

El objetivo del presente trabajo es presentar las nuevas tecnologías que se están utilizando en la rehabilitación-restauración-reestructuración de edificios históricos en países europeos como Italia y España. Al reforzar una obra existente, se presenta una serie de problemas que el restaurador debe afrontar, y que no sucede con las nuevas construcciones. Para Fernando Lizzi, hay una diferencia esencial entre la construcción de una obra nueva y la consolidación estructural de una obra ya existente:

*Para las obras nuevas, las funciones del autor del proyecto y del ejecutor de la obra están normalmente bien separadas; al contrario, en un trabajo importante de restauración estructural, existe una estrecha interdependencia entre el proyecto y la ejecución, lo que frecuentemente conlleva a tener una identidad entre proyectista y ejecutor (Lizzi, 1981,13).*

# Tecnologías novedosas para rehabilitar, restaurar o reestructurar la superestructura

Por lo que recomienda que los trabajos de este tipo sean confiados a compañías especializadas, que estén en posibilidad de elaborar el proyecto, y posteriormente continuar con la construcción, ya que en los trabajos de restauración estructural la importancia de la tecnología es básica, y el progreso en este campo se consigue mediante la afinación de los

procedimientos constructivos, que sólo un trabajo operativo continuo e inteligente puede lograr.

Como es sabido por las personas que nos dedicamos a la construcción, en México nos enfrentamos a la problemática de que los estructuralistas se especializan principalmente en concreto o en acero, pero muy raramente en sistemas estructurales que trabajen a compresión, lo que dificulta la comprensión de las funciones estructurales de las construcciones históricas que normalmente trabajan de esta manera, y que representa una importante diferencia respecto a los inmuebles que trabajan a flexo-compresión.

Un edificio antiguo que está asentado sobre un terreno desde hace muchos años (a menudo siglos), es desde el punto de vista estructural, una realidad que puede y debe ser leída e interpretada sobre una base de datos presentes que la estructura misma pone a disposición del observador cuidadoso. La forma más correcta para afrontar el estudio preliminar de la consolidación de un inmueble antiguo es, sin duda, un examen cuidadoso de sus condiciones actuales. Ahora que tratándose de los procedimientos que se deberán seguir para llegar a su correcta consolidación, las ideas que sugieren los diferentes estructuralistas son muy divergentes (Lizzi, 1981, 13), y tienen mucho que ver con la formación que éstos tengan. Es decir, que mientras que para las estructuras de concreto los procedimientos están claros, definidos y unánimemente aprobados, en el caso de los

ALBERTO CEDEÑO VALDIVIEZO  
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA Y PRODUCCIÓN  
UAM-XOCHIMILCO

Palabras clave:  
superestructura constructiva  
rehabilitación tecnológica  
inmuebles patrimoniales

Keywords:  
**built superstructure  
technological rehabilitation  
heritage buildings**

## Resumen

Se presenta una serie de tecnologías que actualmente se utilizan en países europeos como Italia y España, para reforzar estructuralmente la superestructura constructiva de los inmuebles patrimoniales, dando mayor importancia a aquellas promovidas por la nueva disciplina de la rehabilitación, que ante la necesidad de afrontar intervenciones que incluyan una cantidad importante de inmuebles patrimoniales, debe recurrir a tecnologías de fácil ejecución, con materiales que no tengan problema en conseguirse, sin necesidad de una mano de obra especializada y que, por lo tanto, tenga costos más accesibles.

## Abstract

**A series of technologies used in European countries like Italy and Spain, to structurally reinforce the building superstructure of heritage buildings is presented, giving more importance to those promoted by the new discipline of rehabilitation, that faced to the need of interventions in greater numbers of heritage buildings, turns to technologies of feasible execution, with materials that are easily available, without a specialized manpower and therefore, with more accessible costs.**

inmuebles históricos difieren mucho los criterios de intervención.

El estructuralista, normalmente, tiene la tendencia a realizar un esquema estructural "propio" para sustituir aquel preexistente, situación que origina a la obra estados de coacción, tanto en su estructura como en el subsuelo que la soporta; los riesgos se relacionan con el hecho de que tales procedimientos alteran, inevitablemente, el estado de equilibrio preexistente.

Es importante recordar que la estructura de estos edificios ha "sobrevivido" a continuas vicisitudes, y normalmente se caracteriza por la ausencia, casi total, de hiperestática. La naturaleza no ve con gusto los equilibrios complejos, y busca librarse de ellos dando respiro a la obra, ¿para qué entonces introducir nuevos desequilibrios? (Lizzi, 1981, 13).

Esto es especialmente válido para su cimentación. Cualquier perturbación que se induzca en el suelo que sostiene al inmueble, podría ser fatal para el equilibrio del mismo, ya que este equilibrio lo alcanzó al cabo de muchos años o incluso siglos. 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 conozca "Ningún proyectista daría al subsuelo que circunda la torre de Pisa una carga mayor a 1.0 Kg/ cm<sup>2</sup>, y la carga actual supera los 12 Kg/ cm<sup>2</sup>" (Lizzi, 1981, 13).

Otra tendencia frecuente es la de recurrir a estructuras complementarias (metálicas o de concreto armado), que en vano buscan disfrazarse al interior del edificio. Este sistema no está totalmente aceptado en el perfil histórico artístico, además de los desequilibrios y el aumento importante en el peso de la cimentación que se provoca. Lo más apropiado será evitar el recurso de estructuras de este tipo, aunque sabemos que nuestros restauradores gustan de estas soluciones, tal vez por la misma vocación hacia las estructuras de acero y concreto de nuestros estructuralistas. Un ejemplo claro lo constituye el edificio de la Secretaría de Educación Pública en el Centro Histórico, que cuenta con una gran cantidad de estas soluciones.

Lizzi recomienda "reforzar" lo mismo al terreno que la mampostería existente, modificando lo menos posible (y sólo en casos excepcionales) el equilibrio preexistente, el cual posiblemente cuenta con un coeficiente de seguridad muy exiguo, pero nunca inferior a la unidad; este debe ser el punto de partida de la consolidación. El fin de este criterio es, sobre todo, recuperar los márgenes de seguridad perdidos, y si es posible

incrementarlos. Agrega que la restauración de la superestructura deberá dirigirse, principalmente, al reforzamiento de las mamposterías, sin que esto produzca perturbaciones peligrosas en un cuadro estructural general del inmueble.

A primera vista, podría parecer extraño que el reforzamiento de la superestructura preceda al de la infraestructura, y sin embargo es habitual que esto suceda. A través de un mejoramiento general de las mamposterías y, sobre todo, de las estructuras curvas (arcos y bóvedas), es posible ubicar mejor las causas que originan las fallas, cuya búsqueda normalmente representa muchas dificultades, además de que con el tiempo los efectos se sobreponen a dichas causas, que se nos muestra mediante un panorama de fisuras, que a primera vista, no es fácil de descifrar. Así, solo restituyendo al edificio una cierta continuidad, es posible ubicar del mejor modo algún posible hundimiento en la cimentación, lo que se produce mediante la interacción entre elementos que provocan esfuerzos de empuje lateral y, por tanto, será posible la detección de zonas en las cuales conviene intensificar la consolidación (Lizzi, 1981, 14-15).

#### NOVEDADES EN EL TRATAMIENTO DE HUNDIMIENTOS EN LOS MUROS DE MAMPOSTERÍA

El refuerzo en los muros de mampostería va encaminado, generalmente, a reparar fallas causadas por la degradación del material, y a garantizar una buena liga con los otros muros transversales, o con la losa, para lo cual las inyecciones y resanes suelen ser suficientes para restablecer la resistencia original del muro, excepto en los casos de abufamiento, o de la tendencia a separarse por capas verticales debido a la falta de amarre entre las piedras que lo conforman. En este último caso, la solución tradicional ha sido la de reponer las piedras de amarre, operación que recibe el nombre de "descosido-cosido" (Lizzi, 1981, 15).

Dentro de las inyecciones a base de una mezcla de cemento (operación que ya goza de una larga tradición dentro de la restauración de monumentos), podemos considerar como "tecnologías novedosas", primeramente, a aquella que propone hacer perforaciones diagonales al muro con falla (especialmente en las grietas), e insertar barras de acero en dichas perforaciones, atravesando literalmente el muro, para posteriormente proceder con la correspondiente inyección de estas perforaciones; esta tecnología recibe el nombre de "costuras armadas" (Meli, 1998, 158) o "retícula cementada" (Lizzi, 1981, 18). También existe (y se verá más adelante) una técnica que consiste en aumentar el espesor de los muros de mampostería,

por medio de malla electro soldada y, finalmente, el uso de cables y bandas con materiales plásticos que aparentemente proporcionan ventajas mucho mayores que las metálicas.

#### Los hundimientos por aplastamiento

Es el desequilibrio más peligroso y se lleva a cabo cuando los muros de mampostería sometidos a carga axial sufren una dilatación en sentido transversal, que supera la capacidad de cohesión del material. Las causas pueden ser:

- Insuficiencia inicial de la sección transversal.
- Depresión de las cargas permanentes y accidentales (ampliaciones).
- Hundimiento de los cimientos, que han transferido sobre algunas estructuras cargas destinadas a otras (Baglioni, Guarmerio, 1988, 72).

Los efectos de este tipo de desequilibrios son contracción en dirección a la fuerza y dilatación en las direcciones normales a ella. Los remedios pueden ser de dos tipos: obstaculizar las contracciones o bien limitar las dilataciones. Si el desequilibrio no ha provocado todavía grandes daños, se puede intervenir aumentando el sector resistente, o reforzando las estructuras en sentido transversal con el uso de tirantes y cercos que se opongan al incremento de las dilataciones transversales, aumentando la resistencia en las cargas axiales y deteniendo los procesos de agrietamiento, en este sentido el método de agregar capas de concreto armado con malla electrosoldada resulta ideal. Si por el contrario, la degradación de la estructura es más aguda, conviene recurrir a intervenciones más drásticas que ya fueron mencionadas, y que son las inyecciones de cemento, o la sustitución de partes de mampostería por medio del método del descosido y cosido (Baglioni, Guarmerio, 1988, 72-73).

#### Capas o contraparedes de concreto armado con mallas electrosoldadas

En la cara del muro es aplicada una capa de concreto armado con redes electro soldadas (con malla de 15x15 cm y diámetro de 4 a 5 mm). Las capas se afianzan al muro uniéndolas entre ellas las mallas electro soldadas, por medio de las varillas de hierro (bastoncillos) (fig.1), o unidas a las mamposterías por medio de remaches. Con esta técnica se obtienen resultados más satisfactorios si empleamos, en lugar del conglomerado de cemento tradicional, concretos y morteros de cemento anticontracción, con los cuales se pueden realizar planchas de espesor de 2.5 cm y 1.5 cm. Todavía es mejor un compuesto de

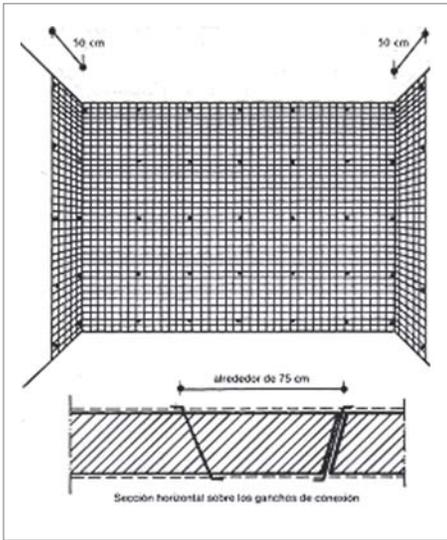


Figura 1  
Colocación de la malla electrosoldada. Figura reproducida de Baglioni, Guarnerio (1981).

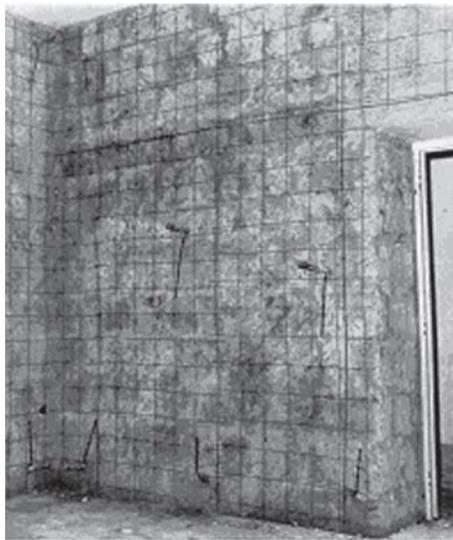


Figura 2  
Armado de los muros, Protección de la malla. Imágenes reproducidas de Lizzi (1981).



cemento y arena (3.1.2) aplicado con un pulverizador de aire comprimido (fig. 2), que ejercita una verdadera acción de martilleo sobre la superficie que se debe revestir y sobre el estrato de mortero ya aplicado, con el resultado de formar una plancha compacta, de alta resistencia y adherente a la mampostería, sin soluciones de continuidad (Baglioni, Guarnerio, 1988, 91).

Como una alternativa a la mezcla de cemento se podría recurrir a mezclas basadas en resinas sintéticas, para las cuales se aconseja recurrir a los aditivos de látex sintético de goma o de acetato de polivinilo (PVA), para mejorar tanto la adherencia de la capa de cemento a la mampostería, como la fluidez en la mezcla. La composición óptima de la mezcla se determina caso por caso, según el tipo de mampostería y de su estado superficial. También es plausible contemplar la posibilidad de utilizar fibras de acero, por aspersión.

### Inyecciones en los muros de mampostería

Esta técnica que se pudiera considerar como tradicional, por el tiempo que tiene su uso dentro de la restauración, y por la manera artesanal en que se lleva a cabo en nuestro país, ha evolucionado, y las variantes en las que hoy se presenta, en otros países, continúan colocándola como la técnica favorita en la consolidación de muros de mampostería.

Cuando la superficie de la mampostería es lo suficientemente hueca como para permitir la entrada de una lechada de cemento, se emplean estas inyecciones. La cavidad elegida para la entrada de la mezcla debe ser agrandada con rasquetas y escoplos. En

cambio se deben cerrar todas las aberturas superficiales restantes para evitar pérdidas de mezcla (Baglioni, Guarnerio, 1988, 81). Se utiliza una "licuadora" para inyectar la mezcla, cuya complejidad varía de acuerdo con el avance tecnológico del país en el cual se ejecutan estos trabajos (fig. 3). La colada se

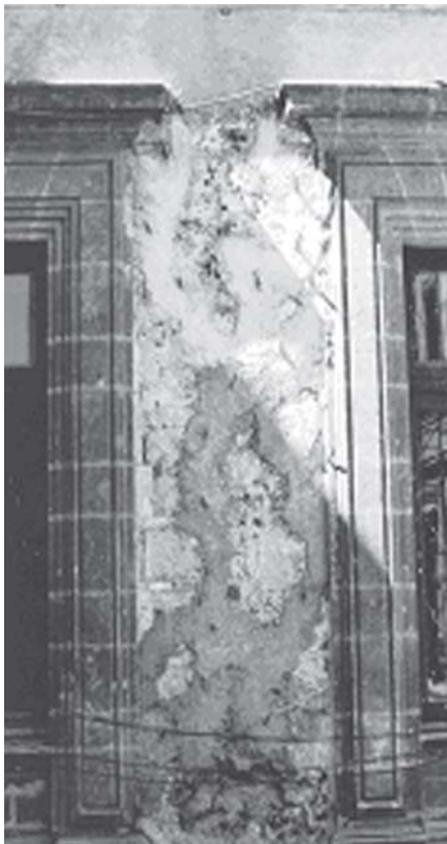


Figura 3  
Inyección de grietas durante las obras de restauración del Palacio Nacional. Fotografía

realiza en tres tiempos con intervalos de 24 horas, y la precede una introducción de agua que tiene la finalidad de preparar un camino fluido para la penetración del cemento, además evitar una absorción excesiva de líquidos de las paredes de la grieta, que debiliten la resistencia de la mezcla (fig. 4).

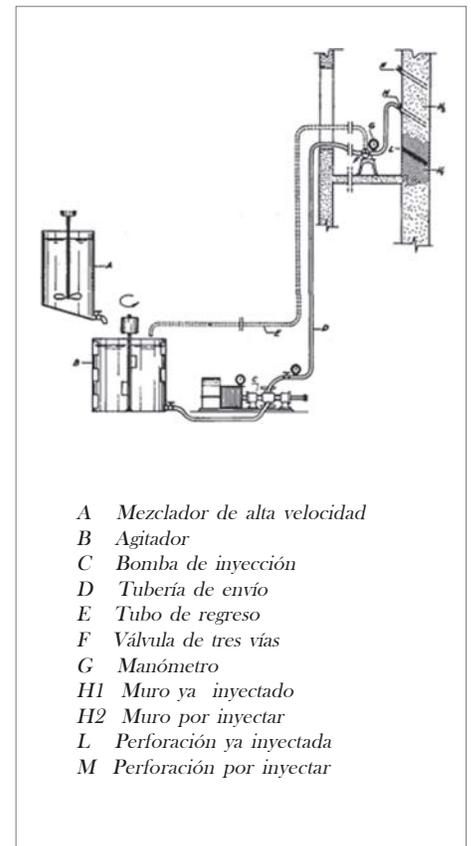


Figura 4  
Tecnología italiana para inyectar grietas. Imagen reproducida de Lizzi (1981).

En los casos en que es aplicable esta técnica, el concreto proporciona resultados muy satisfactorios. Se requiere de periodos de varios días, ya que la saturación con agua de la mampostería y la posterior inyección de la mezcla a baja presión, hacen la operación lenta y con un control permanente indispensable.

Cuando la superficie de mampostería es compacta, se pueden realizar agujeros de inyección con sondas de rotación, que son útiles también para penetrar terrenos y rocas. Estas sondas ofrecen además la ventaja de extraer muestras cilíndricas o "testigos" de los materiales atravesados, y proporcionan de este modo útiles indicaciones para las posibles soluciones que se deban adoptar (Baglioni, Guarnerio, 1988, 81). Cuando es necesaria una inyección basada en resinas epóxicas de baja densidad, se incrementan los periodos y, por tanto, los costos de operación (Pedicini, 1979, 973).

### Deformaciones de flexo-compresión

El esfuerzo de flexo-compresión aparece cuando la resultante de las cargas está desplazada del eje de la mampostería, situación que puede depender de las condiciones iniciales de carga, y que puede ser acentuada por eventuales empujes horizontales provocados por el viento, por leves sacudidas sísmicas o por ajustes relativos de los cimientos. Además, este esfuerzo puede aparecer en mamposterías en las que la relación entre longitud medida sobre el eje y la dimensión mínima de la sección transversal sea mayor de 15, y la carga de punta supere el valor crítico permitido. Los desequilibrios de flexo-compresión son mayores donde los paramentos de mampostería no están lo suficientemente ligados entre sí transversalmente, y el muro en vez de ser compacto, se presenta como si fueran dos o tres muros, uno al lado del otro y, por lo tanto, especialmente delgados (Baglioni, Guarnerio, 1988, 73).

Cuando las mismas deformaciones por inflexión afectan varios pisos contiguos, se le puede contener interviniendo con tirantes metálicos a la altura de cada entrepiso. Pero si la inflexión afecta una sola planta, el único remedio posible es una gradual demolición y reconstrucción de la zona lesionada. El uso de inyecciones a presión puede resultar muy perjudicial porque la misma presión ejercida por el mortero agrava el desplazamiento de la estructura. Se deberá intervenir rápidamente, ya que la inflexión inicial provoca condiciones de equilibrio cada vez más precarias a causa del avance



Figura 5  
Sonda de perforación hidráulica utilizada para las inyecciones de cemento en los muros. Imagen reproducida de Lizzi (1981).

de la flecha de encorvamiento (Baglioni, Guarnerio, 1988, 74).

En los últimos años, se han desarrollado bandas de laminados de fibras plásticas a base de resinas epóxicas o de polivinilo, que tiene muy alta resistencia a la tensión y que se adhieren a la superficie de mampostería mediante resinas epóxicas donde se requiere el esfuerzo de tensión, o anillos de confinamiento o "bendajes", que mantengan la mampostería unida; estas bandas pueden ser flexibles o rígidas. Existen igualmente dispositivos de fijación plásticos que sustituyen a los metálicos, ya que no presentan problemas de corrosión, así como morteros epóxicos que

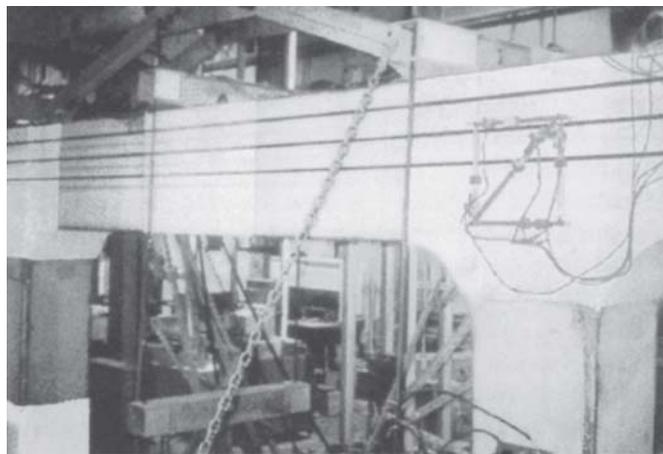


Figura 6  
Bandas de laminados de fibras plásticas. Fotografía reproducida de Meli (1988).

fijan a la cantera elementos metálicos de anclaje y refuerzo (Meli, 1998, 171).

### Adecuación antisísmica

Las obras de consolidación de las mamposterías y de todas las estructuras en elevación, en general, deben preceder la ejecución de eventuales obras de recimentación, y las plantas superiores a las plantas inferiores.

Las técnicas de refuerzo son numerosas y van dirigidas a impedir los desequilibrios por aplastamiento o dilataciones transversales con inyecciones de cemento o tirantes antiexpansivos, para proceder posteriormente con alguna de las siguientes técnicas:

- Anclaje con tirantes de acero.
- Enlace con dalas de concreto armado.
- Inserción de armaduras o retícula cementada.
- Contraparedes de concreto armado con mallas electrosoldadas.

Sobre el método de los tirantes de acero, éstos pueden ser de varillas postensadas de acero normal o con acero de alto límite elástico, y deben de colocarse lo más cerca posible de los entrepisos y aplicarse en ambas caras del muro, tanto en sentido horizontal como vertical, a lo largo de todos los muros mediante ranuras practicadas a lo largo de las mamposterías, con agujeros hechos con instrumentos de rotación y agua a presión (Baglioni, Guarnerio, 1988, 90).

Entre las novedades se encuentran cables trenzados hechos de fibra de vidrio, carbono y arámide (fig. 7), con el atractivo de que no son sensibles a la corrosión, y que se pueden aplicar en el exterior con posibilidades de ser fácilmente removidos, para lo cuál se les puede dar el color que se desee; son muy ligeros y alcanzan resistencias a la tensión del orden de 15 000 a 20 000 kg/cm<sup>2</sup>. Como características negativas tienen su baja resistencia al fuego, y su costo que puede ser del orden de cuatro veces el de un cable de acero de características semejantes (Meli, 1998, 171).

### La retícula cementada

Como una evolución de las tradicionales inyecciones, se presenta esta técnica, que busca por medio de inyecciones inducidas en agujeros hechos ex profeso para este fin, con brocas y maquinaria de perforación, en los cuales se insertan varillas de acero o de policarbonato, antes de proceder a la respectiva inyección. Se logra así, en el cuerpo de la mampostería, una adecuada estructura resistente tridi-

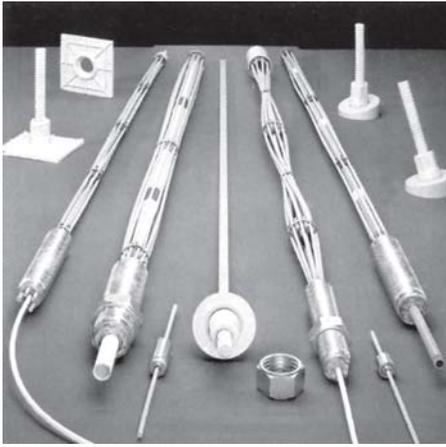


Figura 7  
Cables trenzados hechos con fibra de vidrio, carbono y arámide

mensional, a través de los agujeros de inyección debidamente armados, que se comporta como una especie de esqueleto de gran resistencia, y que colabora con la mampostería de forma similar a como el acero colabora con el concreto armado; se obtiene así una especie de mampostería armada (fig 8). El sistema está basado (como en el concreto armado) en la adherencia que cada barra desarrolla en relación con la mampostería en la cual ha sido fraguada. No se atribuye coacción alguna a las barras. La continuidad estructural del sistema se asegura con una

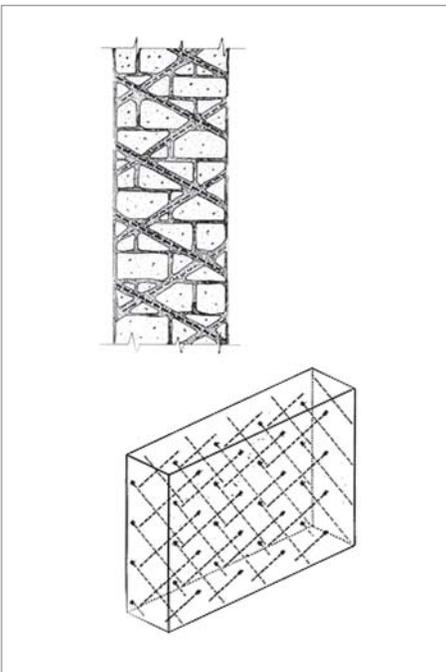


Figura 8  
Colocación de barras. Imágenes reproducidas de Lizzi (1981).

juiciosa colocación de dichas barras (Lizzi, 1981, 27).

Uno de los problemas que se presentan con esta técnica, es la posible corrosión de las barras de acero. Existen evidencias en inmuebles consolidados hace treinta años, que ningún signo de corrosión se ha presentado, presumiblemente por la protección que ha representado el cemento en el cual las varillas están sumergidas, además de la protección que otorga la mampostería que las rodea.

De cualquier manera, como mayor seguridad se usa un revestimiento a base de una argamasa de arena y resina, que además de la protección a la corrosión, proporciona una mejor adherencia, aunque nada prohíbe usar varillas de acero inoxidable, o al menos revestidas de una capa inoxidable. Como alternativa interesante, se presentan las varillas de material plástico duro o polícarbonato que actualmente se prueban como tirantes de anclaje (Lizzi, 1981, 27).

#### HUNDIMIENTO EN ESTRUCTURAS HORIZONTALES

##### Arcos y bóvedas

Un arco transmite las cargas recibidas a los estribos en forma de fuerzas inclinadas, sólo hay tensiones de compresión (Schmitt-Heene, 1998, 265). Las estructuras de este tipo son particularmente vulnerables a las fallas de las uniones, sobre todo cuando no hay cadenas de amarre. Se dice que el

número de los hundimientos tolerables antes de la caída de una estructura de este tipo es notable, y que el fenómeno es claramente evidenciado con síntomas de diversas acciones cinemáticas de falla (urina, 1989, 200). Los esfuerzos de compresión que se generan en condiciones normales de carga (peso propio del arco, más relleno, más sobrecarga, todo distribuido simétricamente en la longitud del claro), son razonablemente pequeños, si la geometría del arco es la adecuada para que las cargas se transmitan siguiendo aproximadamente el eje del arco (Meli, 1998, 54). Es conveniente determinar la geometría, tanto en sentido longitudinal como transversal, el espesor, el material, el tipo de contrafuerte, la regularidad de las claves y de los riñones, y sobre un levantamiento tridimensional reproducir el cuadro de la falla, a fin de poderlas valorar con el máximo cuidado (Jurina, 1989, 200).

Una particularidad en el trabajo de un arco es el coceo, es decir el empuje horizontal que transmite a sus apoyos y tiende a voltearlos hacia fuera. Esto representa una situación crítica, tanto para los apoyos (columnas o muros) como para el arco mismo que tiende a abrirse y puede perder estabilidad. La magnitud del coceo depende también del peso del arco y de la sobrecarga que actúa sobre él, de la forma de éste y, en particular, de la relación entre su flecha y su claro (Meli, 1998, 55-56). El 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. Como manifestaciones secundarias tenemos:

- La separación del muro de fachada de las estructuras internas.
- La deformación romboide de las aberturas (puertas y ventanas).
- La depresión de las bóvedas (muy frecuente en los cruceros y en las bóvedas de vela). Estas depresiones son a menudo tan fuertes que intervienen la curva del intradós instaurando una verdadera deformación de presión-flexión, muy peligrosa, que puede dar lugar a expulsiones del aplanado, e incluso de mamposterías (Baglioni, Guarnerio, 1988, 75).

Los casos más frecuentes de deformaciones son:

- Para las bóvedas con relación elevada entre flecha y luz: el alzamiento de la clave.
- Para las bóvedas muy rebajadas: la depresión de la clave.



Figura 9  
Aspecto que presentan las placas al exterior de los monumentos. Fotografía del autor

Para impedir el hundimiento de los arcos, normalmente se recurre a los tirantes metálicos o cadenas, particularmente eficaces contra los empujes horizontales si se aplican en los centros de empuje del arco. Este sistema se usa también en el hundimiento de las bóvedas para neutralizar los empujes horizontales sobre los extremos de las impostas (Baglioni, Guarnerio, 1988, 75). Esta es una práctica antigua y ha sido, probablemente, la solución más frecuente para remediar signos de debilidad estructural de los monumentos, estando presente en diferentes culturas y distintas épocas, y no ha estado exenta de problemas, entre los cuales podemos citar:

1. La excesiva concentración de esfuerzos, de acuerdo con la aplicación de las planchas metálicas y la imposibilidad de distribuir adecuadamente su acción en el equilibrio general del edificio.
2. La posibilidad de que se aflojen los tirantes con el tiempo.
3. El riesgo de corrosión.
4. La presencia antiestética de las placas al exterior y de los tirantes al interior.
5. La sensibilidad del sistema a los cambios térmicos (Lizzi, 1988).

En la actualidad se emplean preferentemente cables o torones para concreto presforzado, y se acompañan igualmente de una gama de sistemas de anclaje para el mismo fin (fig.10). Para evitar la concentración de esfuerzos debida al anclaje puntual, es preferible sujetar los cables envolviendo algún

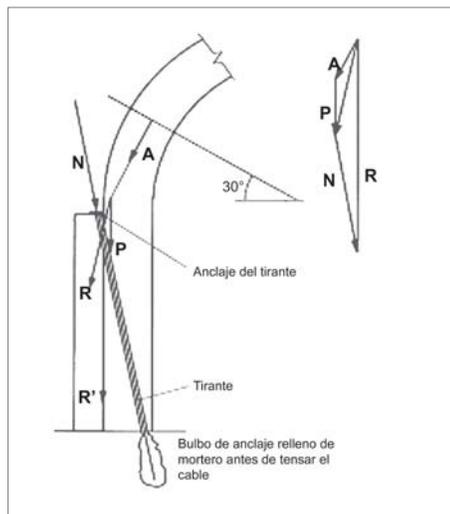


Figura 10  
Anclaje de cables para presforzaco.  
Imagen reproducida de Meli (1998).

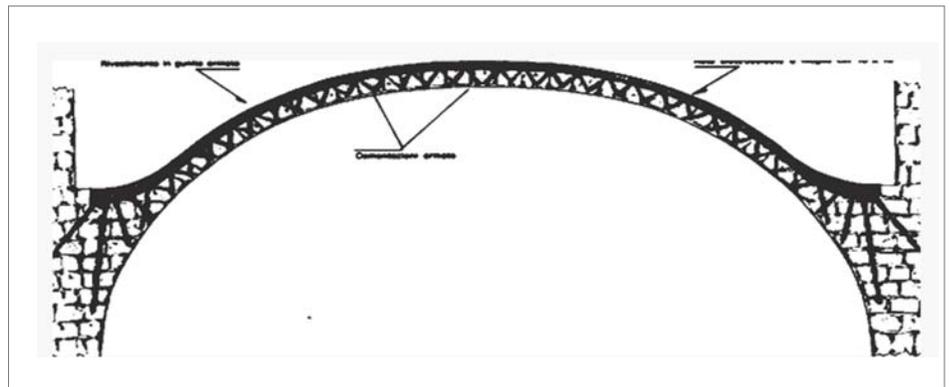


Figura 12  
Colocación de barras de acero e inyección en la consolidación de una bóveda. Imagen reproducida de Lizzi (1981).

elemento estructural, huecos en puertas o ventanas, o perforaciones de los muros. Igualmente, son necesarios dispositivos desviadores de los cables de refuerzo, que tienen como desventaja ser grandes y muy visibles (Meli, 1998, 153-55).

Otra solución sería la colocación de un tímpano por el extradós, lo que trae dificultades de anclaje y de sobrecarga. También se puede optar por colocar una capa de compresión de concreto armado por el extradós de las bóvedas (fig. 11), que al mismo tiempo permite protegerlas e impermeabilizarlas.

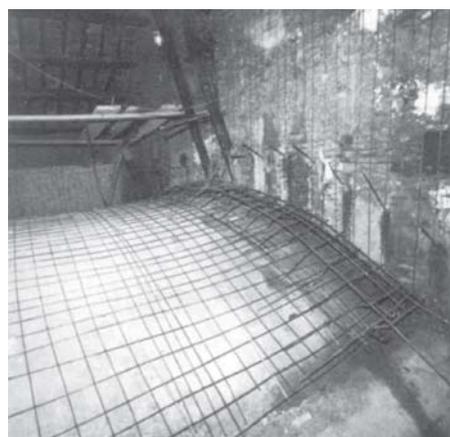


Figura 11  
Armado y colado de una capa de compresión en el extradós. Fotografías reproducidas de Lizzi, (1981).

También se ha empleado el refuerzo con arcos de concreto armado, de preferencia por el extradós (fig. 12), y la suspensión de la bóveda a una estructura de acero superior, que tiene como inconveniente el gran número de elementos de anclaje que son necesarios (Meli, 1998: 159); sin embargo, algunos estados de desequilibrio pueden inducir a adoptar tecnologías más complejas y sofisticadas como, por ejemplo, aligerar las bóvedas de las masas de refuerzo que a menudo existen, sustituyéndolas por los contra fuertes celulares constituidos por un sistema de pequeños muros de ladrillos agujereados, perpendiculares a las generatrices de las capas y coronados por bovedillas planas de soporte del pavimento (Baglioni / Guarnerio, 1988, 75).

También se ha empleado el refuerzo con arcos de concreto armado, de preferencia por el extradós (fig. 12), y la suspensión de la bóveda a una estructura de acero superior, que tiene como inconveniente el gran número de elementos de anclaje que son necesarios (Meli, 1998: 159); sin embargo, algunos estados de desequilibrio pueden inducir a adoptar tecnologías más complejas y sofisticadas como, por ejemplo, aligerar las bóvedas de las masas de refuerzo que a menudo existen, sustituyéndolas por los contra fuertes celulares constituidos por un sistema de pequeños muros de ladrillos agujereados, perpendiculares a las generatrices de las capas y coronados por bovedillas planas de soporte del pavimento (Baglioni / Guarnerio, 1988, 75).

En los últimos años, y debido a los equipos de perforación de gran precisión, en los que a manera de combinación entre inyecciones con barras de acero y micropilotes

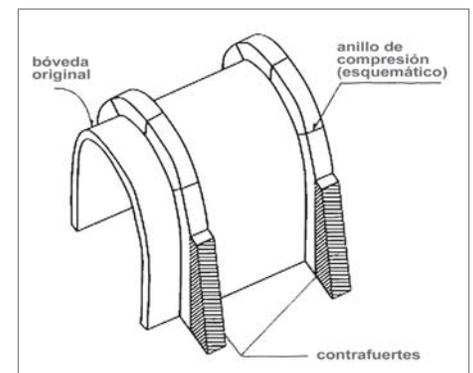


Figura 13  
Refuerzo con arcos de concreto armado por el extradós. Imagen reproducida de Meli (1981).

“raíz”, se colocan barras en perforaciones de pequeño diámetro y gran longitud, en las que se insertan barras de refuerzo que pueden postensar e inducir fuerzas que modifican la condición de equilibrio de la estructura (fig.13) (Meli, 1998, 154).

### Entrepisos de madera

En la rehabilitación y restauración de edificios antiguos, la madera juega un papel muy importante, no sólo desde el punto de vista decorativo, sino también desde el estructural (Peraza, 1985, 217). La humedad es, sin duda, la causante de los mayores desequilibrios, sin embargo la inflexión de las vigas puede ser causada por errores iniciales de cálculo o de realización, los excesos de carga y el paso de los años. Las vigas desviadas deberán revisarse con sumo cuidado, especialmente las del centro y de los soportes, para lo cual será necesario remover la mampostería que estorbe, quitar las fibras degradadas y verificar la extensión real de la sección. También las grietas deberán ser revisadas con cuidado, sin dar tanta importancia a las fisuras verticales-horizontales, lejanas de los soportes, ni tampoco a las fisuras horizontales, discontinuas intermedias; aunque se dará especial atención a las fisuras verticales transversales, en el (fig.14) intradós, y a las fisuras horizontales próximas al plano neutro, en la zona de los soportes (Baglioni, Guarnerio, 1988, 75).



Figura 14  
Las vigas desviadas deberán revisarse cuidadosamente en los soportes, que es donde se producen los mayores deterioros, y donde menos se ven. Fotografía de Jurina (1981).

Del reconocimiento de estas estructuras, puede llegarse a tres conclusiones.

a) Sustituirlas por estructuras de otros materiales, acero o concreto.

b) Su conservación teórica. Eliminando su valor estructural, por ello, la parte resistente es sustituida por otro material. La madera sólo tendrá un valor decorativo o simplemente estético en la edificación.

c) Su conservación total, tanto sus valores decorativos, como estéticos y estructurales, es decir, su rehabilitación (Peraza, 1984, 217).

A la hora de hacer una evaluación de las estructuras antiguas, debemos tener en cuenta tres aspectos muy importantes. Por lo general, las estructuras de madera están sobre dimensionadas hasta el extremo de que al estudiar sus condiciones estáticas nos encontramos con coeficientes de seguridad 10. La madera utilizada es exclusivamente duramen o éste entra en un porcentaje muy elevado, lo que lleva implícito que el ataque por insectos no haya sido profundo esto hace que la estructura conserve una carga residual muy apreciable. La sustitución de estructuras de madera implica una modificación de las cargas que han de sufrir los restantes elementos constructivos de la edificación. El cambio de estructuras de madera, conservando la misma capacidad de carga, supone aumentar el peso de ésta de cuatro a cinco veces más.

Por último, muchas edificaciones tienen un valor histórico artístico que las hace insustituibles. Las tecnologías que permiten hoy salvar la mayor parte de las estructuras de madera y conservarlas adecuadamente para el futuro son:

- 1) El gran desarrollo de las resinas sintéticas.
- 2) El desarrollo de barnices y pinturas a poro abierto, que siguen perfectamente los movimientos que se producen en la madera y los barnizados sucesivos. Estos pueden aplicarse sin tener que raspar las capas anteriores.
- 3) El gran desarrollo de los protectores de madera, que permiten a la madera tratada convenientemente, resistir los ataques de los agentes biológicos, así como los físicos.
- 4) La llamada “prótesis de la madera”, que es la reconstrucción de partes de piezas de madera de una estructura con un mortero de resinas y una estructura de fibra de vidrio, de características totalmente similares a las de la madera y de comportamiento mecánico tal vez mejor.

5) La madera laminada, que igualmente permite reconstruir secciones al reforzar las existentes por cambio de destino, uso o carga de las estructuras (Peraza, 1984, 217).

### Resinas acrílicas y barnices

El gran desarrollo de las resinas sintéticas permite la unión de piezas de madera con resistencias iguales o superiores a las de la propia madera. Las resinas sintéticas de mayor aplicación en la industria de la madera son: ureaformaldehído, melaminaformaldehído, resorcinolformaldehído, fenolformaldehído, poliuretanos y epoxy. Entre los pegamentos más eficientes están los epóxicos, los cuales permiten que una técnica considerada más o menos tradicional, como es la inserción de piezas metálicas como prótesis de apoyo a las vigas de madera, se pueda realizar actualmente con mayor eficiencia (Peraza, 1984, 217).

Las resinas epoxy se caracterizan por su gran poder adherente, sus exactas propiedades mecánicas y su gran estabilidad frente a acciones de tipo físico o químico. En estas resinas hay propiedades que difieren notablemente de las del concreto como el módulo de elasticidad, la fluencia, el coeficiente de dilatación térmica, etcétera.

Sin embargo, aun cuando estas características pueden mejorarse e incluso llevarlas a valores próximos a las del concreto, mediante el empleo de cargas, en el caso de las capas delgadas que son las que más suelen emplearse en los trabajos de refuerzo, la influencia de las diferencias de sus propiedades con las del concreto apenas influyen en las características de las uniones que se hacen con ellas. El empleo de estas resinas epoxy como adhesivos en reparaciones y refuerzos de la rehabilitación de las estructuras está justificado por la gran adherencia que presentan frente al concreto. La adherencia se produce no sólo por anclaje mecánico, sino también por la acción de las fuerzas moleculares que actúan en la interfase de los dos materiales, de forma que el fenómeno de adherencia es el resultado de efectos físicomecánicos, químicos y electromoleculares (Fernández, 1984, 181).

Las ventajas de los adhesivos epoxy son muy grandes y podemos resumirlas en las siguientes:

- Universalidad, ya que puede unir una amplia gama de materiales con uniones flexibles o rígidas y mantener sus resistencias dentro de una gama de temperaturas de  $-50$  a  $+50$  °C.
- Alta resistencia de la unión frente a la tracción, compresión y cortante. En todos los casos, la rotura se produce por agotamiento del concreto y fuera de la zona unida.

- Retracción muy pequeña y que tiene lugar durante el endurecimiento; no aparecen, por tanto, tensiones internas en la unión.

- Baja temperatura de curado, depende de la reactividad de la resina empleada.

- Baja presión para ejercer la unión, a veces sólo la de contacto.

- Al no tener disolventes volátiles, las formulaciones utilizadas en reparaciones y refuerzos pueden unir superficies totalmente impermeables.

- Las uniones formadas tienen una fluencia bajo carga mantenida muy pequeña, buena resistencia a los cambios de temperatura, aislamiento eléctrico, resistencia a la corrosión, a la humedad, a los agentes químicos. En México ya hace tiempo, se conoce el adhesivo Bostik 830 D y F de U.S.M. Mexicana, S. A. (Barbará, 1977, 584-F-2-F).

### Protectores de madera

Las normas y especificaciones para restaurar en México tradicionalmente han recomendado y siguen recomendando el uso de una sustancia que conocemos como pentaclorofenol (SEDUE, 1984, 43). Anteriormente, fueron el petróleo y, posteriormente, la creosota las sustancias protectoras usadas en la restauración. En los últimos años, sin embargo, han sido muy cuestionados ambos productos: la comercialización de la creosota ha sido prohibida por la Comunidad Europea tras probarse su potencial cancerígeno. La prohibición entró en vigor a partir del 30 de junio de 2003, y se extiende a maderas tratadas con este compuesto. Por otra parte, la Organización Mundial de la Salud clasifica al pentaclorofenol como un producto altamente peligroso.

Esto ha obligado, en los últimos años, a buscar nuevas alternativas dentro de los protectores de madera. El naftenato de cobre tiene un alto poder funguicida en virtud del ácido nafténico presente; se emplea con alta concentración (20 o 25%) en la solución orgánica, ya que es muy volátil. Normalmente se aplica por pulverización de baja presión mediante un compresor; tiñe la madera de verde.

Los protectores de la madera a poro abierto denominados en Europa como *lasure*s, son los productos con más futuro para el tratamiento de la madera para exteriores. Se caracterizan por no formar película sobre la superficie de la madera y proteger de forma polivalente contra los diversos tipos de ataques que ésta pueda sufrir, son productos con base orgánica, solubles o no al agua, su acción protectora insecticida y funguicida es menos que los fondos protectores, pero incorporan pigmentos minerales (óxidos de hierro resistente a la fotodegradación) que reflejan la radiación UV del sol que es la responsable del agrietamiento y

agrisamiento de la madera deteriorada, que ha perdido su capacidad mecánica original, por un nuevo material capaz de sustituir y restablecer las funciones perdidas (Peraza, 1984, 217). La aparición en el mercado de las resinas epoxi ha dado al restaurador un material de múltiples aplicaciones y de enormes ventajas en la consolidación de la madera (Prado, 2000, 174).

Los materiales empleados son:

a) Resina epoxy. De características idóneas para poder obtener un comportamiento mecánico muy similar al de la madera, ya sea en estado puro, o bien en forma de mortero, cuando es utilizada junto a agregados de granulometría muy específica.

b) Varillas normales o de fibra de vidrio pretensada y reforzada con poliéster, en una proporción de 60% del primero y 40% del segundo. Poseen una alta resistencia a la flexotracción. Las funciones que deben cumplir son:

- Absorber los esfuerzos cortantes y las sollicitaciones a tracción.

- Ser elemento de conexión entre el mortero de resina y la madera sana.

c) Agregados libres de sustancias orgánicas y de granulometría para la arena de 0.3 a 0.6 mm, y para el granzón de 3 a 6 milímetros (Peraza, 1984, 217).

Las fases necesarias para la consolidación del cabezal de una viga o gualdra que por su calidad histórica, su acabado o escuadría es irremplazable en forma esquemática, son las siguientes:

1. Apuntalamiento cuidadoso del elemento, y retirar la viga a tratar de su empotramiento.

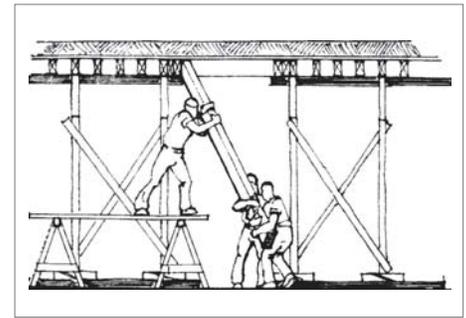
2. Apertura del muro en su zona colindante al cabezal.

3. Análisis de la profundidad del ataque y grado de deterioro.

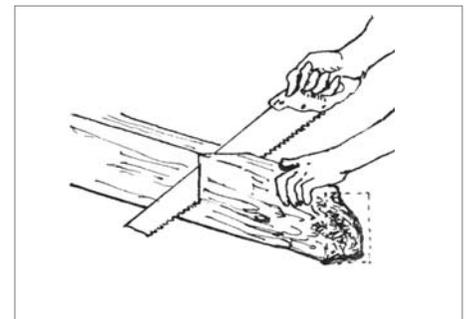
4. Eliminación de la parte de la madera afectada hasta encontrar madera sana. El corte del cabezal debe ser a 90°, si la superficie afectada es superior a 50%.

5. Hacer taladrados de 28 mm de diámetro (diámetro mínimo mayor a 1/16"), e introducción en ellos de las varillas de fibra de vidrio. La trayectoria debe ser de arriba a abajo, y con una inclinación de 30 grados.

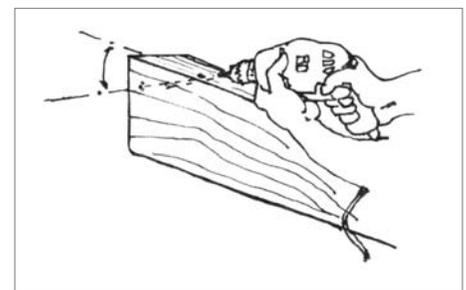
6. Encofrado del cabezal mediante un molde que debe tener un acabado lo más parecido al elemento que se repara, que puede ser



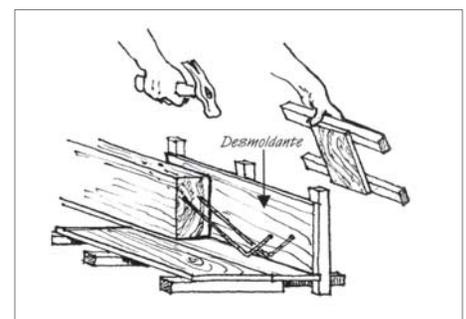
Apuntalamiento del elemento y retiro de la viga a tratar. Imágenes reproducidas de Ricardo Prado (2000).



Eliminación de la madera afectada. Imágenes reproducidas de Ricardo Prado (2000).



Taladrado e introducción de varillas de fibra de vidrio. Imágenes reproducidas de Ricardo Prado (2000).



Encofrado del cabezal mediante un molde. Imágenes reproducidas de Ricardo Prado (2000).

mediante tablas sin cepillar para marcar nudos o fibras, o bien con yeso de modelar.

7. Llenado del molde con mortero epoxy y carga, que debió ser preparado de forma previa mediante un desmoldante, para que pueda ser retirado con facilidad.

8. Relleno de la holgura que resta entre las varillas de 20 mm de diámetro y el taladro de 28 mm, con resina epoxy.

9. Descimbrado y polimerizado del mortero epoxy.

10. Pulido de posibles resaltes de resina de epoxy.

11. Acabado mediante barniz y pintura (Peraza, 1984, 27; Prado, 2000, 174).

Las facetas necesarias para la consolidación de elementos horizontales de madera rotos o degradados como vigas en techos franciscanos, cuerdas de armadura u otro tipo de soporte son:

1. Se apuntala cuidadosamente el elemento, se corta la parte degradada de la viga o cuerda de la armadura;

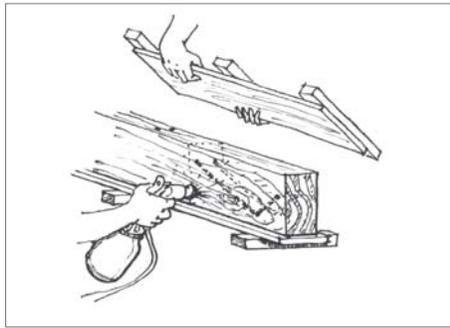
2. Se prepara la parte que va a funcionar como prótesis, y en la parte superior se hace una hendidura de 1/8", más ancha que el grueso de la placa que va a usarse como refuerzo. Esta hendidura o canal debe profundizarse hasta 3/4 partes de la sección de la madera que se está reparando, y puede hacerse con sierra de disco o de cadena, dependiendo del tamaño de la viga. Esta hendidura se hará igualmente en los extremos de la madera que se está reparando.

3. Se presentan las partes por unirse de la pieza de madera y se vierte la fórmula epoxy con baja viscosidad hasta 1/4 de la altura de la caja o hendidura.

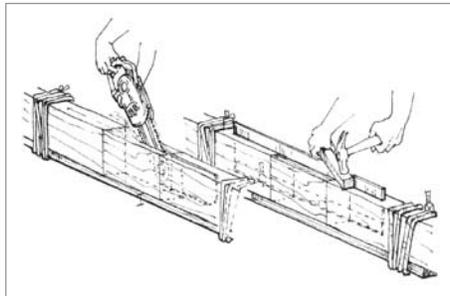
4. Se introduce la placa de acero inoxidable o latón.

5. Se enrasa la hendidura con mortero epoxy (Prado, 2000, 178).

En el proceso de formulación de los morteros epoxy intervienen, como elementos muy importantes de las cargas, los rellenos o *fillers*, que son materiales que se mezclan con las resinas, pero no reaccionan con ellas. Entre las características que deben reunir estos materiales, la más importante es el tamaño de las partículas de acuerdo con el uso del mortero. Son importantes porque hacen más económico el uso de las resinas al disminuir el volumen de éstas, y también



*Relleno de la holgura y taladrado. Imágenes reproducidas de Ricardo Prado (2000).*



*Hendidura o canal para la parte que va a funcionar como prótesis. Imágenes reproducidas de Ricardo Prado (2000).*

mejoran en varios aspectos al mortero mismo, pues aumentan su elasticidad y disminuyen su coeficiente de dilatación. Como ejemplos de las cargas más comunes se tienen al carbonato de calcio, caolines, polvo de cuarzo, talco, arena, microesfera de vidrio y granzón, y como retardador de fuego, el hidrato de aluminio (Prado, 2000, 175).

Las ventajas de los morteros epoxy son:

- Manejabilidad.
- Su adherencia a la madera y a los materiales de refuerzo.
- Su gran resistencia a los esfuerzos mecánicos.
- Rapidísimo tiempo de polimerización (entre 15 y 45 minutos).
- Toma la apariencia del molde cuando se endurece.
- Se le puede dar el acabado exacto de la madera, la textura dada por el molde, pintarse o patinarse para igualar los colores de las vigas.
- Cuando se emplean sin carga como líquidos de baja viscosidad, pueden usarse para inyectar grietas o rellenar galerías hechas por termitas o polillas (Prado, 2000, 175).

## Madera laminada

La madera laminada es un producto compuesto por piezas de madera maciza unidas con un adhesivo y puede ser en forma de chapas o de tablas. En la madera laminada cada uno de los componentes se alinea de tal forma que el grano o las fibras quedan dispuestas en sentido paralelo, a diferencia de la madera terciada, en la cual cada capa se entrecruza en ángulo recto (Peraza, 1984, 219).

Es un sistema que fue ideado por un carpintero alemán de la localidad de Weimar. Su importancia surge de la escasez de madera después de la Segunda Guerra Mundial. Actualmente se ha impuesto por el desarrollo de los pegamentos basados en resinas acrílicas, incluso, en ocasiones, sustituyen el empleo de acero o concreto (Schmitt, Heene, 1998, 526).

Dada su tecnología de fabricación, nos permite obtener, con piezas pequeñas que se tengan disponibles y de las cuales se conozcan las características mecánicas con más precisión, piezas de grandes dimensiones sin fendas, ni secado, ni rajás. Se pueden fabricar elementos de diferentes escuadrías y formas, adecuando para cada zona de la pieza de madera, la calidad de la lámina de acuerdo con la carga de trabajo a que se encuentra sometida, así como el fabricar piezas curvadas, que se consigue al disminuir lo necesario el espesor de las láminas para que puedan seguir, sin rotura, la curvatura exigida (Peraza, 1984, 219).

Las maderas más utilizadas son las coníferas, los pinos *Douglas-fir* y los *redwood*, o maderas duras, los robles o abetos rojos (con 2 a 15% de humedad). La homogeneidad de la madera es muy importante para disminuir esfuerzos internos, sobre todo cuando la viga queda expuesta a los cambios de humedad del medio ambiente, por lo tanto, la viga se deberá fabricar con madera de la misma especie o de similares características de contracción. Así mismo, las tablas deberán tener el mismo rango de contenido de humedad y, en lo posible, el mismo patrón de aserrado para evitar esfuerzos internos que se manifiestan en cambios de forma o agrietamientos. Para cualquier otro proceso industrial, la madera se asierra en forma de tablas a un mismo espesor, entre 2 y 3 cm, se seca (por medios tradicionales o preferentemente en secaderos de altas temperaturas), con un contenido de humedad menor al correspondiente a la humedad de equilibrio del lugar en donde se va a utilizar. Si la estructura va a quedar expuesta a condiciones de alta humedad o al ataque de agentes patógenos, es aconsejable aplicar a las tablas un proceso de inmunización por inmersión o vacío presión, según la necesidad (Peraza, 1984; Schmitt, Heene; 1988).

Posteriormente, ya secas, se somete cada tabla a una clasificación estructural por medios mecánicos o por apreciación visual. Es probable que en la misma tabla haya porciones de diferentes calidades resistentes, en cuyo caso se procede a seccionarlas y agruparlas según su capacidad estructural. Las tablas o secciones de tablas de un mismo grado estructural se ensamblan en tiras largas de tal forma que cada tira tiene similares características resistentes. Los ensambles longitudinales se hacen por el sistema de *finger joint* o "espigas acuñaadas".

Definidas las características de las vigas, tanto en su forma como en su largo, ancho y espesor, se procede a preparar las láminas a ensamblar: se cepillan, ya que las superficies, tanto de los cantos como de las caras de las tablas, deben ser lisas y uniformes para permitir una buena adherencia entre ellas.

Al mismo tiempo se prepara el adhesivo según las recomendaciones del fabricante y el tipo de uso de la estructura, es decir, bajo techo o a la intemperie. Los adhesivos más utilizados para condiciones bajo techo son aquellos a base de urea formaldehído. Sin embargo, el pegamento o cola más utilizado es el resorcinol formol porque es neutro a agentes químicos, resistente al fuego e insensible a la humedad después de ser pegado. Requiere madera con un contenido de humedad inferior a 12% y superficies muy uniformes. Se recomienda hacer la aplicación del pegamento por medios mecánicos, para asegurar una distribución uniforme y homogénea sobre los cantos y las caras de cada lámina.

El prensado se hace con prensas manuales, hidráulicas y neumáticas. Para favorecer el fraguado del pegamento o cola, la formación y el prensado de la viga se hace en cuartos climatizados entre 20 y 40°C. La duración del prensado depende del tipo de pegamento utilizado, de las dimensiones de la viga, y la temperatura y la humedad del medio ambiente. Se debe procurar un prensado uniforme y una presión constante durante el tiempo de fraguado de la cola.

El acabado de la viga consiste en un pulido de las superficies para retirar los residuos de la cola y dar uniformidad. En muchos casos se aplican inmunizantes, generalmente aceites solubles, los cuales tienen, además, un efecto de impermeabilización. Finalmente se aplican productos de acabado como barnices y lacas.

Entre las ventajas de estos elementos estructurales tenemos:

- Economía: permiten cubrir grandes luces sin la necesidad de columnas o paredes interiores, además de que por su apariencia evitan acabados costosos como los falsos plafones.

- Seguridad ante situaciones eventuales de incendios, sobrecargas o movimientos telúricos. Por su sección transversal relativamente grande se queman muy lentamente y resisten la penetración del calor porque forman una capa superficial de carbón, de tal manera que se conserva su resistencia mecánica. A su vez, en comparación con otros materiales, no se expande o deforma con el calor. Por su capacidad de resistir sobrecargas y absorber cargas de impacto son muy seguras ante vientos fuertes y terremotos.

- Durabilidad: la tradicional de la madera, que puede aumentarse con productos y tratamientos preservantes.

- Facilidad de instalación: como son elementos prefabricados en plantas procesadoras llegan listos para ser colocados manualmente o con grúas o implementos manuales.

- Resistencia química de la madera.

- Propiedades físicas y mecánicas únicas: absorbe excelentemente choques o golpes que podrían romper otros materiales. La madera puede resistir cargas repetitivas sin fatigarse, ya que su límite está por encima de los niveles de esfuerzo normales de diseño. Posee excelentes cualidades de aislamiento térmico y eléctrico, así como bondades acústicas especiales. Los acabados permiten realizar sus texturas, veteados, y colores. Una viga laminada en madera es en promedio cinco veces más liviana que una de concreto.

Las desventajas dependen de la inadecuada fabricación, el diseño constructivo y el mantenimiento. Estas desventajas tienen que ver, más que todo, con la higroscopicidad de la madera que facilita la emigración del agua desde los extremos de las vigas favoreciendo las manchas y ataques por hongos.\*

La consistencia en una atmósfera húmeda es decisiva en la selección de los pegamentos. La madera laminada puede obtenerse mediante el pegamento basado en resinas urea o caseína para laminados interiores, y en aquellas estructuras en que no sea previsible una humedad de la madera inferior a 18%. Por el contrario, en estructuras de madera en que la humedad previsible que alcance ésta sea superior a 18%, deberán emplearse adhesivos de resorcinolformaldehído. Ambos adhesivos son de fraguado en frío y, por consiguiente, su aplicación en obra puede hacerse sin desmontar la viga que tra-

ta de laminarse. Eligiendo adecuadamente el número y distribución de las láminas, puede mejorarse la calidad estática de las piezas de madera. Se puede aumentar la capacidad de carga de una pieza entre 25 y 30% (Peraza, 1984, 219).

## BIBLIOGRAFÍA

Amirante, Isabella. 1989. "Riqualificazione dell'involucro murario degradato", en Caterina, Gabriella, *Tecnología del recupero edilizio*, Italia, UTET.

Baglioni y G. Guamerio. 1988. *La rehabilitación de edificios urbanos. Tecnologías para la recuperación*, Barcelona, Gustavo Gili.

Barbará Zetina, Fernando. 1977. *Materiales y procedimientos de construcción*, México, Herrero.

Fernández Canovas, Manuel. "Las resinas en la rehabilitación de estructuras", en *Curso de Rehabilitación. 5. La estructura*, Madrid, Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid.

Jurina, Lorenzo. 1981. "La diagnosi del sistema strutturale", en Caterina, Gabriella, *Tecnología del recupero edilizio*, Italia, UTET.

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

Meli, Roberto. 1998. *Ingeniería Estructural de los Edificios Históricos*, México, Fundación ICA.

Peraza, César. "Estructuras de madera", en *Curso de Rehabilitación, 5. La estructura*, Madrid, Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid.

Prado Nuñez, Ricardo. 2000. *Procedimientos de restauración y materiales*, México, Trillas.

Schmitt, H. y Andreas Heene. 1998. *Tratado de construcción*, España, Gustavo Gili.

Sedue. 1984. *Especificaciones generales de restauración*, México.

## DIRECCIONES ELECTRÓNICAS

<http://www.bricotodo.com/tratamientos.htm>

[http://www.jornada.unam.mx/2000 oct 00/001030/eco-1.htm1](http://www.jornada.unam.mx/2000/oct/00/001030/eco-1.htm1)

<http://www.relca.net/oca/plaguicidas/plag06.htm>

[http://www.bricomundo.com/ecobrico\\_traviesas.htm](http://www.bricomundo.com/ecobrico_traviesas.htm)

<http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts85.htm>

<http://www.revista-mm.com/rev27/madera.htm>

\* Ver al respecto la dirección electrónica:  
<http://www.revista-mm.com/rev27/madera.htm>