

Valoración de las condiciones de la estructura antigua

INTRODUCCIÓN

Sabemos la importancia que tiene la estructura en una construcción, ya que representa al conjunto de los componentes destinados a sostener, repartir y transferir las cargas de un punto a otro del espacio, así que valorar las condiciones de esta estructura en los inmuebles antiguos significa juzgar sobre la capacidad actual de transferir dichas cargas con adecuados márgenes de seguridad. Valorar la degradación y el desequilibrio estructural significa analizar la disminución en el tiempo de los márgenes de seguridad ocasionados por fenómenos fisiológicos o patológicos, tanto generales como puntuales (Jurina, 1989: 195).

¿Cómo llevar a cabo esta valoración? Es sabido que los criterios estructurales están concebidos para diseñar nuevos edificios, y cuando mucho para revisar inmuebles de concreto y acero ya existentes. Poco hay y poco se ha avanzado en la revisión de inmuebles históricos de mampostería, por lo que resulta muy importante la propuesta de una metodología que ayude al estructuralista a tomar una buena decisión, ante características y funciones estructurales tan diferentes de los inmuebles antiguos, características que parten de la diversidad de los materiales con los cuales están contruidos.

Un requisito indispensable en estos casos es la experiencia de quienes han trabajado con ellos: con un espíritu crítico, controlando minuciosamente cada reacción del inmueble, afinando y adaptando en cada caso la tecnología disponible. No se puede proyectar una intervención sobre un edificio antiguo sin antes establecer cómo y por quién deberá ser ejecutada (Lizzi, 1981:13).

Una diferencia esencial entre la construcción de una obra nueva y la consolidación estructural de una obra ya existente es que, para las obras nuevas, las funciones del autor del proyecto y del ejecutor de la obra están normalmente bien separadas; por el contrario, en un trabajo importante de restauración estructural existe una estrecha interdependencia entre el proyecto y la ejecución, lo que frecuentemente lleva a tener una identidad entre el proyectista y el ejecutor. Es conveniente, por una parte, que los trabajos de este tipo sean confiados a compañías especializadas que estén en posibilidad de proyectar y continuar posteriormente con la construcción. Por otra, que el especialista constantemente tiene la tendencia a realizar un esquema estructural propio para sustituir aquel preexistente, situación que origina estados de coacción, tanto en las estructuras ya existentes como en el subsuelo... Es inútil detenerse en los riesgos relacionados con tales procedimientos, los cuales alteran inevitablemente el estado de equilibrio preexistente... Además, es necesario recordar que el cuadro estructural de un edificio ha sobrevivido continuas vicisitudes, y a menudo se caracteriza por la ausencia casi total de hiperestática. La naturaleza no ve con gusto los equilibrios complejos y busca liberarse de ellos dando respiro a la obra. ¿Entonces por qué producir nuevos desequilibrios? (Lizzi, 1981:13).

Palabras clave:
Metodología
Estructura antigua
Patologías más frecuentes
Cargas muertas
Inmuebles patrimoniales

Resumen

En este artículo se presenta una metodología para revisar el estado de degradación que guarda una construcción antigua, revisión que se hace desde el punto de vista estructural, lo que nos permite llegar a una decisión sobre si vale la pena conservar el inmueble, repararlo o, incluso, demolerlo. También proporciona una guía útil para determinar las patologías más frecuentes que se presentan en los diferentes elementos constructivos, así como las intervenciones más comunes que un típico inmueble de mampostería con trabajo estructural a compresión, pudo haber sufrido a lo largo del tiempo, lo cual nos permite ampliar nuestra experiencia como restauradores.

ALBERTO CEDEÑO
DEPARTAMENTO DE MÉTODOS Y SISTEMAS
UAM - XOCHIMILCO
acedeno@correo.xoc.uam.mx

Key words:
Methodology
Old structure
Most frequent pathologies
Dead loads
Heritage buildings

Abstract

This article shows a methodology to assess the state of decay of an old building; revision usually needed from a structural standpoint, allowing us to deliver a decision dealing with the value of either preserving or repairing the building; or even demolishing it. The procedure also gives a useful guide to identify the most frequent pathologies that occur in different building elements, as well as the most common interventions that a typical masonry-built structure subject to compression stress could suffer along its life-span, thus allowing us to widen our experience as preservationists.

El objetivo de este trabajo es presentar cierta metodología que ayude al proyectista estructural especializado en inmuebles antiguos a realizar su trabajo.

METODOLOGÍAS AFINES

Tradicionalmente ya existen metodologías dentro de la restauración de monumentos para este fin, algunas de gran tradición como de Guglielmo de Angelis d'Ossat titulada *Guida allo studio metodico dei monumenti e delle loro cause di deterioramento* (1972), donde el autor presenta tres aspectos que la investigación debe cubrir: el histórico, el artístico y el estructural. Esta metodología, muy completa, va muy dirigida a la intervención sobre los inmuebles catalogados como monumentos, de ahí que se le conceda un gran peso a la parte sobre la investigación histórico-artística, pero poco se aporta en lo estructural.

El investigador español Juan López Jaén, basándose en esta misma metodología de De Angelis, establece una propia dedicada a las obras de rehabilitación, es decir, a aquellos edificios patrimoniales sin particulares valores, sólo el ambiental, y sin embargo parece forzada su utilización en estos casos (López Jaén, 1984). Más interesante resulta la propuesta de su compatriota Pedro Galindo García, que centrándose exclusivamente en la etapa del diagnóstico y del dictamen establece cuatro etapas para llevar a cabo este proceso:

- información
- reconocimiento
- diagnóstico
- dictamen

El investigador establece que necesitaremos una *información previa*, más o menos extensa que nos pueda llevar, dentro de una actuación de rigor científico, a un *reconocimiento* en profundidad no sólo de los daños puntuales, sino de la posibilidad de rehabilitar en toda su amplitud, y tras de ser clasificados todos los datos obtenidos y analizados, nos permitirán establecer un *diagnóstico*, que va a ser el documento de mayor rango a nivel técnico, y a través de él se nos va a permitir llegar a la decisión de recuperar o sustituir el hecho, contemplado asépticamente desde el campo de la tecnología. Terminamos con la cuarta etapa, es decir, la del *dictamen*, que proporciona un alto nivel de calidad al trabajo profesional del arquitecto (Galindo, 1984:53). Esta propuesta sigue adoleciendo de profundidad en la parte estructural.

Existe otra propuesta interesante del ingeniero técnico José Coscollano Rodríguez en su obra *Restauración y rehabilitación de edificios*, donde ya se contempla la importancia del factor medioambiental y se tratan

con amplitud las causas de los daños; el texto es particularmente explícito en aspectos técnicos. Sobre la inspección técnica desfavorable cita: la "conservación, rehabilitación y estado ruinoso" de las Ordenanzas del Ayuntamiento de Madrid, contempla que el deterioro se encuentra en:

- Estructura y cimentación, 25%
- Fachadas, patios y medianeras, 40%
- Cubiertas y azoteas, 17%
- Fontanerías y saneamiento, 17%

Las mismas Ordenanzas, mediante las inspecciones técnicas *ITE*, contemplan cuatro zonas arquitectónicas:

1. Inspección de estabilidad y resistencia mecánica del esqueleto del edificio.
2. Inspección de la estabilidad y grado de deterioro de los cerramientos exteriores horizontales.
3. Inspección de la permeabilidad al agua de lluvia de los cerramientos exteriores horizontales.
4. Inspección de las instalaciones básicas del edificio (Coscollano, 2003: 126).

El capítulo cinco está dedicado a la rehabilitación mediante diferentes procedimientos constructivos que se proponen, rehabilitación que establece la Gerencia Municipal de Urbanismo, la cual se refiere a los siguientes casos de ruina:

Ruina económica: el costo de rehabilitación supera 50% del valor real del edificio, sin el valor del suelo.

Ruina técnica: el edificio presenta un agotamiento general de todos los elementos estructurales o fundamentales, que originan un peligro para la estabilidad de la edificación.

Ruina urbanística: se requiere la realización de obras no autorizadas en el edificio y éste no se encuentra incluido en el Plan General de Ordenación Urbana (Coscollano, 2003: 214).

En México, la obra del doctor Roberto Meli, *Ingeniería estructural de los edificios históricos* (1998), establece una metodología enfocada directamente en el deterioro de los materiales estructurales y las fallas en elementos y sistemas estructurales básicos. Además, una novedad sobre otras metodologías expuestas: los métodos de análisis estructural y su aplicación en los edificios históricos, incluyendo aquellos que se hacen con la computadora. Por último, aquellos aparatos que son necesarios para la inspección, investigación y monitoreo de las estructuras.

Otra propuesta que parece más detallada, y que se enfoca al establecimiento de un diagnóstico de la estructura del inmueble, corresponde al investigador italiano Lorenzo Jurina y consta de un esquema que se divide

en tres fases y, como método dirigido a la disciplina de la rehabilitación, adopta términos de la medicina (Pulín, 1984). El objetivo de este tipo de diagnóstico es la valoración del nivel de seguridad de la estructura en una situación de sobrecarga (real o hipotética), por una probable modificación en el uso. El diagnóstico deberá conducirnos a decisiones: ¿se interviene?, ¿dónde, cómo y cuándo se interviene?

PATOLOGÍAS MÁS FRECUENTES

Esta metodología, como otras, inicia con una explicación de las patologías más frecuentes que se presentan en cada uno de los elementos estructurales, a fin de tener un punto de partida o conocimiento previo que ayudará a llevar con éxito nuestra tarea. Definamos la *patología constructiva* como la "ciencia que estudia los problemas constructivos que aparecen en el edificio (o en alguna de sus unidades) después de su ejecución" (Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 1991:11). Definitivamente todos los efectos están ligados a las causas, pero desgraciadamente la relación entre causas y efectos no es unívoca. Conocidas las causas pueden prevenirse los efectos, pero conocidos los efectos existen más causas que pueden haberlos provocado. El técnico debe saber juzgar las condiciones de la estructura teniendo a la vista sólo los efectos, por lo que su tarea resulta muy difícil.

Trabes y entrepisos de madera. La humedad es sin duda causa de los mayores desequilibrios en las estructuras de madera (Baglioni y Guarnerio, 1988:75). También, cuando al hundirse el piso, éste es renovado repetidamente con material nuevo que se agrega y de esta manera se agrava el problema (Jurina, 1989:198). Otros factores igualmente importantes son los espesores estructurales insuficientes respecto a las actuales condiciones de uso y de normatividad y las condiciones de degradación físico-químicas (Gulli, 2002:15).

Junto con las deformaciones elásticas, se presentan frecuentemente lesiones por flexión y por corte, provocadas por un exceso de carga concentrada y por errores iniciales de cálculo o de realización. Se deben vigilar las vigas desviadas, particularmente en el centro y en los soportes de éstas. Igualmente se debe poner atención a las grietas, entre las cuales son muy peligrosas las fisuras verticales transversales en el intradós y las fisuras horizontales próximas al plano neutro, en la zona de los soportes; menos preocupantes son las fisuras verticales longitudinales, lejanas a los soportes, así como las horizontales discontinuas intermedias (Baglioni, Guarnerio, 1988:75). Esto puede agravarse con la presencia de humedad o de discontinuidad estructural en la madera.

Cubiertas. En los techos de madera, el fenómeno más común es el de la pudrición

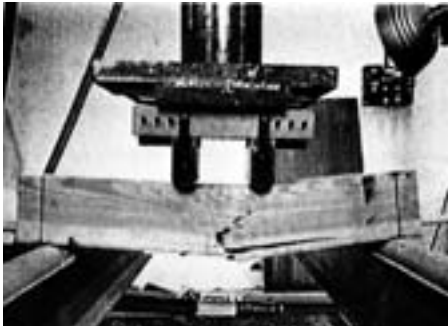


Figura 1.- Travesaños en madera lesionados por corte y flexión a causa de cargas concentradas (Jurina, 1989).



Figura 2.- Madera con el apoyo degradado y pérdida de la funcionalidad de la cadena de apoyo (Jurina, 1989)



Figura 3.- El elemento crítico es la cuerda inferior, que trabaja en tensión y es de una sola pieza (Meli, 1988).

de los materiales a causa de la humedad y la poca ventilación, o bien por la presencia de polillas o gusanos de diferente género (Jurina, 1989:199). En una zona sísmica, el problema principal lo originan las estructuras que provocan empujes (Gulli, 2002:16). De ahí la importancia de un mantenimiento adecuado en los apoyos de las vigas de madera que van empotradas al muro, ya que éstos pueden sufrir variaciones de humedad (Meli, 1998:68). La intersección de las vigas maderas del armazón del tejado con las cuerdas inferiores pierde consistencia, especialmente en los puntos en que se apoya sobre las paredes perimetrales, ya que la cadena no elimina los empujes de las dos riostras o listones, y la cubierta tiende a deslizarse. Esto provoca el colapso de las vigas secundarias por flexión, sobre todo cuando la distancia entre las vigas maderas que sostienen la cubierta resulta excesiva (Jurina, 1989:199).

MAMPOSTERÍAS Y PILARES

Los muros son, como las columnas, elementos de soporte del peso del edificio, además cumplen otras funciones estructurales, como las de absorber los empujes laterales debidos al coceo de arcos y bóvedas, y al efecto de viento y sismo. El material típico de los muros es la mampostería, usualmente en una modalidad menos refinada que la usada en las columnas (Meli, 1998:47).

Por esto, el primer factor de debilidad estructural lo representa la falta de monoliticidad transversal, resultado de construir con piedras pequeñas, de la cantidad y calidad de la mezcla utilizada y de no emplear elementos transversales de unión, con lo que el sistema de transmisión de las cargas al interior de la sección del muro resulta difícilmente describible desde el punto de vista de la mecánica de los materiales, y se configura más bien como un recorrido articulado y discontinuo de las cargas que van de un sillar a otro, de acuerdo a como se establecen contactos (Gulli, 2002:12-14).

Las lesiones pueden estar esparcidas o concentradas en posición horizontal, diagonal o vertical. Las lesiones esparcidas (típicas lesiones de corte o lesiones por aplastamiento) son por norma mucho más preocupantes que aquellas concentradas e indican crisis en una amplia zona de la mampostería; pueden ser causa de posteriores derrumbes. Las lesiones concentradas evidencian una transición hacia un esquema estructural con menor número de vínculos. Estas lesiones son provocadas normalmente por hundimientos o por rotación de las estructuras de soporte, como son los muros de apoyo o la cimentación. Más críticos son los esfuerzos debidos a sismos, sobre todo, cuando la asimetría de los

muros verticales conduce a efectos de torsión importantes (Jurina, 1989:199).

Arcos y bóvedas. Las estructuras de este tipo son particularmente vulnerables a las fallas de los elementos vinculados, especialmente si no cuentan con tensores metálicos. La capacidad de tolerancia a la falla antes de la caída es notable, y el fenómeno es evidenciado por la estructura mediante síntomas como la formación de un movimiento cinemático tipo colapso (Jurina, 1989:200). El coceo o empuje de los arcos y bóvedas contra los muros de mampostería generalmente es oblicuo. El componente horizontal del empuje produce sobre el muro inflexiones sensibles hacia el exterior. Algunas manifestaciones secundarias son: la separación del muro de fachada de las estructuras internas; la deformación romboide de las aperturas (puertas y ventanas); la depresión de las bóvedas, muy frecuente en los cruceros y en la bóvedas de vela (Baglioni, Guarnerio, 1988:75).

Cimentaciones. Los estructuralistas tienden a realizar un esquema estructural propio para sustituir aquel preexistente, situación que origina a la obra estados de coacción, tanto en las estructuras ya existentes como en el subsuelo, lo que resulta especialmente grave en el caso de las cimentaciones. Cualquier perturbación inducida en el suelo por debajo del edificio, podría ser fatal para el equilibrio del mismo, equilibrio que alcanzó durante muchos años o incluso siglos. No se debe olvidar que la acción lenta y progresiva ejercida por el peso de la construcción sobre el terreno de desplante, constituye el mejor sistema de consolidación que se conoce (Lizzi, 1981:13). Además, como la experiencia con daños en la cimentación es limitada, se evita poner en riesgo esta zona ya que se pueden provocar daños más graves.

Las causas de las fallas de las cimentaciones se relacionan con una estructura de cimentación defectuosa, con un desconocimiento del suelo en sus diferentes estratos o por la alteración del suelo (Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 1991:134)

Las lesiones pueden ser verticales, diagonales o parabólicas, de acuerdo con la entidad de los hundimientos (Jurina 1989: 200) o traslación vertical, horizontal o inclinada, o bien un efecto rotatorio (Baglioni, Guarnerio, 1988:68, 70, 71). La traslación vertical puede ocurrir ya sea de forma espontánea, por hundimiento del terreno debido a la reducción de su contenido higrométrico, o por el desgaste de las partículas terrosas en la profundidad, por depresión del terreno sobrecargado a consecuencia de errores de cálculo, de ampliaciones o de movimientos de los cimientos vecinos.

La traslación horizontal puede ser longitudinal, transversal u oblicua. Sucede normalmente en los edificios que se apoyan en

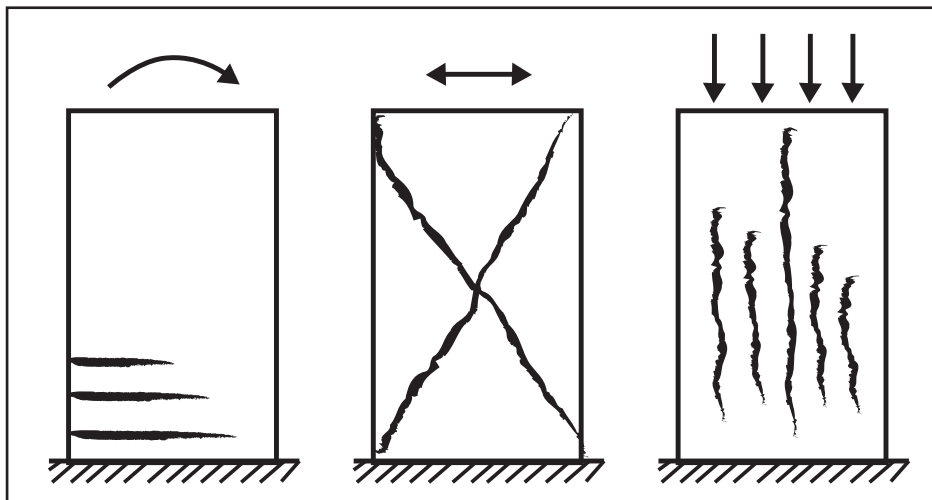


Figura 4.- Lesiones de elementos de mampostería, causados por: A flexión; B corte; C compresión (Jurina, 1989).

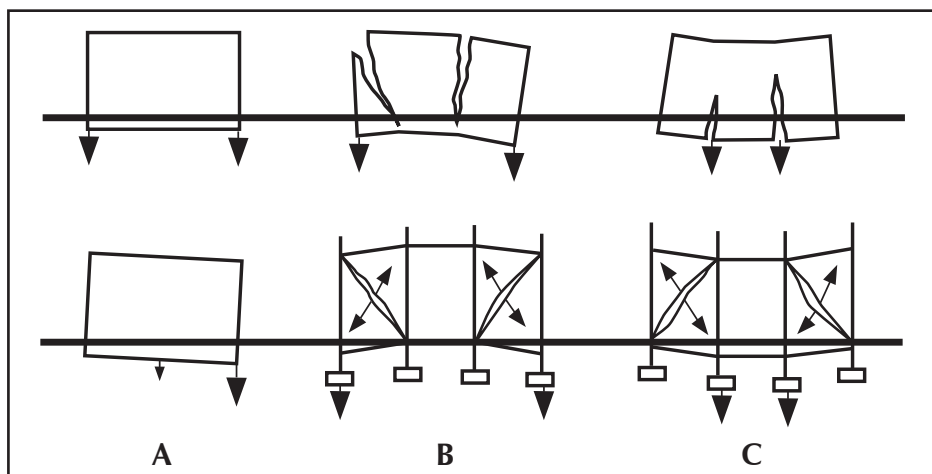


Figura 5.- Hundimiento del fondo: A) el edificio cede como una entidad rígida; B) hundimiento terminal; C) hundimiento intermedio (Jurina, 1989).

terrenos arcillosos, arenosos o mixtos y es causada por una mayor sensibilidad de este tipo de suelo ante las lluvias y las sequías con las consecuentes dilataciones y contracciones. Otra grave causa son los movimientos sísmicos y los desmoronamientos.

La causa de la traslación inclinada tiene su origen en los desmoronamientos y sus daños son particularmente complejos.

REVISIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Las fases del diagnóstico de esta propuesta son:

- la primera, de anamnesis;
- la segunda, que comprende un examen objetivo y una descripción "sintomatológica";
- la tercera, que corresponde al juicio sobre el estado actual y sobre las causas que lo han provocado, conocido como pronosis.

La anamnesis. Esta primera fase se refiere a la reconstrucción de las vicisitudes históricas de la estructura antigua. Es muy útil la documentación relacionada con el proyecto, sobre la construcción y posibles modificaciones

ocurridas a lo largo de los años; fuerzas naturales excepcionales a las cuales haya estado sometida dicha estructura, como terremotos, inundaciones, bombardeos y explosiones. Este bagaje histórico se acompaña de información sobre los posibles métodos constructivos y técnicas utilizadas en las épocas en que se llevaron a cabo los agregados o demoliciones. La obtención de estos datos históricos, y de cualquier otra documentación es complicada, por lo que al final quedan muchas lagunas por aclarar (Jurina, 1989:195).

El proceso se inicia en el momento en el cual al técnico responsable del diagnóstico le llega la primera información sobre el edificio que debe valorar, así como fotografías y mapas catastrales antiguos. Si excluimos los inmuebles con categoría de monumentos, el problema se reduce al examen de la documentación que está en manos del dueño del inmueble, y al registro y valoración de la información llegada por tradición oral a sus ocupantes. Esta es una de las grandes diferencias entre la disciplina de la restauración y la de la rehabilitación. Una buena costumbre

es verificar la correspondencia entre esta información y la realidad objetiva actual, para no comenzar sólo con informes orales de más o menos exactitud, sino con un buen control de las medidas y las escalas de los dibujos que se tienen.

A continuación se describen algunas de las intervenciones más comunes que un típico inmueble de estructura de mampostería pudo haber sufrido a lo largo del tiempo, dividido en elementos estructurales:

Muros de mampostería. Las modificaciones más frecuentes son la apertura y clausura de ventanas, cuyo cambio de forma obedece a los diferentes periodos históricos por los que determinada construcción ha pasado. También la apertura de espacios en la planta baja u otras modificaciones ejecutadas por cada uno de los diferentes propietarios o simplemente por un cambio en el uso. Continuamente se usaron perfiles estructurales en sustitución de dinteles de madera o de mampostería. Un simple aplanado en muchas ocasiones permite leer aberturas anteriores de cada local; la composición de las mezclas y de los aplanados permite establecer una datación aproximada de las intervenciones.

Cubiertas. No vale la pena detenerse en las tejas y otros pequeños detalles que con certeza han sido sustituidos por lo menos en una ocasión durante los años de vida de la construcción. La presencia de madera cepillada en la cual se reconoce un trabajo mecánico (aserrado en cuatro filas) es evidencia de una intervención reciente. El uso de sustancias que no son tradicionales en la zona, indica una posible sustitución. Los elementos metálicos (clavos, estribos, garfios y platillos) permiten una datación aproximada de los trabajos y de sucesivas adaptaciones. La inclusión de cadenas de metal o madera bajo el techo indica intervenciones dirigidas a eliminar el empuje de los puntales de las vigas maderas cuando éstas se han deteriorado.

Entrepisos. Es evidente la sustitución de la vigería por su excesiva flexión, su rotura o por un incendio, cuando se observa un cambio en el lugar de los agujeros donde se apoyan los cabezales de las trabes de madera. Esta misma señal puede confirmar un cambio estructural cuando, por ejemplo, se ha llevado a cabo la sustitución de un entrepiso plano de madera por otro hecho a base de bóvedas de ladrillos. En estos casos se tienen arcos de mampostería sobre los cuales se apoyan las bóvedas de forma sobrepuesta, no monolíticas con los muros perimetrales.

Más frecuentemente se ven intervenciones integrales de reforzamiento, como la adición de perfiles metálicos o el reforzamiento de los entrepisos y cubiertas con maderas de madera disfrazadas con plafones. En las trabes con lesiones son frecuentes los estribos

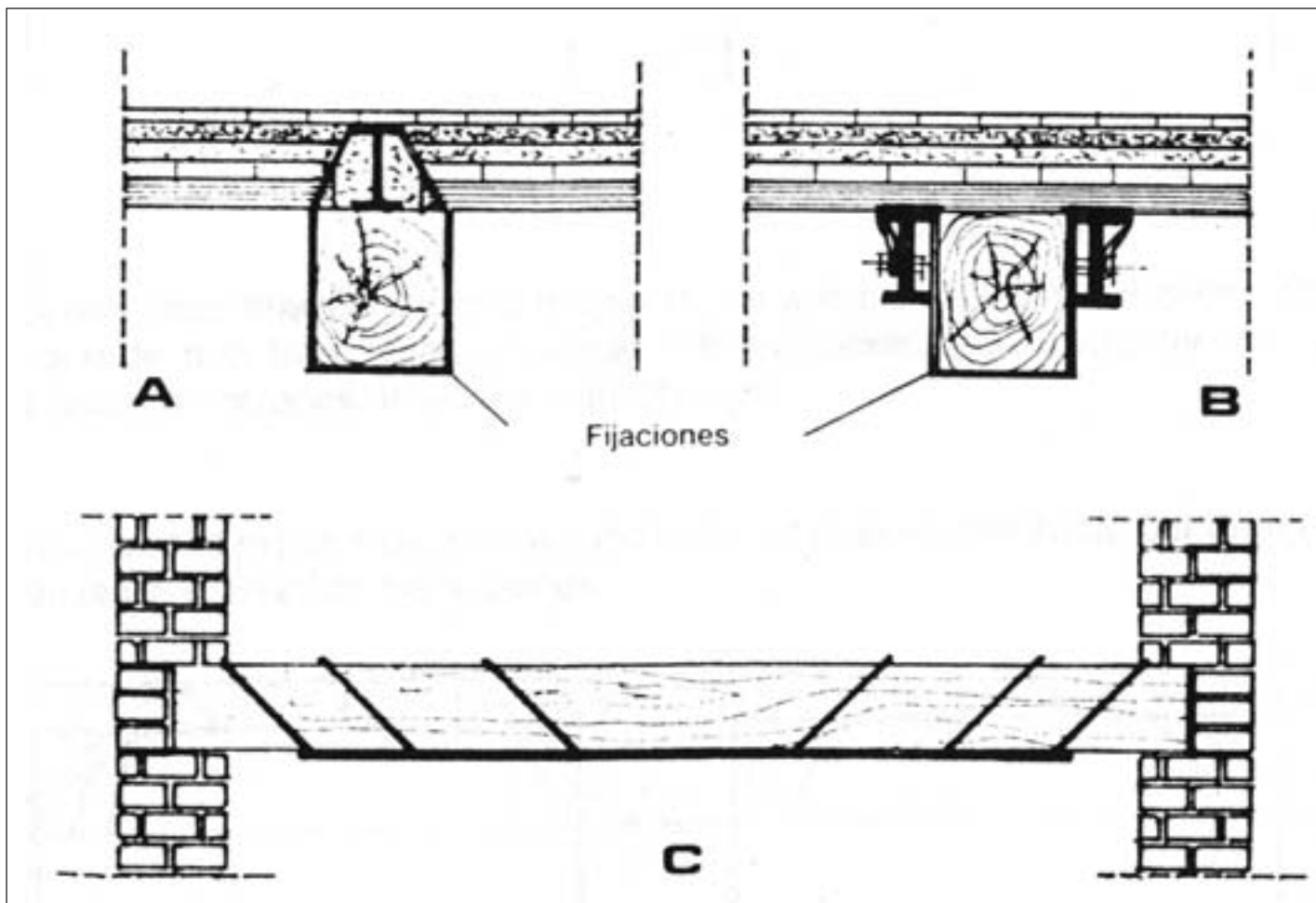


Figura 6.- Tres métodos para reforzar las vigas de madera que no es posible sustituir: A) interposición, entre las vigas y el piso, de una viga de hierro en doble T enlazada a la primera con dispositivos adecuados; B) apuntalamiento de la viga de madera con dos vigas de hierro; C) aplicación de un hierro plano longitudinal en el centro de la cara inferior de la viga de madera e inserción de pernos dentro de agujeros de 45° practicados a lo largo del plano longitudinal medio vertical (Baglioni y Guarnerio, 1988).

con soleras metálicas; en las traves en las que los apoyos se han deteriorado es frecuente encontrar ménsulas de madera (figura 6).

Arcos y bóvedas. La intervención más común es la consolidación de los sillares que forman los arcos lesionados con cuñas que logran restablecer la continuidad del arco y su capacidad de trabajar a compresión. Frecuentemente se adicionan cadenas o tirantes metálicos en posición inadecuada e incluso colocadas por el extradós. Las técnicas para la elaboración del hierro de las cadenas, la forma de las claves y de los puntos de unión, pueden dar indicaciones útiles sobre la fecha de la intervención. En las claves se nota la adición de cuñas buscando mantener forzadas las cadenas.

Elementos verticales. Con frecuencia las pilastras y las columnas han sido sustituidas, sobre todo las exteriores que están sujetas a los cambios atmosféricos. En ocasiones, al lado de muros desplomados se observan como agregados a contrafuertes o muros de contención de forma trapezoidal, inmersos con cierta profundidad en el muro original (Jurina, 1989).

SEGUNDA FASE: EXAMEN OBJETIVO

Esta es la etapa de reconocimiento (Galindo, 1984:53). Dicho reconocimiento, en la mayoría de los casos, se lleva a cabo mediante calas o ensayos destructivos. Se establecen cinco grupos de elementos para ordenar este tipo de operaciones: estructuras, cerramientos, cubiertas, interiores e instalaciones. Se da un mayor desarrollo de los tres primeros porque los posibles daños existentes inciden de manera muy directa sobre la seguridad, y porque son materiales y elementos que generalmente van a permanecer en el inmueble, por lo que la detección de daños debe ser más minuciosa, mientras que en interiores e instalaciones se pueden llevar a cabo con más facilidad acciones de sustitución completa; la revisión busca establecer un criterio de *pasa o no pasa*, es decir, cumple o no cumple.

Para definir el estado de un edificio es necesario que la investigación considere tres aspectos: de naturaleza geométrica y cinemática (dimensión y movimientos de las diferentes partes); constitutivos (naturaleza y propiedad de los materiales); de naturaleza estática (naturaleza y magnitud de las cargas) (Jurina, 1989:195).

La función de la inspección ocular permite al especialista contar con un cuadro completo de la situación estructural del inmueble, de sus condiciones de uso y de su degradación fisiológica. Durante la inspección ocular es conveniente enfocarse en el problema estructural de manera global, sin distraerse en las partes que se encuentren lesionadas. Conviene, como norma, seguir un procedimiento de observación metódico que inicie por el sótano hasta llegar a la cubierta y ayude con los levantamientos (aunque sólo sean esquemáticos), para no perder de vista el conjunto; esto permite llevar directamente al dibujo las observaciones personales y hacer comentarios conforme la inspección ocular se lleva a cabo. No es conveniente conformarse con sólo identificar analogías en los casos ya examinados con anterioridad. La inspección ocular se debe acompañar de un reporte sobre lo observado y algunas fotografías para fijar las ideas de la visita.

MÉTODO DE OBSERVACIÓN DEL CONJUNTO

Se trata de asignar un puntaje a la estructura, o todavía mejor, a sus componentes principales.

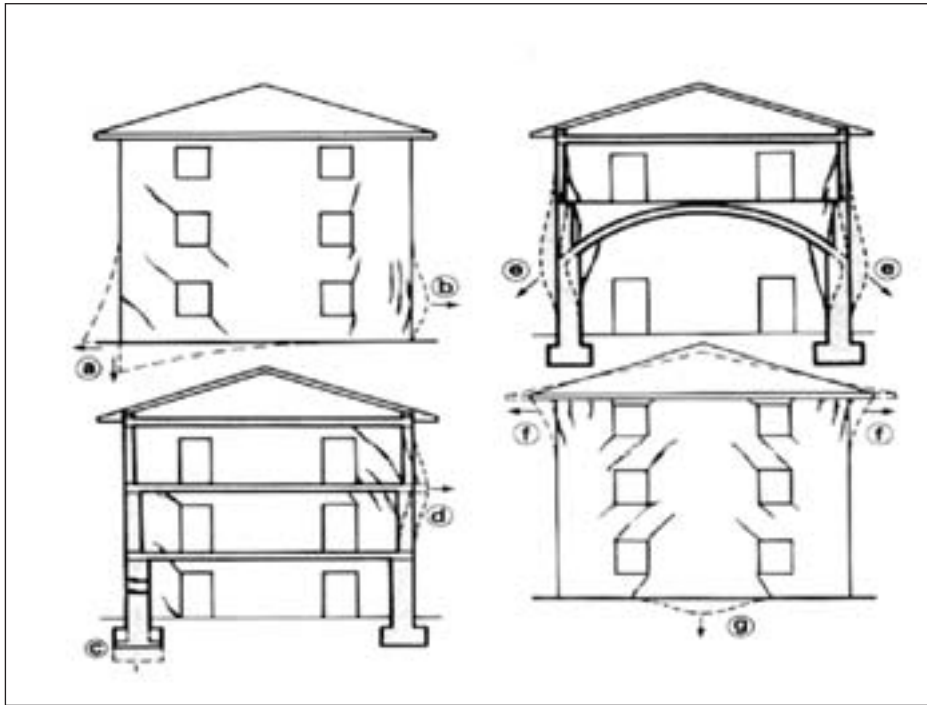


Figura 7.- Lesiones típicas debidas a A) hundimiento lateral del edificio; B) aplastamiento de la mampostería; C) hundimiento del cimiento del muro de la fachada; D) empuje hacia el exterior de la estructura del solar; E) efecto de empuje de la estructura de la bóveda; F) presencia de una cubierta que produce empuje; G) hundimiento del cimiento en la parte central de la fachada (Jurina, 1989).

Por ejemplo, se divide la estructura en cuatro componentes principales (cimentaciones, cubiertas, elementos horizontales, elementos verticales), y a cada uno de estos componentes se le asignan los valores siguientes:

- para ningún daño visible, 0;
- para daños ligeros por gravedad y extensión, 1;
- para daños graves pero limitados en extensión, 2;
- para daños ligeros pero extendidos, 3;
- para daños medios y extendidos, 4;
- para daños graves y extensos, 5.

La suma de los valores asignados permite una valoración de las condiciones estructurales en conjunto, sobre todo cuando la observación se hace al mismo tiempo a varios inmuebles similares en tipología, uso y ubicación. La observación del conjunto debe poner atención en los siguientes fenómenos, cuya ausencia indica una buena salud estructural:

- hundimiento de las cimentaciones;
- abultamiento o desplome de los muros;
- lesiones que atraviesan muros, arcos y bóvedas;
- hundimiento de entresijos;
- rotura de las traves, vigas madreñas o sus cuerdas inferiores;
- rotura o deformación de los elementos de hierro;
- heterogeneidad de los materiales;

- huellas de intervenciones llevadas a cabo en épocas pasadas.

El error a evitar es detenerse en la observación superficial de la estructura, lo que a menudo resulta equivocado. Se requiere que el técnico conozca el modo de funcionar de las principales tipologías estructurales, es decir, un conocimiento de las zonas más fatigadas y por lo tanto más críticas de la estructura. En las estructuras de mampostería, compuestas de material poco resistente a la tracción, las lesiones se concentran en las zonas cercanas a cambios de espesor o de material, cercanas a aberturas, vanos y puntos de aplicación de cargas concentradas.

La búsqueda de posibles daños debe ser hecha con más cuidado en la medida en que es más vulnerable la estructura. Deben considerarse, por lo tanto, indicadores de vulnerabilidad que pueden dar algunas sugerencias *a priori* sobre el nivel de seguridad global del inmueble, y sobre la probabilidad más o menos alta de existencia de daños (tabla 1).

En conclusión, la actitud del técnico durante el primer contacto con el inmueble es reconocer los principales componentes, preguntándose cuál será el recorrido seguido por las cargas en su bajada. El resultado orientará al técnico hacia una decisión sobre lo que se puede llevar a cabo:

- no hacer nada;
- no reparar pero monitorear;

- emprender una investigación estructural;
- reparar, con la estructura en servicio;
- reparar, con la estructura fuera de servicio;
- investigar la alternativa de demoler, con la estructura fuera de servicio y asegurada con base en un apuntalamiento.

Las decisiones más difíciles de tomar son, naturalmente, aquellas extremas, es decir: no hacer nada o bien proceder a demoler, por las consecuencias que estas decisiones implican. Para el caso de estas situaciones, el examen preliminar no es suficiente, por lo que deberá realizarse una investigación más profunda.

DEFINICIÓN DE UN MODELO ESTRUCTURAL: EL LEVANTAMIENTO GEOMÉTRICO

El primer objetivo del levantamiento geométrico es proporcionar al técnico un instrumento para razonar en términos de la estructura, vista en conjunto. Tener a disposición plantas arquitectónicas de diferentes partes del inmueble y cortes permite formular el modelo estructural del conjunto para la valoración de las condiciones estructurales. Mediante este levantamiento geométrico, es posible observar y valorar la correspondencia entre los diferentes niveles, las anomalías estructurales debidas a una manipulación excesiva del inmueble, muros falsos, alineaciones que no han sido respetadas, muros de mamposterías, las zonas donde se concentran las cargas, la presencia de elementos de contraste como arcos y bóvedas y todas aquellas características globales de la estructura que si son vistas de manera individual, no son significativas. Este levantamiento geométrico debe ser la última fase que permita una interpretación del modelo estructural y, por lo tanto, deberá facilitar una relectura rápida, sintética y global del inmueble. Es esencial que quien realiza el levantamiento sea el mismo técnico que posteriormente deberá interpretarlo; es la gran oportunidad para ver a fondo detalles que de otro modo podrían escaparse. En algunas ocasiones el levantamiento ya existe, y el técnico sólo deberá verificar que sea correcto, anotando al margen todas las observaciones que hayan sido hechas a ojo, y que posteriormente se buscará interpretar en el conjunto. Un segundo objetivo es valorar posibles movimientos de la estructura, esto es, las variaciones de su geometría en el tiempo, por lo que conviene hacer un monitoreo de los movimientos de la estructura para vigilar la evolución de la respuesta; es conveniente hacer un plano de mediciones definiendo *a priori* dónde medir, cuándo medir y con qué medir (Jurina 1989:208, 209).

¿Con qué medir? Los instrumentos que se tienen a disposición son variados; van desde modelos burdos a modelos extremadamente sofisticados, pasando de cámaras de fotografía

Tabla 1. Indicadores de vulnerabilidad

Para el suelo de cimentación	la presencia de arcilla y turba la presencia de nivel freático superficial
Para las cimentaciones	la utilización de una tipología de cimentación discontinua poca profundidad
Para los muros verticales	la altura excesiva del inmueble la esbeltez de los muros el uso de muros sin argamasa un alto porcentaje de nichos y aperturas la irregularidad en altura una baja relación entre superficie de los muros y superficie total la falta de dentelleo entre los muros la distribución asimétrica y no regular de los muros en planta la falta de aplanados
Para las horizontalidades	el uso de desvanes flexibles la falta de rigidez el uso de bóvedas sin cadena
Para las cubiertas	la falta de cadenas escaso mantenimiento de las tejas y de los goteros
Para las tipologías	la irregularidad geométrica la presencia de traqueteos la presencia de elementos que producen empujes (muros de sostén, arcos sin cadenas, bóvedas)
Para el uso	el uso de materiales que se pulverizan la evidencia de recomposiciones posteriores la presencia de inmuebles adyacentes más recientes la evidencia de un cambio en el uso la presencia de máquinas que producen vibraciones

(Jurina, 1989: 207).

y video, al teodolito y aparatos basados en rayos láser. Para las medidas horizontales se puede utilizar la triangulación, el colimador, las plomadas, instrumentos que permiten una visual vertical (péndulos ópticos, niveles cenitales) e instrumentos de medición directa. Para la determinación de medidas verticales: la nivelación geométrica, la nivelación trigonométrica, la nivelación hidrostática, el clinómetro, la fotogrametría, técnicas no destructivas.

DEFINICIÓN DEL MODELO ESTRUCTURAL: LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

Para la definición de un modelo estructural, se requiere el conocimiento de las características de deformación y resistencia de los materiales de construcción. La información sobre las diferentes deformaciones es indispensable para valorar una respuesta de la estructura en función de las cargas aplicadas; la información sobre la resistencia permite una primera valoración del margen de seguridad que la estructura presenta actualmente, definido este margen como una relación entre el estado de la tensión de fatiga y el estado de tensión que provoca la ruptura del material (Jurina, 1989:217).

Roberto Meli propone pruebas o calas llamadas *destructivas*, para conocer estas caracte-

terísticas de los materiales, como la extracción de núcleos, que se lleva a cabo mediante una máquina perforadora con punta de tungsteno o diamante. Otra es la del *gato plano*; consiste en practicar un pequeño corte plano en la superficie del elemento y en medir la pérdida de esfuerzos que se produce en la zona; el corte produce una redistribución de esfuerzos y un cierre parcial de la ranura. Existen otras pruebas *no destructivas*, que identifican zonas defectuosas donde las propiedades del material son inferiores: se propone el esclerómetro o martillo de rebote, el transductor electrodinámico, la magnetometría, la termografía (Meli, 1998:123-127).

DEFINICIÓN DE UN MODELO ESTRUCTURAL: DETERMINACIÓN DE LAS CARGAS

Las cargas sobre una estructura pueden ser de tres categorías: directas (peso propio, sobrecargas); indirectas debidas a coacciones impuestas (variaciones térmicas, hundimientos de la cimentación, etcétera) e indirectas, aceleraciones impuestas (terremotos, máquinas vibratorias, tráfico, etcétera).

Para comprender el comportamiento de la estructura y prever una respuesta en condiciones de uso, es indispensable formular un modelo estructural.

Determinada con exactitud la geometría de la estructura, las cargas solicitantes y las características de los materiales, existen procedimientos de tipo analítico o numérico que permiten encontrar en cada punto los esfuerzos y las deformaciones (Jurina, 1989:223). En las últimas décadas ha habido un avance importante en los métodos experimentales y analíticos para el estudio estructural de los edificios históricos; además se cuenta con herramientas analíticas muy poderosas que permiten resolver con un trabajo computacional razonable las estructuras más complejas (Meli, 1998:71).

Los cálculos estructurales se refieren a una esquematización, más o menos conseguida del complejo estructural. Al llevar a cabo una esquematización de este tipo, es necesario encontrar un compromiso entre simplicidad y realismo del modelo: es importante evidenciar los aspectos esenciales. Verificar una estructura significa definir en cada una de las partes (o en aquellas consideradas más críticas) los esfuerzos y las deformaciones y confrontarlos con la capacidad de resistencia del material (Jurina, 1989:223).

El punto débil de la aplicación de estos procedimientos lo constituye la determinación de los modelos y de los parámetros estructurales que definen su respuesta; se debe a que el especialista en el análisis numérico no conoce debidamente el comportamiento de los materiales, los procedimientos constructivos y la historia del monumento, lo cual lo lleva a proponer un modelo analítico poco representativo de la estructura real (Meli, 1998:71).

Para llegar a establecer esfuerzos y deformaciones, es necesario satisfacer en cada uno de los puntos de la estructura tres grupos de ecuaciones: de equilibrio, de congruencia y de liga constitutiva.

Las ecuaciones de equilibrio traducen las condiciones en las que cada parte individual se sujeta a cargas (aplicadas desde el exterior o por partes de la estructura circundante) y que globalmente se busca logren el equilibrio. Las ecuaciones de congruencia buscan que sean respetados los vínculos entre las diferentes partes de la estructura que se encuentran interrelacionadas, o sea, que los movimientos de cada parte estén concatenados entre ellas. Las ecuaciones de liga constitutiva traducen la naturaleza del material del cual la estructura está compuesta, su rigidez y su resistencia. Estas ecuaciones establecen una relación entre los esfuerzos y las deformaciones en cada punto. El problema se presenta particularmente complejo cuando la estructura está muy vinculada (hiperestática) y cuando está compuesta de elementos cuyo esquema de funcionamiento sea principalmente bi o tridimensional.

Es importante subrayar que aun teniendo a disposición instrumentos matemáticos de

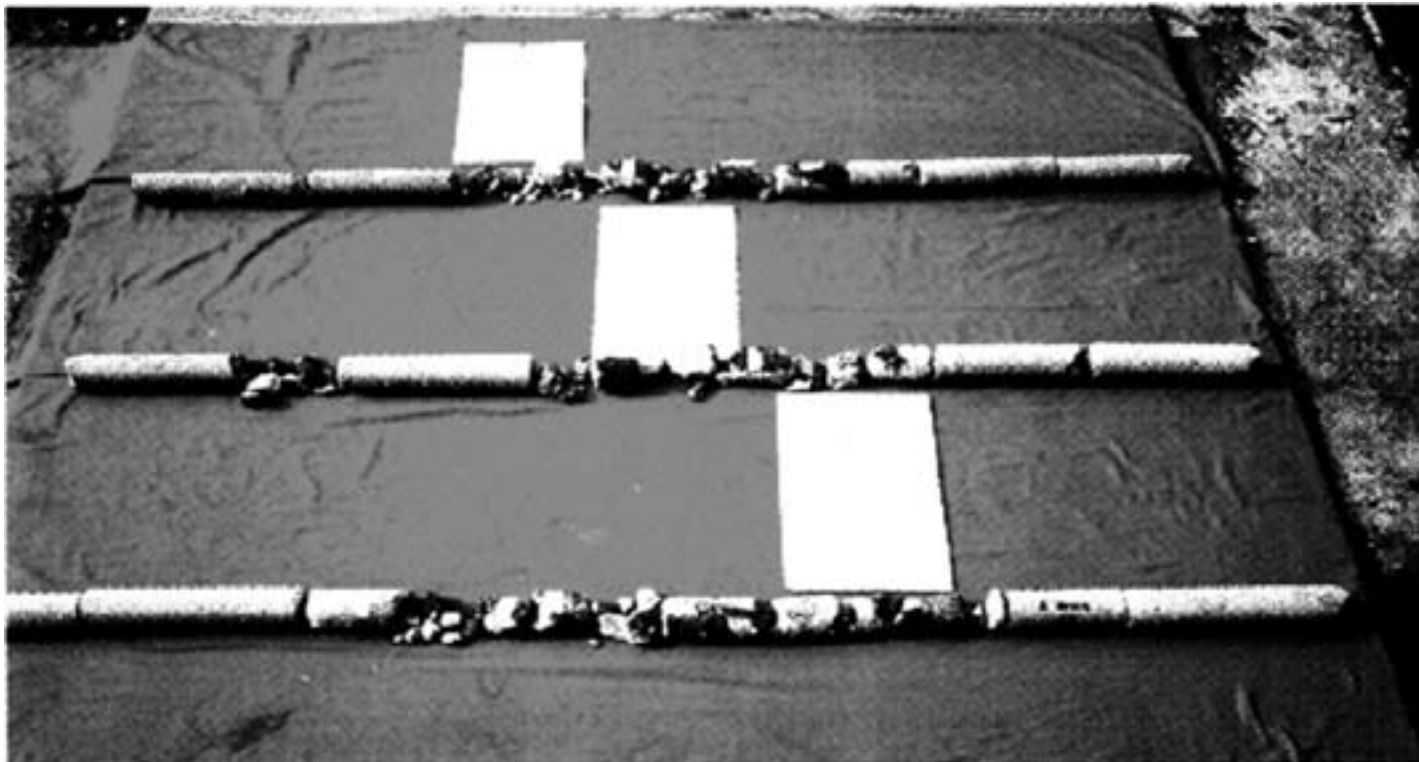


Figura 8.- La extracción de estos núcleos de una columna de la Catedral de México permitió determinar el arreglo de sillares y el tamaño de la parte central, de mampostería pobre. Del núcleo completo se cortan probetas de piedra como ensayos de laboratorio (Meli, 1998).

análisis muy capaces, a menudo su utilización resulta problemática. Junto a la complejidad de los instrumentos matemáticos, existe la dificultad objetiva de definir las condiciones del entorno, la geometría exacta, las condiciones de continuidad entre los distintos elementos, las características mecánicas de los materiales y la distribución real de las cargas.

Lo más común es pasar de estructuras con comportamiento bi y tridimensional a estructuras más fácilmente analizables, es decir, con comportamiento monodimensional. Con referencia a la figura, algunos ejemplos importantes son:

- la sustitución de placas horizontales de tipo plancha con entarimados compuestos de trabes próximas;
- la sustitución de sistemas de bóvedas de una cierta extensión con sistemas basados en el arco;
- la sustitución de una placa de pared bidimensional con una armadura (Jurina, 1989:223).

Para el cálculo de estas estructuras, Roberto Meli distingue entre métodos basados en el equilibrio de fuerzas, métodos de análisis elástico lineal, método de análisis no lineal y métodos de análisis dinámico (Meli, 1998).

TERCERA FASE: EL USO DEL MODELO ESTRUCTURAL

Una vez terminada la fase de anamnesis, efectuado el examen visual, definida la geo-

metría mediante el levantamiento, definidas las características de los materiales mediante pruebas destructivas o no, definidas las cargas que efectivamente obran sobre la estructura, y llevadas a cabo todas estas simplificaciones que hacen más ágil y utilizable el modelo de interpretación, llega el momento de concluir las operaciones de diagnóstico, determinando las posibles causas del desequilibrio y las necesidades viables de tipo estructural. En síntesis, el modelo ha permitido simular una relación causa-efecto y ha permitido definir para cada elemento de la estructura el grado de confiabilidad (o de seguridad), entendido esto como la detección de posibles situaciones de colapso puntuales y globales. Así, lo inadecuado de uno o más elementos de la estructura, lleva como consecuencia la decisión de una intervención de refuerzo o de sustitución, es decir, lo que se considere como lo más oportuno. En otras palabras, una vez valoradas las causas más probables de degradación y la entidad de éstas, tanto para cada elemento estructural como para el inmueble en su globalidad, se pueden resumir las conclusiones de diagnóstico en las siguientes propuestas:

- 1) ninguna intervención sobre la estructura, o intervención posterior;
- 2) intervenciones que no significan variaciones del esquema resistente, o bien que significan variaciones;
- 3) demolición de la estructura.

La decisión sobre el tipo de intervención implica una valoración de naturaleza económica en términos de costo-beneficio, ya que el aspecto técnico de la intervención casi siempre se resuelve. El modelo estructural formulado permite valorar los rangos de seguridad con los que la estructura cuenta en la actualidad, y tendría en condiciones de utilización. Si este nivel de seguridad es aceptable, se evita llevar a cabo cualquier tipo de intervención o se limita a las que atrasen o paren la degradación (Jurina, 1989:230-231).

RECOMENDACIONES SOBRE LOS REFUERZOS

La programación de los trabajos de adecuación o refuerzo requiere una comprensión del comportamiento global de la estructura, aun si la degradación se limita sólo a ciertas partes de la misma. Cada intervención altera no sólo la resistencia, sino también la rigidez de la construcción en su conjunto, y conduce a una estructura más o menos diferente de la original. Las intervenciones pueden ser puntuales o globales, llegando a provocar un cambio del esquema estructural completo.

En los casos en que la degradación se limita a simples adaptaciones de la estructura a las nuevas condiciones de uso, es conveniente flanquear la estructura existente con una nueva estructura paralela, de modo que pueda hacer frente al incremento de la carga. Sólo en los casos de degradación avanzada con un colapso incipiente, puede ser necesaria la remoción del tramo y la sustitución.

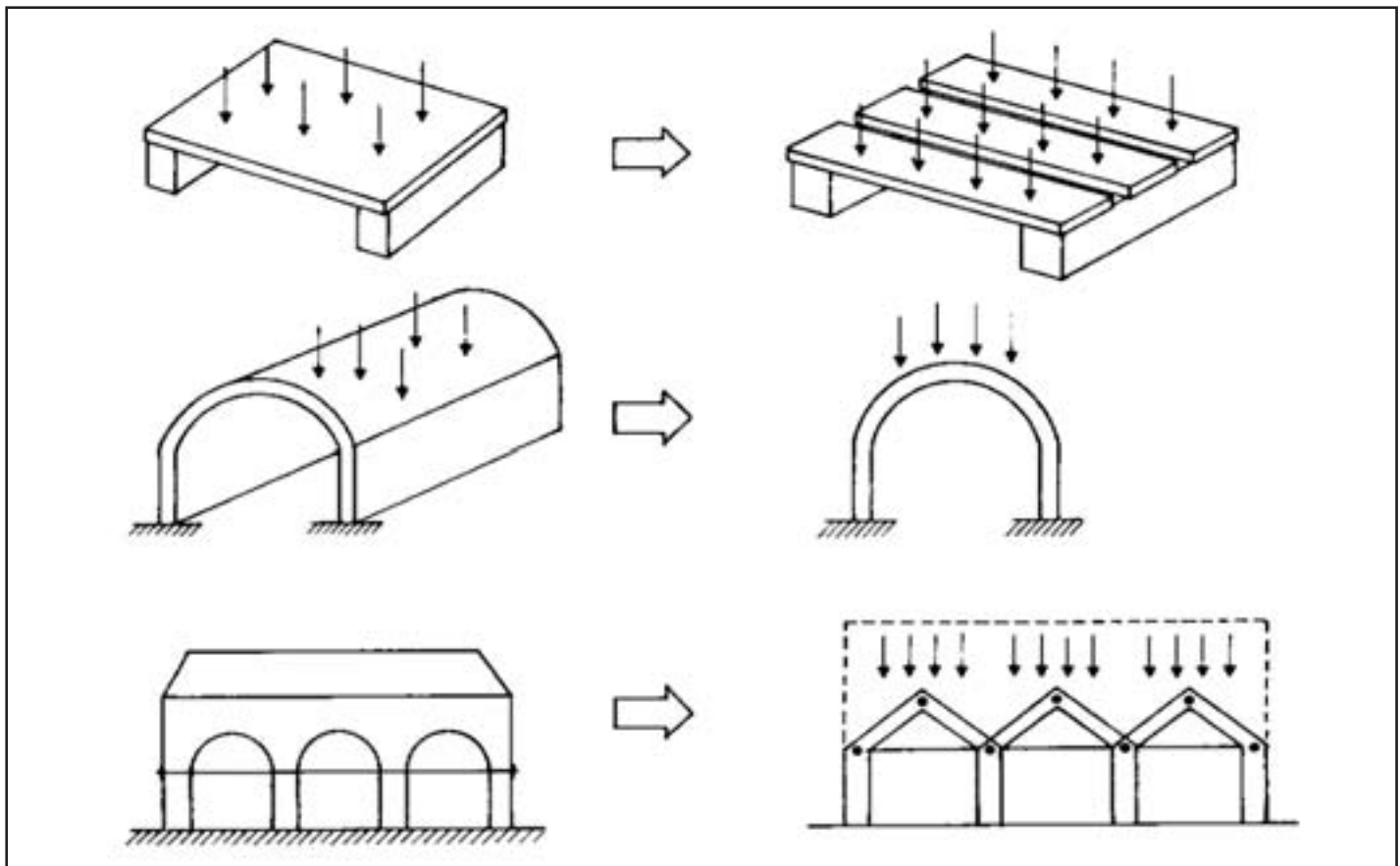


Figura 9.- Simplificación de tipo geométrica en la selección del modelo estructural (Jurina, 1989).

Cuando se decide intervenir, las modificaciones posibles a la estructura de los inmuebles pueden ser de dos categorías: las modificaciones a la resistencia y las modificaciones a la rigidez. Surgen, por lo tanto, dos grandes caminos posibles de intervención: intervenciones que conducen a la colocación de un refuerzo y en general a una rigidez de la estructura mediante la agregación de nuevos elementos, de nuevos vínculos o de nuevos enlaces e intervenciones que conducen a una reducción de la rigidez global, mediante la remoción de vínculos o eliminación de enlaces.

Las intervenciones del primer tipo suelen ir relacionadas con la presencia de fuerzas excedentes sobre la estructura, mientras que las intervenciones del segundo tipo son idóneas para hacer frente a condiciones ya impuestas como hundimientos, variaciones térmicas, reventamiento, etcétera (Jurina, 1989:231 a 232).

Los tipos de refuerzos que pueden introducirse en una estructura pueden ser de dos tipos, de acuerdo con el momento en que los nuevos elementos que se incorporan entran en carga (González Valle, 1984: 173).

Refuerzos pasivos. Son aquellos que ejercen su colaboración, partiendo de que su estado es neutro en condiciones iniciales y entrando en carga, bien ante condiciones

específicas del material que originalmente conforma la estructura: fluencia, retracción, etcétera (González Valle, 1984:174), o bien ante un fallo del mismo. En este sentido, el refuerzo ejerce una función *pasiva*, o sea que reacciona ante la tendencia de la estructura original a deformarse y a ceder bajo las cargas aplicadas (Meli, 1998:148).

Refuerzos activos. Son aquellos cuya colaboración resistente se alcanza desde el momento de la entrada en servicio de la estructura (González Valle, 1984:174), porque existe una fuerza inicial que lo hace reaccionar contra la estructura original, volviéndose su función activa, y modificando la condición de carga sobre la estructura (Meli, 1998:148).

Los refuerzos pasivos son en general adecuados para elevar los niveles de seguridad ante situaciones en que, aun sin riesgo de ruina, quiere garantizarse un comportamiento estructural (González Valle, 1984:174). Debe tomarse en cuenta que, al momento de colocar un nuevo elemento en la estructura, ésta se encuentra bajo carga y que ya ha desarrollado una trayectoria mediante la cual las fuerzas externas se transmiten a través de la estructura existente, por lo que los nuevos elementos de refuerzo no contribuyen inmediatamente a la resistencia de la estructura. Su contribución se hará en eventuales so-

brecargas posteriores o cuando la estructura original ceda por degradación o por deformaciones diferidas (Meli, 1998:148).

Este tipo de refuerzo requiere un mejor conocimiento del comportamiento de la estructura a reforzar, tanto desde el punto de vista del material que la integra, como de sus condiciones de deformación; el ahorro en medios auxiliares se logra basándose en un análisis más profundo (González Valle, 1984: 174). Ejemplos de refuerzo pasivo son las barras de acero insertadas en la mampostería; los zunchos también producen un efecto de tipo pasivo, con una restricción a la deformación transversal de una columna sometida a compresión; un contrafuerte ejerce una oposición pasiva al volteo de un muro hacia fuera (Meli, 1998:148).

En general los refuerzos activos son adecuados para aliviar situaciones de seguridad precaria en elementos originales, siempre que las características del material de base que conforma la estructura original no sea capaz, mediante reología, deformabilidad o plasticidad, de movilizar la capacidad de resistencia del refuerzo (González Valle, 1984: 174). Para que el refuerzo ejerza de inmediato su efecto, debe ser sometido a una fuerza inicial que lo haga reaccionar contra la estructura original; de esta manera su función se vuelve activa y modifica la condición de

carga sobre la estructura (Meli, 1998:148). En general requiere cimbrados costosos y el empleo de gatos u otros procedimientos auxiliares para descargar el elemento que se refuerza (González Valle, 1984:174). El ejemplo más simple de un refuerzo activo es el del tirante de un arco, que si se fija en los extremos sin ser tensado, no modifica la condición de carga en la estructura; para que llegue a contribuir se necesita que los apoyos del arco se abran y produzcan la reacción del tirante, condiciones que lo hacen pasivo. Si se estira el tirante con un templador o con tuercas sobre la placa de anclaje, éste ejerce desde el principio una fuerza que equilibra el coceo del arco, de modo que su efecto se vuelve activo (Meli, 1998:148).

Otra función del refuerzo activo es recibir temporalmente los esfuerzos sobre la estructura para que las cargas se transmitan después sobre la nueva estructura reforzada, como cuando se debe sustituir una columna dañada o débil; se debe apuntalar, primero, la zona del techo que carga la columna, para posteriormente proceder a reconstruirla. Para evitar el acortamiento que sufrirá la nueva columna por contracción y por deformaciones, se recurre a cuñas metálicas o de madera, o a un gato plano, al cual se le aplica una presión que garantice que la carga sobre la columna sea siempre la deseada (Meli, 1998:148).

Los tirantes presforzados, internos o externos, son la forma más común de introducir un estado de esfuerzo activo. Con una combinación de cables se pueden imponer condiciones de carga muy elaboradas a la estructura. Como las fuerzas activas introducidas tienden a desaparecer por las deformaciones diferidas de los materiales, es necesario reajustar la tensión impuesta a los tirantes, durante el periodo en que las deformaciones diferidas son mayores, es decir, de uno a tres meses, pero a pesar de que estos pierdan su función activa, el tirante siempre podrá desarrollar su capacidad total como refuerzo pasivo, cuando la estructura se deforma bajo las cargas externas (Meli, 1998:149).

Otra característica de los refuerzos activos es que suelen ser en seco, es decir, no quedan adheridos e incorporados en forma definitiva a la estructura, por lo que resulta ser una intervención reversible, siempre preferible a las intervenciones húmedas que quedan incorporadas al edificio histórico como partes insustituibles (Meli, 1998:149).

En la selección de un refuerzo pasivo de concreto armado, es importante un análisis detallado de las siguientes variables: deformabilidad de la estructura; las características mecánicas del material a reforzar; adherencia entre materiales originales y de refuerzo, y, en algunos casos, condiciones de estabilidad dimensional, aspectos ligados al comportamiento ante la humedad y temperatura, y

todos aquellos que tiendan a crear estados de tensión tangencial o de solidarización entre elementos, que afecten las condiciones supuestas de deformabilidad de los elementos (González Valle, 1984:174).

CONCLUSIONES

Las metodologías presentadas inicialmente sólo permiten hacer de manera parcial una evaluación cuidadosa del grado de deterioro de un grupo de inmuebles patrimoniales, evaluación que a diferencia de como lo hacían antiguas metodologías producidas por la restauración de monumentos, le da un énfasis particular al punto de vista constructivo-estructural. En cambio, la propuesta metodológica de Jurina es muy completa en ese sentido, aunque se encuentra muy alejada de las maneras como hoy en día se llevan a cabo este tipo de trabajos en México; sin embargo, creo que en el futuro se presentará la necesidad de contar con este tipo de trabajos que guíen intervenciones, especialmente en emergencias como lo sucedido en 1985.

Esta metodología se compone de tres fases: de anamnesis; la segunda, un examen visual, un levantamiento geométrico, un análisis de las características de los materiales de construcción, una evaluación de las cargas que efectivamente obran sobre la estructura, que llevan a la propuesta de un modelo de interpretación, que puede ser físico, matemático, informático o mejor, una mezcla de todos que ayude a determinar las posibles causas del desequilibrio y las necesidades viables de tipo estructural. Se llega así a la tercera fase, que es el momento del diagnóstico, es decir, la definición para cada elemento de la estructura, el grado de confiabilidad (o de seguridad), lo que llevará a decidir qué hacer con el inmueble. Por último, y como un complemento, se presentan recomendaciones sobre los refuerzos que se pueden llegar a utilizar, si se decide repararlo.

BIBLIOGRAFÍA

A. Baglioni, G. Guarnerio, 1988, *La rehabilitación de edificios urbanos*, Gustavo Gili, Barcelona.

Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 1991, *Curso de patología. Conservación y restauración de edificios*, tomo I, Madrid.

Coscollano Rodríguez, José, 2003, *Restauración y rehabilitación de edificios*, Thomson, Madrid.

De Angelis D'Ossat, Guglielmo, 1972, *Guida allo studio metodico dei monumenti e delle loro cause di deteriorament*, ICCROM – Faculty of Architecture, University of Rome, Roma.

Galindo, Pedro, 1984, "Los procedimientos de reconocimiento. El diagnóstico. El dictamen", en *Curso de rehabilitación: 2. El proyecto*, Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid.

González Valle, Enrique, 1984, "Estructuras de hormigón armado y estructura metálica", en *Curso de rehabilitación: 2. El proyecto*, Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid.

Gullí, Ricardo, 2002, *Il recupero edilizio in ambito sísmico*, Edicom Edizioni, Monfalcone (Gorizia).

Jurina, Lorenzo, 1989, "La diagnosi del sistema strutturale", en Gabriella Caterina (comp.), *Tecnología del Recupero Edilizio*, UTET, Turín.

Lizzi, Fernando, 1981, *Restauro statico dei monumenti*, SAGEP, Génova.

López Jaén, Juan, 1984, "Rehabilitación: concepto y metodología", en *Curso de rehabilitación: 2. El proyecto*, Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid.

Meli, Roberto, 1998, *Ingeniería estructural de los edificios históricos*, Fundación ICA, México.

Pulín Moreno, Fernando, 1984, "Léxico y criterios de rehabilitación", en *Curso de rehabilitación: 2. El proyecto*, Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid.

Pulín Moreno, Fernando, 1984, "Léxico y criterios de rehabilitación", en *Curso de rehabilitación: 2. El proyecto*, Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid.