

CAPÍTULO IV

PRINCIPALES PROBLEMAS ESTRUCTURALES POR LA INTERACCIÓN TABIQUE – PÓRTICO ANTE ACCIONES SÍSMICAS

RESUMEN

En primer lugar se definen los principales problemas que se presentan en las estructuras cuando la interacción tabique – pórtico no fue considerada en su diseño.

Se analizan los problemas de torsión, columna corta, piso blando y fracturación de mampostería y se realizan varios ejemplos explicativos de por qué fallan las estructuras con este tipo de problemas.

Finalmente se presentan, para cada uno de los problemas estructurales indicados, varias estructuras que colapsaron o sufrieron graves daños en Perú a causa del terremoto del 15 de agosto del 2007.

4.1 INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, se ha comprobado que las estructuras construidas con mampostería de ladrillo han sido las más afectadas estructuralmente con los terremotos, sin embargo, es una de las técnicas constructivas más populares y mayormente utilizadas.

Cuando no se aísla la mampostería de las columnas y las vigas, la interacción del tabique con el pórtico se incrementa durante los sismos, este efecto aumenta considerablemente la rigidez lateral de los pórticos y la fuerza sísmica que éstos absorben, lo que puede generar varios problemas estructurales que pueden desencadenar finalmente en el colapso de la estructura.

Los principales problemas ocasionados por la acción sísmica en las edificaciones que trabajan con la mampostería acoplada a la estructura son:

- Torsión en el edificio
- Columna Corta
- Piso Blando
- Fracturación de la albañilería

El Código Ecuatoriano de la Construcción CEC2000 hace referencia a los tres primeros problemas cuando se calculan los coeficientes de configuración estructural en planta y elevación Φ_P y Φ_E , respectivamente, los mismos que aumentan un poco las fuerzas sísmicas de diseño, pero este incremento de las fuerzas no es representativo en comparación al ocasionado por efecto de la interacción tabique – pórtico (Capítulo 2).

4.2 TORSIÓN EN EL EDIFICIO

4.2.1 Descripción del problema

Las estructuras con geometrías complejas, irregulares o asimétricas tienen un mal comportamiento ante las fuerzas laterales ocasionadas por los sismos. La falta de uniformidad facilita la concentración de fuerzas, por lo general en los extremos, y genera problemas de excentricidad en planta, los mismos que dejan a la estructura susceptible a los efectos de torsión.

En las estructuras con albañilería adosada a la estructura, los muros de mampostería trabajan como elementos estructurales verticales resistentes en su plano como lo indica la Figura 4.1.

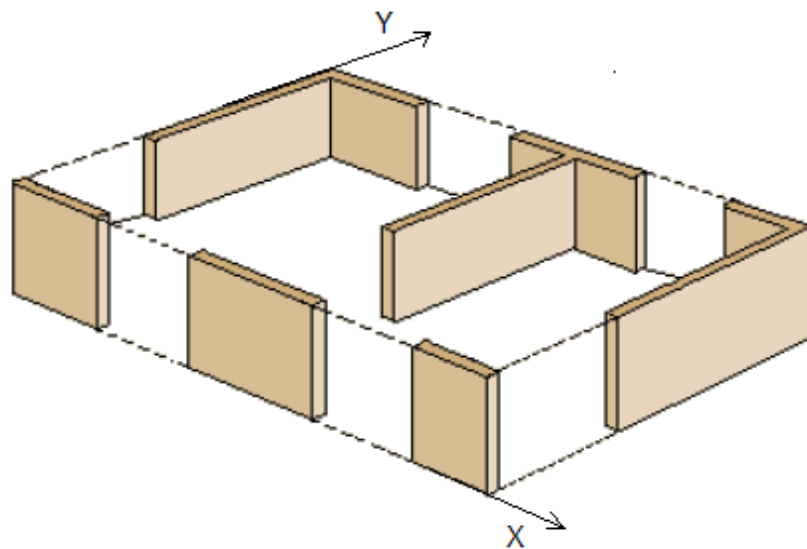


Figura 4.1 Planos verticales resistentes

La distribución en planta de estos planos verticales determina la vulnerabilidad del edificio a experimentar esfuerzos de torsión; si tiene una distribución simétrica, el centro de masas coincidirá con el centro de rigidez de la estructura, por lo tanto al no existir excentricidad estática, no habrán momentos torsores; por el contrario, si la distribución es asimétrica o irregular, el centro de rigidez o el centro de cortante, no coincidirá con el centro de masas y en consecuencia habrá problemas de torsión inicial (o de diseño) en la

estructura. La Figura 4.2 presenta algunos de los casos más comunes de distribución en planta de la mampostería, diferenciando aquellos cuyo comportamiento es favorable ante la acción sísmica.

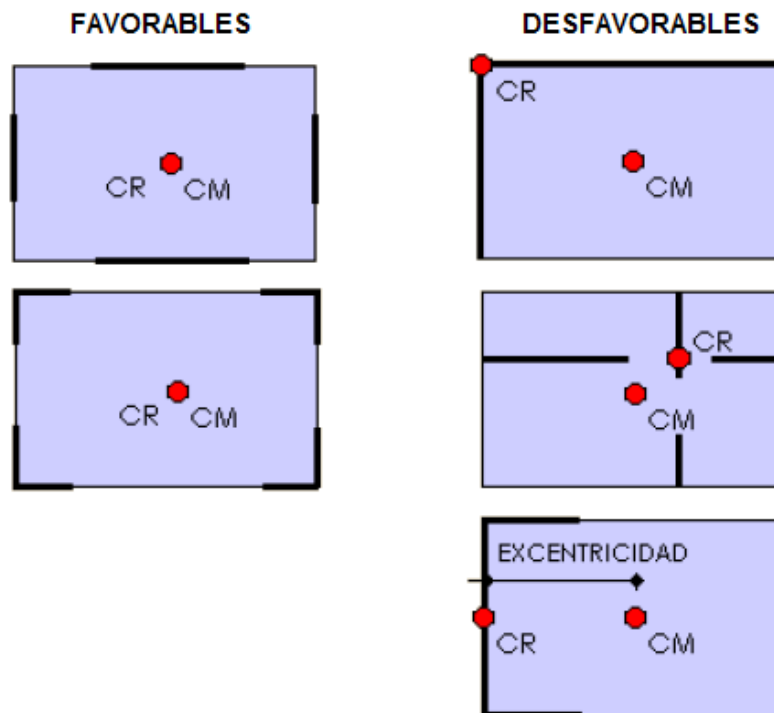


Figura 4.2 Distribución en planta de planos verticales resistentes

Los edificios abiertos o esquineros son los más afectados por el problema de torsión ya que, debido a su configuración arquitectónica, la disposición de la mampostería difícilmente puede ser cambiada (Figura 4.3).

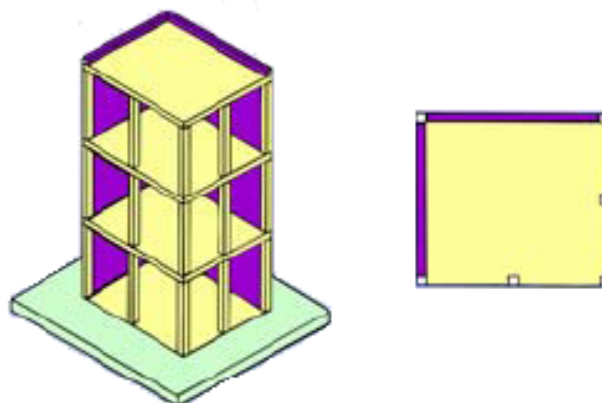


Figura 4.3 Disposición de mampostería en edificios abiertos

4.2.2 Ejemplo Demostrativo

Para ilustrar mejor lo que sucede con los edificios abiertos durante los sismos, se analiza el comportamiento en el tiempo de un edificio de 1 piso con altura de entrepiso de 3.00m, columnas de 30x30cm, vigas de 20x25cm y losa de 20cm de espesor. La tabla 4.1 indica las cargas muerta y viva consideradas para el análisis y el peso total de la estructura.

Tabla 4.1 Cargas y pesos considerados en el análisis

Piso	Carga [Tn/m ²]		Peso [Tn]		Peso Total [Tn]
	wD	wL	PD	25% PL	
1	0.504	0.100	32.26	1.60	33.86

La Figura 4.4 muestra la distribución en planta del edificio analizado, donde las franjas rojas representan la ubicación de los tabiques de albañilería de 15cm de espesor y una resistencia a la compresión f'_m igual a 35Kg/cm².

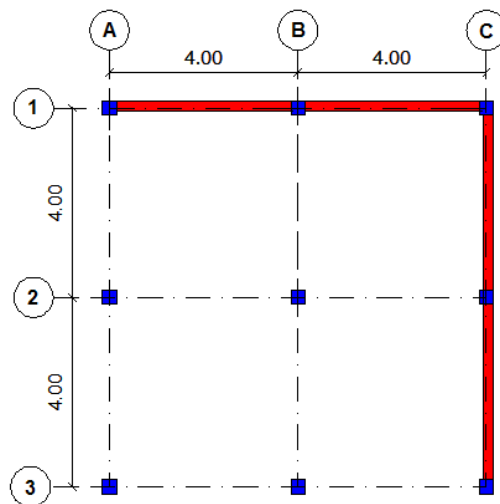


Figura 4.4 Distribución en planta del edificio abierto analizado

En primer lugar se analiza la estructura con la mampostería desacoplada. Teniendo en cuenta que todos los pórticos son iguales ($KL=805.93\text{Tn/m}$ para todos los pórticos) y que la estructura es 100% simétrica, el centro de masas y el centro de cortante de la misma se encuentran en el

centro geométrico de su vista en planta (Figura 4.5a). Pero si analizamos la estructura considerando la mampostería acoplada, la rigidez de los pórticos 1 y C aumentan drásticamente ($KL = 9205.90\text{Tn/m}$) y sus centros de masas y corte se desplazan (Figura 4.5b), generando una excentricidad estática en cada sentido de 2.83m, lo que produce grandes momentos torsores en el edificio.

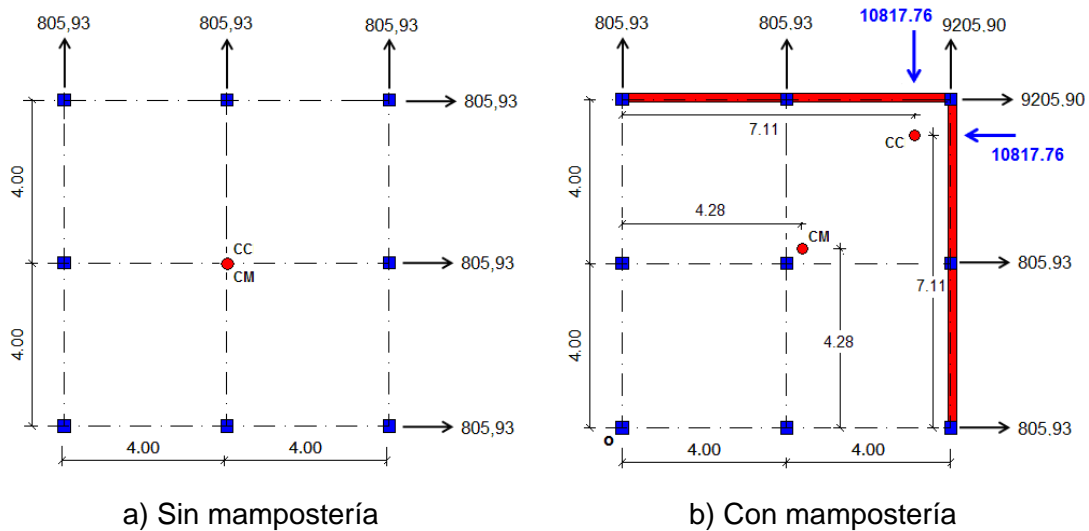


Figura 4.5 Centro de masas y centro de corte del edificio abierto

Para el análisis sísmico del edificio abierto se ha considerado únicamente la componente Norte – Sur del sismo de Perú del 15 de agosto del 2007. La Figura 4.6 indica la variación de las fuerzas en función del tiempo de todos los pórticos de la estructura. Los pórticos 1 y C absorben una fuerza máxima de 9.51Tn, los pórticos 2 y B una fuerza de 2.17Tn y los pórticos 3 y A una fuerza de 3.77Tn. Se puede observar claramente que la concentración de fuerzas se produce en los pórticos rigidizados con la mampostería.

Si tenemos una fuerza sísmica total de 15.45 Tn aplicada en el centro de masas de la estructura, al multiplicar por la excentricidad estática, tenemos como resultado un momento torsor en el edificio de 43.72 Tn.m (Figura 4.7).

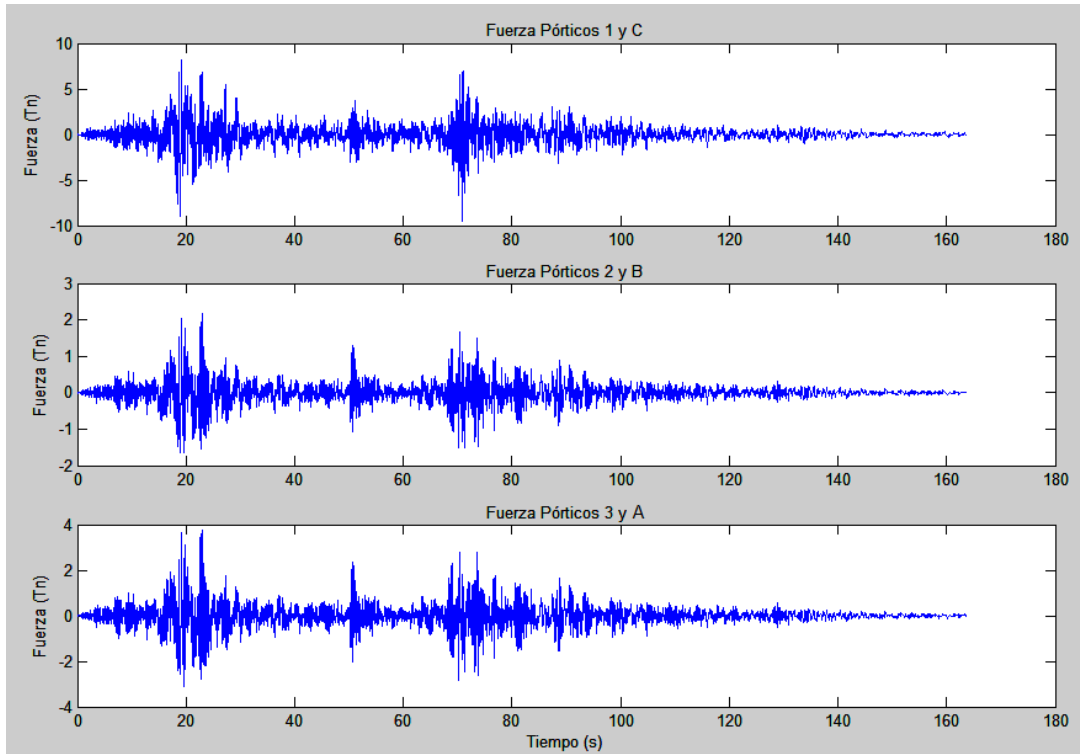


Figura 4.6 Variaci $\acute{o$ n de la fuerza aplicada en el edificio en funci $\acute{o$ n del tiempo

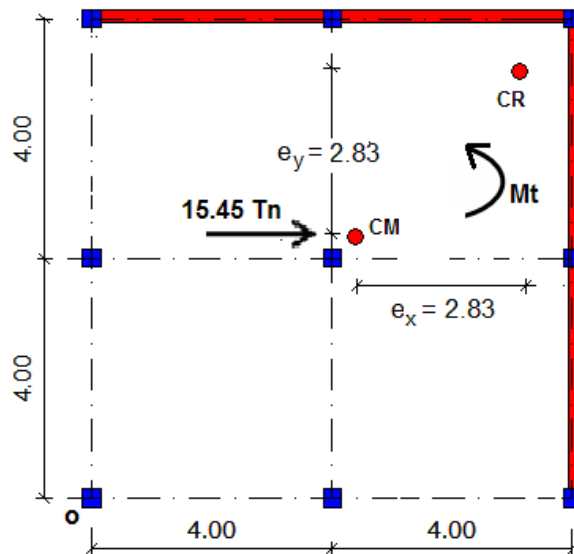


Figura 4.7 Momento torsor del edificio analizado

Para demostrar que la estructura de un piso analizada est \acute{a} sometida a esfuerzos de torsi $\acute{o$ n, se ha tomado un lapso de tiempo al azar y se ha determinado el desplazamiento de los p $\acute{o$ rticos extremos. La Figura 4.8 indica el comportamiento en el tiempo de los p $\acute{o$ rticos 1 y 3 de la estructura; se puede observar que aproximadamente a los 79.5 segundos, mientras el p $\acute{o$ rtico 3 se

desplaza hacia la derecha, el pórtico 1 se desplaza a la izquierda, y acto seguido sucede lo contrario, lo que genera torsión en el edificio.

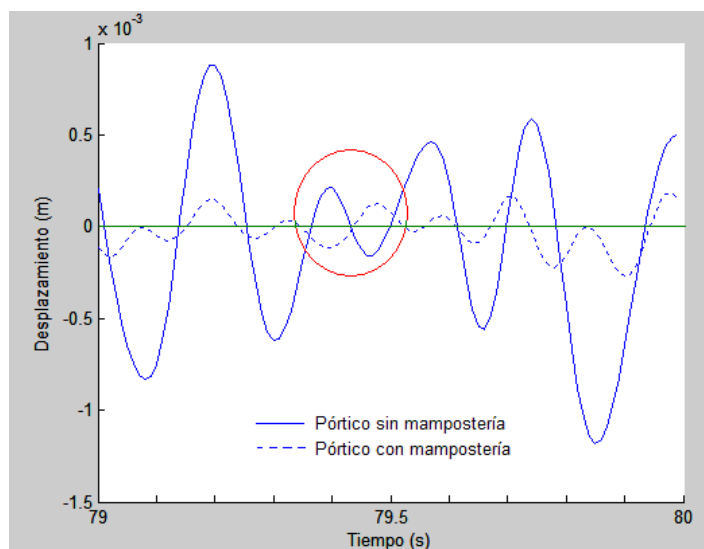


Figura 4.8 Desplazamiento de los pórticos extremos del edificio abierto

4.2.3 Estructuras afectadas en el sismo de Perú del 2007

En varias localidades del departamento de Ica, se observaron estructuras de hormigón armado que colapsaron o sufrieron grandes daños por el efecto de torsión. Las Figuras 4.9, 4.10, 4.11 y 4.12 muestran algunas estructuras que se afectaron considerablemente debido a este problema, en su mayoría se trata de edificios esquineros.



Figura 4.9 Daños sufridos en casa esquinera por efectos de torsión (Pisco)¹⁹

¹⁹ Reporte Preliminar de daños en estructuras debido al sismo de 15/08/2007 (Grupo 2), C. Zavala, M. Estrada, P. Giba, L. Chang y L. Cárdenas

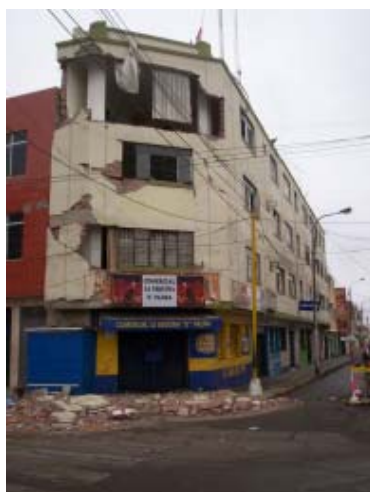


Figura 4.10 Edificio esquinero afectado por el sismo en Chinchá Alta²⁰



Figura 4.11 Edificio esquinero afectado por el sismo en Ica²¹



Figura 4.12 Estructura de 1 piso afectada por el sismo en Hualcarán²²

²⁰ Estudio de la zona afectada por el terremoto de Pisco, M. Astroza

²¹ Defectos que incidieron en el comportamiento de las construcciones de albañilería en el sismo de Pisco del 15-08-2007, A. San Bartolomé

²² Daños por el terremoto del 15 de agosto del 2007, J. Cuenca

4.3 COLUMNA CORTA

4.3.1 Descripción del problema

Se tiene una columna corta cuando se presenta una disminución de la altura efectiva (luz libre) de una columna debido a un elemento que restringe su desplazamiento en sentido lateral.

Durante un sismo, una columna normal y una columna corta, de igual sección transversal, experimentan el mismo desplazamiento horizontal, pero como la columna corta es más rígida que la normal, atrae una fuerza sísmica mayor a la de diseño, por esto presenta daños significativos.

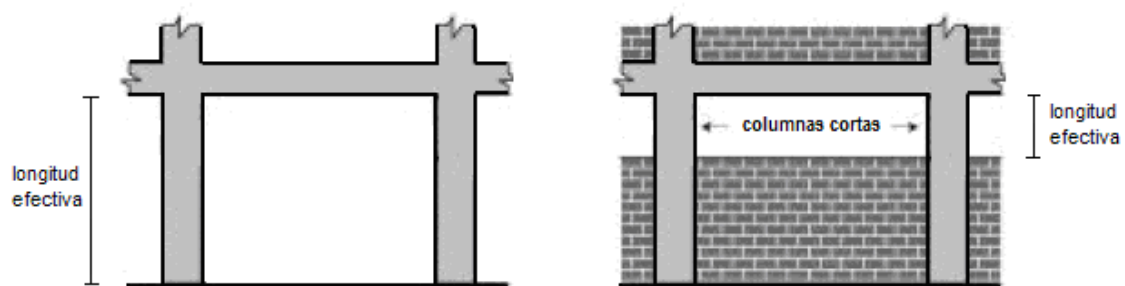


Figura 4.13 Definición de columna corta

Conforme disminuye la altura efectiva de la columna, la fuerza cortante que actúa sobre ella aumenta considerablemente, como se puede apreciar en la Tabla 4.2.

El efecto de columna corta se conoce también como columna cautiva y se presenta por tres razones principales, la primera a causa del confinamiento de parte de la columna por muros no estructurales como la mampostería; la segunda debido a acoplamientos de elementos estructurales o no estructurales en medio de la columna, como las vigas y losas de los descansos de escaleras; y la tercera por la ubicación de los edificios en terrenos inclinados.

Tabla 4.2 Variación de la fuerza cortante en función de la altura efectiva²³

Altura efectiva	Fuerza cortante
h	$\frac{12EI}{h^3}$
$0.80h$	$\frac{23.44EI}{h^3}$
$0.60h$	$\frac{55.55EI}{h^3}$
$0.40h$	$\frac{187.50EI}{h^3}$
$0.20h$	$\frac{1500EI}{h^3}$

Debido a la naturaleza de la investigación, se analiza únicamente el primer caso, donde la columna corta se produce por el adosamiento de la mampostería a las columnas de la estructura, dejando una abertura en la parte superior para iluminación y ventilación.

Cuando la fuerza sísmica actúa en la estructura, la losa se desplaza lateralmente y arrastra a la columna, pero ésta se topa con la mampostería y no puede desplazarse (Figura 4.14), entonces se produce una gran distorsión angular en la parte libre de la columna, lo que provoca su fractura diagonal o falla por corte (Figura 4.15).

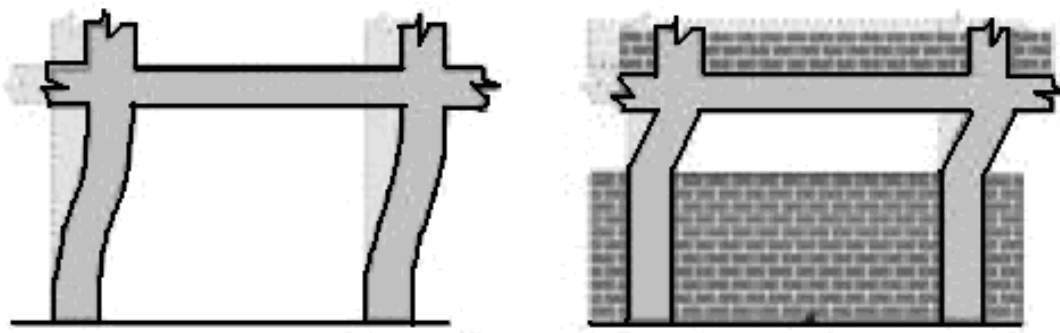


Figura 4.14 Columna restringida en su desplazamiento lateral

²³ Short column behaviour under the effect of earthquakes, M. Dogan

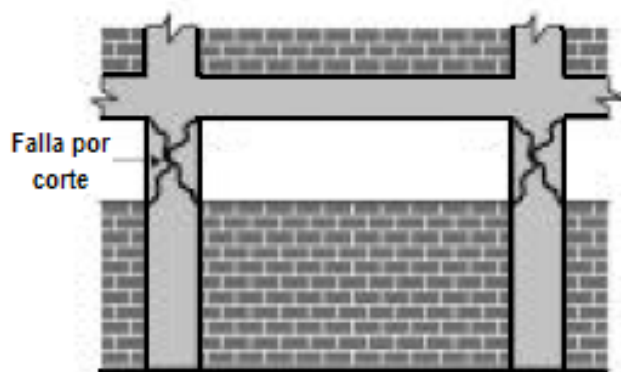


Figura 4.15 Falla por corte en columnas cortas

En un pórtico formado por dos columnas, una viga y un alféizar alto, como el de la Figura 4.16, sólo una de las columnas trabaja como columna corta, mientras que la otra se despega de la mampostería. En este caso, la columna corta absorbe casi en su totalidad, la fuerza sísmica actuante.



Figura 4.16 Comportamiento de las columnas de un pórtico simple

4.3.2 Ensayos experimentales

Se han realizado varias investigaciones sobre el efecto de columna corta y las posibles técnicas constructivas o de reforzamiento para evitar el fallo de estas columnas ante la acción sísmica.

Uno de los estudios más trascendentales fue el realizado en la Universidad de Texas (Austin) en 1980, pues se determinó, de manera sorprendente, que el espaciamiento de los estribos de la columna corta no modificaba en absoluto la resistencia al corte del elemento, sino que ésta dependía casi en su totalidad de la resistencia al corte del hormigón solo.

Además se comprobó que las columnas con cuantías menores, tenían un mejor comportamiento y presentaban menores daños que aquellas con mayor cuantía.

La conclusión de este estudio fue que lo mejor era evitar la construcción de columnas cortas, antes que tratar de resolver el problema con el refuerzo transversal. La alternativa más recomendable en estos casos era separar, mediante juntas, los elementos que restringen el desplazamiento lateral de las columnas.

Otro estudio importante se realizó en la Universidad de los Andes de Bogotá; aquí se ensayaron 3 modelos a escala con problemas de columna corta, en dos de los cuales trataron de solucionar el problema adicionando secciones de mampostería al lado de las columnas, cuya longitud dependía de la luz libre de la columna y debían cubrir toda la altura de la columna corta, pero los resultados indicaron que se requerían longitudes muy grandes que reducían en gran medida el área de iluminación.

Este trabajo, sin embargo, dio paso a investigaciones futuras y permitió desarrollar la técnica de “ensanches”, que consiste en reforzar las columnas cortas mediante un ensanche de concreto armado, adherido al concreto existente mediante resina epóxica, con varillas soldadas a las de vigas y columnas y rellenando con mortero 1:3, a presión manual, la junta existente entre la columna y la mampostería (Figura 4.17). Con esta técnica se busca que todas las columnas se comporten como columnas cortas, de tal forma que se distribuya equitativamente la fuerza sísmica actuante y disminuya el cortante en cada columna.



Figura 4.17 Técnica de ensanches para reforzar columnas cortas²⁴

Un estudio reciente realizado en la Pontificia Universidad Católica del Perú, donde los peruanos modelaron un edificio escolar que había fallado en el terremoto de Nazca de 1996, por problemas de columna corta, demostró que los ensanches es una técnica sencilla, rápida de ejecutar y muy económica.

En este trabajo de investigación, se ensayaron dos estructuras a escala reducida 1:2 de dos pisos (un vano por sentido), una sin reforzamiento (módulo patrón) y otra con reforzamiento de ensanches en las columnas cortas (módulo reforzado). La Figura 4.18 muestra los ensanches utilizados en el módulo reforzado.

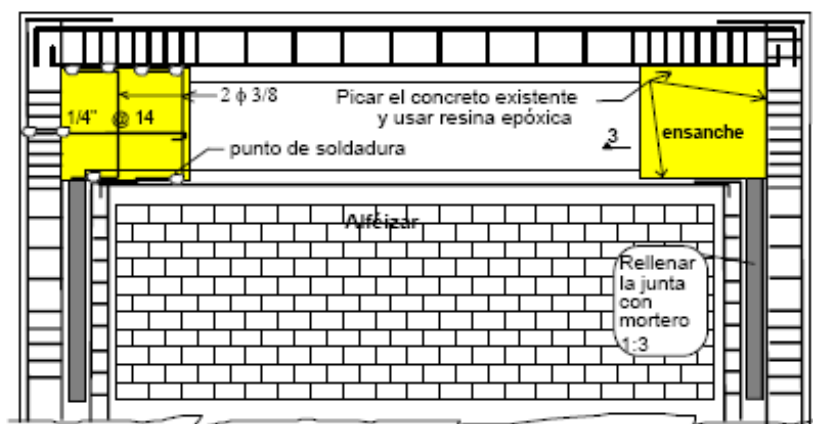


Figura 4.18 Ensanches utilizados en el módulo reforzado²⁵

²⁴ y ²⁵ Estudio experimental de una técnica de reforzamiento para edificaciones existentes con problemas de columna corta, A. San Bartolomé, C. Rivera, M. Durán, A. Muñoz y D. Quiun

La Figura 4.19 presenta la variación de la fuerza máxima y el desplazamiento lateral del primer piso del módulo patrón y el módulo reforzado. Aquí se puede observar que en el módulo reforzado, los desplazamientos disminuyen considerablemente en relación al módulo patrón, esto se debe al incremento de rigidez lateral que le dieron los ensanches a la estructura.

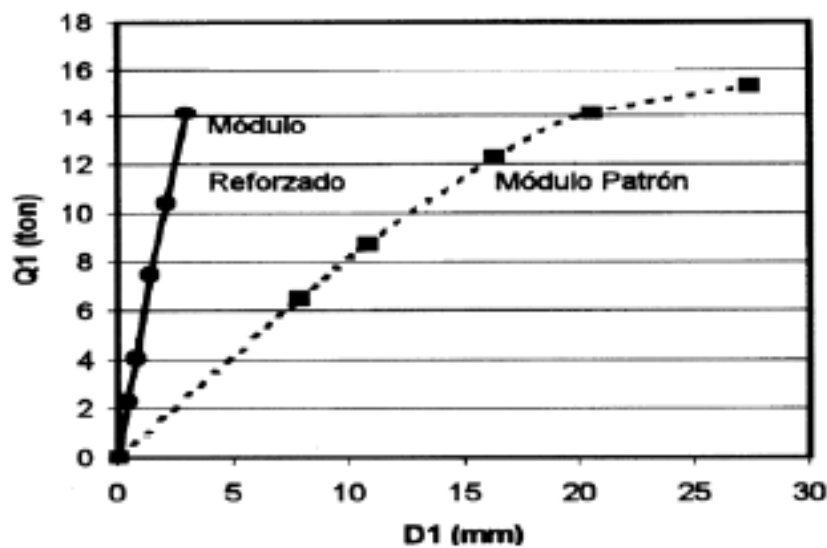


Figura 4.19 Fuerza vs. Desplazamiento del primer piso de los modelos a escala con problema de columna corta²⁶

Con este estudio se comprobó que los desplazamientos laterales del modelo reforzado disminuyeron hasta 5 veces en el primer piso y 14 veces en el segundo, todas las columnas trabajaron en forma equitativa, los efectos de torsión en planta decrecieron, se mejoró el anclaje del refuerzo longitudinal en las vigas y disminuyó el daño en los nudos, no se presentaron fisuras de tracción por flexión, las fuerzas sísmicas disminuyeron, las distorsiones angulares fueron menores a las permitidas.²⁷

^{26 y 27} Estudio experimental de una técnica de reforzamiento para edificaciones existentes con problemas de columna corta, A. San Bartolomé, C. Rivera, M. Durán, A. Muñoz y D. Quiun

4.3.3 Estructuras afectadas en el sismo de Perú del 2007

El efecto de columna corta es la mayor causa de daños severos en los edificios durante los sismos, y el terremoto de Perú del 15 de agosto del 2007 no fue la excepción. Las siguientes figuras muestran los daños ocasionados en varias edificaciones debido al problema de columna cautiva.



Figura 4.20 Falla por columna corta en la Universidad San Luis Gonzaga - Ica²⁸



Figura 4.21 Falla por columna corta en el Colegio Nacional 9 de Diciembre en Coracora²⁹

²⁸ Sismo del Perú del 15 de Agosto del 2007, R. Aguiar

²⁹ Daños por el terremoto del 15 de agosto del 2007, J. Cuenca



Figura 4.22 Falla por columna corta en Pisco³⁰



Figura 4.23 Falla por columna corta en el Hospital San Juan de Dios - Ica³¹

4.4 PISO BLANDO

4.4.1 Descripción del problema

El problema de piso blando se presenta cuando hay un cambio muy brusco en la rigidez de pisos consecutivos, ya sea por la diferencia de altura entre pisos o por la interrupción de elementos estructurales verticales, por lo general la mampostería (Figura 4.24).

³⁰ El sismo de Pisco del 15 de agosto del 2007 y sus enseñanzas, A. Blanco

³¹ El sismo del Pisco, Perú del 15 de Agosto 2007: Un Informe Preliminar, R. Klingner

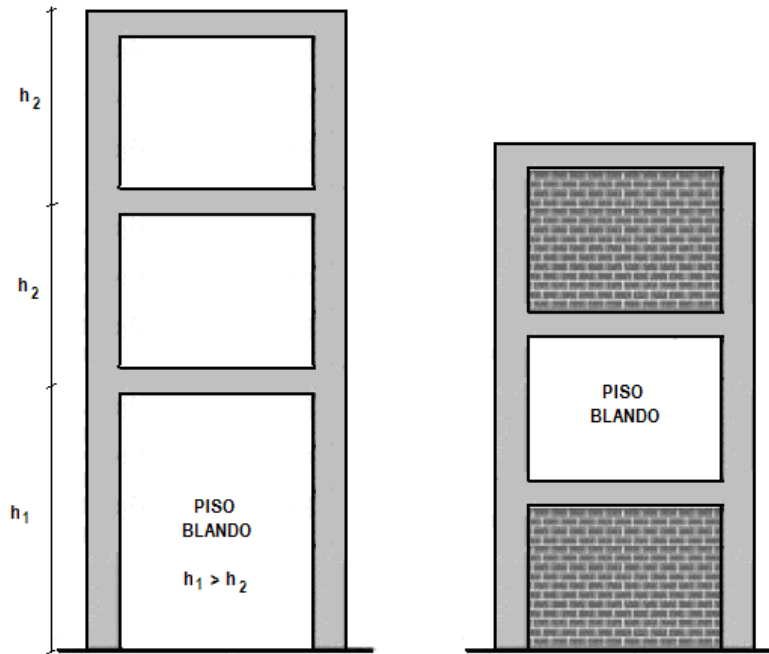


Figura 4.24 Definición de piso blando

El CEC2000 determina que se trata de un piso blando cuando su rigidez lateral es menor que el 70% de la rigidez lateral del piso superior o menor que el 80% del promedio de la rigidez lateral de los tres pisos superiores.

El problema de piso blando es muy común en estructuras en las cuales el primer piso está destinado a parqueaderos o almacenes, donde la tabiquería es mínima o no existe; mientras que los pisos superiores, destinados a vivienda, tienen gran cantidad de paredes que los rigidizan; en este caso, las columnas del primer piso fallan y por ende también la estructura.

En este caso particular, como el primer piso (piso blando) es muy flexible con respecto a los pisos superiores, ante acciones sísmicas experimentará un desplazamiento lateral muy elevado (Δ) y, como el resto de la estructura se mueve como un cuerpo rígido, actúa una carga vertical P correspondiente al peso de los niveles superiores (Figura 4.25). Entonces se genera en la estructura un momento de volteo de tal magnitud, que si no ha sido considerado en el diseño de la estructura, formará rótulas plásticas en la parte superior de las columnas del piso blando, y provocará el colapso de la

estructura. Por esta razón, el problema de piso blando se conoce también como problema $P.\Delta$.

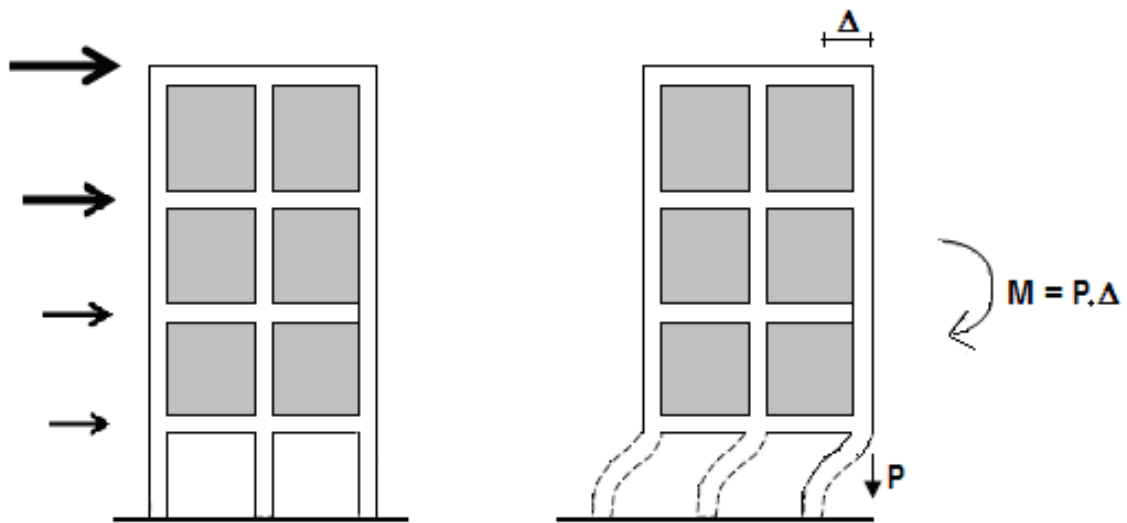


Figura 4.25 Efecto $P.\Delta$ en piso blando

4.4.2 Ejemplo Demostrativo

Para comprender la magnitud y el alcance del problema de piso blando, se determina el comportamiento en el tiempo de un edificio de 2 pisos con columnas de 30x30cm, vigas de 20x25cm y losa de 20cm de espesor en los dos niveles.

La Figura 4.26 muestra la geometría del edificio analizado, donde todos los pórticos externos tienen un alféizar de 1.20m en el segundo piso. Se trabaja con una resistencia a la compresión de 210Kg/cm² para el hormigón y 35Kg/cm² para la mampostería. El espesor de la albañilería es 15cm. La Tabla 4.3 indica los valores de carga muerta y carga viva, y los pesos totales respectivos de cada piso.

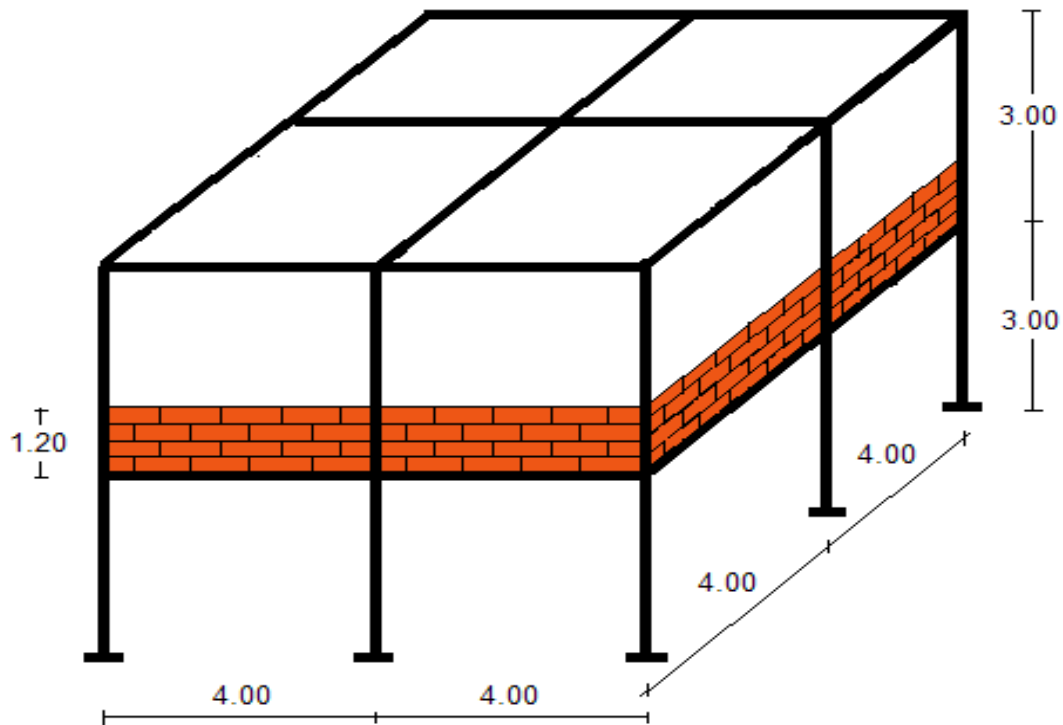


Figura 4.26 Geometría del edificio analizado con problema de piso blando

Tabla 4.3 Cargas y Pesos por piso considerados en el análisis

Piso	Carga [Tn/m^2]		Peso [Tn]		Peso Total [Tn]
	wD	wL	PD	25% PL	
1	0.80	0.20	51.2	3.2	54.4
2	0.50	0.10	32.0	1.6	33.6

Como el edificio es 100% simétrico en planta, no es necesario determinar el centro de masas ni el centro de rigidez, pues ambos son coincidentes y por lo tanto no existirán problemas de torsión.

Se trabaja con la componente Este – Oeste del sismo de Perú del 15 de agosto del 2007. Las Figuras 4.27 y 4.28 indican la variación de las fuerzas del primer y segundo piso, respectivamente, y las Figuras 4.29a y 4.29b presentan los valores máximos obtenidos en cada pórtico y cada piso.

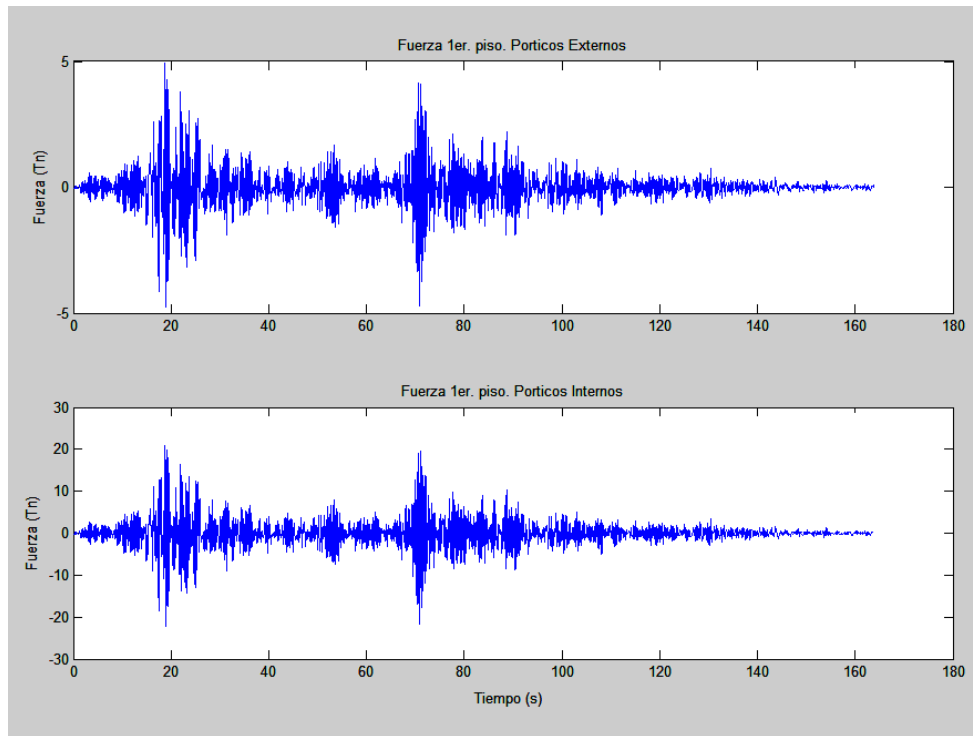


Figura 4.27 Variación de la fuerza actuante en el 1^{er} piso

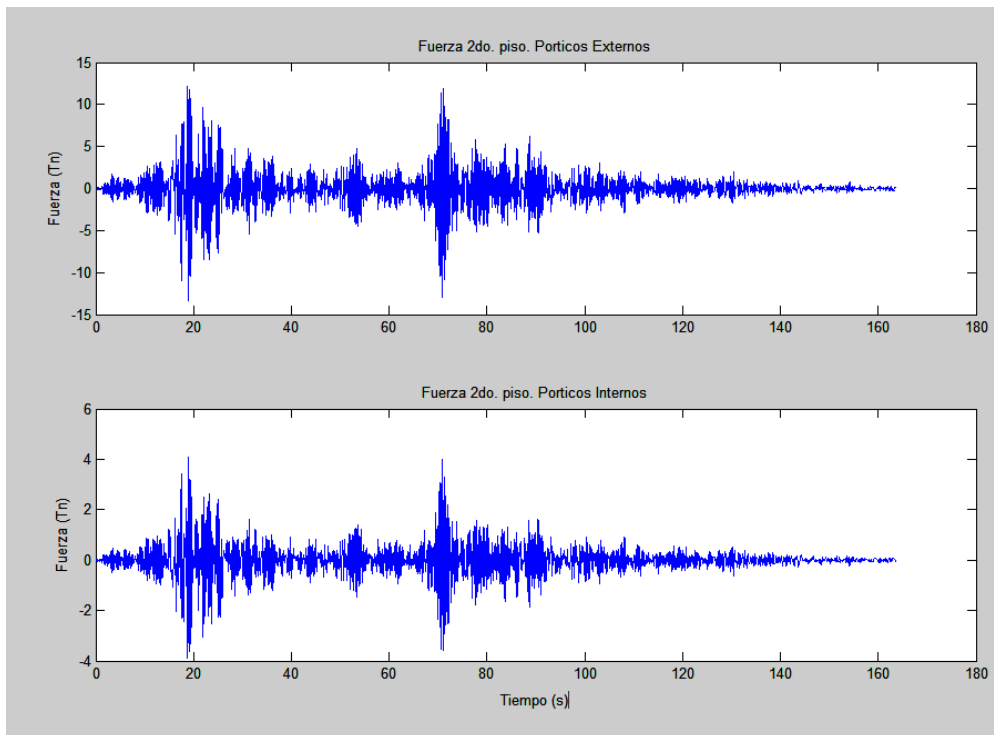


Figura 4.28 Variación de la fuerza actuante en el 2^{do} piso

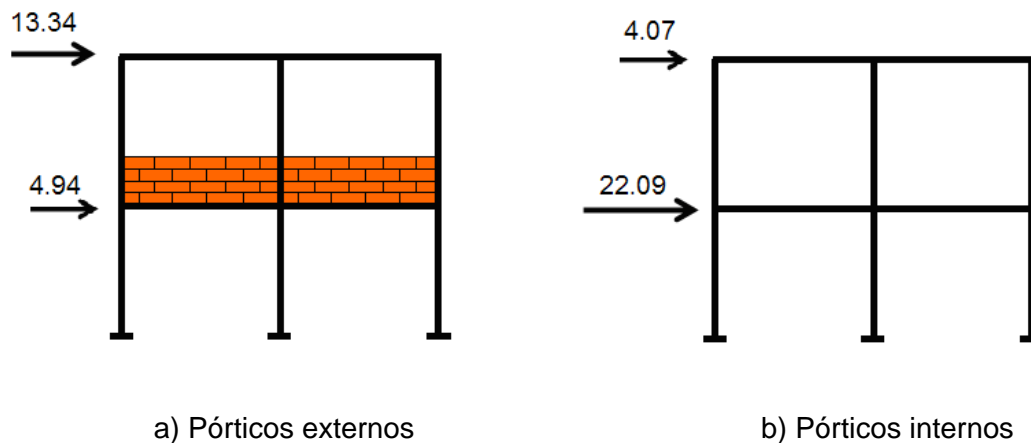


Figura 4.29 Fuerzas actuantes en pórticos [Tn]

Como se puede apreciar en la figura, las columnas más vulnerables, debido a la concentración de rigidez en el segundo piso, son las columnas inferiores de los pórticos intermedios, pues absorben las mayores fuerzas laterales de toda la estructura (22.09Tn).

Si la estructura se diseñara tomando en cuenta desde un principio la interacción de la mampostería con los pórticos, este problema podría preverse reforzando las columnas de los pórticos intermedios y así evitar que se formen rótulas plásticas en la parte superior de las columnas del primer nivel que conlleven al colapso de la estructura.

En edificaciones ya construidas, la mejor forma de evitar el problema de piso blando es mediante la utilización de placas que rigidicen el piso.

4.4.3 Estructuras afectadas en el sismo de Perú del 2007

Varias edificaciones de hormigón armado y mampostería de ladrillo localizadas en Ica y en Pisco, fallaron debido al problema de piso blando. Las Figuras 4.30, 4.31 y 4.32 muestran sólo tres de las decenas de edificaciones que colapsaron el 15 de agosto del 2007 en Perú por este problema.



Figura 4.30 Colapso del Hotel Embassy por piso blando (Pisco)³²



Figura 4.31 Colapso por problema de piso blando.³³



Figura 4.32 Edificio a punto de colapsar por piso blando (Pisco)³⁴

³² Reporte Preliminar de daños en estructuras debido al sismo de 15/08/2007 (Grupo 2), C. Zavala, M. Estrada, P. Gibu, L. Chang y L. Cárdenas

³³ Defectos que incidieron en el comportamiento de las construcciones de albañilería en el sismo de Pisco del 15-08-2007, A. San Bartolomé

4.5 FRACTURACIÓN DE LA ALBAÑILERÍA

4.5.1 Descripción del problema

La fracturación de la mampostería se da cuando la fuerza sísmica que actúa sobre el tabique, cuando éste interactúa con la estructura aporticada, es mayor que su resistencia.

Ante acciones sísmicas, la mampostería puede experimentar tres tipos de falla: aplastamiento, tracción diagonal y cizalle³⁵.

4.5.2 Falla por aplastamiento

El aplastamiento consiste en la trituración de los ladrillos de las esquinas del tabique por estar expuestos a esfuerzos excesivos de compresión. Se produce por lo general en muros de albañilería construidos con ladrillos de baja calidad, ladrillos tubulares (pandereta) o ladrillos con un alto porcentaje de huecos.

La resistencia última del tabique al aplastamiento R_c viene dada por:

$$R_c = 0.12 f'_m L t \quad (4.1)$$

donde f'_m es la resistencia a la compresión de la mampostería en Kg/cm², L es la longitud del puntal equivalente en centímetros y t es el espesor de la mampostería en centímetros.

³⁴ El sismo del Pisco, Perú del 15 de Agosto 2007: Un Informe Preliminar, R. Klingner

³⁵ Norma Técnica E0.70 de Albañilería, Perú

Este tipo de falla puede producirse en cualquiera de las esquinas del tabique. Las grietas aparecen por efecto de las deformaciones verticales y se propagan en este mismo sentido, atravesando las unidades de mampostería (ladrillos), como lo esquematiza la Figura 4.33.

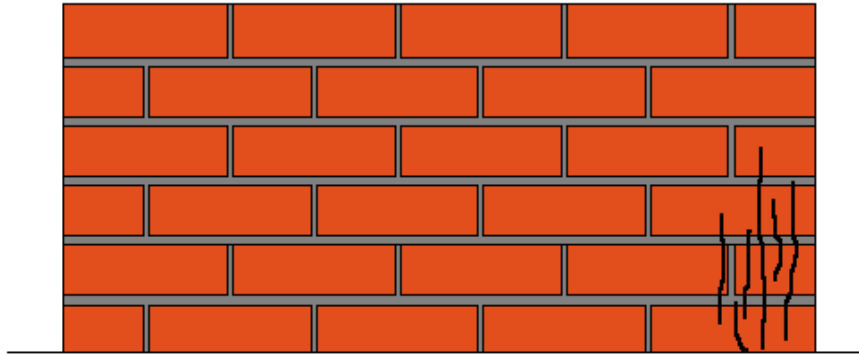


Figura 4.33 Falla por aplastamiento en mampostería de ladrillo

4.5.3 Falla por tracción diagonal

La falla por tracción diagonal consiste en la formación de una grieta diagonal en la mampostería causada por esfuerzos moderados de corte y compresión, los mismos que aumentan la resistencia a cortante de las juntas de mortero y provocan que las unidades de albañilería se agrieten de forma diagonal.

La resistencia última del tabique a tracción diagonal R_t se determina con la expresión:

$$R_t = 0.85\sqrt{f'_m}Lt \quad (4.2)$$

La Figura 4.34 presenta la falla debida a tracción diagonal en un muro de mampostería. Aquí se puede observar que las grietas siguen la dirección de las juntas verticales y atraviesan los ladrillos con una inclinación que depende de la orientación de los esfuerzos actuantes en la unidad.

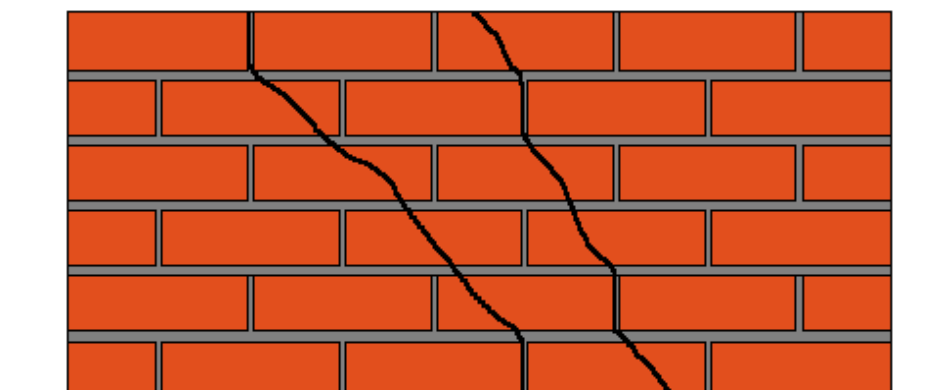


Figura 4.34 Falla por tracción diagonal en mampostería de ladrillo

4.5.4 Falla por cizalle

La falla por cizalle se manifiesta con una grieta horizontal a la mitad de la altura del tabique. Se produce por la unión débil entre el mortero y las unidades de albañilería, donde se generan esfuerzos cortantes deslizantes significativos en las juntas horizontales.

La resistencia última del tabique a cizalle R_s se determina con:

$$R_s = \frac{f_s \cdot t \cdot L}{1 - \frac{0.40h}{L}} \quad (4.3)$$

donde f_s es la resistencia última a cizalle de la albañilería en Kg/cm² y h es la altura del tabiquen en centímetros.

Por lo general, la falla por cizalle suele localizarse a la mitad de la altura del tabique (Figura 4.35), pues constituye una junta de construcción entre jornadas de trabajo, pero los defectos constructivos del tabique pueden hacer que la falle se presenta en otra junta horizontal del muro de albañilería.

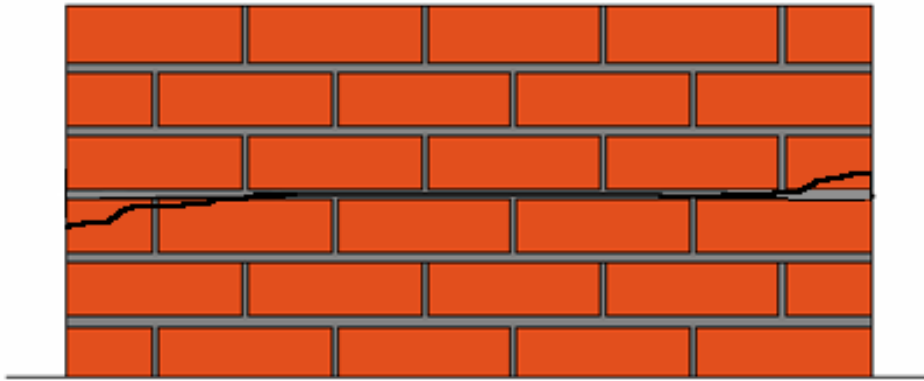


Figura 4.35 Falla por cizalle en mampostería de ladrillo

La resistencia última del puntal equivalente es la menor de las tres resistencias analizadas y debe ser mayor que la carga axial de compresión C que actúa en el puntal (Figura 4.36), la misma que está en función de la fuerza sísmica que absorbe el edificio.

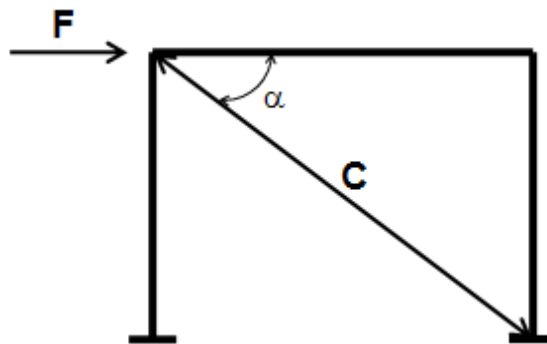


Figura 4.36 Carga axial de compresión del puntal

$$C = F \cos \alpha \quad (4.4)$$

Si la carga axial de compresión C del puntal es mayor que su resistencia R , se debe mejorar la calidad de la albañilería o disminuir la interacción del tabique con el pórtico; esto se puede lograr rigidizando el edificio con placas de concreto armado. Otra posibilidad es reforzar la mampostería con alguna de las técnicas que se verán en el capítulo 5.

4.5.5 Ejemplo Demostrativo

Se retoma el ejemplo de edificio abierto del apartado 4.2.2 para determinar si la tabiquería resistirá o no la fuerza sísmica que actúa sobre los pórticos 1 y C cuando la estructura es sometida a la componente Norte – Sur del sismo del 15 de agosto del 2007 de Perú.

Recordemos que se trabajó con mampostería de 15cm de espesor y una resistencia a la compresión f'_m igual a 35Kg/cm^2 . La resistencia última a cizalle de la albañilería es 4Kg/cm^2 . La Figura 4.37 indica las longitudes de columnas y vigas de los pórticos 1 y C y la fuerza que éstos absorben.

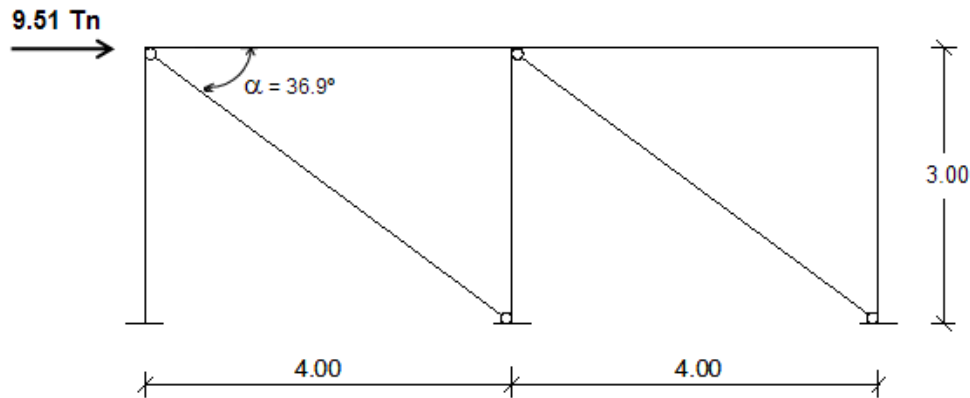


Figura 4.37 Configuración de los pórticos analizados

Aplicando las ecuaciones 4.1, 4.2 y 4.3 se tiene que:

$$R_c = 31500 \text{ Kg} = 31.5Tn$$

$$R_t = 37715 \text{ Kg} = 37.7Tn$$

$$R_s = 39473.68 \text{ Kg} = 39.5Tn$$

por lo tanto, tomando el menor valor, la resistencia de la mampostería es $R = 31.5Tn$.

Por otra parte, aplicando la ecuación 4.4, encontramos que la carga axial de compresión del puntal es $C = 7.6 Tn$, que es mucho menor que la resistencia

del tabique, en consecuencia, la estructura analizada no presentará problemas por fracturación de la albañilería.

4.5.6 Estructuras afectadas en el sismo de Perú del 2007

A continuación se presentan varias estructuras que sufrieron serios daños en sus tabiquerías debido a uno de los tres tipos de falla indicados.



Figura 4.38 Falla por aplastamiento en esquina superior - Ica³⁶



Figura 4.39 Falla por tracción diagonal - Ica³⁷

³⁶ Defectos que incidieron en el comportamiento de las construcciones de albañilería en el sismo de Pisco del 15-08-2007, A. San Bartolomé

³⁷ Daños por el terremoto del 15 de agosto del 2007, J. Cuenca



Figura 4.40 Falla por cizalle en el Hospital San Juan de Dios - Ica³⁸



Figura 4.41 Falla por aplastamiento en la esquina inferior - Pisco³⁹



Figura 4.42 Falla por tracción diagonal - Pisco⁴⁰

^{38y39} Reporte Preliminar de daños en estructuras debido al sismo de 15/08/2007 (Grupo 2), C. Zavala, M. Estrada, P. Giba, L. Chang y L. Cárdenas

⁴⁰ El sismo de Pisco del 15 de agosto del 2007 y sus enseñanzas, A. Blanco

Finalmente se presenta un caso insólito ocurrido en Ica, donde el Hospital Antonio Skrabonja “EsSalud” sufrió, en un mismo sector del segundo piso, los tres tipos de falla de la mampostería. En la Figura 4.43, en el lado izquierdo se produjo falla por aplastamiento, en la esquina superior derecha se tiene falla por cizalle y en la esquina inferior derecha encontramos falla por tracción diagonal.



Figura 4.43 Hospital Antonio Skrabonja “EsSalud” - Ica⁴¹

⁴¹ Reporte Preliminar de daños en estructuras debido al sismo de 15/08/2007 (Grupo 2), C. Zavala, M. Estrada, P. Giba, L. Chang y L. Cárdenas