



# Una aproximación educativa al aparejo en los edificios históricos como elemento estructural y formal del patrimonio arquitectónico.

**An educational approach to the bonding of walls as a structural and formal element of architectural heritage.**

Vinicio Velásquez Zambrano<sup>1</sup>, Álvaro Guzmán Rodríguez<sup>1</sup>, Gabriela Mejía Gómez<sup>\*1</sup>, Ramiro Rosón Mesa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Pontificia Universidad Católica del Ecuador

<sup>2</sup> Fundación CICOP Ecuador

\* Corresponding author email: gmejia.gmg@gmail.com

Recibido: 15/06/2019 | Aceptado: 18/12/2019 | Fecha de publicación: 31/12/2019  
DOI: 10.20868/abe.2019.3.4234

## TITULARES

- Identificación de las fuerzas externas e internas que influyen sobre los aparejos en los edificios históricos.
- Aproximación metodológica para intervenir sobre los aparejos en los edificios históricos
- Los elementos estructurales de un edificio no solo poseen una función práctica, sino que también expresan valores estéticos.

## HIGHLIGHTS

- Identification of the external and internal forces which affect the bonding of walls in historical buildings
- Methodological approach to operating on the bonding of walls in historical buildings
- The structural elements of a building not only have a practical function, but also express aesthetic values

## RESUMEN

---

La presente investigación se dirige a realizar una identificación detallada de las fuerzas externas (factores de deterioro naturales y humanos) e internas (materiales constructivos) que afectan a los aparejos en los edificios históricos. Desde este punto de vista, la estructura de un edificio puede definirse como una combinación estable de elementos que se conciben como una unidad, para soportar y transmitir al terreno las cargas correspondientes de forma segura y sin exceder los límites de resistencia de cada uno de estos elementos.

En concordancia con este enfoque, se estudiarán las relaciones entre ambos tipos de fuerzas, tomando en cuenta que las fuerzas internas poseen la misión de contrarrestar las externas para conservar el equilibrio estructural de un edificio. La adecuada comprensión de estas relaciones permitirá elaborar una aproximación metodológica para intervenir sobre los aparejos en edificios históricos, desde el respeto a su autenticidad como elementos estructurales y formales del patrimonio arquitectónico. En este sentido, el respeto a la autenticidad solamente puede alcanzarse investigando las técnicas y los materiales constructivos que se utilizaron en la época a la que pertenece un edificio histórico determinado, lo cual facilita que el proceso de restauración y reestructuración del patrimonio arquitectónico se lleve a cabo preservando sus valores históricos y artísticos.

Dado que la estructura distingue a la arquitectura del resto de las artes, toda intervención sobre el patrimonio arquitectónico debe partir de la idea de que los elementos estructurales desempeñan una función práctica, contribuyendo de manera decisiva a la conservación de un edificio a través del tiempo, pero también se les puede atribuir una función estética, expresando con ellos los valores artísticos de la época a la que pertenecen. Esta idea se ha reflejado en la historia de la arquitectura desde la Grecia clásica, de modo que los elementos estructurales de cada época se han convertido en símbolos de su arquitectura. En el desarrollo de esta actividad, siempre se puede resolver un problema de varias formas igualmente válidas, pues la atención y el esfuerzo que se dedican a los detalles formales, más allá de las exigencias del cálculo estructural, rebasan el ámbito meramente técnico y aportan valores artísticos de manera deliberada o fortuita.

**Palabras clave:** *Aparejo, Estructuras; Patrimonio arquitectónico; Fuerzas internas y externas.*

---

## **ABSTRACT**

---

This research is aimed to carry out a detailed identification of the external forces (natural and human factors of deterioration) and internal (building materials) which affect the bonding of walls in historical buildings. From this point of view, the structure of a building can be defined as a stable combination of elements which are conceived as a whole, in order to bear and transmit the pertinent loads to the ground in a safe manner and without exceeding the resistance limits of each one of these elements.

According to this approach, relations between both types of forces will be studied, considering that internal forces have the purpose of counteracting the external ones in order to preserve the structural balance of a building. The appropriate understanding of these relations will allow to make up a methodological approach to operate on the bonding of walls in historical buildings, from the respect to its authenticity as structural and formal elements of architectural heritage. In this sense, respect to authenticity can only be achieved doing research on the building techniques and materials which were used in the time which a specific historical building belongs to, which facilitates to carry out the restoration and restructuration process of architectural heritage preserving its historical and artistic values.

Given that structure differentiates architecture from the other arts, every operation on architectural heritage must start from the idea that structural elements accomplish a practical function, making a crucial contribution to preserve a building through ages, but they can also have an aesthetic function, expressing the artistic values of the time which they belong to. This idea has been reflected in history of architecture from the classical Greece, in a way that the structural elements of each time have become symbols of its architecture. In the development of this task, a problem can always be solved in different manners which are equally acceptable, because the attention and the effort which are invested in formal problems, beyond the requirements of structure calculation, overtake the sphere of mere technique and provide artistic values in an intentional or accidental way.

**Keywords:** *Bonding of walls; Structure; Architectural heritage; Internal and external forces.*

---

## 1. INTRODUCCIÓN

El objeto de esta investigación consiste en identificar, de manera detallada, las fuerzas externas (es decir, los factores de deterioro naturales y antrópicos) y las fuerzas internas (esto es, los fenómenos generados por las cargas que soporta una estructura y por el comportamiento de sus materiales constructivos) que influyen sobre los aparejos en los edificios de carácter histórico y patrimonial. No debe olvidarse que toda estructura, como la define Ching, constituye una combinación estable de elementos diseñados como una unidad, para soportar y transmitir al terreno las cargas que recibe de forma segura y sin superar los límites de resistencia de cada uno de estos elementos [1].

Por lo tanto, la presente investigación debe centrarse en el estudio de los vínculos estructurales, los cuales deben reconocerse de forma que, cuando se actúe sobre un edificio antiguo, se pueda llevar a cabo una intervención dirigida a conservar los vínculos originales. En este sentido, el vínculo estructural puede definirse como la unión de dos elementos de manera acertada (por ejemplo, no se puede establecer un punto de apoyo entre una cercha y una pared de tierra si entre ambas no media un elemento más rígido que la tierra). En consecuencia, reconocer los vínculos estructurales de un edificio histórico constituye una operación indispensable para mejorarlos o sustituirlos.

En el campo de las estructuras, existen materiales que resisten con facilidad la tracción, como la madera, pero presentan un serio inconveniente: sus vínculos estructurales se organizan de forma complicada, de modo que las uniones entre dos elementos estructurales implican una pérdida de sección (por ejemplo, se necesita cortar dos piezas de madera para

crear un ensamblaje entre ambas). Por otro lado, existen materiales de extraordinaria resistencia, como las cuerdas realizadas con fibras textiles, que ofrecen ejemplos de vínculos estructurales muy sofisticados, pues, en este caso, si se retuerce un conjunto de fibras de muy poco grosor, la compresión genera rozamiento y permite que la cuerda mantenga su forma. Por ende, comprobar la resistencia de un material exige conocer qué fuerzas se necesitan para romperlo.

En este sentido, para comprender el objeto de la presente investigación de forma adecuada se necesita definir claramente qué son los aparejos, cómo se construyen y cómo se vinculan a otros elementos estructurales. Por ejemplo, en la práctica constructiva suele colocarse mortero entre un bloque de aparejo y otro, lo cual ayuda a vincular ambos bloques para asegurar la solidez de la estructura. Al mismo tiempo, debe tomarse en cuenta que los edificios basados en paredes de carga se han construido sin interrupción desde los comienzos de la historia humana hasta la primera mitad del siglo XX. Por lo tanto, la gran mayoría de los edificios que se consideran históricos presenta este elemento estructural, de modo que se ha levantado con muros de fábrica de piedra, de ladrillo o de tierra.

Por otro lado, se necesita reconocer las tipologías de las paredes de carga para definir las medidas que van a adoptarse en el marco de la intervención sobre un edificio histórico. En ese reconocimiento se determina el tipo de muro y su misión dentro de la estructura del edificio. Las misiones principales de las paredes de carga consisten en recibir las acciones de la cubierta en su coronación; soportar su propio peso en los niveles intermedios; recibir las acciones de los usuarios, de los objetos y de la tabiquería en los pisos y a través de los forjados; y, por último, canalizar todos estos esfuerzos hacia el terreno a través de los cimientos. Junto a los muros de

carga, aparecen otras tipologías como los muros de arriostamiento y los muros de división, que cumplen una función estructural menor que los muros maestros, pero que igualmente contribuyen al trabajo monolítico integral del edificio. En consecuencia, la organización estructural y sus materiales constructivos permiten que los muros de carga en los edificios históricos, pese a su antigüedad, soporten las diferentes fuerzas internas y externas a las que se enfrenta una estructura [2].

De este modo, el estudio de la organización estructural adquiere una enorme importancia en el marco de las intervenciones sobre edificios históricos, pues contribuye a analizar las diferentes acciones gravitatorias que se generan tanto sobre las vigas como sobre los pisos, así como las diversas tipologías de edificios que se han dado a lo largo de la historia (por ejemplo, las viviendas y los edificios públicos constituyen tipologías diferenciadas).

Desde el punto de vista histórico, las primeras estructuras aparecen en las construcciones del Neolítico, como las viviendas descubiertas en el yacimiento arqueológico de Catal Hüyük, situado en la provincia de Anatolia (Turquía) y datado hacia el 7.500 antes de Cristo. Se trata de un conjunto de viviendas de adobe con muros de interiores revestidos, que ofrece uno de los ejemplos más antiguos que se conocen de utilización de muros de carga en la arquitectura. Con el desarrollo de las grandes civilizaciones antiguas, se realizan obras como la gran pirámide de Keops, datada hacia el 2.500 antes de Cristo. Esta pirámide fabricada en piedra llegó a ser, en la época de su construcción, el edificio más alto del mundo. La civilización romana impulsó grandes avances en el diseño de las estructuras, como la construcción del Coliseo hacia el año 70 después de Cristo, el cual se concibió como un anfiteatro de hormigón y ladrillo revestido de

piedra. Sin embargo, hacia el año 125 se alcanza un nuevo hito en la historia de la arquitectura con el Panteón de Roma (Fig. 1), un edificio cuyo diseño estructural no podría superarse hasta muchos siglos más tarde, pues albergó la mayor cúpula nervada del mundo hasta el siglo XVIII [3].

En el siglo XV, con la aparición del Renacimiento italiano, se consolida el uso de la perspectiva y de los medios de representación verosímil de la realidad, de modo que los pintores comienzan a colaborar con los constructores. En esta época se produce un intercambio de funciones entre ambos gremios de profesionales, pues los constructores dibujan y los pintores se dedican a la construcción. Unas décadas más tarde, en el siglo XVI, cuando florece el Renacimiento español, se construyen edificios monumentales como el palacio de Carlos V en Granada, diseñado por el pintor Pedro Machuca, que pertenecía al círculo artístico del papa León X; de hecho, numerosos historiadores del arte consideran este palacio como uno de los mejores edificios de su tiempo. De esta forma nace la creación arquitectónica como un proceso que comienza en la idea, pasa por el dibujo y desemboca en la construcción, pues hasta ese momento la arquitectura se había construido sin la ayuda del dibujo.

A partir del siglo XIX, los avances tecnológicos de la revolución industrial permiten que los edificios utilicen nuevos materiales y alcancen dimensiones desconocidas hasta entonces. Surgen grandes edificios como el Palacio de Cristal de Londres, construido por el arquitecto Joseph Paxton en 1851; en la ejecución de esta obra, se ensamblaron piezas prefabricadas de vidrio y de hierro forjado sobre una superficie total de 90.000 metros cuadrados. Hacia la segunda mitad de este siglo, varias innovaciones cambiaron radicalmente las técnicas constructivas: por ejemplo, en 1850

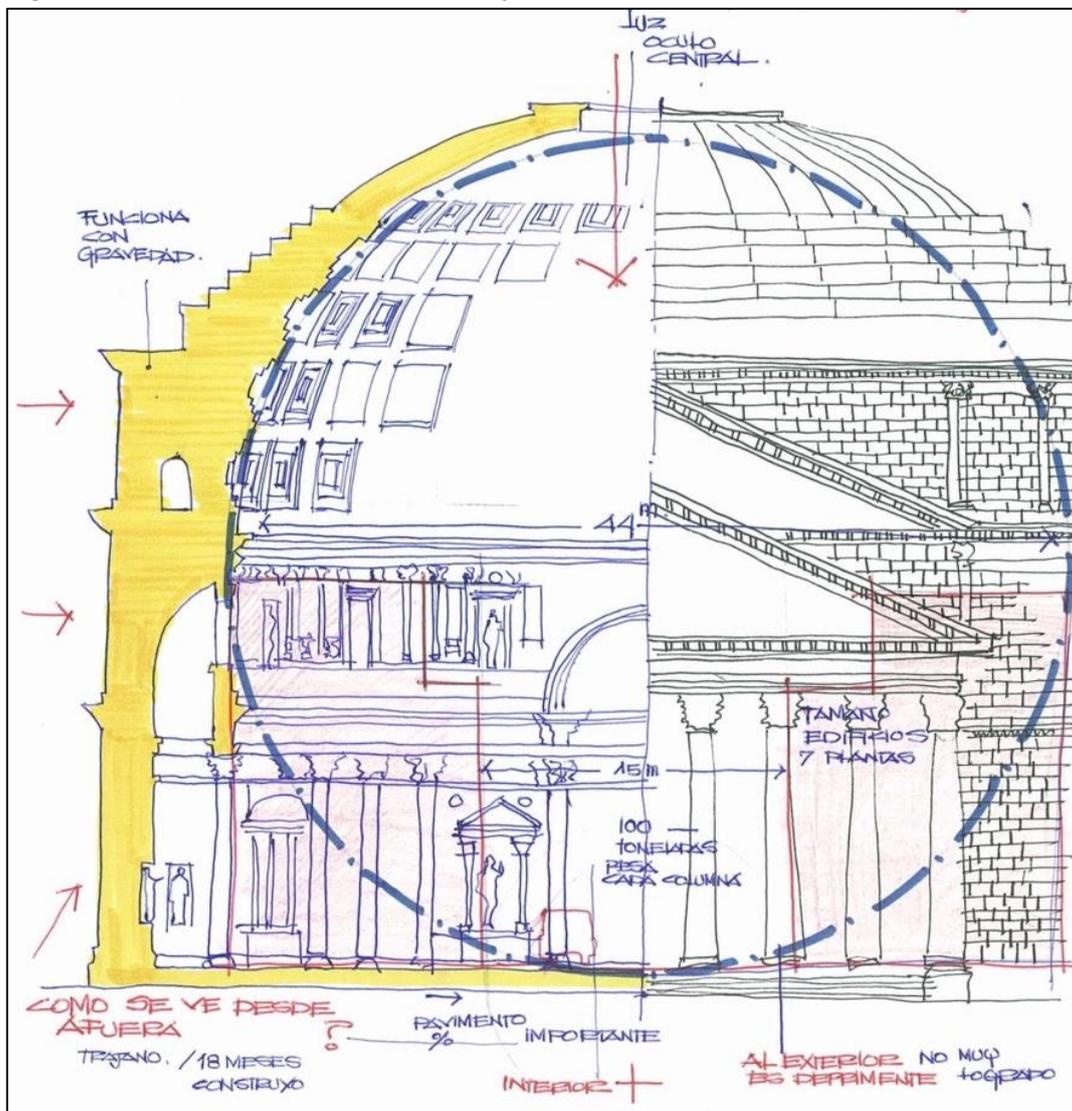
**Una aproximación educativa al aparejo en los edificios históricos como elemento estructural y formal del patrimonio arquitectónico**

Vinicio Velásquez Zambrano, Álvaro Guzmán Rodríguez, Gabriela Mejía Gómez, Ramiro Rosón Mesa

Waterman inventó el ascensor, en 1856 se inició la fabricación de acero a gran escala y en 1867 Monier patentó el hormigón armado. Este fabuloso desarrollo tecnológico, que prosiguió de forma incansable en el siglo XX, facilitarían que en el año 2000 se pudiera construir una estructura tan imponente como la del Taipei 101 de Taiwán que, durante algunos años, con sus 509 metros de altura, se mantuvo como el edificio más elevado del mundo.

Sin embargo, más allá de sus variaciones históricas, las estructuras han conservado ciertos rasgos comunes en todo momento y

lugar: se trata del equilibrio estable, la resistencia y la rigidez. Ninguna estructura puede olvidarse de las dos primeras (el equilibrio estable y la resistencia) si pretende mantenerse en el tiempo, pero el cumplimiento de la tercera condición (la rigidez) puede variar según el caso, pues todo edificio se deforma cuando se encuentra sometido a unas condiciones de uso determinadas. Por lo tanto, existen ciertos elementos, como el material, el tamaño y la forma del edificio, que resultan decisivos para entender su comportamiento estructural.



**Fig. 1.** Cúpula del Panteón de Roma. Fuente: Vinicio Velásquez Zambrano

## 2. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

En lo relativo a los muros de carga, el conocimiento de los procesos patológicos y de sus lesiones derivadas constituye un requisito necesario para determinar la patología que permitirá diagnosticar el origen de dichos procesos. En este sentido, se pueden distinguir cuatro grandes tipos de procesos patológicos: las lesiones debidas al pandeo, las originadas por el agotamiento de la fábrica, las generadas por las cargas puntuales y las causadas por el giro de los muros. Según Lozano Apolo y Martínez-Luengas Lozano, el estudio de los procesos patológicos en los muros debe realizarse en las siguientes fases, con una metodología casi idéntica a la que utiliza la ciencia médica para el organismo humano:

- a) Definir la lesión en cuestión y explicar el proceso patológico.
- b) Determinar el síndrome que plantea la lesión y las precauciones que se deben tomar, mientras se estudia la patología que permita emitir un diagnóstico sobre la enfermedad.
- c) Recomendar una terapéutica preventiva, a nivel de proyecto y de ejecución, para evitar la aparición de la enfermedad [4].

### 2.1 Lesiones debidas al pandeo

Las lesiones debidas al pandeo son las deformaciones que se producen cuando un muro supera la conocida como carga crítica (es decir, el valor de carga a partir del cual el muro pierde su estabilidad, como lo formuló el matemático Leonhard Euler), de modo que el plano de la fábrica se torna inestable.

A la hora de estudiar su proceso patológico, debe tenerse en cuenta que los muros sometidos a compresión axial son muy

sensibles al descentramiento de su directriz rectilínea o de su plano director. En la práctica, debido al carácter heterogéneo de estos elementos estructurales, el valor de la carga crítica se reduce de forma considerable, aumentando al mismo tiempo las posibilidades de pandeo y de colapso. Esta situación se da especialmente cuando los muros de mampostería o de ladrillo se exfolian por razones constructivas, dividiéndolos en dos o más hojas, de modo que se facilita su construcción, pero se genera un grave inconveniente: el valor de la carga que puede causar la inestabilidad se reduce de forma drástica, por lo que el muro encuentra enormes dificultades para soportar la compresión axial sin deformarse. Por ejemplo, siguiendo la fórmula de Euler, en el caso de un muro exfoliado en dos, tres o cuatro hojas, la carga de pandeo y de colapso sería, respectivamente, la cuarta, la novena o la dieciseisava parte de la que correspondería a un muro compacto, construido sin exfoliaciones [5].

En cuanto a la sintomatología de las lesiones debidas al pandeo, cabe destacar que, cuando la lesión se produce en las testas del muro o en secciones transversales, la exfoliación se manifiesta con una fisura vertical de amplitud variable. La amplitud de esta fisura aumenta hacia su centro, donde alcanza su valor máximo, y disminuye hacia los extremos. Sin embargo, a menudo las fisuras no aparecen al exterior, debido a la presencia de sillares o de "llaves" en las testas, en los huecos o en las esquinas de los muros. En estos casos, el pandeo generado en las secciones interiores suele manifestarse con abultamientos que sobresalen del paño del muro, con un alzado más o menos circular y una superficie cóncava, separada de otra superficie convexa por una línea de inflexión. Estas lesiones pueden identificarse con relativa facilidad, porque resuenan como un objeto hueco cuando se golpea el muro con un martillo.

Las precauciones que deben adoptarse ante las lesiones de pandeo varían según la gravedad del problema. Cuando la dimensión máxima de estas lesiones supera la mitad de la altura entre plantas, pueden ocurrir dos situaciones alternativas. Dado que el muro se acorta en la zona afectada, el valor de carga se puede transferir a otras zonas del mismo, impidiendo el agravamiento de la lesión. Pero igualmente puede suceder que esas otras zonas del muro se sobrecarguen, provocando su desdoblamiento y, por lo tanto, su colapso inminente. Este doble riesgo aconseja que en estos casos se realice el desalojo del inmueble. Al mismo tiempo, para evitar el colapso del muro se debe proceder de inmediato a su descarga, apuntalando los forjados y las jácenas y recimbrando los arcos o las bóvedas que descansan sobre el mismo [6].

## 2.2 Lesiones debidas al agotamiento del muro

En este tipo de lesiones, el agotamiento de uno de los dos componentes del muro (sobre todo los morteros, aunque en ocasiones este fenómeno se produce en los ladrillos o los mampuestos) provoca el deterioro de este elemento estructural, llevando el edificio, por lo general, a un estado límite de utilización. Si más tarde el agotamiento afecta al otro componente del muro, se llegará a la ruina del edificio, por lo cual este tipo de lesiones posee una gran trascendencia.

En cuanto a su proceso patológico, se pueden generar dos procesos de agotamiento, en función de que el componente afectado sea el mortero o sean los ladrillos o mampuestos. El primer proceso (el que afecta al mortero) se compone de las siguientes fases:

a) El mortero pierde la cohesión y se disgrega, de modo que los agentes atmosféricos lo eliminan de las juntas exteriores. Esta fase se evidencia sobre todo en las cornisas de los

edificios, donde además las fuerzas de la gravedad actúan de forma directa.

- b) Las tensiones aumentan en las juntas verticales y en las inclinadas, dado que la sección resistente disminuye. En consecuencia, la disgregación y la pérdida de mortero avanzan con lentitud, pero de forma continua.
- c) Cuando desaparecen las juntas, los ladrillos o mampuestos se acomodan apoyándose los unos en los otros. En este momento surgen deformaciones en el muro y se alcanza el estado límite de utilización del edificio, lo cual puede suceder con mucha rapidez, a diferencia de la fase anterior [7].

En el segundo proceso, los ladrillos o mampuestos comienzan a disgregarse (por ejemplo, cuando se trata de ladrillos poco cocidos o mampuestos fabricados con areniscas poco consolidadas), por la acción conjunta de los esfuerzos internos y de los agentes externos que soporta la estructura. Estos síntomas patológicos pueden pasar inadvertidos o resultar de difícil localización por aparecer en el interior del muro, por lo que se trata de lesiones de especial gravedad.

La sintomatología del primer proceso se caracteriza por los siguientes rasgos: la pérdida de pasta en las llagas, la disgregación del mortero en las juntas horizontales y el sonido amortiguado o hueco frente a los impactos. La pérdida de pasta en las llagas, como ya se ha comentado, se debe a los agentes externos (agua, viento, heladas, etc.), que se suman a las fuerzas de la gravedad. La disgregación del mortero en las juntas horizontales se ocasiona debido a la pérdida de la cohesión entre partículas, provocando que la pasta se deshaga y adquiera un aspecto harinoso cuando se rascan las llagas con un objeto metálico

puntiagudo. El sonido amortiguado o hueco frente a los impactos se genera cuando se golpean los ladrillos o mampuestos con un martillo, evidenciando la pérdida de la trabazón en el interior del muro [8].

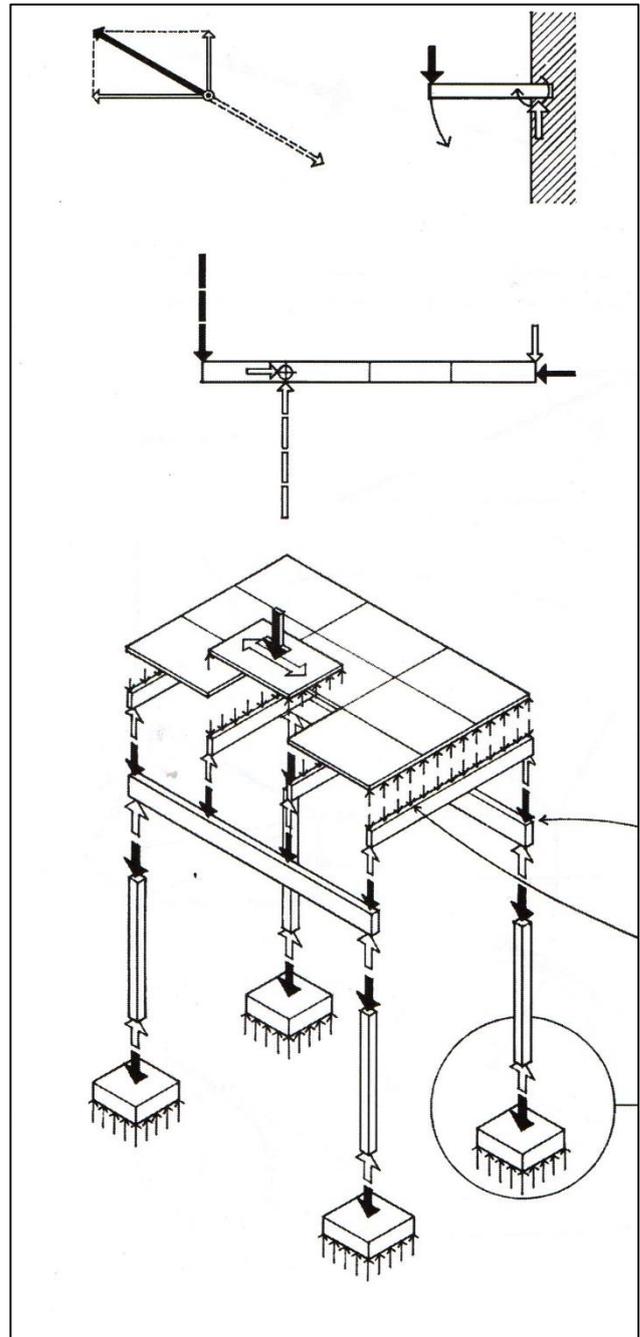
La sintomatología del segundo proceso se compone de los siguientes rasgos: la acomodación de los ladrillos o mampuestos afectados, los abombamientos en los paños exteriores y el agotamiento de los ladrillos o mampuestos. La acomodación de los ladrillos o mampuestos afectados se produce cuando desaparece el mortero de las juntas, de modo que los ladrillos o mampuestos colindantes se acomodan y se producen movimientos locales en el muro. Si la pérdida de mortero se generaliza, la acomodación de los mampuestos se manifiesta a través de los abombamientos en los paños exteriores. Por último, en el agotamiento de los mampuestos aparecen fisuras verticales como paso previo a la rotura a compresión de los componentes del muro [9].

En estos casos deben adoptarse precauciones como el desalojo inmediato del inmueble, el cimbrado de los arcos o las bóvedas que descansan sobre el muro, el apuntalamiento de los dinteles, el refuerzo o tapiado de los huecos, para aumentar la superficie de descarga y disminuir las tensiones, el acodamiento de la parte del muro situada por encima de la zona dañada y el entablillado cuando se aprecian abombamientos en el muro, para evitar su autodemolición. Sin embargo, muchas de estas precauciones no consisten más que en apuntalamientos provisionales del muro, mientras se analiza, se ejecuta o se costea su reestructuración definitiva.

### 2.3 Lesiones debidas a cargas puntuales

En algunas ocasiones, los muros reciben cargas puntuales por medio de jácenas o cargaderas. Por una serie de causas, el material constructivo se desgasta bajo el punto de aplicación de la

carga, de modo que surgen diversas anomalías que constituyen las lesiones debidas a cargas puntuales.



**Fig. 2.** Cargas puntuales a las que se ve sometido un pórtico con columnas. Fuente: Vinicio Velásquez Zambrano

El proceso patológico de estas lesiones se debe a que, generalmente, los muros de fábrica soportan las acciones de la cubierta, de los pisos y de su propio peso, como cargas repartidas de manera uniforme, pero la necesidad de ampliar recintos entre muros o la presencia de huecos en los mismos exigen la colocación de jácenas o de cargaderos que les transmiten cargas puntuales. Este proceso de agotamiento debido a cargas puntuales (Fig. 2) suele presentar las siguientes fases:

- a) Cuando disminuye el espesor del mortero o se rebasa su capacidad portante, se reduce el espesor de las juntas situadas bajo el punto de aplicación de la carga. Esta fase comienza con pliegues horizontales en la pintura y termina con la expulsión de la pasta de las juntas.
- b) A continuación, el otro componente del muro (es decir, los ladrillos o mampuestos) se acorta, dilatándose en dirección transversal, y aparecen fisuras uniformes y verticales que van creciendo en número y amplitud a lo largo del tiempo.
- c) Por último, las fisuras se enlazan y se unifican, de modo que los componentes del muro se fracturan, surge el efecto de pandeo y se aprecia un peligro de colapso inmediato del edificio.

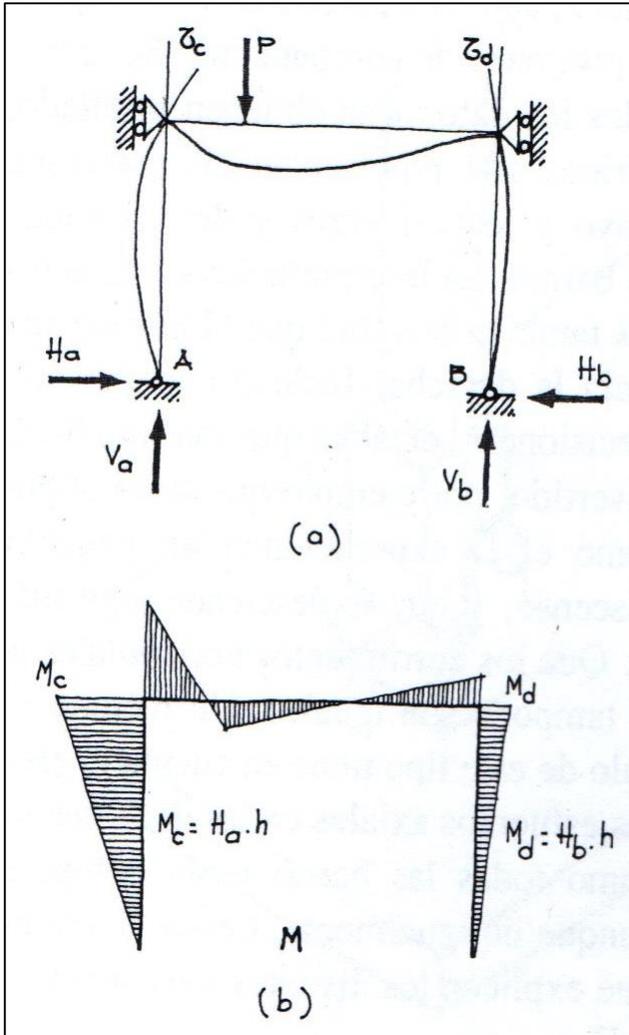
En cuanto a la sintomatología, el proceso de agotamiento debido a cargas puntuales se manifiesta con diversos síntomas a medida que avanza. En la primera fase del proceso, se forman pliegues horizontales en el revestimiento y se expulsa el mortero de las juntas situadas bajo el punto de aplicación de la carga. En la segunda fase, se descubren fisuras verticales muy repartidas por todo el muro. Debido a la influencia del esfuerzo rasante, pueden iniciarse grietas con un ángulo de cuarenta y cinco grados a partir del encastrado, adoptando una dirección vertical posteriormente. De igual

modo, se producen desdoblamientos bajo los apoyos de las carreras. En el caso de los cargaderos, la falta de enlazabilidad entre sus hojas provoca una grieta vertical que las separa longitudinalmente, aumentando el riesgo de pandeo en cada una [10].

En estos casos, se puede adoptar una variada gama de precauciones según la fase del proceso de agotamiento en que se encuentre el muro, desde la no intervención, cuando el proceso se encuentra en su primera fase o se trata de un edificio deshabitado, hasta el apuntalamiento de las jácenas o los cargaderos. Al mismo tiempo, deben suspenderse las reformas del edificio o las excavaciones que se lleven a cabo en sus inmediaciones, hasta investigar las causas del deterioro. Cuando fallan los muros, el apuntalamiento de las jácenas puede realizarse con un puntal único, si no afecta al uso del edificio y se apoya directamente sobre el terreno; de forma indirecta, a través de un cargadero y dos puntales, para no interferir la circulación de personas; o de forma directa, a través de varios puntales que transmiten al terreno cargas repartidas de manera uniforme. Cuando se han agotado los machones, se debe proceder al acodamiento de los huecos adyacentes y, cuando se reconocen fallos en columnas o soportes, el apuntalamiento debe realizarse directamente, situando puntales bajo las jácenas, o con cimbras si se trata de arcos.

## 2.4 Lesiones debidas al giro

Cuando un muro sufre empujes horizontales o rota su plano de cimentación, pierde su verticalidad girando en torno a este último. En estos casos, aparece un síndrome conocido como lesiones debidas al giro o a la rotación. Se distinguen dos procesos patológicos diferenciados según el origen de la lesión: el causado por empujes horizontales y el causado por el giro del plano de cimentación (Fig. 3)



**Fig. 3.** Empujes a los que se ven sometidos los muros.  
Fuente: Vinicio Velásquez Zambrano

En el proceso causado por empujes horizontales, los muros soportan esfuerzos centrados o con ligeras excentricidades. No obstante, cuando se los somete de forma accidental a empujes o esfuerzos horizontales, disminuye su capacidad de enlazarse con los muros transversales y giran respecto a los mismos. Este giro se mide por el ángulo de rotación que el plano del muro forma con la vertical. Al mismo tiempo, la pérdida de la enlazabilidad con los muros transversales suele manifestarse a través de grietas, cuya amplitud coincide con el ángulo de rotación mencionado.

Estas grietas se inician con una directriz vertical que más tarde se convierte en una parábola orientada hacia la acción estructural que provoca la lesión y, por lo tanto, en dirección contraria al muro que gira.

En el proceso ocasionado por el giro de los muros, se produce una rotación del plano de cimentación. Las grietas abiertas en los muros transversales presentan una directriz parabólica, como las que surgen en el proceso causado por empujes horizontales, pero se orientan hacia el muro que gira (es decir, en dirección contraria a las anteriores). La curvatura de la directriz parabólica dependerá de la enlazabilidad entre los muros, de su constitución y de la posición y magnitud del esfuerzo causante. En algunos casos, cuando el empuje es superior a la cohesión entre los componentes del muro, se generan deformaciones en el punto de aplicación de la carga o desplazamientos relativos.

La sintomatología que se evidencia en ambos procesos se define por la aparición de grietas, que al principio muestran una directriz vertical y más tarde se curvan de acuerdo con la enlazabilidad entre el muro afectado y los transversales. Como se ha descrito, la curvatura de las grietas se orienta en dirección contraria o hacia el muro afectado, en función de que se trate de una lesión debida a empujes horizontales o al giro del plano de cimentación. Las viguetas o vigas que se apoyan en los muros de carga salen de su encastre y se produce una separación entre los rodapiés y las paredes. Asimismo, se produce una rotura en la clave o en los riñones de las bóvedas o arcos que descargan sobre el muro afectado, lo cual se acentúa con la altura de los pisos. En algunas ocasiones, sobre todo cuando no existe la traba necesaria, el muro se abomba o deforma en el punto de aplicación del empuje.

En cuanto a las precauciones que deben tomarse, en primer lugar debe medirse la

importancia de la lesión (esto es, determinar si se trata de un problema grave o de un giro de escasa importancia). Cuando se trata de un problema grave, se debe adoptar una serie de medidas de emergencia: desalojar el edificio, apuntalar el muro, acodalar los forjados que se apoyen en el mismo y cimbrar los arcos o bóvedas que descarguen en aquel. A continuación, se debe comprobar si se trata de una lesión antigua ya estabilizada o si el proceso de deterioro continúa. Por este motivo, se necesita colocar testigos a lo largo de las grietas, para verificar si no sufren variaciones o, por el contrario, siguen creciendo. Cuando se trata de una lesión leve cuya actividad se ha detenido, se puede repararla sin tomar ninguna precaución, pero si se trata de una lesión leve cuya actividad continúa se le debe realizar un seguimiento exhaustivo, para tomar las precauciones necesarias cuando se convierta en una lesión grave [11].

### **3. RESULTADOS**

Las lesiones debidas al pandeo se originan a través de varias causas, como defectos de diseño, errores de cálculo, ejecuciones defectuosas o heterogeneidad de los materiales constructivos. Entre los defectos de diseño, los más frecuentes son la descarga de arcos o bóvedas no compensados, la proyección de columnas o muros con esbelteces superiores a quince y el uso de mampostería ordinaria o muros capuchinos sin la traba adecuada. Los errores de cálculo, generalmente, se deben a una evaluación defectuosa de las acciones que deberá soportar el muro, a la existencia de cargas superiores al valor de la carga crítica o al hecho de no tomar en cuenta las excentricidades. La ejecución defectuosa suele consistir en la mala confección de los morteros, así como en la falta de riego de ladrillos y mampuestos. Por último, la heterogeneidad de

los materiales constructivos también influye en la producción de las lesiones de pandeo, sobre todo en los muros de mampostería que incorporan un núcleo interior de ripio y que se encuentran en las fachadas, acusando una gran sensibilidad a este problema [12].

Las lesiones debidas al agotamiento de los muros aparecen por las siguientes causas: el envejecimiento de los componentes del muro, la falta de adherencia entre el mortero y los ladrillos o mampuestos, las tensiones excesivas, las temperaturas extremas, la heladicidad, la heterogeneidad de los materiales constructivos, las vibraciones, las reformas incontroladas, la contaminación atmosférica y la acción de los vegetales. En cuanto al envejecimiento de los componentes del muro, debe tenerse en cuenta que, si bien la resistencia del mortero aumenta al principio y se estabiliza más tarde, sus partículas van perdiendo la cohesión que las vincula. En otros casos, el mortero desaparece por la cristalización de sales minerales o los mampuestos o ladrillos envejecen. La falta de adherencia entre el mortero y los ladrillos o mampuestos se genera al mismo tiempo que la pérdida de cohesión, a lo cual contribuyen otros factores, como la textura de ciertas piedras y la vitrificación (es decir, el exceso de cocción en los ladrillos). Asimismo, este problema se presenta cuando los ladrillos no se mojan y absorben el agua del mortero que se necesita para la hidratación del cemento.

Las tensiones excesivas generan un incremento de la carga permanente o causan una sobrecarga del muro. Las temperaturas extremas pueden afectar al mortero en sus primeras horas de vida, provocando que el agua necesaria para la hidratación del cemento se congele por el frío o se evapore por el calor, disminuyendo su resistencia, su cohesión y su adherencia. La heladicidad (esto es, los procesos de formación de hielo y deshielo)

puede causar la disgregación del mortero y la rotura de ladrillos vistos o de piedras porosas. La heterogeneidad de los materiales constructivos y el espesor de las juntas influyen de forma decisiva en la durabilidad de los muros, salvo en los muros de sillería, donde las juntas poseen espesores y tensiones uniformes.

Las vibraciones que ocasionan el tráfico rodado y la presencia de máquinas en los edificios también inducen a una lenta disgregación de los morteros. Las reformas incontroladas pueden dañar el edificio con huecos abiertos, huecos cegados e incorporación de materiales constructivos diversos. La contaminación atmosférica también influye sobre la degradación de los muros, pues los gases como el dióxido de carbono, el dióxido de azufre y el trióxido de azufre se combinan con el agua, produciendo ácidos que atacan a los elementos estructurales. Finalmente, la acción de los vegetales se manifiesta sobre todo en las semillas esparcidas por el viento o por las aves, que pueden germinar sobre los muros, disgregando los morteros a largo plazo, y en las raíces de los arbustos, que pueden desorganizar o causar empujes sobre los materiales constructivos [13].

Para investigar las posibles causas de las lesiones debidas a cargas puntuales, deben considerarse las condiciones de equilibrio entre la carga que una viga transmite a una sección, generando una determinada tensión en esta última. Por lo tanto, se necesita verificar si se han producido aumentos de la carga, disminuciones de la tensión o insuficiencia de la sección. Los aumentos de la carga pueden deberse a reformas en altura o en superficie, cambios de uso o transferencias de cargas que proceden de otra parte de la estructura. La disminución de la tensión puede generarse por la mala calidad de los materiales constructivos, la defectuosa puesta en obra, la falta de trabazón o la simple

vejez de la estructura. Por último, la insuficiencia de la sección se origina por la evaluación incorrecta de las acciones que debe soportar el muro, los errores de cálculo o las pérdidas de materiales constructivos.

En cuanto a las lesiones debidas al giro, se necesita analizar sus posibles causas antes de ejecutar su reparación. En primer lugar, se debe determinar si las lesiones se deben a empujes o a cesiones del terreno. Cuando se deben a empujes, la investigación debe comenzar en las cubiertas y seguir hacia abajo, pues los movimientos serán mayores cuanto más alto se encuentre el punto de aplicación de las cargas. En las cubiertas se debe comprobar si existen roturas y alargamientos en los tirantes de las armaduras, así como desarreglos en sus nudos. Las zonas intermedias deberán inspeccionarse por si hubiera anomalías en los apoyos de los jabalcones o de los acodalamientos. En las sucesivas plantas del edificio, se deberá verificar si el esfuerzo proviene de forjados sometidos a fuerzas horizontales o de empujes de otros elementos. Los arcos o bóvedas deberán inspeccionarse en busca de fisuras en sus claves o sus riñones. Por último, se deberá revisar en todo el edificio si se han producido cambios en la estructura o en las sobrecargas [14].

En los muros de contención, el giro puede deberse a varias causas: los empujes superiores a los previstos; las sobrecargas excesivas en la superficie exterior; los empujes hidrostáticos sin red de drenaje; los errores de diseño o de cálculo y el efecto de acuñado del relleno de tierras del trasdós. Este último problema se percibe especialmente cuando en los muros se utiliza un relleno a base de arcillas, que sufre ciclos periódicos de hinchado en invierno y merma en verano.

Si el giro del muro lo transmite el plano de sustentación, puede originarse por las siguientes causas: la presencia de agua por la rotura de conductos, riegos o infiltraciones; la realización de zanjas o excavaciones en las profundidades; la existencia de raíces por debajo del plano de cimentación o el empuje debido al crecimiento de árboles.

#### **4. CONCLUSIONES**

La terapéutica preventiva que debe aplicarse para evitar las lesiones de pandeo se divide en tres aspectos: diseño, cálculo y ejecución. En cuanto al diseño, se recomienda proyectar los muros y machones con esbelteces, disponer llaves y aparejar las esquinas. En el proceso de cálculo, se aconseja evaluar con especial cuidado las acciones que soportarán los muros, así como sus posibles excentricidades. En lo relativo a la ejecución, conviene emplear morteros bien dosificados y uniformar el espesor de sus juntas, mojar los mampuestos o los ladrillos, para que no absorban el agua necesaria para la hidratación de los morteros, utilizar los materiales constructivos de la manera más homogénea posible y, en los casos de muros exfoliados, cuidar la trabazón entre sus hojas.

La rehabilitación de estas lesiones varía en función de dos supuestos: cuando la zona pandeada afecta a varias plantas del edificio y cuando solo afecta a una planta. En este último caso, además, se distinguen dos situaciones: cuando el pandeo genera una inflexión biconvexa y cuando genera una inflexión cóncava-convexa. En el primer supuesto, la consolidación se lleva a cabo disponiendo tirantes a nivel de cada planta, así como pletinas que afecten y enlacen a una o más plantas. En el segundo supuesto, cuando el pandeo

aparece con una inflexión biconvexa, debe realizarse una operación de cosido, mientras que, si se trata de una inflexión cóncava-convexa, el único remedio consiste en la demolición parcial del muro y su sustitución por bataches.

En cuanto a la terapéutica preventiva o curativa que debe aplicarse en las lesiones causadas por el agotamiento del muro, se necesita adoptar medidas en las fases de cálculo y de ejecución de la obra, así como medidas de protección y conservación de los edificios. En la fase de cálculo se deben valorar correctamente las acciones que va a soportar el muro, tomando en cuenta las hipótesis de carga más desfavorables, así como las reacciones isostáticas, las hiperestáticas y el flexopandeo, para diseñar un elemento estructural resistente a las fuerzas internas. En la fase de construcción se deberán adoptar ciertas precauciones para reforzar los componentes del muro. Se deberán utilizar morteros adecuados a la resistencia de los materiales constructivos y ladrillos o mampuestos que alcancen un nivel suficiente de adherencia al mortero, mojándolos previamente para que no absorban el agua necesaria para la hidratación del cemento. No se debe construir durante las heladas y, si la obra se ejecuta con tiempo caluroso, se recomienda proteger los materiales constructivos con arpilleras mojadas. Asimismo, se deberá procurar que dichos materiales sean lo más homogéneos posibles, reduciendo su heterogeneidad. Por último, en cuanto a la protección y conservación de los edificios, se encuentran algunas medidas que resulta difícil aplicar a nivel individual, pues en gran parte dependen de las decisiones de los poderes públicos (por ejemplo, la reducción de la contaminación atmosférica o de las vibraciones del tráfico urbano), pero otras, como el mantenimiento de los enlucidos, deberían ser obligatorias para los propietarios de inmuebles [15].

La terapéutica idónea para las lesiones generadas por cargas puntuales deberá adoptarse en función de varios factores, como el carácter histórico o artístico del edificio, su tipología y organización estructural y sus materiales constructivos. Si el valor patrimonial del edificio y su organización estructural lo permiten, el remedio más cómodo, seguro y sencillo consiste en instalar un apeo definitivo (es decir, transmitir la carga vertical a la cimentación mediante un pie derecho metálico o de hormigón, adosado al elemento dañado o incorporado a su interior). Sin embargo, esta solución resulta inviable en el caso de columnas o pilastras: para las primeras se recomiendan los anillos metálicos y para las segundas los zunchos, que impiden la dilatación transversal, frenando el proceso de agotamiento, y aumentan la capacidad portante de la sección. En todo caso, cuando se aprecia un nivel de degradación avanzado, se aconseja sustituir estos elementos estructurales por otros nuevos.

La terapéutica preventiva o curativa que deberá aplicarse a las lesiones provocadas por el giro varía según la causa que produzca el giro en el muro. Cuando este giro se debe a empujes, se aconseja intervenir sobre las cubiertas reparando los tirantes, los nudos o los apoyos de las armaduras. En los niveles intermedios del edificio pueden encontrarse lesiones causadas por el apoyo de codales o jabalcones, de modo que en estos casos se deberán sustituir las jácenas si resulta posible. En cuanto a los pisos, se recomienda modificar los forjados, si las condiciones del edificio lo permiten, colocando zunchos de atado o atirantados. Los arcos y las bóvedas deberán descargarse a través de vigas o forjados, perdiendo su función estructural para convertirse en elementos decorativos [16].

Cuando el giro del muro se debe a cesiones del plano de cimentación, se deberá sanear el terreno si ha cedido por la presencia de agua.

En caso de que el problema tenga su origen en alguna excavación, se deberán adoptar las medidas necesarias para el relleno o la contención de tierra. Si existen árboles u otros vegetales que han causado el problema, se deberán cortar las raíces y establecer barreras que impidan su crecimiento a través del plano de cimentación.

Finalmente, para reparar el giro en los muros de contención se deben tomar algunas medidas específicas, diferentes a las que se aplican en otros tipos de muros. Si el giro se ha debido a las sobrecargas, se aconseja limitar las mismas y, si lo ha provocado un empuje de carácter hidrostático, se recomienda sanear y reconstruir el drenaje del muro. Por otro lado, si la rotación del muro se ha originado por los ciclos de hinchado y contracción de la arcilla, se debe rellenar el trasdós con arcilla nueva o introducir arena para aislar la arcilla existente.

## **5. REFERENCIAS**

- [1] Ching, Francis D.K., “Manual de estructuras ilustrado”, pág. 2, 2014.
- [2] Lozano Apolo, Gerónimo, y Martínez-Luengas Lozano, Alfonso, “Curso Técnicas de intervención en el patrimonio arquitectónico”, Tomo 2, pp. 19-45, 2003.
- [3] Cole, Emily, “La gramática de la arquitectura”, págs. 140-141, 2006.
- [4] Lozano Apolo, Gerónimo, y Martínez-Luengas Lozano, Alfonso, “Curso Técnicas de intervención en el patrimonio arquitectónico”, Tomo 2, pág. 35, 2003.
- [5] Lozano Apolo, Gerónimo, y Martínez-Luengas Lozano, Alfonso, op. cit., Tomo 2, pág. 36, 2003.

- [6] Lozano Apolo, Gerónimo, y Martínez-Luengas Lozano, Alfonso, op. cit., Tomo 2, pág. 37, 2003.
- [7] Lozano Apolo, Gerónimo, y Martínez-Luengas Lozano, Alfonso, op. cit., Tomo 2, pág. 39, 2003.
- [8] Lozano Apolo, Gerónimo, y Martínez-Luengas Lozano, Alfonso, op. cit., Tomo 2, pág. 40, 2003
- [9] Lozano Apolo, Gerónimo, y Martínez-Luengas Lozano, Alfonso, op. cit., Tomo 2, pp. 40-41, 2003.
- [10] Lozano Apolo, Gerónimo, y Martínez-Luengas Lozano, Alfonso, op. cit., Tomo 2, pág. 44, 2003.
- [11] Lozano Apolo, Gerónimo, y Martínez-Luengas Lozano, Alfonso, op. cit., Tomo 2, pág. 48, 2003.
- [12] Lozano Apolo, Gerónimo, y Martínez-Luengas Lozano, Alfonso, op. cit., Tomo 2, pág. 37, 2003.
- [13]. Lozano Apolo, Gerónimo, y Martínez-Luengas Lozano, Alfonso, op. cit., Tomo 2, pp. 42-43, 2003
- [14] Lozano Apolo, Gerónimo, y Martínez-Luengas Lozano, Alfonso, op. cit., Tomo 2, pág. 48, 2003.
- [15] Lozano Apolo, Gerónimo, y Martínez-Luengas Lozano, Alfonso, op. cit., Tomo 2, pág. 43, 2003.
- [16] Lozano Apolo, Gerónimo, y Martínez-Luengas Lozano, Alfonso, op. cit., Tomo 2, pág. 48, 2003.