicas** que actúan sobre la estructura producen esfuerzos y tensiones en los materiales y pueden tener como resultado grietas, fisuras, aplastamientos y movimientos visibles. Pueden ser estáticas o dinámicas:

i) Las **acciones estáticas** pueden ser de dos tipos:

a) Las **acciones directas**, esto es, las cargas aplicadas, incluyen las cargas muertas (peso propio del edificio, etc.) y las sobrecargas de uso (mobiliario, personas,



ICOMOS

INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE FOR ANALYSIS AND
RESTORATION OF STRUCTURES OF ARCHITECTURAL HERITAGE

etc.). Los cambios, y especialmente el aumento de las cargas, pueden producir un incremento de las tensiones y, por lo tanto, causar daños en la estructura. En algunos casos, la reducción de la carga también puede ocasionar daños estructurales.

b) Las **acciones indirectas** incluyen las deformaciones ocasionadas en los bordes o límites físicos de la estructura, tales como asentos del terreno, y las deformaciones producidas en el interior de los materiales, tales como movimientos térmicos, fluencia en madera, retracción del mortero, etc. Estas acciones, que pueden variar de manera continua o de manera cíclica, producen fuerzas sólo si las deformaciones no tienen libertad para desarrollarse. Las más importantes y a menudo más peligrosas de todas las acciones indirectas son los asentos del terreno (producidos por el cambio del nivel freático, excavaciones, etc.), que pueden ocasionar grandes grietas, desplomos, etc.

Ciertas acciones indirectas son cíclicas por naturaleza, tales como cambios de temperatura y movimientos del terreno debidos a variaciones estacionales del nivel del agua subterránea. Normalmente, los efectos sobre la estructura también son cíclicos, pero también es posible que se produzcan deformaciones o deterioros progresivos, puesto que cada ciclo produce algún cambio pequeño pero permanente en la misma. El gradiente de temperatura entre superficies externas y cuerpo interno puede producir tensiones diferenciales en el material y por lo tanto esfuerzos y microfisuras, que aceleran el deterioro. Las acciones indirectas también pueden producirse por la reducción progresiva de la rigidez de elementos de una estructura hiperestática (por debilitamiento, procesos de deterioro, etc.), lo cual da lugar a una redistribución de los esfuerzos.

ii) Las **acciones dinámicas** se producen cuando se transmiten aceleraciones a una estructura, debido a terremotos, viento, huracanes, vibraciones de maquinarias, etc. La acción dinámica más significativa es normalmente la producida por los terremotos. La intensidad de las fuerzas producidas está relacionada tanto con la magnitud de la aceleración como con las frecuencias naturales de la estructura y su capacidad para disipar energía. El efecto de un terremoto está también relacionado con la historia de los terremotos previos que podrían haber debilitado la estructura progresivamente.

2) Las **acciones químicas, físicas y biológicas** son de naturaleza completamente diferente. Actúan sobre los materiales cambiando sus propiedades, lo cual a menudo tiene como resultado un tipo diferente de deterioro; en particular, se ve afectada la resistencia de los materiales.

Las propiedades de los materiales pueden cambiar a lo largo del tiempo a causa de procesos naturales característicos de los materiales, tales como el endurecimiento del mortero de cal o el deterioro interno gradual.

Los efectos de estas acciones pueden verse influidos y acelerarse por la presencia de agua (lluvia, humedad, agua subterránea, ciclos de mojado y secado, crecimiento orgánico, etc.),



las variaciones de temperatura (expansión y retracción, acción del hielo, etc.) y las condiciones micro-climáticas (contaminación, deposición superficial, cambios en la velocidad del viento debido a estructuras adyacentes, etc.). El fuego puede considerarse un cambio extremo de la temperatura.

Una acción muy común es la oxidación de los metales, lo cual puede verse en la superficie o puede producirse en un metal de refuerzo situado dentro de otro material y, por lo tanto, sólo puede detectarse por efectos secundarios como el fraccionamiento o el desmoronamiento del otro material.

Los cambios químicos pueden darse espontáneamente debido a las características inherentes del material o pueden producirse como resultado de agentes externos, tales como el depósito de contaminantes o la migración de agua u otros agentes a través del material.

En el caso de la madera los agentes biológicos actúan frecuentemente en áreas de difícil inspección.

4. Diagnóstico y evaluación del nivel de seguridad

4.1. Aspectos generales

El diagnóstico y la evaluación del nivel de seguridad de la estructura son dos fases consecutivas y relacionadas con las que se determinan la necesidad efectiva y el alcance de las medidas de tratamiento. Si se ejecutan estas fases incorrectamente, las decisiones resultantes serán arbitrarias: una mala estimación puede tener como resultado unas medidas de conservación excesivas o unos niveles de seguridad inadecuados.

La evaluación del nivel de seguridad del edificio debe basarse en métodos cualitativos (tales como la documentación, la observación, etc.) y cuantitativos (experimentales, matemáticos, etc.) que tengan en cuenta los efectos de los fenómenos sobre el comportamiento estructural.

Cualquier evaluación del nivel de seguridad debe enfrentarse a dos tipos de problema:

- Las incertidumbres respecto a los datos (acciones, resistencia, deformaciones, etc.), leyes, modelos, suposiciones, etc., utilizados en la investigación.
- La dificultad de representar fenómenos reales de una manera precisa.

Por consiguiente, parece razonable adoptar distintos enfoques; cada enfoque puede proporcionar su propia contribución a la totalidad, pero es su combinación lo que produce el mejor «veredicto» posible a partir de los datos disponibles.

Cuando se evalúa el nivel de seguridad, también es necesario incluir unas indicaciones, aunque sean sólo cualitativas, sobre la fiabilidad de las suposiciones admitidas y de los resultados y sobre el grado de precaución implícito en las medidas que se han propuesto.



Los códigos legales y de práctica profesional actuales adoptan un enfoque conservador que supone una aplicación de factores de seguridad que tienen en cuenta las diversas incertidumbres. Este enfoque es apropiado para las estructuras nuevas, en las que la seguridad puede mejorarse con incrementos modestos del tamaño de las secciones y el coste de los elementos. Sin embargo, tal enfoque resulta inapropiado en estructuras históricas, en las que los requisitos para mejorar la resistencia pueden conducir a una pérdida de fábricas históricas o a alteraciones en la concepción original de la estructura. En las estructuras históricas es preciso adoptar un enfoque más amplio y flexible para relacionar más claramente las medidas terapéuticas con el comportamiento estructural real y para mantener el principio de mínima intervención.

El juicio sobre la seguridad de una estructura se basa en una evaluación de los resultados que se obtienen mediante los tres procedimientos de diagnóstico que se presentarán más adelante. Los tres procedimientos parten de la base de que el enfoque cualitativo es tan importante como el enfoque cuantitativo.

Cabe apuntar también que los coeficientes de seguridad establecidos para un edificio nuevo tienen en cuenta las incertidumbres de la construcción. En edificios ya construidos, esas incertidumbres pueden verse reducidas por el hecho de que el comportamiento real de la estructura puede ser observado y monitorizado. En el caso de que podamos obtener datos más fiables, unos coeficientes teóricos de seguridad reducidos no tienen por qué corresponder necesariamente a una seguridad real reducida. Con todo, no hay que olvidar que hay casos de estructuras históricas en las que obtener datos resulta muy difícil. (Esta cuestión se aborda con más detalle en los apartados 4.3.1 y 4.3.4.)

4.2. Identificación de las causas (diagnóstico)

El diagnóstico consiste en identificar las causas del daño y del deterioro basándose en los datos obtenidos a partir de los tres análisis siguientes:

- Análisis histórico (ver 4.3.2).
- Análisis cualitativo (ver 4.3.3).
- Análisis cuantitativo, que incluye modelización matemática (ver 4.3.4) y ensayos (4.3.5).

El diagnóstico es a menudo una fase difícil, puesto que los datos disponibles normalmente se refieren a los efectos, mientras que es la causa o, más frecuentemente, son las distintas causas concomitantes lo que hay que determinar. Por eso, la intuición y la experiencia resultan esenciales en el proceso de diagnóstico. Un diagnóstico correcto es indispensable para evaluar adecuadamente el nivel de seguridad y tomar una decisión racional respecto a las medidas de tratamiento que deben aplicarse.



4.3. Evaluación del nivel de seguridad

4.3.1. El problema de la evaluación del nivel de seguridad

La evaluación del nivel de seguridad es el último paso en la fase de diagnóstico. Mientras que el objetivo del diagnóstico es identificar las causas del daño y del deterioro, la evaluación del nivel de seguridad debe determinar, a partir de un análisis de la condición actual de la estructura y los materiales, si los niveles de seguridad son aceptables o no. La evaluación del nivel de seguridad resulta así un paso esencial en el proyecto de restauración, puesto que con ella se toman las decisiones respecto a la necesidad y el alcance de cualquier medida terapéutica.

Con todo, la evaluación del nivel de seguridad es también una tarea difícil porque los métodos de análisis estructural utilizados para construcciones modernas pueden no ser ni exactos ni fiables cuando se aplican a estructuras históricas, lo cual puede llevar a tomar decisiones incorrectas. Ello se debe a varios factores, tales como la dificultad de comprender en profundidad la complejidad de un edificio antiguo o de un monumento, las incertidumbres respecto a las características de los materiales, el desconocimiento de los fenómenos previos (por ejemplo, asentamientos del terreno) y el conocimiento incompleto sobre las alteraciones y reparaciones realizadas en el pasado. Así pues, un enfoque cuantitativo basado en modelos matemáticos no puede ser el único procedimiento utilizado. Como en la fase de diagnóstico, también debe partirse de enfoques cualitativos basados en la investigación histórica y en la observación de la estructura. En algunas situaciones también puede resultar de utilidad un cuarto enfoque basado en ensayos específicos.

Cada uno de estos enfoques, que se exponen a continuación, puede guiar la evaluación del nivel de seguridad, pero es el análisis conjunto de la información obtenida en cada uno de ellos lo que llevará al mejor «veredicto». Para llegar a ese veredicto deben tenerse en cuenta tanto los aspectos cuantitativos como los cualitativos, que deben ser valorados en función de la fiabilidad de los datos y de las hipótesis admitidas. Todo ello debe exponerse en el informe explicativo ya mencionado.

Así pues, debe quedar claro que el arquitecto o ingeniero encargado de la evaluación del nivel de seguridad de un edificio histórico no debería verse legalmente obligado a basar sus decisiones únicamente en los resultados de cálculos, puesto que, como ya se ha apuntado, esos datos pueden ser poco fiables o inadecuados.

Procedimientos parecidos deben seguirse para evaluar los niveles de seguridad después del diseño de ciertos tipos de intervención (ver apartado 5) a fin de valorar sus beneficios y garantizar que su nivel de aplicación sea el adecuado (ni insuficiente ni excesivo).

4.3.2. Análisis histórico

El conocimiento de lo ocurrido en el pasado puede ayudar a prever el comportamiento futuro de una estructura y constituye una indicación útil para estimar el nivel de seguridad en su



ICOMOS

INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE FOR ANALYSIS AND
RESTORATION OF STRUCTURES OF ARCHITECTURAL HERITAGE

estado actual. La historia es el laboratorio experimental más completo y opera, además, a escala real: muestra cómo el tipo de estructura, los materiales del edificio, las conexiones, las juntas, las adiciones y las alteraciones humanas han interactuado con distintas acciones, tales como sobrecargas, terremotos, corrimientos de tierra, variaciones de la temperatura, contaminación atmosférica, etc., lo cual puede haber alterado el comportamiento estructural original produciendo grietas, fisuras, aplastamientos, desplomos, deterioro, colapso, etc. La tarea del analista reside en desechar la información superflua e interpretar correctamente los datos pertinentes para describir el comportamiento estático y dinámico de la estructura.

A pesar de tratarse de un factor importante que debe considerarse en el estudio del comportamiento futuro, el conocimiento de un comportamiento satisfactorio en el pasado no siempre constituye una guía fiable para predecir la seguridad y la supervivencia de una estructura. Ello es especialmente cierto cuando la estructura está trabajando al límite de su capacidad portante, lo cual implica un comportamiento frágil (por ejemplo, alta compresión en pilares), cuando la estructura ha sufrido cambios importantes o cuando se producen acciones repetidamente (como por ejemplo terremotos) que van debilitando progresivamente la estructura.

4.3.3. Análisis cualitativo

Este análisis se basa en la comparación entre la condición actual de una estructura y la condición de otras estructuras similares cuyo comportamiento haya sido ya caracterizado. La experiencia que se gana analizando y comparando el comportamiento de estructuras diferentes puede hacer viables las extrapolaciones y proporcionar las bases necesarias para evaluar el nivel de seguridad.

Este análisis (en términos filosóficos conocido como procedimiento inductivo) no es completamente fiable porque depende más del juicio personal que de procedimientos estrictamente científicos. Sin embargo, puede ser el análisis más racional en los casos en los que las incertidumbres inherentes a los problemas son tan pronunciadas que otros tipos de análisis resultan más rigurosos y fiables sólo en apariencia.

Cuando se ha observado el comportamiento de diferentes tipos estructurales en varias fases de daño y deterioro causados por diferentes acciones (terremotos, asientos del terreno, etc.) y se ha adquirido experiencia respecto a su estabilidad y durabilidad, es posible extrapolar ese conocimiento para predecir el comportamiento de la estructura analizada. La fiabilidad de la evaluación dependerá del número de estructuras observadas y, por consiguiente, de la experiencia y conocimiento de las personas involucradas. Un programa de investigación apropiado y una monitorización de los fenómenos progresivos pueden aumentar el grado de fiabilidad del análisis.



4.3.4. Enfoque analítico

El enfoque analítico parte de los métodos del análisis estructural moderno, los cuales llegan, a partir de ciertas hipótesis (teoría de la elasticidad, teoría de la plasticidad, estructuras porticadas, etc.), a conclusiones basadas en cálculos matemáticos. En términos filosóficos se trata de un procedimiento deductivo. Sin embargo, las incertidumbres que pueden afectar a la representación de las características de los materiales y del comportamiento estructural, junto con las simplificaciones adoptadas, pueden llevar a resultados que no siempre son fiables o que incluso están muy alejados de la situación real. La esencia del problema reside en la identificación de aquellos modelos que sean representativos y describan adecuadamente la estructura y los fenómenos asociados en toda su complejidad, con lo cual será posible la aplicación de las teorías disponibles.

Los modelos matemáticos son las herramientas más frecuentemente utilizadas en el análisis estructural. Los modelos que describen la estructura original, si han sido adecuadamente calibrados, permiten comparar el daño teórico producido por diferentes tipos de acciones con el daño observado en la realidad, y proporcionan así una herramienta útil para identificar sus causas. Los modelos matemáticos de la estructura dañada y de la estructura reforzada ayudan a evaluar los niveles de seguridad actuales y valorar los beneficios de las intervenciones propuestas.

El análisis de la estructura es una herramienta indispensable. Incluso en los casos en los que sus resultados no puedan ser precisos, los cálculos y análisis pueden indicar el flujo de las tensiones y de las posibles zonas críticas. Sin embargo, normalmente los modelos matemáticos, por sí solos, no pueden proporcionar una evaluación del nivel de seguridad fiable. La comprensión de los aspectos clave y el correcto establecimiento de los límites de la utilización de las técnicas matemáticas dependen del uso que haga el experto de su conocimiento científico. Todo modelo matemático debe tener en cuenta los tres aspectos descritos en el apartado 3: el esquema estructural, las características de los materiales y las acciones a las que está sometida la estructura.

4.3.5. Enfoque experimental

Ensayos específicos (como una prueba de carga de un forjado, de una viga, etc.) proporcionarán una medida directa de los márgenes de seguridad, aunque puedan aplicarse sólo a elementos aislados y no al edificio en su conjunto.

4.4. Las decisiones y el informe explicativo o memoria

La valoración del nivel de seguridad de una estructura se basa en los resultados de los tres (o cuatro) enfoques descritos anteriormente (el cuarto enfoque tiene una aplicación limitada). Cuando el análisis indica unos niveles de seguridad inadecuados, debe considerarse en primer lugar la posibilidad de que se hayan utilizado datos insuficientemente precisos o de que se



ICOMOS

INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE FOR ANALYSIS AND
RESTORATION OF STRUCTURES OF ARCHITECTURAL HERITAGE

haya partido de valores demasiado conservadores, lo cual debiera llevar a la conclusión de que es precisa una investigación más amplia antes de emitir un diagnóstico.

Puesto que los análisis cualitativos pueden ser tan importantes como los datos cuantitativos, la valoración de la seguridad y las decisiones que se tomen respecto a una intervención deben exponerse en el informe explicativo (al que ya nos hemos referido), en el que se presentarán de manera clara todas las consideraciones que han llevado a la evaluación final y a las decisiones que se han tomado. El veredicto debe tener en cuenta el grado de exactitud y de precaución que sustenta cada decisión y debe basarse en razonamientos lógicos y coherentes.

El informe explicativo debe considerar el factor tiempo, puesto que la decisión de actuar inmediatamente y la decisión de aceptar la estructura en su estado actual no son sino dos extremos de una escala de posibilidades. A menudo las alternativas son o bien reforzar la estructura en función del conocimiento alcanzado o bien ampliar la investigación a fin de obtener datos más completos y fiables con la esperanza de reducir la intervención. No obstante, es preciso fijar algún plazo para aplicar las medidas, dado que la seguridad tiene una naturaleza probabilística: la probabilidad de ocurrencia de daño o colapsos aumenta cuanto más se retrasa la aplicación de las medidas terapéuticas.

Los factores fundamentales para establecer un plazo de aplicación dependerán esencialmente de tres tipos de fenómenos:

- procesos continuos (es decir, progresivos y no estabilizados, como por ejemplo procesos de deterioro, asentamientos lentos del terreno, etc.) que con el tiempo reducen los niveles de seguridad a límites inaceptables, con lo que deben tomarse medidas antes de que suceda;
- los fenómenos de naturaleza de cíclica (variación de la temperatura, humedad, etc.) que provocan un deterioro creciente;
- los fenómenos que pueden ocurrir repentinamente (tales como terremotos, huracanes, etc.); la probabilidad de que se produzcan a un nivel dado se incrementa con el paso de tiempo, de manera que el nivel de seguridad que se debe proporcionar se puede vincular teóricamente con la expectativa de vida de la estructura (por ejemplo, es bien sabido que si se quiere proteger un edificio contra los terremotos durante cinco siglos debe asumirse que las posibles acciones serán mayores que si se quiere proteger el mismo edificio durante sólo un siglo).

5. Daño estructural, deterioro de los materiales y medidas terapéuticas

5.1. Aspectos generales

Este apartado aborda los procedimientos de toma de decisiones implicados tanto en la investigación de una estructura como en la selección de medidas terapéuticas. En los siguientes párrafos se señalan algunos ejemplos de los métodos de daño y reparación más frecuentes para los principales materiales estructurales, sin que se pretenda dar una revisión exhaustiva de las muchas soluciones posibles, disponibles en otros textos.



El daño estructural se produce cuando las tensiones producidas por una o más acciones (ver 3.4) exceden la resistencia de los materiales en zonas significativas, ya sea porque las propias acciones han aumentado o porque la resistencia de los materiales se ha visto reducida. Los cambios sustanciales en la estructura, incluso las demoliciones parciales, también pueden ser una fuente del daño.

La manifestación de daño está relacionada con el tipo de acciones y con el tipo de material. Los materiales frágiles rompen con deformaciones pequeñas, mientras que los materiales dúctiles muestran una deformación considerable antes de su rotura.

La aparición del daño, en particular de grietas y fisuras, no indica necesariamente el riesgo de fallo en una estructura; las grietas y las fisuras pueden liberar tensiones que no son esenciales para el equilibrio (por ejemplo, ciertas fisuras o grietas producidas por asentos del terreno) y pueden permitir, a través de cambios en el sistema estructural, una redistribución beneficiosa de las tensiones.

El daño también puede producirse en elementos no estructurales, tales como particiones internas o revestimientos, como resultado de tensiones que se producen en el interior de esos elementos a causa de deformaciones o cambios de dimensión en la estructura.

El deterioro del material se produce por acciones químicas, físicas y biológicas y puede acelerarse cuando se modifican estas acciones de manera desfavorable (por ejemplo, por la contaminación, etc.). Las consecuencias principales son el deterioro de las superficies, la pérdida de material y, desde el punto de vista mecánico, una reducción de la resistencia. Por lo tanto, la estabilización de las características de los materiales es una tarea importante para la conservación de los edificios históricos; un programa de mantenimiento es una actividad esencial puesto que, aun siendo posible prevenir o reducir la velocidad de deterioro, a menudo resulta difícil o incluso imposible recuperar las propiedades que los materiales han perdido.

5.2. Obra de fábrica

Con el término *obra de fábrica* nos referimos a la construcción basada en piedra, ladrillo y tierra (adobe o tapial). En general, las estructuras de obra de fábrica están hechas con materiales que tienen muy baja resistencia a la tracción y pueden mostrar fácilmente fisuración en su interior o separación entre elementos. Sin embargo, esos signos no indican necesariamente un peligro, puesto que las estructuras de obra de fábrica se conciben para trabajar fundamentalmente a compresión.

El análisis preliminar de la obra de fábrica debe identificar las características de los componentes de este material compuesto: las piedras (piedra caliza, arenisca, etc.) o ladrillos (cocidos o secados al sol, etc.) y el tipo de mortero (de cemento, de cal, etc.). También es necesario saber cómo están unidos los elementos (juntas secas, juntas de mortero, etc.) y la manera en la que se relacionan entre sí geoméricamente. Pueden utilizarse distintos tipos de ensayos para determinar la composición de la pared (ensayos endoscópicos, etc.).



ICOMOS

INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE FOR ANALYSIS AND
RESTORATION OF STRUCTURES OF ARCHITECTURAL HERITAGE

En general, las estructuras de obra de fábrica dependen del efecto de los forjados y, en algún caso, de las cubiertas para distribuir las cargas laterales y así asegurar la estabilidad global de la estructura. Es importante examinar la disposición de esos elementos y su conexión efectiva a la obra de fábrica. También es necesario entender el orden de construcción porque las distintas características de distintos períodos de la obra de fábrica pueden afectar al comportamiento global de la estructura.

Las causas principales del daño y colapso son las cargas verticales, las cuales pueden producir aplastamientos, pandeo, rotura frágil, etc. Esas situaciones son especialmente peligrosas porque normalmente se producen con pequeñas deformaciones y signos poco visibles. Las fuerzas laterales y sus efectos son importantes en áreas sísmicas, construcciones altas, y cuando existe empuje de arcos y bóvedas.

Hay que prestar atención a las paredes o muros de gran espesor construidas con distintos tipos de material o fábrica. Esas paredes pueden ser paredes con cámara de aire, paredes de obra de fábrica rellenas de escombros o paredes de ladrillo visto con un núcleo de poca calidad. El material de relleno no sólo puede ser menos resistente sino que además puede producir empujes contra los paramentos. En este tipo de obra de fábrica, las hojas externas pueden separarse del núcleo, de modo que es preciso determinar si los paramentos y el núcleo actúan conjunta o separadamente. Este último caso suele resultar peligroso porque los paramentos pueden volverse inestables.

Las tensiones de compresión próximas a la capacidad de los materiales pueden producir fisuras y grietas verticales, como primera indicación de daño, y con el tiempo causar grandes deformaciones laterales, hundimientos, etc. El grado de visibilidad de esos efectos depende de las características de los materiales y, especialmente, de su fragilidad. Esos efectos pueden desarrollarse muy lentamente (incluso durante décadas) o rápidamente. Las tensiones próximas a la máxima resistencia representan un riesgo de colapso elevado, incluso si las cargas se mantienen constantes.

Para identificar las causas del daño resulta útil un análisis de la distribución de las tensiones. Para entender la causa del daño (diagnóstico) en primer lugar es necesario determinar los niveles y la distribución de las tensiones, aunque sea de manera aproximada. Dado que las tensiones son normalmente muy bajas, errores pequeños en su evaluación no afectan de manera significativa al margen de seguridad. Una inspección visual detallada del cuadro fisurativo puede proporcionar una indicación de las trayectorias de las cargas en la estructura.

Cuando las tensiones en áreas significativas se aproximen a la resistencia máxima, es preciso realizar un análisis más exacto de la estructura o ensayos específicos para la obra de fábrica (ensayo de gato plano, ensayo sónico, etc.) con el fin de obtener una valoración más precisa de la resistencia.

Las cargas laterales coplanares, es decir, que actúan en el plano del elemento de obra de fábrica, pueden producir grietas diagonales o deslizamientos. Las cargas excéntricas o actuantes fuera del plano pueden producir la separación de las hojas en un muro de varias



hojas o la rotación de toda una pared sobre su base. Cuando ocurre esto último, puede ser posible observar grietas y fisuras horizontales en la base antes de que se produzca el vuelco.

Entre las distintas intervenciones destinadas a reforzar una pared tenemos:

- rejuntableo de la obra de fábrica, consolidación de la pared con mortero de reparación,
- refuerzo mediante armaduras metálicas, verticales o longitudinales,
- eliminación y reposición de material deteriorado,
- desmontaje y reconstrucción del elemento constructivo, ya sea de manera parcial o total.

La selección de los morteros fluidos (de cal, cemento, resinas, productos especiales, etc.) adecuados para consolidar la obra de fábrica ante problemas de agrietamiento y deterioro depende de las características de los materiales. Hay que prestar atención a la compatibilidad entre los materiales nuevos y los originales. Los cementos que contienen sales sólo pueden utilizarse cuando no hay riesgo de dañar la obra de fábrica y, en especial, sus paramentos. En las paredes que tienen morteros de yeso la reacción entre el yeso y los minerales del cemento tiene como resultado la formación de sales que tarde o temprano supondrán un daño. Puede darse un problema de lixiviación de sales solubles del mortero que tenga como resultado eflorescencia en la superficie de los ladrillos (lo cual que es especialmente peligroso cuando hay revocos históricos o frescos).

Una alternativa a la consolidación del propio material estriba en la utilización de tirantes de materiales adecuados para mejorar la capacidad portante de la obra de fábrica.

Existen varios productos para la consolidación de superficies que no tienen revocos para protegerlos. Sin embargo, rara vez esos productos son completamente efectivos y, además, hay que prestar atención a los posibles efectos secundarios.

Los arcos y las bóvedas son elementos típicos de las estructuras de obra de fábrica. Los arcos y las bóvedas cuentan con su curvatura y con el empuje de sus apoyos laterales o estribos para reducir o eliminar los momentos flectores, y permiten así el uso de materiales con baja resistencia a la tracción. Su capacidad portante es excelente, siendo el movimiento de los apoyos laterales o estribos lo que puede introducir momentos flectores y tensiones de tracción, lo cual conduce a la abertura de las juntas y a un posible colapso.

La formación de grietas y fisuras de abertura reducida es característica del comportamiento de algunas estructuras abovedadas.

Los posibles problemas estructurales pueden relacionarse con una ejecución de baja calidad (muy baja adherencia entre las piezas de piedra o ladrillo, baja calidad del material, etc.), una geometría de la distribución de cargas inadecuada o una resistencia y rigidez inapropiadas de los elementos que deben resistir los empujes (cadenas metálicas, estribos,...).

Cuando el material de construcción tiene una resistencia muy baja (como en las estructuras hechas de piedras irregulares con mucho mortero) es posible la separación de algunas partes



de las bóvedas en las zonas en las que la compresión es más baja o en las que hay tensiones de tracción, lo cual posiblemente conducirá a un colapso progresivo.

En los arcos y, en general, en las estructuras de obra de fábrica abovedadas, hay que considerar cuidadosamente la relación entre la distribución de cargas y la geometría de la estructura cuando se eliminan o añaden cargas (sobre todo cargas muertas pesadas).

Las principales medidas de intervención se basan en el reconocimiento de los puntos señalados anteriormente, a saber, la adición de nuevos tirantes (normalmente en el nivel del arranque de las bóvedas, o a lo largo de los círculos paralelos de las cúpulas), la construcción de contrafuertes, o la corrección de la distribución de cargas (en algunos casos añadiendo carga).

Los edificios altos como torres, campanarios, minaretes, etc., se caracterizan por experimentar tensiones de compresión elevadas y presentan problemas similares a los de pilares y columnas. Además, estas estructuras pueden hallarse debilitadas por conexiones imperfectas entre las paredes o por alteraciones como la supresión o realización de aberturas, etc. Los diafragmas, los tirantes horizontales y las cadenas pueden aumentar la capacidad de resistencia frente a cargas gravitatorias.

5.3. Madera

La madera se ha utilizado tanto en paredes de carga como en estructuras porticadas, en estructuras mixtas de madera y obra de fábrica y para formar elementos principales de estructuras de obra de fábrica.

Su funcionamiento estructural se ve afectado por la especie, las características del crecimiento, y por el deterioro. Las operaciones preliminares deben ser la identificación de las especies, que son susceptibles al ataque biológico de maneras distintas, y la evaluación de la resistencia de elementos individuales, la cual está relacionada con el tamaño y la distribución de nudos y otras características del crecimiento. Las fisuras y grietas longitudinales paralelas a las fibras debidas a la retracción por secado (fendas) no son peligrosas cuando sus dimensiones son pequeñas.

La durabilidad puede verse afectada por los métodos de tala, secado y aserrado, que pueden haber sido distintos en diferentes momentos.

Los ataques de hongos e insectos son las fuentes principales del daño. Estos ataques están relacionados con un alto contenido de humedad y la temperatura. El contenido de humedad de la madera debe ser medido como una indicación de la vulnerabilidad al ataque. Un mantenimiento pobre de los edificios o cambios radicales en las condiciones internas son las causas más comunes del deterioro de la madera.



ICOMOS

INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE FOR ANALYSIS AND
RESTORATION OF STRUCTURES OF ARCHITECTURAL HERITAGE

El contacto con la obra de fábrica constituye frecuentemente una fuente de humedad; ello puede producirse o bien en las zonas en las que la madera se apoya en la obra de fábrica o en aquellas en las que la madera se utiliza para reforzar la obra de fábrica.

Puesto que el deterioro y el ataque de insectos pueden no ser visibles en la superficie, existen métodos, como la micro-perforación, que permiten examinar el interior de la madera.

Los productos químicos pueden proteger la madera del ataque biológico. Por ejemplo, en forjados o armaduras de cubierta los extremos de las vigas insertados en las paredes de obra de fábrica quizá necesiten ser protegidos.

Debe verificarse la compatibilidad con la estructura de madera de los materiales de refuerzo o consolidantes que se introduzcan. Por ejemplo, los elementos de fijación de acero son susceptibles a la corrosión en asociación con algunas especies y por lo tanto deberían utilizarse aceros inoxidable. Las intervenciones no deben restringir la evaporación de la humedad de la madera.

Desmontar y montar las estructuras de madera es una operación delicada por el riesgo de daño. También hay el riesgo de la posible pérdida de materiales asociados que son históricamente significativos. No obstante, puesto que muchas de las estructuras de madera originariamente eran prefabricadas, hay circunstancias en las que un desmontaje, ya sea parcial o completo, puede facilitar una reparación efectiva.

La madera se utiliza frecuentemente para formar estructuras porticadas y de celosía en las que los principales problemas están relacionados con una rotura local en los nudos. Las medidas terapéuticas más comunes consisten en reforzar los nudos o en añadir elementos diagonales suplementarios cuando es preciso mejorar la estabilidad frente a fuerzas laterales.

5.4. Hierro y acero

Hay que distinguir entre el hierro fundido, el hierro forjado y las estructuras de acero. El primero no sólo es débil en tracción sino que además puede haber incorporado esfuerzos causados por coladas. Se trata de un material frágil y si está sujeto a tensiones de tracción puede fracturarse sin previo aviso. La resistencia de elementos individuales puede verse afectada negativamente por una fabricación deficiente en la fundición.

El hierro y el acero son aleaciones y su susceptibilidad a la corrosión depende de su composición. La corrosión siempre va acompañada de un aumento del volumen de material que puede aumentar las tensiones en materiales asociados; por ejemplo el fraccionamiento de piedra u hormigón como resultado de la corrosión de barras o grapas de hierro insertadas.

Los elementos más vulnerables de las estructuras de acero son sus uniones en las que las tensiones son normalmente más altas, especialmente en huecos o perforaciones para elementos de fijación. Los puentes u otras estructuras sujetas a cargas cíclicas pueden experimentar rotura por fatiga.



Así pues, en conexiones con roblones y pernos es muy importante revisar las grietas y fisuras que se inician en los huecos. Un análisis de la fractura permite valorar la vida útil que le queda a la estructura.

La protección contra la corrosión del hierro y el acero precisa en primer lugar eliminar la herrumbre de las estructuras (por medio de chorro de arena, etc.) y posteriormente pintar la superficie con un producto adecuado. Puede no ser posible reparar estructuras de hierro y acero fuertemente dañadas y deformadas. El refuerzo de estructuras débiles puede conseguirse frecuentemente añadiendo nuevos elementos, debiendo prestarse especial atención en caso de optar por la soldadura como forma de unión.

5.5. Hormigón armado

El hormigón armado y el pretensado son los materiales básicos de muchos edificios modernos que actualmente son considerados históricamente importantes. No obstante, en el momento de su construcción todavía no se tenía una comprensión completa del funcionamiento de esos materiales, de modo que pueden presentar problemas especiales de durabilidad (mezclas de cemento pobres, recubrimiento de armaduras inadecuado, etc.). Los problemas más comunes incluyen la carbonatación del hormigón (que lo endurece pero que también lo vuelve más frágil), que reduce la protección del acero frente a la corrosión. El hormigón armado expuesto a cloruros (ya sea en emplazamientos marítimos o por esparcido de sal) es especialmente susceptible a la corrosión del acero.

La corrosión del acero tiene como resultado el desmoronamiento del hormigón. Para consolidar un elemento de hormigón armado afectado por este fenómeno normalmente se precisa la eliminación del hormigón deteriorado (mediante chorro de agua, medios mecánicos, etc.), el saneado del acero, la adición de nueva armadura y la reconstrucción de la superficie, a menudo utilizando hormigones especiales.



Apéndice 1. – Miembros del Comité

<i>Presidente</i>	CROCI Giorgio	(ITALIA)
<i>Secretario general</i>	VAN BALEN Koenraad	(BÉLGICA)
<i>Tesorero</i>	SCHMUCKLE-MOLLARD Christiane	(FRANCIA)
<i>Dirección</i>	HIDAKA Kenichiro KELLEY Stephen ARUN Gorun SCHAFFER Yacoov SCHMIDT Wolf WIJERATNE Pali YEOMANS David	(JAPÓN) (EE. UU.) (TURQUÍA) (ISRAEL) (ALEMANIA) (SRI LANKA) (INGLATERRA)
<i>Miembros electores</i>	BALDERSTONE Susan BERTHE Mamadou ELIZBARASHVILI Irine GAVRILOVIC Predrag FONTAINE Lyne HAUSER HERUC Svebor KANTOVA Olga MACCHI Giorgio MILTADOU Androniki MOUTON Benjamin PENTINMIKKO Juhani PUCCIONI Silvia SALMOND Jeremy SCHROETER SEGARRA Maria SOFRONIE Ramiro SINDING-LARSEN Amund WENZEL Fritz WIRTZ Patrick	(AUSTRALIA) (SENEGAL) (GEORGIA) (MACEDONIA) (CANADÁ) (AUSTRIA) (PAÍSES BAJOS) (REP. CHECA) (ITALIA) (GRECIA) (FRANCIA) (FINLANDIA) (BRASIL) (NUEVA ZELANDA) (ALEMANIA) (MÉXICO) (RUMANÍA) (NORUEGA) (ALEMANIA) (LUXEMBURGO)
<i>Miembros asociados</i>	AGO Fabrizio BINDA Luigia ARBABIAN Homayoun CHARKIOLAKIS Nikos GREEN Melvyn HALLEUX Pierre LOOK David MODENA Claudio MORTON Brian POPOVA Shejanka	(ITALIA) (ITALIA) (IRÁN) (GRECIA) (EE. UU.) (BÉLGICA) (EE. UU.) (ITALIA) (REINO UNIDO) (CANADÁ)



ICOMOS
INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE FOR ANALYSIS AND
RESTORATION OF STRUCTURES OF ARCHITECTURAL HERITAGE

	RENDA Vito ROCA Pere SOLAR Giora YUZUGULLU Ozal	(ITALIA) (ESPAÑA) (ISRAEL) (TURQUÍA)
<i>Miembros honorarios</i>	SILVA Roland	(SRI LANKA)



Apéndice 2. – Glosario

(con el equivalente en lengua inglesa entre paréntesis)

acción (action)

Cualquier agente (fuerzas, deformaciones, etc.) que produce directa o indirectamente esfuerzos o tensiones en la estructura del edificio, así como cualquier fenómeno (químico, biológico, etc.) que afecte a los materiales de los que se compone la estructura del edificio. Las distintas categorías de acciones y sus definiciones se describen en el apartado de las *Directrices*.

adobe (adobe)

Ladrillos de barro secados al sol. Se pueden utilizar materiales orgánicos como paja o excrementos animales para mejorar su durabilidad o reducir su retracción.

análisis de costes y beneficios (cost benefit analysis)

Los términos *costes* y *beneficios* tienen un sentido general más que monetario. Los costes pueden medirse en términos de la pérdida potencial de fábricas a causa de la invasividad de una terapia, y los beneficios pueden conseguirse con la terapia o con el conocimiento obtenido que pueda resultar útil en un futuro. Este término no debería interpretarse como *análisis del valor*.

análisis estructural (structural analysis)

Cálculos, análisis mediante ordenador que utilizan modelos matemáticos.

anamnesis (anamnesis)

El informe sobre la historia clínica de un edificio, que incluye los traumas, las intervenciones, las modificaciones del pasado, etc. La investigación para obtener esas informaciones antes del examen. Es el primer paso antes del diagnóstico.

Ver *control*, *diagnóstico* y *terapia*.

conservación (conservation)

Operaciones que mantienen el edificio tal como es actualmente, aunque se acepten intervenciones limitadas para mejorar los niveles de seguridad.

control (control)

Modelo de comparación que permite comprobar los resultados de un experimento. Verificar y regular la eficiencia de una terapia a través de ensayos, monitorización y examen.

Ver *anamnesis*, *diagnóstico* y *terapia*.

daño (damage)

Cambio y empeoramiento del comportamiento estructural producidos por acciones mecánicas o por una reducción de la resistencia. Reducción de la capacidad portante mecánica vinculada con un fallo del sistema estructural.

Ver *deterioro* y *estructura*.



deterioro (decay)

Cambio y empeoramiento de las características de los materiales producidos por acciones biológicas o químicas. Está vinculado con un fallo de los materiales de los que se compone un sistema estructural. Pérdida de calidad, tejido deteriorado.

Ver *daño*.

diagnóstico(diagnosis)

El hecho o proceso de identificar o determinar la naturaleza y las causas del daño y el deterioro mediante la observación, la investigación (incluyendo modelos matemáticos) y el análisis histórico, así como las opiniones que se derivan de esas actividades.

Ver *anamnesis, control y terapia*.

edificio (building)

Algo que está construido. En el contexto de este documento, el término incluye iglesias, templos, puentes, diques y todas las obras de construcción. También llamado *patrimonio arquitectónico*.

enfoque cuantitativo (quantitative approach)

Evaluación basada en métodos analíticos o científicos tales como ensayos, cálculos y modelos matemáticos.

Ver *enfoque histórico y enfoque cualitativo*.

enfoque histórico (historical approach)

Evaluación basada en la investigación histórica y en la experiencia del pasado.

Ver *enfoque cualitativo y enfoque cuantitativo*.

ensayos de materiales (material testing)

Ensayos de laboratorio o de campo de los materiales (físicos, químicos, porosidad, de variaciones climáticas aceleradas, etc.).

ensayos estructurales (structural testing)

Ensayos de laboratorio o de campo de estructuras (ensayos de uniones y componentes, pruebas de carga de un forjado, mesas sísmicas, etc.).

esquema estructural (structural scheme)

Una representación (o modelo) aproximada de la estructura, distinta a la misma pero próxima a la realidad.

estructura (structure)

La parte de un edificio que proporciona la capacidad portante; a veces coincide con el propio edificio.

evaluación del nivel de seguridad (safety evaluation, assessment)

Evaluación de los márgenes de seguridad de una estructura en relación con un daño grave o el colapso parcial o total. Lo opuesto a seguridad es riesgo.

Ver *enfoque histórico, enfoque cualitativo y enfoque cuantitativo*.



examen (examination)

La parte visual de una investigación que excluye los ensayos de materiales, el análisis de la estructura, los ensayos estructurales, y otras técnicas de investigación más sofisticadas.
Ver investigación, ensayos de materiales, análisis estructural y ensayos estructurales.

fábricas (fabrics)

Las partes materiales y de la estructura que constituyen el edificio (pórticos, paredes, forjados, cubiertas, etc.).

holístico (holystic)

Que enfatiza la importancia del conjunto y la interdependencia de sus partes.

informe explicativo o memoria (explanatory report)

Un informe que define específicamente los aspectos subjetivos que afectan a la evaluación del nivel de seguridad, tales como las incertidumbres respecto a los datos o las dificultades para realizar una evaluación precisa de los fenómenos que puedan conducir a conclusiones de dudosa fiabilidad.

intervención (intervention)

La intrusión física en un edificio durante un diagnóstico o una terapia.

investigación (investigation)

Una evaluación sistemática y detallada de un edificio que puede incluir examen, ensayos de materiales, análisis de la estructura, y ensayos estructurales.
Ver diagnóstico, examen, ensayos de materiales, análisis estructural y ensayos estructurales.

ladrillo (brick)

Unidad de obra de fábrica hecha normalmente de barro, cocida o simplemente secada al sol.

ladrillo cocido (fired brick)

Material cerámico obtenido mediante la preparación, moldeado (o extrusión) de material sin tratar (barro) y luego secado y cocido a una temperatura adecuada.

levantamiento de planos (geometrical survey)

Dibujos medidos (planos, elevaciones, secciones, etc.) en los que se identifica la geometría de un edificio.

mantenimiento (maintenance)

Serie de actividades destinadas a la conservación de un bien.

método observacional (observational method)

Aproximación gradual en la intervención o el refuerzo de una estructura, que consiste en comenzar por un nivel mínimo de intervención y la posible adopción sucesiva de medidas correctoras.



mortero (mortar)

Mezcla de uno o más aglomerantes, agregados y agua. A veces se incluyen aditivos en ciertas proporciones para darle a la mezcla la consistencia y trabajabilidad adecuadas en estado fresco y las propiedades mecánicas y físicas apropiadas cuando endurece.

muro de varias hojas (multi-leaf masonry)

Muro hecho con hojas de diferente constitución. (El más común es el de tres hojas hecho de dos caras externas y un relleno interior de escombros.)

obra de fábrica de ladrillos (brick masonry)

Estructura compuesta o material hecho de capas alternas de ladrillos recibidas con mortero.

patrimonio arquitectónico (architectural heritage)

Edificios y complejos de edificios (ciudades, etc.) de valor histórico.

Ver *edificio*.

piedras naturales (natural stones)

Las piedras naturales se han formado por procesos geológicos. Se trata de mezclas de minerales. Según su origen, pueden clasificarse en magmáticas, metamórficas y sedimentarias (arenisca, piedra caliza, etc.). Se diferencian por su origen si su composición no ha sido alterada por el hombre.

refuerzo (strengthening)

Conjunto de intervenciones destinadas a aumentar la capacidad portante de una estructura.

rehabilitación (rehabilitation)

Proceso que da a un edificio un nuevo uso o función sin alterar las partes del edificio que son significativas en cuanto a su valor histórico.

rejuntado (repointing)

Resultado de una reparación o restauración de una junta deteriorada. Puede ser homogénea con la junta existente o realizada con un material distinto (por ejemplo, cemento de polímero).

restauración (restoration)

Proceso de recuperación de la forma de un edificio tal como era en un período de tiempo determinado, por medio de la eliminación de obra adicional o con la reposición de obra perdida.

terapia (therapy)

La elección de medidas terapéuticas (consolidación, refuerzo, reposición, etc.) como respuesta al diagnóstico.

Ver *anamnesis, control y diagnóstico*.

testigo (tell-tale)

Dispositivo colocado a través de una grieta o fisura de una estructura de obra de fábrica para registrar los movimientos.



ICOMOS
INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE FOR ANALYSIS AND
RESTORATION OF STRUCTURES OF ARCHITECTURAL HERITAGE

tipología estructural (structural typology)

Los tipos de estructura clasificados en función de su comportamiento estructural y su capacidad para resistir cargas.

valor patrimonial (heritage value)

Valor arquitectónico, cultural o histórico atribuido a un edificio o paraje. El valor patrimonial puede definirse de maneras diferentes o tener una importancia variable en distintas culturas.