

## El efecto de columna corta o columna cautiva

### ¿Cómo un elemento no estructural puede hacer fallar una columna durante un sismo!

L. Teresa Guevara - Luis E. García

#### Resumen

Prácticamente no ha habido sismo en el contexto mundial donde no se presente una falla debida al efecto de *columna cautiva* o, como la llamaremos de aquí en adelante, *columna corta*. Lo paradójico radica en que la causa de este problema no se debe a la columna en sí, sino a elementos externos a ella que fuerzan a que se comporte de una manera ajena a su modo usual. Este comportamiento anómalo —si es que se puede denominar de esta manera— es la raíz del problema, pues cada uno de los profesionales que definen la columna desde el punto de vista de su forma, localización, dimensiones o características estructurales, tienden a mirarla bajo su propia óptica, olvidándose que es un elemento que hace parte de un conjunto que no es solamente arquitectónico o solamente estructural, sino que pertenece a ambos.

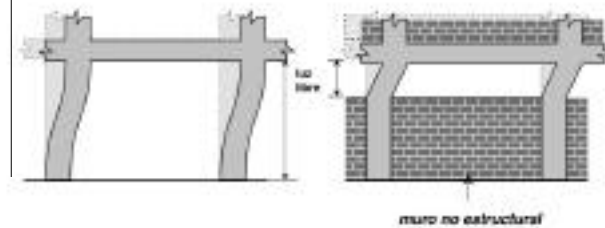
#### Abstract

*The short column or captive column phenomena is presented. This is an accidental modification of the original structural configuration of a column that develops when the clear vertical span of the column is reduced by non-structural elements that restrict the ability of the column to deflect laterally when the structure is subjected to horizontal forces. A summary of the architectural decisions that lead to this type of problem are reviewed. The structural explanation of the behavior is presented. Experimental research related to this behavior is discussed. Recommendations to handle this type of problems are discussed.*

#### ¿En qué consiste el efecto de columna corta?

La columna corta se produce debido a una modificación accidental en la configuración estructural original de una columna. Se presenta cuando en una estructura sometida a fuerzas o solicitaciones horizontales, la luz libre de la columna —distancia libre vertical entre vigas o losas que son soportadas por la columna— se ve disminuida por un elemento, generalmente no estructural, que limita la capacidad de la columna de deformarse libremente en el sentido lateral, como se muestra esquemáticamente en la figura 1, de ahí la denominación de *cautiva*.

Figura 1:  
Columna restringida en su libre desplazamiento lateral



#### Descriptores:

Columna corta;  
Columna cautiva;  
Edificaciones sismorresistentes;  
Componentes no intencionalmente estructurales.

#### Descriptors:

Short column; Captive column;  
Seism resistant buildings;  
Non intentionally structural components.

TECNOLOGÍA Y CONSTRUCCIÓN. Vol. 17-1, 2001, pp. 31-42.  
Recibido el 08/05/00 - Aceptado el 21/06/00

## artículos

Llamamos a estos elementos no estructurales que modifican el comportamiento de los elementos estructurales "no intencionalmente estructurales", referencia [1], porque generalmente no son considerados en el análisis del sistema estructural y se trabaja bajo el supuesto de que la estructura está libre y que puede deformarse sin interacción de los elementos no estructurales. Estos componentes, debido a sus propias características dinámicas y al hecho de no haber sido debidamente separados de los elementos estructurales, al ocurrir un sismo van a tener una participación significativa en el comportamiento del sistema de resistencia sísmica de la edificación.

### Causas arquitectónicas que producen la columna corta

Varias son las causas que conducen a que el valor de la longitud libre para la que fue originalmente diseñada y calculada una columna, se reduzca drásticamente ocasionando una columna corta y, por lo tanto, modificando radicalmente su comportamiento estructural, lo cual comúnmente conduce a la falla de la sección libre de la columna. Véase las fotos 1, 2 y 3.

**Foto 1:**  
Falla por columna corta en Pereira, Colombia, durante el sismo de noviembre 23 de 1979



**Foto 2:**  
Detalle de la foto 1. Falla por columna corta en Pereira, Colombia, durante el sismo de noviembre 23 de 1979



**Foto 3:**  
Falla de columna corta en Armenia, Colombia, durante el sismo de enero 25 de 1999

La reducción en la luz libre de la columna, generalmente se produce por decisiones arquitectónicas, bien sea en el diseño original de la edificación, o debido a modificaciones arquitectónicas o constructivas posteriores, en las cuales no se consulta a un ingeniero estructural.

Las causas más comunes generadas por decisiones arquitectónicas son:

#### 1. Confinamiento lateral parcial en la altura de la columna por elementos rígidos, tales como: muros divisorios internos, muros de fachada, muros de contención, etc.

El caso más común en la formación de columna corta consiste en el confinamiento de una parte de la columna por muros no estructurales.

Generalmente se produce por la necesidad de dejar aberturas para iluminación y ventilación naturales en espacios donde se requiere una restricción en las visuales de un espacio a otro. Las columnas quedan confinadas en su parte inferior por las paredes rígidas, y libres en la parte superior, con una longitud generalmente muy pequeña, correspondiente a la altura de la abertura. Véase las fotos 4 y 5.

Esta configuración es la más común, pues muy a menudo se encuentra en las aulas de las escuelas, depósitos, baños, consultorios médicos, etc. Las paredes no estructurales, en estos casos, son más altas que la altura que generalmente se deja en los antepechos de las ventanas normales y para cumplir con las regulaciones de ventilación e iluminación, las ventanas altas se extienden a todo lo ancho del pórtico, de columna a columna.

**Foto 4:**  
Conformación típica de columna corta



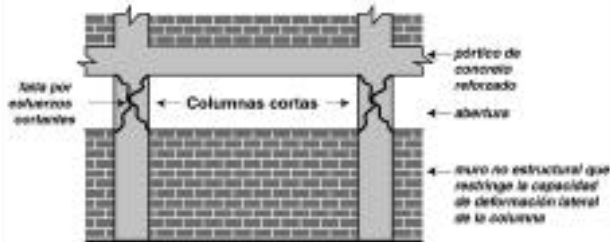
**Foto 5:**  
Conformación típica de columna corta



Es típico que una columna que se encuentre confinada en su parte inferior por muros no estructurales, en el análisis y diseño estructural, haya sido tratada utilizando una altura libre total equivalente a la altura libre del entrepiso, siendo que ahora tiene una altura libre equivalente a la dimensión de la abertura, o sea, mucho menor. De ahí la denominación de "columna cautiva".

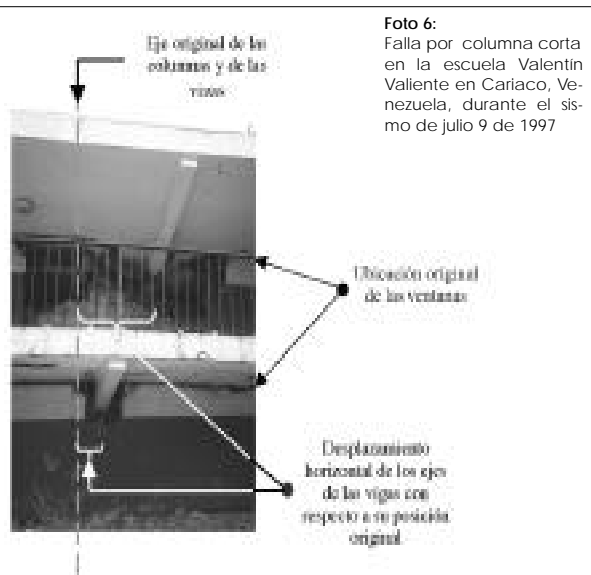
El confinamiento de una parte de la columna por muros no estructurales, hace que dichos muros y la parte de la columna confinada trabajen conjuntamente como un muro rígido y que la pequeña parte que queda libre para la ubicación de las aberturas trabaje como una pequeña columna, la cual recibirá la mayoría de la deformación para la cual fue calculada la columna completa. Véase la figura 2.

**Figura 2:**  
Típica falla por conformación de columna corta en escuelas



Si estos componentes no estructurales muy rígidos no son tratados apropiadamente, es decir, si no se prevén los efectos que puede producir el que haya elementos no estructurales adosados al sistema estructural, se modifica, sin querer, el comportamiento sismorresistente de las columnas produciendo efectos no esperados y, mucho menos, deseados. El muro produce un confinamiento tan efectivo que en general falla primero la columna que este elemento no estructural y, aparentemente, débil. Véase las fotos 6 y 7.

**Foto 6:**  
Falla por columna corta en la escuela Valentin Valiente en Cariaco, Venezuela, durante el sismo de julio 9 de 1997



**Foto 7:**  
Pórtico de esquina en la escuela Valentin Valiente en Cariaco, Venezuela



En la foto 6 se observa cómo al fallar la columna corta, las vigas se desplazan con relación a su posición original y las ventanas quedan aplastadas por las losas que ahora se apoyan sobre los muros "no intencionalmente estructurales". En la foto 7 se puede observar cómo en la misma escuela, en el pórtico de la esquina, la columna exterior, por no estar confinada lateralmente, se deforma, mas no se parte.

## artículos

El confinamiento lateral parcial en la altura de la columna, también es muy común en los conjuntos de vivienda masiva de los años 50, en los que por la moda arquitectónica de la época se incluyen apartamentos tipo "duplex" y cada 3 o 4 pisos se dejan pasillos abiertos para la circulación horizontal que une las entradas de los apartamentos con los núcleos de circulación vertical. Generalmente estos pasillos abiertos se protegen con pretilas que van de columna a columna, confinando éstas hasta cierta altura y dejando libre de movimiento a la otra parte, lo que genera así columnas cortas, como se muestra en las fotos 8, 9,10.

**Fotos 8 y 9:**  
Generación de columnas cortas por pretilas en pasillos, en edificios de vivienda masiva del Banco Obrero, Venezuela, en los años 50.



En las fotos 10 y 11 se observa la falla de las columnas cortas en un edificio, muy parecido a los anteriores, en Ciudad de México en el sismo de 1985.



**Foto 10:**  
Falla de columnas cortas en Ciudad de México, México, durante el sismo de octubre 18 de 1985 (Colección del Earthquake Project, Emergency Service Office of the Governor of California)

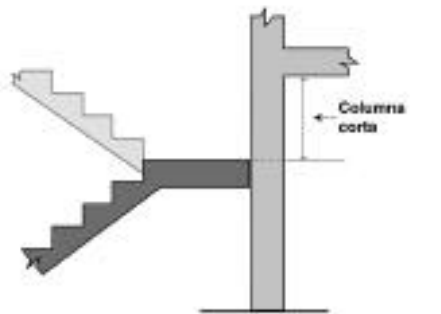


**Foto 11:**  
Detalle de la foto 10. Falla de columnas cortas en Ciudad de México, México, durante el sismo de octubre 18 de 1985 (Colección del Earthquake Project, Emergency Service Office of the Governor of California)

### 2. Acoplamiento de elementos estructurales y no estructurales, en niveles intermedios de la columna

La interacción de elementos estructurales horizontales, tales como las vigas o las losas de los descansos de las escaleras y rampas, y no estructurales, como embonamientos para la protección de tuberías, que entran en contacto con la columna en lugares intermedios de su altura total, como se muestra en la figura 3, puede producir modificaciones en el comportamiento de la columna. Véase las fotos 12, 13 y 14.

**Figura 3:**  
Columna corta causada por el descanso de la escalera



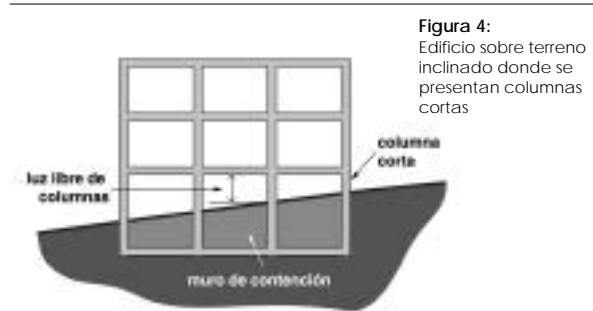
### 3. Ubicación del edificio en terrenos inclinados

La primera losa aérea de entrepiso de un edificio construido sobre un terreno inclinado, generalmente ocasiona que la altura de las columnas que sostienen dicha losa, vaya aumentando de longitud a medida que el terreno se va separando del nivel de la losa de entrepiso, produciéndose en algunos casos, columnas muy cortas. Véase la figura 4 y fotos 15 y 16.

**Foto 12:**  
Falla en columna corta generada por el adosamiento del descanso de una escalera, durante el sismo de Popayán, Colombia, marzo de 1983



**Figura 4:**  
Edificio sobre terreno inclinado donde se presentan columnas cortas

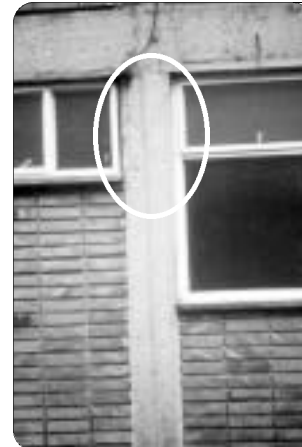


**Foto 13:**  
Generación de columna corta por embonamiento (protección) de tubería que se adosa parcialmente a una columna en estacionamiento de vehículos



**Foto 15:**  
Entrada a estacionamiento de vehículos

**Foto 14:**  
Falla en columna corta generada por el confinamiento parcial de la columna por un elemento muy rígido en el sismo de El Centro, California (Colección del Earthquake Project, Emergency Service Office of the Governor of California)



**Foto 16:**  
Agrietamiento de columna corta generada por desnivel del terreno durante el sismo de Armenia, Colombia, de 1999

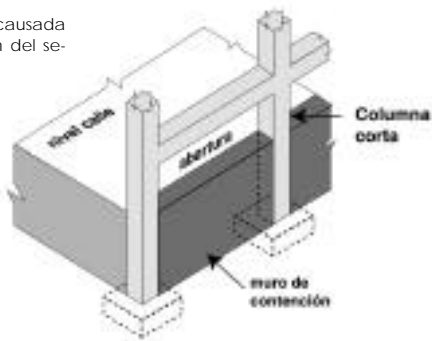
## artículos

Esta modificación accidental en la configuración estructural de las columnas, igualmente puede presentarse en las edificaciones con semisótanos. En estos casos, los muros de contención suben desde la fundación unidos a las columnas, pero al sobrepasar el nivel del suelo en el exterior, son interrumpidos para la ubicación de aberturas que permiten la iluminación y la ventilación naturales, como muestra la figura 5. Véase las fotos 17 y 18.

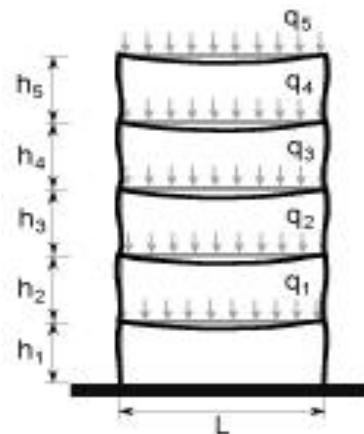
### Explicación estructural

Para entender el fenómeno de columna corta no sobra repasar una serie de conceptos de índole estructural respecto al comportamiento de los pórticos en general y de las columnas en particular. Las deformaciones a los elementos de pórtico que introducen las fuerzas aplicadas varían en su forma y magnitud, según se trate de cargas verticales, tales como el peso propio, la carga muerta, las cargas de acabados y las cargas vivas, o de solicitaciones horizontales, tales como el sismo o el viento.

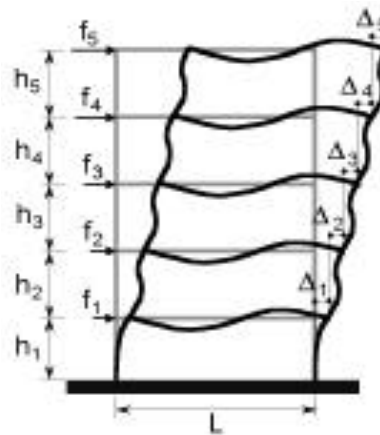
**Figura 5:**  
Columna corta causada por la ventilación del semisótano



**Figura 6:**  
Deformaciones de los elementos de un pórtico

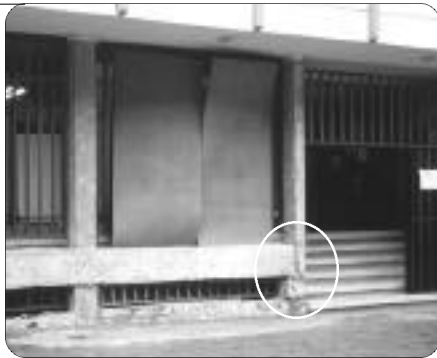


(a) Ante cargas verticales



(b) Ante fuerzas horizontales

**Foto 17:**  
Falla de columna corta generada por la abertura para ventilación de un semisótano en Armenia, Colombia, durante el sismo de enero 25 de 1999



**Foto 18:**  
Columna corta causada por la abertura para ventilación de un semisótano en Pereira, Colombia, durante el sismo de febrero 8 de 1995



En la figura 6 se muestran las deformaciones que tiene un pórtico ante cargas verticales ( $q$ ) y ante fuerzas horizontales ( $f$ ). Allí puede apreciarse que la forma de las deformaciones inducidas por las cargas externas tanto de las vigas como de las columnas son diferentes en los dos casos.

Los dos extremos de una columna cuando el pórtico se ve sometido a cargas verticales — figura 6(a) — se mantienen dentro de la misma línea vertical, a menos que el pórtico sea extremadamente irregular, mientras que en el caso en que se somete a fuerzas horizontales el extremo superior de la columna se desplaza horizontalmente — figura 6(b)— una distancia que se denomina *deriva* ( $\delta$ ), o desplazamiento horizontal relativo entre piso y piso.

Un aspecto muy importante es el orden de magnitud de las deformaciones laterales que tiene la columna en los dos casos. En el caso de las cargas verticales, las desviaciones horizontales de la columna con respecto a su eje vertical son mucho menores que las que tiene la misma columna al verse sometida a las fuerzas horizontales, en cuyo caso son del mismo orden de magnitud de las derivas que se presenten.

En la figura 7 se muestra de una manera ilustrativa esta diferencia en la deformación horizontal con respecto al eje vertical de la columna no deformada. Allí se muestran las fuerzas internas que se presentan en los extremos del elemento —momento flector  $M$ , fuerza axial  $P$  y fuerza cortante  $V$ — y además se han incluido los diagramas de momentos de los dos casos. Debe resaltarse la diferencia en orden de magnitud de la deformación horizontal en cualquier punto del elemento ( $\delta$ ) medida con respecto al eje vertical.

de la columna y, el segundo ( $\delta_d$ ), dependiente directamente de la deriva del piso ( $\delta_p$ ). Indudablemente la deriva es función de la rigidez de la estructura en conjunto, y ésta a su vez de los elementos que la componen, pero obedece también a la masa de la edificación y a los movimientos sísmicos a que se vea sometida la edificación; por lo tanto es un parámetro general del piso o de la estructura y no particular de la columna individualmente. En la referencia [2] se indican algunos procedimientos aproximados para determinar el orden de magnitud de los momentos, inclusive con ejemplos, mientras que los procedimientos para determinar la deriva se dan en el reglamento sismorresistente, referencia [3].

La relación entre los momentos flectores que actúan en los extremos de la columna, y la fuerza, cortante, se obtiene de la aplicación del principio de equilibrio por medio de:

$$V = \frac{M_a + M_b}{h} \quad (1)$$

O simplemente: la fuerza cortante  $V$  corresponde a la suma algebraica de los momentos en los extremos ( $M_a + M_b$ ), dividida por la luz libre de la columna,  $h$ .

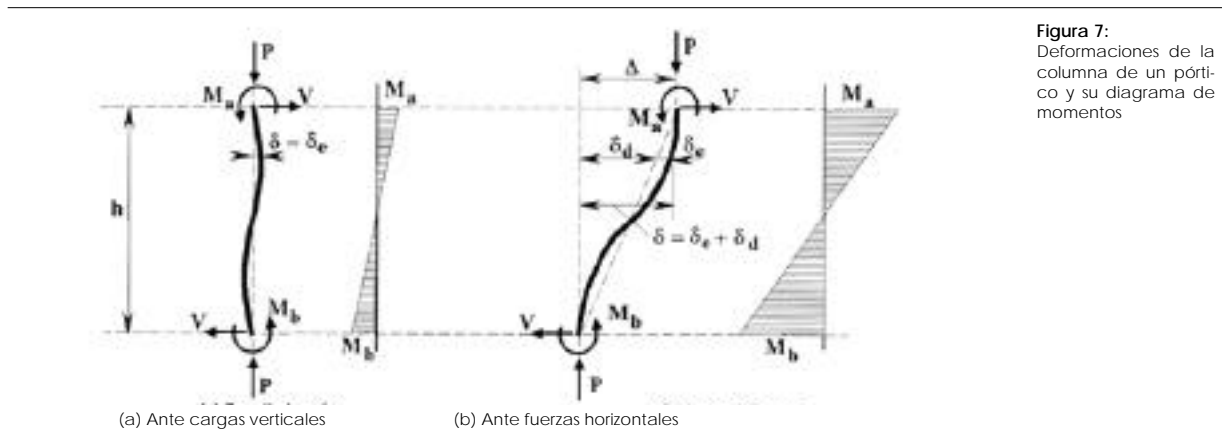


Figura 7: Deformaciones de la columna de un pórtico y su diagrama de momentos

Haciendo referencia a la figura 7, en la columna sometida sólo a cargas verticales, la deformación horizontal depende únicamente de los momentos aplicados y de la rigidez de la columna ( $\delta = \delta_e$ ), mientras que en el caso de fuerzas horizontales está compuesta por la suma de dos factores ( $\delta = \delta_e + \delta_d$ ), el primero ( $\delta_e$ ) relacionado análogamente con los momentos flectores y la rigidez misma

En la columna corta, al reducir la luz libre debido a la presencia de un elemento externo a ella, generalmente no estructural, las fuerzas cortantes que debe resistir la columna se aumentan enormemente. A modo de ejemplo, en un entrepiso típico con 2.5 m de altura libre, el hecho de que se forme una abertura de 0.5 m de dimensión vertical colocando elementos no estructurales a los la-

## artículos

dos de la columna, los cuales sólo llegan hasta 2.0 m de altura, aumentaría 5 veces ( $2.5/0.5 = 5$ ) la fuerza cortante que debe resistir la columna, en comparación con la fuerza cortante obtenida de un análisis estructural que no haya tenido en cuenta la presencia de los elementos no estructurales de altura parcial y la formación de una columna corta debida al vano de la ventana.

Por lo tanto, ¡el elemento no estructural tiene la potestad de controlar la fuerza cortante a que se ve sometida la columna!

¿Por qué no se manifiesta el problema de columna corta debido a las cargas verticales? En realidad sí se presenta, pero dado que los momentos flectores son muy pequeños, las deformaciones laterales son igualmente pequeñas y la presencia del muro no estructural no es sentida por la columna, y sólo se llega a manifestar en situaciones extremas. No es éste el caso de la estructura sometida a fuerzas horizontales, donde los momentos flectores son grandes, las deformaciones laterales de la columna están regidas por la deriva de la estructura, y la presencia del muro no estructural es advertida por la columna produciendo un enorme aumento en la fuerza cortante aplicada a la columna.

En el caso de estructuras sometidas a solicitaciones sísmicas, una de las premisas básicas del diseño sismorresistente moderno, es que se busca que la estructura disipe energía en el rango inelástico, permitiendo al elemento llegar hasta niveles de momento flector correspondientes a esfuerzos cercanos a la fluencia ( $f_y$ ) de las armaduras longitudinales. Esta disipación de energía, la cual ocurre a través de fenómenos histeréticos, es la que permite reducir las fuerzas inducidas por el sismo dividiéndolas por un coeficiente de reducción de respuesta  $R$ , dado que una gran parte de la energía que se manifiesta como vibración se disipa y las fuerzas inerciales producidas por la vibración se reducen.

Para que esta disipación de energía realmente ocurra, deben cumplirse, entre otras, dos premisas fundamentales:

- (a) que el concreto sea capaz de aceptar deformaciones unitarias que van mucho más allá de los niveles de falla del material bajo circunstancias normales, lo cual se logra colocando armaduras transversales de confinamiento en los lugares críticos dentro del elemento, y
- (b) que el elemento no falle a esfuerzos cortantes, lo cual se logra con la disposición de refuerzo transversal adecuado en toda la longitud del elemento.

Para garantizar la segunda premisa, las normas de diseño sismorresistente obligan a determinar la fuerza cortante de diseño ( $V_e$ ) de los valores de los momentos flectores resistentes probables ( $M_{pr}$ ), los cuales se calculan utilizando las armaduras longitudinales que realmente se colocan en el elemento. Estos valores de los momentos flectores resistentes probables deben calcularse empleando 1.25 veces la resistencia a fluencia de las armaduras ( $1.25 f_y$ ) y sin utilizar el coeficiente de reducción de resistencia  $R$ . La fuerza cortante de diseño ( $V_e$ ) se obtiene empleando la misma ecuación (1) pero con los valores apropiados, como se muestra en la ecuación (2):

$$V_e = \frac{(M_{pr})_a + (M_{pr})_b}{h} \quad (2)$$

En resumen, el procedimiento prescrito por las normas sismorresistentes para determinar las fuerzas cortantes de diseño y las armaduras transversales que la deben resistir, se basa en la premisa de que es inaceptable desde todo punto de vista que se presente una falla por esfuerzos cortantes y que para evitarla su valor se obtiene de una forma tal que siempre se presente primero una fluencia de la armadura longitudinal de flexión.

El gran problema de que existan columnas cortas dentro de la estructura es que el valor de la fuerza cortante de diseño que estima el ingeniero estructural, puede ser excedida debido a la reducción de la luz libre que causa el elemento no estructural, pues en la realidad el valor de  $h$  que debería emplearse en la ecuación (2) es el de la luz libre vertical del vano y no el de la luz libre vertical de la columna cuando no existe el elemento no estructural.

### Ensayos experimentales sobre columnas cortas

El número de investigaciones experimentales sobre el fenómeno de columna corta no corresponde a la cantidad de veces que se observa este tipo de problema a raíz de la ocurrencia de sismos. Esto probablemente se debe a que la solución netamente estructural al problema es de dudosa efectividad y en general se prefiere evitar el problema desde el punto de vista arquitectónico. No obstante, se han realizado investigaciones experimentales al respecto, dentro de las cuales vale la pena destacar las siguientes:

#### Investigación realizada en la Universidad de Texas en Austin

A comienzos de la década de 1980 se realizó en la Universidad de Texas en Austin una serie de investigaciones experimentales tendentes a establecer los



parámetros que rigen el comportamiento estructural de columnas cortas y los eventuales procedimientos de diseño que garantizaran una respuesta adecuada cuando la estructura se viera sometida a los efectos de un sismo. En las referencias [4], [5] y [6] se describen los ensayos experimentales y las conclusiones obtenidas.

En esta investigación experimental se ensayaron numerosas columnas cortas ante cargas horizontales cíclicas. Dentro de las conclusiones más importantes que se obtuvieron de esta investigación se encuentran:

- (a) Al comparar columnas sin carga axial con columnas a las cuales se les colocaba una carga axial menor de la carga balanceada, se encontró que esta carga axial aumentaba la rigidez y la resistencia a cargas laterales de la columna. Por el otro lado, esta carga axial aumentaba la degradación de la columna ante cargas cíclicas, una vez se llegaba a su máxima carga lateral resistente.
- (b) Al comparar la respuesta de los ensayos cíclicos con los ensayos monotónicos se encontró que la respuesta a las cargas laterales cíclicas aceleraba la degradación de la columna, una vez se llegaba a la carga lateral resistente.
- (c) Al ensayar columnas con diferentes espaciamientos de sus estribos (30 cm contra 6.5 cm) se encontró que las resistencias a esfuerzos cortantes eran prácticamente insensitivas al espaciamiento de los estribos, indicando que la resistencia al corte depende casi en su totalidad de la resistencia al corte del concreto solo. Esto explica la gran fragilidad de estos elementos, observada en numerosos sismos.
- (d) Fue prácticamente imposible obtener una respuesta inelástica en flexión de las columnas y todas ellas mostraron respuestas histeréticas inestables. Las columnas con cuantías menores mostraron una mejor respuesta que aquellas con mayor cuantía.

Los resultados de esa investigación confirman la necesidad de evitar la construcción de columnas cortas, más que el tratar de resolver el problema a través de refuerzo transversal. Probablemente la mejor poli-

tica es separarlas de los elementos externos que las restringen lateralmente.

### Investigación realizada en la Universidad de los Andes de Bogotá

En el año 1994, Juan Camilo Pineda Mesa realizó una investigación experimental por medio de la cual se logró reproducir en el laboratorio de estructuras de la Universidad de los Andes la falla de columna corta en un modelo escala 1 a 3. En total se ensayaron tres modelos. En la foto 19 se muestra el primer modelo antes de iniciar el ensayo y en las fotos 20 y 21 la falla por columna corta obtenida.



**Foto 19:**  
Modelo No. 1, escala 1 a 3, ensayado en la Universidad de los Andes



**Foto 20:**  
Falla por columna corta obtenida en el ensayo realizado en la Universidad de los Andes



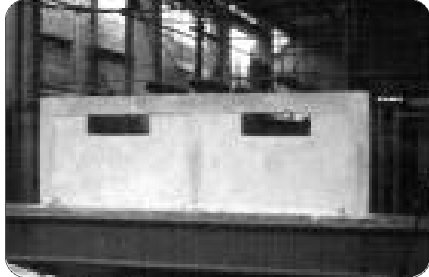
**Foto 21:**  
Falla por columna corta obtenida en el ensayo realizado en la Universidad de los Andes

En los dos modelos restantes se ensayaron procedimientos de solución del problema de columna corta. Las hipótesis de solución ensayadas corresponden a cerrar parcialmente la ventana que conforma la co-

## artículos

columna corta, adicionando sectores de muro al lado de las columnas, los cuales tienen la altura total del vano, como se muestra en la foto 22.

**Foto 22:**  
Muro ensayado en la Universidad de los Andes, donde se ha cerrado parcialmente el vano que conforma la columna corta



Por medio de los ensayos se pretendió validar este tipo de solución. En las fotos 23 y 24 se muestra el estado de fisuración al final del ensayo del modelo n° 2. Allí puede verse que la falla en la columna no se presenta de la forma que ocurrió en el modelo n° 1.

**Foto 23:**  
Estado de fisuración de la columna central al final del ensayo donde se ha cerrado parcialmente el vano que conforma la columna corta



**Foto 24:**  
Estado de fisuración de la columna esquinera al final del ensayo donde se ha cerrado parcialmente el vano que conforma la columna corta



Las recomendaciones finales de ese trabajo indican la forma en que puede evitarse la falla de la columna corta, colocando porciones adicionales de mampostería a los lados de las columnas cortas generadas por los muros sin servidumbre visual, de la siguiente manera:

- \* Para pórticos cuyas vigas tengan luces de hasta 4 m, adicionar porciones de mampostería que tengan como longitud mínima el doble de la altura libre de la columna corta.
- \* Para pórticos cuyas vigas tengan luces superiores a 4 m, adicionar porciones de mampostería a cada lado de la columna con una dimensión horizontal mínima  $a = (L \times h) / H$ , donde  $L$  es la luz libre de la viga del pórtico,  $h$  la altura libre del vano de ventana que conforma la columna corta y  $H$  es la luz libre de la columna cuando no existe el muro.

En ambos casos las adiciones de mampostería deben cubrir la totalidad de la altura de la columna. No sobra advertir que en este caso hay un trabajo estructural del muro no estructural de mampostería, y que el muro debe verificarse para demostrar que no se presenta una falla de él.

### Algunas recomendaciones

Las columnas cortas son causa de serias fallas en edificios bajo excitaciones sísmicas debido a que su mecanismo de falla es frágil. A continuación se dan algunas recomendaciones al respecto:

- \* Las soluciones más adecuadas para el caso de muros de todo orden que impidan el movimiento libre de la columna consisten básicamente en la ubicación del muro en un plano diferente de la columna, o en la separación del muro de la misma por medio de juntas.
- \* Para el caso de edificios con niveles intermedios, el proyecto arquitectónico debe considerar la ubicación de las columnas fuera de la línea de transición entre los niveles. Finalmente, en terrenos inclinados, debe buscarse la ubicación de los cimientos de las columnas a profundidades mayores, teniendo cuidado en la interacción entre las columnas y el muro de contención.

- \* La NSR-98, referencia [3], en el literal (h) "Columna cortas o columnas cautivas" de A.9.5.2 recomienda:

En este caso el muro debe separarse de la columna, o ser llevado hasta la losa de entrepiso en su parte superior, si se deja adherido a la columna

- \* Estudiar cuidadosamente la solución arquitectónica de paredes y ventanas y la unión de estos elementos a la estructura, de manera tal que no modifiquen el comportamiento sismorresistente previsto por el ingeniero estructural.

- \* En la referencia [7] se indica lo siguiente:

"Según se ha comprobado experimentalmente, no existe forma de controlar el fenómeno de la columna corta mediante la inclusión de refuerzo convencional de acero: esto es, una vez existe la columna corta, el ingeniero responsable del diseño estructural pierde el control sobre la resistencia de los miembros. Lo anterior implica que el problema en cuestión no es estrictamente hablando un problema de ingeniería, ya que en la gran mayoría de las oportunidades el diseñador no tiene conocimiento del tipo de material que será utilizado como relleno de los pórticos, ni de su disposición y geometría.

La única forma totalmente eficaz de controlar el fenómeno de la columna corta es evitándolo, mediante una más dinámica y permanente interacción entre ingeniero y arquitecto. Se deduce entonces que los arquitectos deben también ser informados del riesgo que para una edificación introduce la presencia de columnas cortas o cautivas".

En el documento "Draft Standard for the Simplified Design of Structural Reinforced Concrete for Buildings" (ISO/DIS 15673), referencia [8], se dan las siguientes recomendaciones:

- (a) Separar el muro no estructural de los costados de las columnas. La separación

debe tener una dimensión mínima horizontal equivalente al 1.5 por ciento de la altura libre del entrepiso. El muro de mampostería debe estar reforzado y amarrado para evitar se vuelque al verse sometido a fuerzas laterales perpendiculares a su propio plano.

- (b) Colocar una ventana menos ancha, en la parte central de la luz entre columnas, de manera tal que la pared de mampostería se adhiera a la columna en toda su altura. En esta solución alterna, la distancia entre la cara de la columna y la ventana debe ser por lo menos dos veces la dimensión vertical de la abertura originada por la ventana. Véase la figura 8.

- (c) En ambos casos, en la longitud total de la columna deben colocarse los estribos de confinamiento apropiados para las zonas confinadas de columnas en zonas sísmicas.

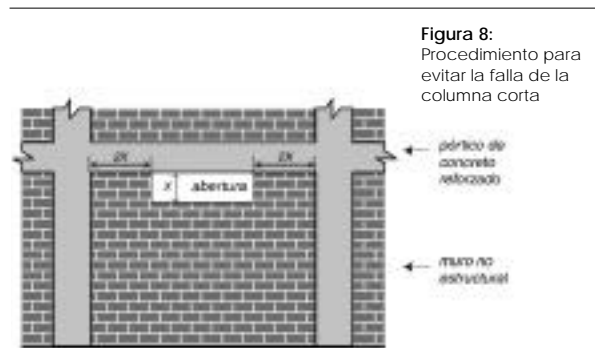


Figura 8:  
Procedimiento para evitar la falla de la columna corta

En el tipo de solución mostrada en la figura 8 se está evitando la falla de la columna corta por medio de un trabajo estructural del muro no estructural de mampostería. Éste implica que el muro debe verificarse empleando los requisitos de mampostería estructural, y que su efecto debe incluirse en el análisis y diseño de la estructura.

Es conveniente hacer notar, que este tipo de solución puede entrar en contradicción con los requisitos exigidos por las normas técnicas de ventilación e iluminación naturales.

## artículos

## Referencias

- [1] GUEVARA, L. T. 1989. "Architectural Considerations in the Design of Earthquake-Resistant Buildings: Influence of Floor-Plan Shape on the Response of Medium-Rise Housing to Earthquake". Ph.D. in Architecture Dissertation. Berkeley: Graduate Division, University of California, Berkeley, p. 38.
- [2] GARCÍA, Luis E. "Columnas de concreto reforzado". 1991. Universidad de los Andes, Serie Selecta de Asocreto, Bogotá, Colombia, p. 192.
- [3] ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA (AIS). 1998. Normas colombianas de diseño y construcción sismorresistente - NSR-98 (Ley 400 de 1997 y Decreto 33 de 1998, vol. 4, Bogotá, Colombia).
- [4] MAYURAMA, K., Ramírez, H y Jirsa, J. 1984. "Short Reinforced Concrete Columns under Bilateral Load Histories", *Journal of Structural Engineering*, vol. 110, n° 1, American Society of Civil Engineers, January.
- [5] UMEHARA, H. y JIRSA, J. 1984. "Short Rectangular Reinforced Concrete Columns under Bi-directional Loading", *Journal of Structural Engineering*, vol. 110, n° 3, American Society of Civil Engineers, March.
- [6] WOODWARD, K. y JIRSA, J. 1984. "Influence of Reinforcement on Reinforced Concrete Short Column Lateral Resistance", *Journal of Structural Engineering*, vol. 110, n° 3, American Society of Civil Engineers, March.
- [7] PINEDA, Juan Camilo. 1995. "Ensayos experimentales sobre control de columnas cortas", Proyecto de grado IC-94-II-26, Profesor asesor: Luis E. García, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de los Andes, Bogotá.
- [8] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). 1998. "Draft Standard for the Simplified Design of Structural Reinforced Concrete for Buildings" (ISO/DIS 15673), ICONTEC, Bogotá.
- [9] GUEVARA, L. T. y GARCÍA R. Luis E. 1999. Revista *Noticreto* n° 52, julio-septiembre de 1999 pp. 46-54. Asociación Colombiana de Productores de Concreto, ASOCRETO, Bogotá.