

CAPITULO 10

INTERACCION TABIQUE DE ALBAÑILERIA-ESTRUCTURA

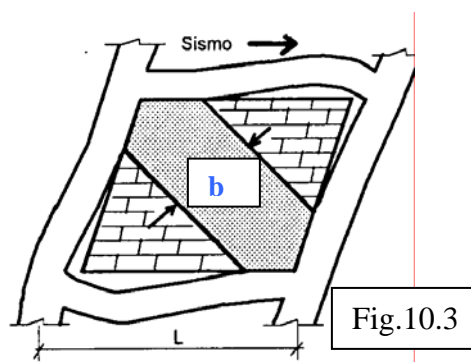
APORTICADA

Artículo 32. ALCANCE

32.1 Este Capítulo aplica a los tabiques de albañilería empleados para reforzar pórticos de concreto armado o acero. Puede aplicarse también para los tabiques de cierre y particiones de edificios aporticados, que no teniendo el propósito específico de reforzar al edificio, están adosados a sus pórticos, cuando el proyectista quiera proteger al edificio de efectos que se describen en el Artículo 32.2.

Comentario

Los tabiques de albañilería, a diferencia de los muros confinados, se caracterizan por ser construidos después de desencofrar a la estructura aporticada principal (Fig.10.1), con lo cual, la interfase pórtico-tabique es débil y ante la acción de cargas sísmicas coplanares (a veces incluso provenientes de sismos moderados), el pórtico se despegar del tabique, creándose fisuras en el contorno del tabique (Fig.10.2).



Al actuar el sismo en un cierto sentido (Fig.10.3), el pórtico (más flexible que el muro de albañilería) entra en contacto con el tabique en sus esquinas diagonalmente opuestas, mientras que las otras esquinas se despegan, haciendo trabajar al tabique como un panel de corte que eleva sustancialmente tanto la resistencia como la rigidez del conjunto. Este incremento de

resistencia y rigidez es lo que se trata de aprovechar en la Norma E.070, aunque, algunas veces, son nocivas para el edificio (ver el Artículo 32.2).

32.2 Cuando un tabique no ha sido aislado del pórtico que lo enmarca, ante las acciones sísmicas se producirá la interacción de ambos sistemas. Este efecto incrementa sustancialmente la rigidez lateral del pórtico y puede generar los siguientes problemas:

- 1) Torsión en el edificio.
- 2) Concentración de esfuerzos en las esquinas del pórtico.
- 3) Fractura del tabique.
- 4) "Piso blando", que se presenta cuando un determinado piso está libre de tabiques, mientras que los pisos superiores se encuentran rigidizados por los tabiques.
- 5) "Columnas cortas", donde el parapeto ó alféizar alto (ventanas de poca altura) restringe el desplazamiento lateral de las columnas.
- 6) Incremento de las fuerzas sísmicas en el edificio.

Comentario

La **torsión** en planta (Fig.10.4) se produce, por ejemplo, en edificios ubicados en esquinas (Fig.10.5), donde los ejes que dan a las calles presentan ventanas, mientras que los ejes que colindan con edificios vecinos están rellenos con tabiques. Esto genera un corrimiento del centro de rigidez lateral (CR) hacia la zona donde están concentrados los tabiques.

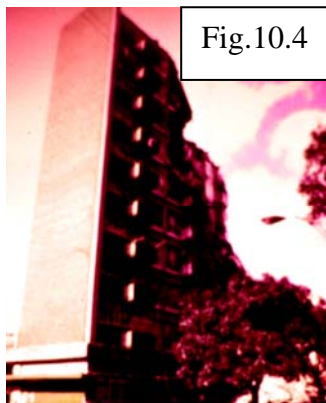


Fig.10.4

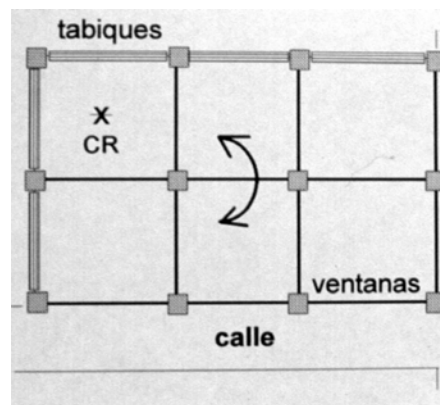


Fig.10.5



La **concentración de esfuerzos en las esquinas de los pórticos** (Fig.10.6) se produce por la reacción del tabique, actuando como un puntal, en las zonas en contacto con el pórtico (Fig.10.3).

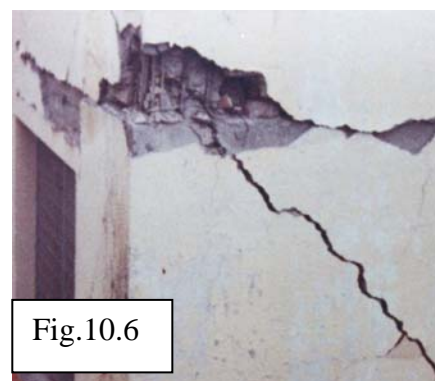


Fig.10.6

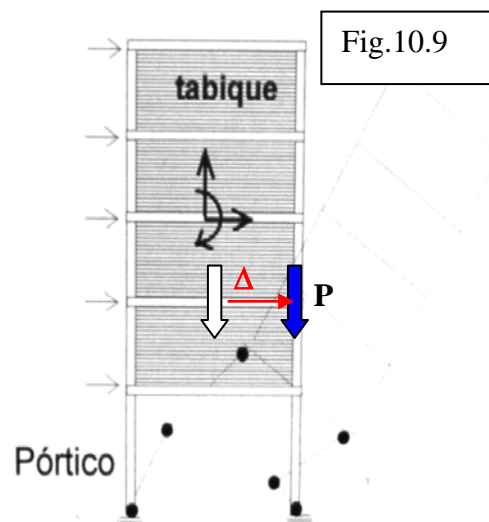
La **fractura en el tabique** (Fig.10.7) se produce porque la carga que absorbe la albañilería al interactuar con el pórtico, supera a su resistencia (ver el Artículo 33.4).



El problema de **“piso blando”** se produce, generalmente, en edificios donde el primer piso está destinado a tiendas o cocheras y, por tanto, está exento de tabiques, mientras que los pisos superiores están destinados a viviendas con gran cantidad de tabiques (Fig.10.8).



El problema de **“piso blando”** (o problema $P-\Delta$) se debe a que este piso es muy flexible con relación a los pisos superiores (rigidizados por los tabiques), con lo cual, al producirse un sismo el desplazamiento lateral (Δ en la Fig.10.9) del “piso blando” será muy elevado y generará una excentricidad de las cargas verticales (P) provenientes de los pisos superiores que se desplazan como sólido rígido. Esta excentricidad produce momentos flectores importantes en los extremos de las columnas del “piso blando”. Si esos momentos (usualmente de segundo orden), no han sido contemplados en el diseño, adicionándolos a los momentos flectores producidos por la traslación sísmica (momentos de primer orden), entonces se formarán rótulas plásticas en los extremos de las columnas (Fig.10.10), flexibilizándose aún más el “piso blando” (como si los pisos superiores apoyasen sobre bielas), para terminar finalmente colapsando el edificio. Por lo indicado, la mejor manera de controlar el problema de “piso blando” es rigidizándolo mediante placas.



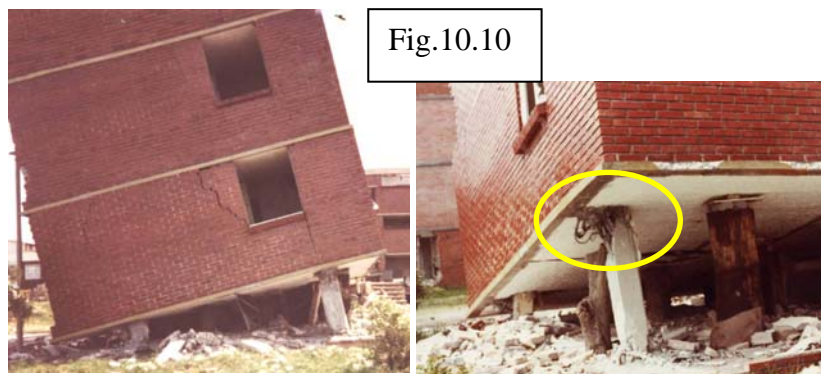


Fig.10.10

El problema de “**columna corta**” se presenta, generalmente, en edificaciones escolares con alféizares altos hechos de albañilería. Cuando ocurre un sismo, la losa de techo se desplaza horizontalmente y arrastra a la columna (Fig.10.11), que se ve restringida de desplazarse al entrar en contacto con la parte superior del alféizar (elemento rígido), generándose una gran distorsión angular en la parte libre de la columna (columna corta), que provoca la fractura diagonal (falla por corte). De este modo, una técnica para controlar este problema, es rigidizando a los pisos mediante columnas en forma de T o L, o mediante placas. Otra técnica es aislando a los alféizares con una junta vertical adecuada, rellena con material blando.

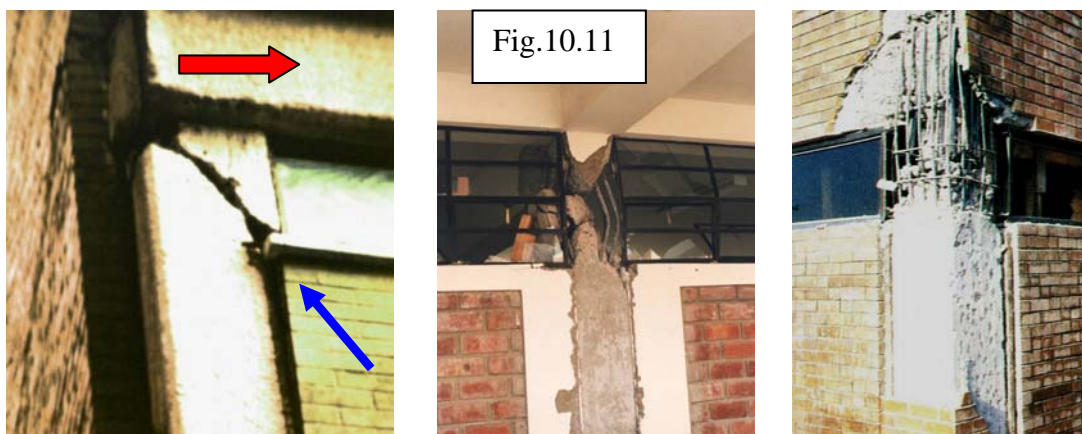


Fig.10.11

Cabe destacar que en un pórtico compuesto por 2 columnas y un alféizar alto (Fig.10.12), sólo una de las columnas trabaja como corta, absorbiendo casi la totalidad de la fuerza sísmica, mientras que la otra se despega del alféizar. Bajo este concepto, se analizó una técnica para reforzar edificaciones existentes con problemas de “**columna corta**”, mediante ensanches hechos de concreto armado (Fig.10.13). En esta técnica se fuerza a que todas las columnas se comporten como columnas cortas, de tal modo que cada una absorba el mismo porcentaje de la fuerza sísmica total, para de esta manera reducir el cortante en cada columna.

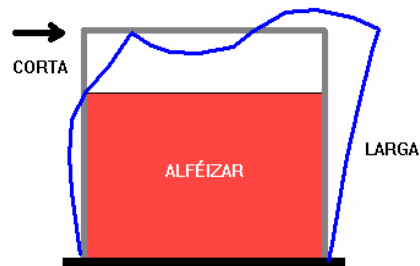


Fig.10.12

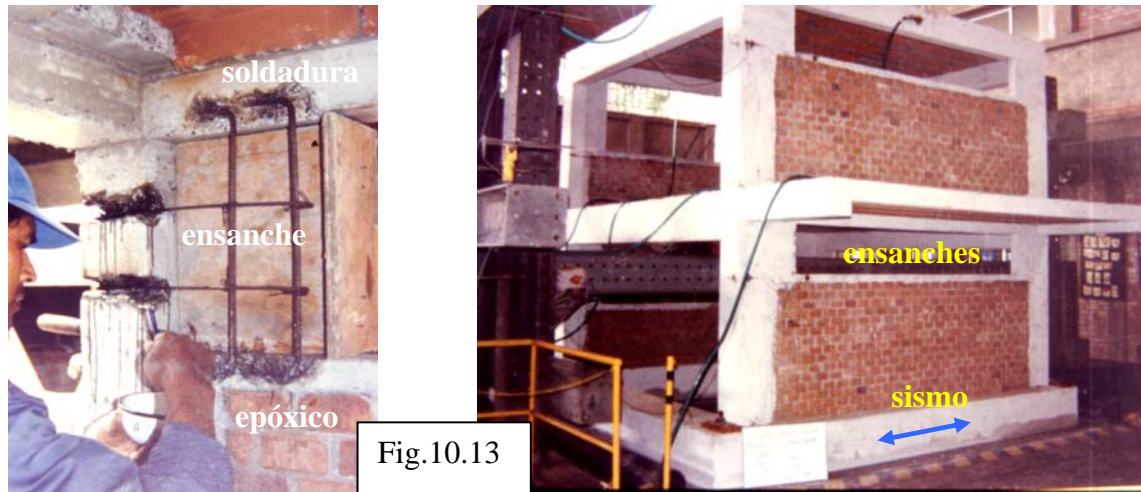


Fig.10.13

El **incremento de la fuerza sísmica** en las estructuras aporticadas (Fig.10.14) se debe a que los tabiques rigidizan a los pórticos, disminuyendo su período natural de vibrar, con lo cual, la estructura podría ingresar a la zona plana del espectro sísmico de la Norma E.030, aumentando el coeficiente sísmico y por ende, la fuerza sísmica.



Fig.10.14

Artículo 33. DISPOSICIONES

33.1 La distorsión angular máxima de cada entrepiso, considerando la contribución de los tabiques en la rigidez, deberá ser menor que $1 / 200$. Para atenuar los problemas de interacción tabique-pórtico, se sugiere adicionar al edificio placas de concreto armado que permiten limitar los desplazamientos del entrepiso.

Comentario

La distorsión máxima indicada (0,005) permite controlar el deterioro de la albañilería y, por tanto, evitar la pérdida de la resistencia proporcionada por los tabiques. El empleo de placas de concreto armado permite aliviar el trabajo de los tabiques al disminuir los desplazamientos laterales, sin embargo, al modelar la estructura (Fig.10.15), habrá que contemplar el sentido en el cual actúa el sismo.

Otra manera de disminuir la interacción tabique-pórtico es reemplazando a la albañilería por tabiques flexibles, por ejemplo, de fibrablock o drywall. En la

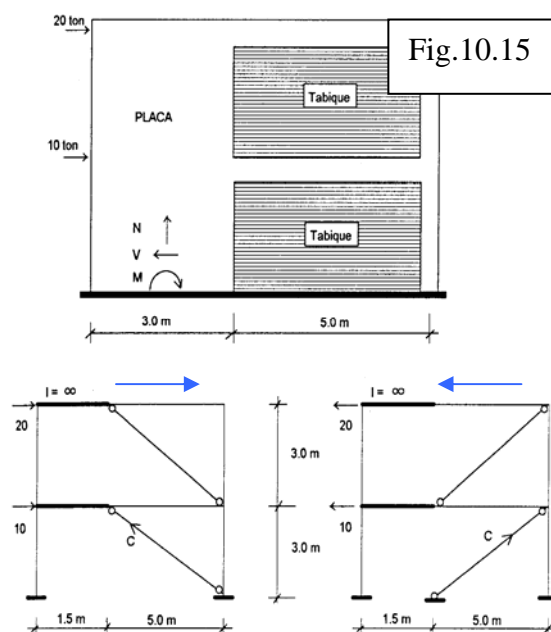
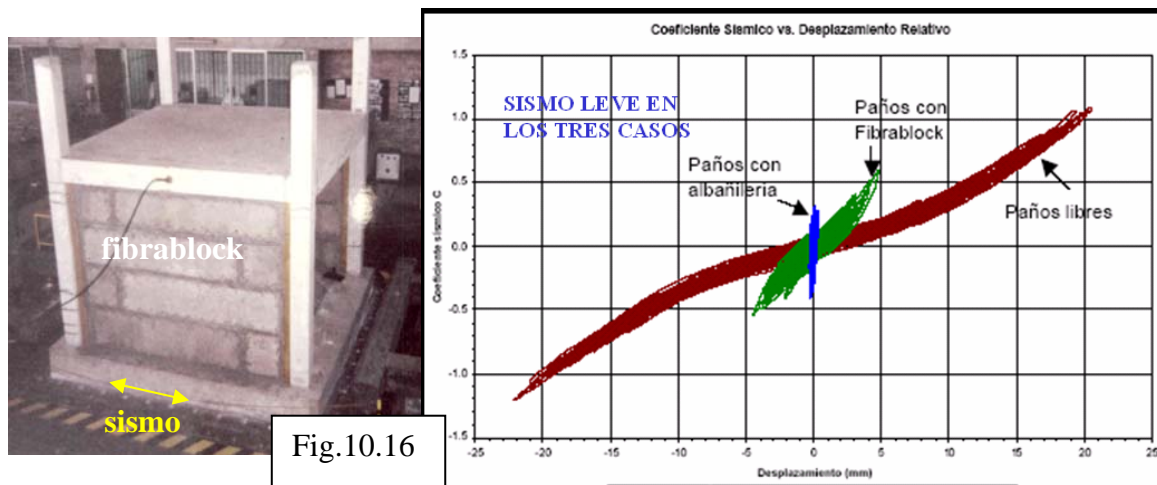


Fig.10.15

Fig.10.16, se muestra el caso de un pórtico sujeto a sismo leve simulado en mesa vibradora, bajo 3 condiciones: sin tabique, con tabique de fibrablock y con tabique de albañilería, allí puede apreciarse la gran rigidez lateral que proporciona el tabique de albañilería.



En el caso del tabique Drywall, ha podido apreciarse experimentalmente que la interacción tabique-pórtico se pierde rápidamente durante la acción de sismos moderados, al fracturarse las planchas de yeso-cartón en las esquinas del pórtico (Fig.10.17), y que el armazón metálico (Fig.10.18) proporciona muy baja resistencia y rigidez lateral. Cabe destacar que muchas veces los tabiques de albañilería han evitado el colapso de las estructuras aporricadas (Fig.10.7), por el incremento sustancial de rigidez y resistencia que les proporcionan; en el caso de los tabiques Drywall, la estructura principal (Fig.10.19) es la que debe soportar íntegramente la acción del sismo severo.

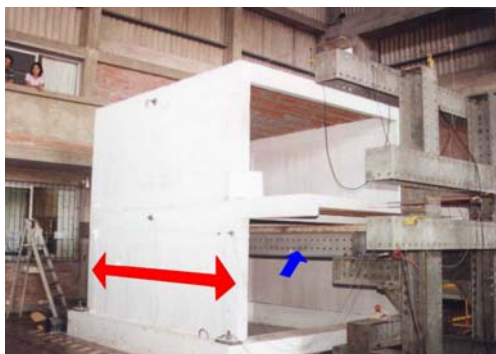


Fig.10.17



Fig.10.18



Fig.10.19

El sismo ocurrido en Pisco el 15 de agosto del 2007, fue captado sobre el suelo duro de Lima con una aceleración máxima de 0.07g, correspondiente a un sismo leve; sin embargo, produjo la fractura de numerosos tabiques hechos con ladrillo pandereta (Fig.10.20) y el sistema “P-7” (bloques sílicos-calcáreos con refuerzo vertical conectado a la estructura principal, figuras 10.21 y 10.22). Esto se debió a la flexibilidad que tuvieron los edificios altos que contenían a los tabiques indicados, por lo que posiblemente debió haberse superado la deriva de 1/800 para la cual se fractura la albañilería. Cabe indicar que es imposible aislar al sistema P-7 de la estructura, por lo que el proyectista debe contemplar la interacción estructura-tabique P-7.

Fig.10.20

Tabique hecho con
ladrillo pandereta.



Fig.10.21

Tabique hecho con
el sistema P-7.



Fig.10.22

Sistema P-7.



- 33.2** En esta Norma se propone adoptar como modelo estructural un sistema compuesto por las barras continuas del pórtico de concreto armado, agregando en aquellos paños donde existan tabiques, un puntal diagonal de albañilería (ver el módulo de elasticidad " E_m " en el Artículo 24.7) que trabaje a compresión, en reemplazo del tabique. Opcionalmente, podrá adoptarse otros modelos que reflejen la interacción tabique-pórtico. La sección transversal del puntal será $b.t$.

donde:

t = espesor efectivo del tabique

b = ancho equivalente del puntal de albañilería = $\frac{1}{4} D$

D = longitud del puntal (o longitud diagonal del tabique)

Comentario

El modelo que se propone en esta Norma, ha sido comprobado experimentalmente (Fig.10.23). Cabe remarcar que el puntal de albañilería siempre actúa en compresión, tal como se muestra en las figuras 10.3 y 10.15, contrarrestando a la fuerza sísmica.

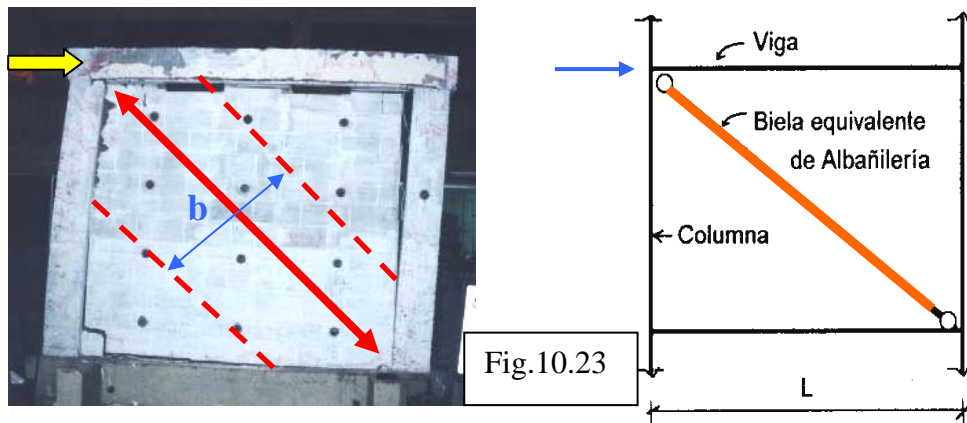


Fig.10.23

33.3 La falla de un tabique puede modificar sustancialmente el análisis estructural elástico al desaparecer el efecto de puntal en los tabiques que se agrietan o desploman; por lo tanto, será necesario que los tabiques se comporten elásticamente, incluso ante los sismos severos, y emplear elementos de anclaje que lo conecten a la estructura principal para evitar su volcamiento ante las acciones ortogonales a su plano.

Comentario

En la Fig.10.24 se muestra el caso de un tabique hecho con bloques artesanales de concreto vibrado, sin grout en el interior. Al triturarse los bloques en contacto con el nudo del pórtico y al volcarse un tabique, se perdió la acción de puntal, flexibilizándose el primer piso, lo que dio lugar al problema de “piso blando”.



Fig.10.24



Cuando el tabique no ha sido aislado de la estructura principal, con el objeto de aprovechar estructuralmente su resistencia y rigidez, es necesario evitar su volcamiento (Fig.10.25) ante acciones sísmicas perpendiculares a su plano. Para ello puede recurrirse a arriostres de concreto armado (Fig.10.26 y Fig.9.3 del Capítulo 9).

Cuando el tabique se aísla de la estructura principal, los elementos de arriostre deben conectarse adecuadamente a la estructura. En la Fig.10.27 se muestra el volcamiento de tabiques porque el refuerzo vertical de las columnas de arriostre anclaba en el recubrimiento de la viga de apoyo.



Fig.10.25

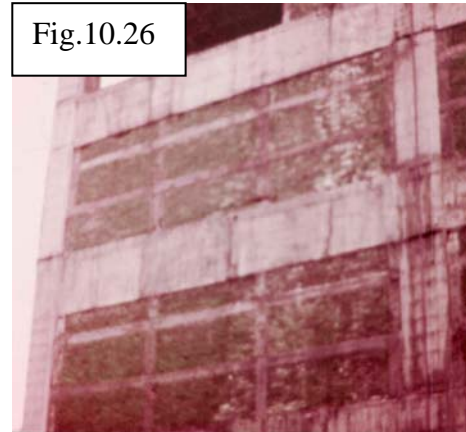


Fig.10.26

Fig.10.27

Falla por anclaje del refuerzo vertical de las columnas de arriostres de tabiques aislados.



33.4 Tipos de Falla y Resistencias Asociadas en los Tabiques. Los tipos de falla por carga sísmica contenida en el plano del tabique, así como las resistencias (R) respectivas, en condición de rotura del puntal, se presentan a continuación:

Nomenclatura

R = resistencia última del puntal de albañilería (en kilogramos)

L , h , t = longitud, altura y espesor del tabique, respectivamente (en centímetros)

$$D = \sqrt{L^2 + h^2}$$

f'_m = resistencia característica a compresión axial de la albañilería (en kg/cm^2). Ver la Tabla 9.

f_s = resistencia última a cizalle de la albañilería = 4 kg/cm^2

- a.- **Aplastamiento** (R_c). Esta falla se presenta en las esquinas del tabique, triturándose los ladrillos. La resistencia última del puntal se calculará como:

$$R_c = 0,12 f'_m D t \quad (33.4a)$$

- b.- **Tracción Diagonal** (R_t). Esta falla se manifiesta a través de una grieta diagonal en el tabique. La resistencia última del puntal se calculará mediante la siguiente expresión:

$$R_t = 0,85 \sqrt{f'_m} D t \quad (33.4b)$$

- c.- **Cizalle** (R_s). Este tipo de falla se produce a la mitad de la altura del tabique (junta de construcción) y se caracteriza por ser una grieta horizontal. La resistencia a la rotura del puntal se obtendrá mediante la siguiente fórmula:

$$R_s = \frac{f_s t D}{1 - 0,4 h/L} \quad (33.4c)$$

Comentario

Para facilitar el diseño, las resistencias últimas que se proporcionan (fórmulas 33.4a, 33.4b y 33.4c) se encuentran proyectadas en la dirección del puntal.

La falla por aplastamiento (Fig.10.28) es propia de tabiques contruidos con albañilería de poca calidad ($f'_m < 50 \text{ kg/cm}^2$), o con ladrillos tubulares (pandereta) o con alto porcentaje de huecos (Fig.10.24), a diferencia de la falla por tracción diagonal (Fig.10.29).

La falla por cizalle es mas bien propia de defectos constructivos. Si bien preferentemente la falla por deslizamiento tiende a localizarse a la mitad de la altura del tabique (junta de construcción entre jornadas de trabajo), los defectos en la construcción pueden hacer que se ubique en otra región del muro (Fig.10.30).

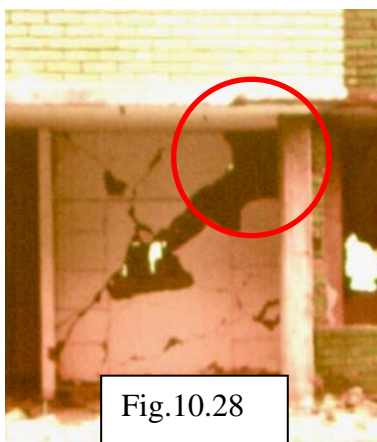


Fig.10.28

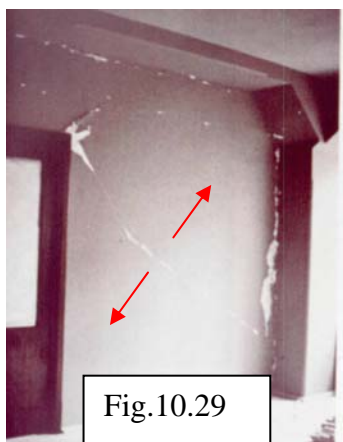


Fig.10.29

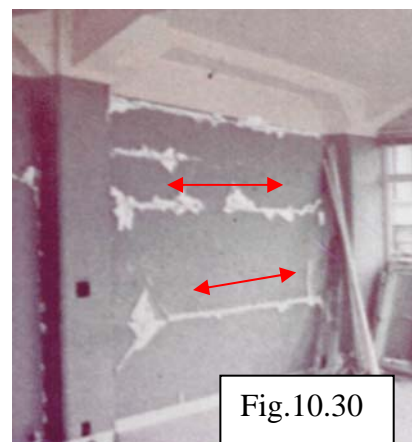


Fig.10.30

33.5 La fuerza de compresión actuante en el puntal, proveniente del análisis sísmico elástico ante el sismo severo, especificado en la NTE E.030 Diseño Sismorresistente, deberá ser menor que la resistencia a la rotura del tabique (contemplando los tres tipos de falla indicados en el Artículo 33.4).

Comentario

De las tres resistencias (R) especificadas en 33.4, debe emplearse como resistencia última del puntal a la menor de ellas; a su vez, esa resistencia deberá ser mayor que la carga axial de compresión (C en la Fig.10.31) actuante en el puntal equivalente de albañilería, proveniente del análisis sísmico del edificio. En caso contrario, debe mejorarse la calidad de la albañilería f'm o rigidizarse al edificio mediante placas de concreto armado (Fig.10.15), de tal forma que disminuya la interacción pórtico-tabique ("C").

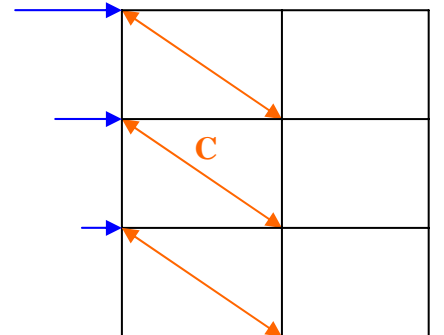


Fig.10.31

Sólo en el caso que se utilice un refuerzo en el tabique, capaz de soportar "C", puede obviarse la especificación 33.5; de otro modo, la rotura del tabique podría generar problemas indeseables (ver Artículo 33.3). El uso de varillas de fibra de vidrio (Fig.10.32) y de malla electrosoldada (Fig.10.33), han proporcionado resultados experimentales adecuados, ductilizando al tabique después de su rotura diagonal (Fig.10.34).

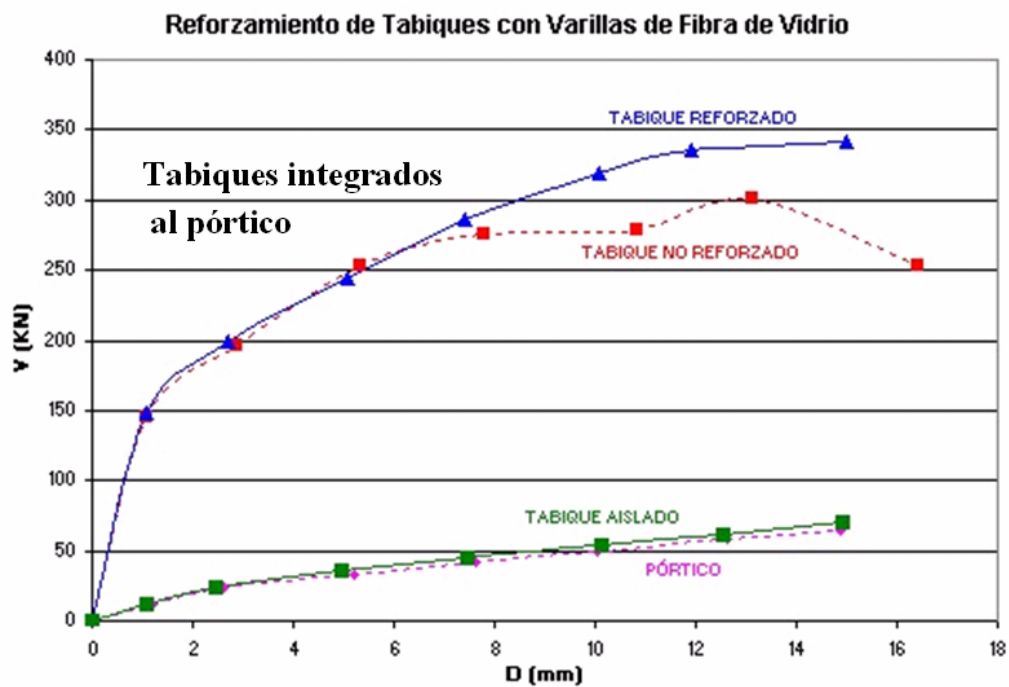
Cabe destacar que el empleo de malla electrosoldada en las 2 caras del muro, conectadas con alambre #8 (Fig.10.33) para formar una especie de sándwich con el tabique, recubierta con mortero 1:4, incrementa la resistencia a tracción diagonal (R_t) hasta en un 40% y además evita la trituración de la albañilería en su zona central. En el caso que el tabique haya sido construido con ladrillos pandereta, además de la malla, es recomendable utilizar en las esquinas de la albañilería ladrillos sólidos u ochavos de concreto para evitar su trituración.



Fig.10.32. Varilla de fibra de vidrio adherida con epóxico al tabique.



Fig.10.33. Mallas electrosoldadas conectadas con alambre #8 y recubiertas con mortero 1:4.



Tabique aislado del
pórtico



Tabique reforzado e
integrado al pórtico

Fig.10.34. Comportamiento de tabiques hechos con bloques de concreto vibrado (sin grout) a carga lateral cíclica. Nótese el gran incremento de rigidez y resistencia cuando el tabique se integra al pórtico, y que cuando se aísla al tabique, el conjunto se comporta como si el tabique no existiese (pórtico sin tabique).