

DUCTILIDAD Y DAÑOS SISMICOS EN EDIFICIOS CELULARES DE ALBAÑILERIA ARMADA

Héctor Gallegos *

RESUMEN

La ductilidad disponible de los edificios celulares de muros portantes de albañilería armada de mediana altura -cuatro a seis niveles- sometidos a sismos, debe ser limitada con el propósito de reducir la magnitud de los daños que se producen en los mismos cuando ingresan en el rango inelástico. Con el propósito de cuantificar dicha limitación se informa acerca del análisis de los resultados de diferentes investigaciones llevadas a cabo acerca del tema.

INTRODUCCION

El edificio celular de muros portantes de albañilería armada de mediana altura -cuatro a seis niveles- puede ser componente importante de la solución habitacional urbana. Este hecho explica el interés por racionalizar el análisis de su comportamiento estructural y por desarrollar componentes y procesos constructivos para optimizar su economía y su seguridad. En el Perú, país altamente sísmico se ha desarrollado, normalizado y reglamentado la tecnología de la albañilería y en particular, la de la albañilería armada para su aplicación, actualmente muy difundida en edificios de vivienda hasta de seis niveles de altura a través de investigación, ensayos de laboratorio y experiencia práctica llevados a cabo durante las últimas dos décadas.

El sistema estructural de estos edificios está constituido por muros dispuestos según dos direcciones principales ortogonales conectados por los diafragmas rígidos provistos por las losas de concreto armado de la cimentación, los entrepisos y el techo. Este sistema permite trasladar las cargas gravitacionales y sísmicas al suelo, a través de la acción coplanar de los muros de albañilería actuando como voladizos

independientes conectados, los que deben tener la debida capacidad para incursionar competentemente en el rango inelástico ante sismos severos. Caracteriza al edificio celular una natural sismorresistencia que proviene de una casi invulnerabilidad ante el colapso y una inherente gran rigidez para cargas laterales; sin embargo, el ingreso de la edificación en el rango inelástico, la obtención de ductilidades satisfactorias con espesores reducidos de muro y las tensiones diagonales que inevitablemente acompañan al proceso de deformación conducen, en muchos casos, a daños notorios. Estos daños ocurren, tanto en la zona de la rótula plástica del muro donde son esperados en situaciones extremas, como antes de que los anteriores ocurran, en zonas dependientes para su integridad de la reducida resistencia a tracción de la albañilería.

El edificio celular, tiene la peculiaridad de que los muros que son los elementos estructurales principales son también los elementos de cierre, división y acabado. Adicionalmente este tipo de edificio es usualmente ocupado multifamiliarmente por grupos sociales de ingresos reducidos. Finalmente, se está haciendo crecientemente obvia la escasa aceptación social de los daños sísmicos y el hecho de que el parámetro más relevante para juzgar el éxito de una edificación sismorresistente es el costo de su reparación después de un sismo severo. Como consecuencia, los daños causados por los sismos, ocasionalmente sólo cosméticos, adquieren en los edificios celulares importancia considerable: de un lado, pueden causar indebida intranquilidad y de otro, pueden no ser reconocidos como importantes, no ser accesibles o no existir los recursos necesarios para su debida reparación. En virtud de lo anterior, es que los daños en este tipo de edificaciones deben ser limitados.

DUCTILIDAD

No se justifica económicamente en una región sísmicamente activa que todas las estructuras se diseñen para sobrevivir los más fuertes movimientos de tierra que en ella pueden ocurrir sin sufrir daños. La sociedad y la ingeniería, expresándose a través de la reglamentación sísmica, han considerado más razonable optar por un diseño tal que las estructuras sobrevivan los sismos frecuentes moderados sin daño alguno y que, en el raro evento de un gran sismo, se tolere el daño estructural siempre y cuando no exista riesgo a la vida humana. Este es el punto de vista normal de diseño en áreas sísmicas; punto de vista radicalmente distinto al adoptado para toda otra

solicitud, por ejemplo, viento y servicio, para las que no se admite que la estructura se deforme más allá del rango elástico.

Cuando se acepta que bajo cargas sísmicas severas excepcionales la estructura ingrese en el rango inelástico está implícita la demanda de que ella sea dúctil y la ejecución de dos análisis distintos y complementarios para dimensionarla:

- a) El primero, destinado a asegurar que no habrá daños durante sismos moderados; en otras palabras, para ellos la dinámica del sistema suelo-estructura deberá mantener un régimen de vibraciones elásticas, y desde el punto de vista del diseño, será satisfactorio un procedimiento elástico convencional de esfuerzos (admisibles).
- b) El segundo, correspondiente a un diseño al límite, destinado a asegurar que la estructura tendrá una capacidad suficiente de absorción de energía que proporcione un margen de seguridad adecuado contra el colapso en el evento de un gran sismo; esta condición implica la habilidad de la estructura de someterse a deformaciones inelásticas reversibles más allá del límite de fluencia inicial manteniendo, al mismo tiempo, una proporción sustancial de su resistencia máxima inicial. En este segundo análisis es imprescindible el empleo de un diseño por métodos de resistencia (última), la verificación de los posibles modos de falla para decidir mediante un procedimiento de capacidad el mecanismo plástico más adecuado al comportamiento dúctil requerido y la comprobación de que existe ductilidad suficiente.

Para lograr un diseño al estado límite que prediga razonablemente el comportamiento estructural real y que a su vez conduzca al logro de una estructura dúctil se deberá, en el segundo análisis mencionado, escoger un sistema preferente de mecanismo de falla en flexión y no en corte, que culmine y provenga de un sistema de rótulas plásticas donde ocurrirán las deformaciones y giros y donde se concentrará la absorción de energía. En el caso de los edificios de albañilería los siguientes aspectos

deben ser contemplados para lograr los muros dúctiles que cumplan los objetivos antedichos:

- a) Los edificios deben tener distribuciones regulares de masa, forma y rigidez, con el fin de minimizar las solicitaciones inherentes a las torsiones y discontinuidades.
- b) Los muros de albañilería armada no deben ser acoplados mediante dinteles o alfeizares por la dificultad de lograr la efectiva formación de las rótulas plásticas en estos elementos horizontales (ver figura 1); más bien los muros sólo deben conectarse mediante las losas de los entrepisos y techos que, si bien proveen un bienvenido acoplamiento en el rango elástico, son lo suficientemente flexibles como para desacoplarse en el rango plástico y permitir su comportamiento como voladizos independientes (debe notarse que como la ductilidad es inversa a la flexibilidad de los muros el mecanismo plástico de muros conectados comienza a ser muy ineficiente a partir de los seis niveles, y como consecuencia, para edificios de más altura es indispensable buscar un mecanismo plástico de muros acoplados).
- c) La relación de aspecto (o esbeltez) de los muros $a = h/l$, donde h es la altura hasta la resultante sísmica actuando sobre el muro y l el largo del muro, debe ser siempre mayor que uno y preferentemente mayor que dos, ya que conforme aumenta la esbeltez el modo de falla natural del muro, si está correctamente armado, tiende a ser por tracción por flexión y no por tracción diagonal, (ver figura 2).
- d) La resistencia característica en flexión, precisada por el contenido y disposición de la armadura vertical, de todas las secciones del muro debe ser igual, no mayor, a la exigida por las acciones sísmicas obtenidas de un diagrama de momento modificado, corrido un piso hacia arriba, para garantizar que la información de la rótula plástica ocurra en la base del muro.

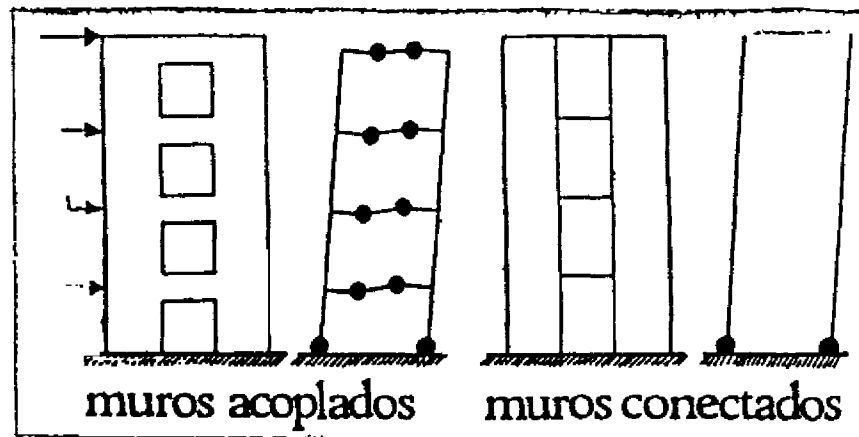


FIGURA 1. UBICACION DE ROTULAS PLASTICAS EN LOS MECANISMOS PLASTICOS DE LOS EDIFICIOS CELULARES.

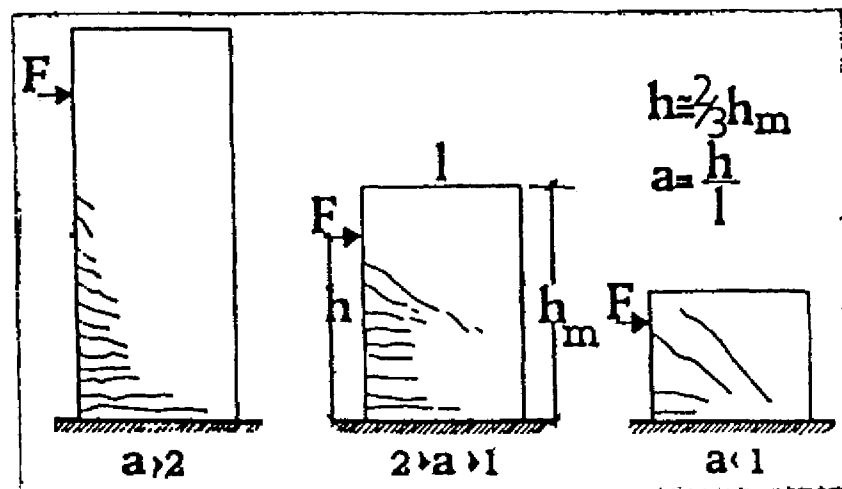


FIGURA 2. ESBELTEZ vs FORMAS DE FALLA

- e) La resistencia característica en corte, precisada principalmente por el contenido y disposición de la armadura horizontal, de todas las secciones del muro debe ser mayor que la que corresponde al corte asociado a los momentos indicados anteriormente para tener en cuenta: 1) que los momentos reales pueden probabilísticamente ser mayores que los característicos; 2) que el segundo modo de vibración tiende a crear condiciones más críticas en corte al acercar la resultante de inercia sísmica a la base del muro y, 3) que para muros con valores de a menores que 2 existe la tendencia a preferir naturalmente la falla en corte.

Finalmente, con el propósito no sólo de precisar el nivel de fluencia requerido sino la magnitud de las deformaciones que deberán albergarse sin colapso los aspectos anteriores deberán conciliarse numéricamente mediante un factor de comportamiento $k = F_u/F_y$, donde F_u es la fuerza de inercia máxima sobre la estructura obtenida del espectro elástico amortiguado y dependiente del período predominante de vibración de la estructura, y F_y la fuerza de diseño en fluencia y depende de la ductilidad de desplazamiento disponible $u = A_u/A_y$, donde A_u es la deriva máxima en el punto de aplicación de la fuerza y A_y la deriva en fluencia (ver Fig. 3). En el caso de edificios de albañilerías con alturas entre 4 y 6 pisos el período es del orden de 0.3 a 0.4 segundos y el valor de K es usualmente mayor que el valor reglamentario permitido usualmente (alrededor de 2.5) para los valores de la ductilidad de desplazamiento típicos en albañilería armada (ver Fig. 4).

En un muro dúctil de albañilería armada sometido a cargas coplanares, es decir, un muro bajo-armado cuya falla es por flexión y se inicia por tracción de la armadura se puede asumir que existen estados de comportamiento y límites precisables correspondientes a dichos estados. Ellos se expresan en un diagrama fuerza-deriva en la figura 5.

El primer estado de comportamiento corresponde a la sección no agrietada, donde el esfuerzo máximo de tracción en la albañilería es menor que el módulo de ruptura de la misma. Cuando el momento actuante en el muro iguala al momento de agrietamiento, es decir, cuando el esfuerzo en la albañilería en tracción ha alcanzado la resistencia al agrietamiento de la misma se llega al límite 1. Existe evidencia de que los parámetros que controlan este límite están exclusivamente relacionados con la

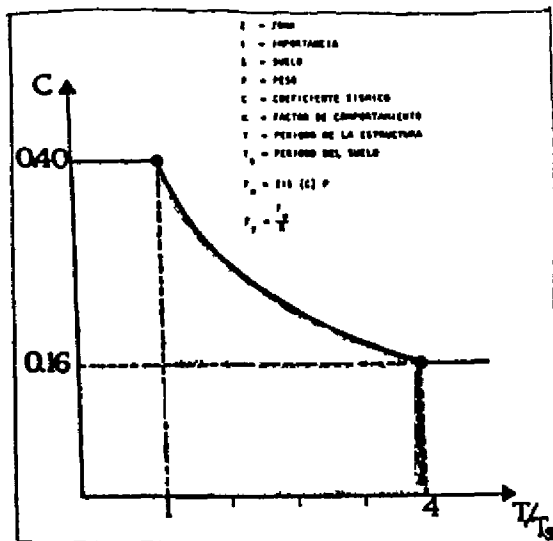


FIGURA 3. ESPECTRO ELASTICO (5% DE AMORTIGUAMIENTO) Y FUERZAS SISMICAS DE ACUERDO A NORMA SISMICA PERUANA.

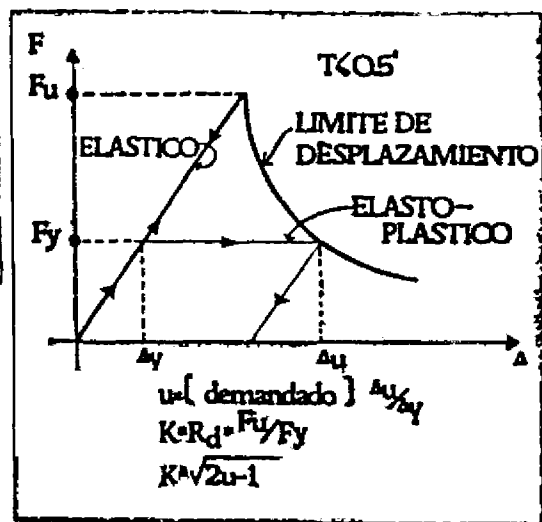


FIGURA 4. FACTOR DE COMPORTAMIENTO (K) VERSUS DUCTILIDAD (μ).

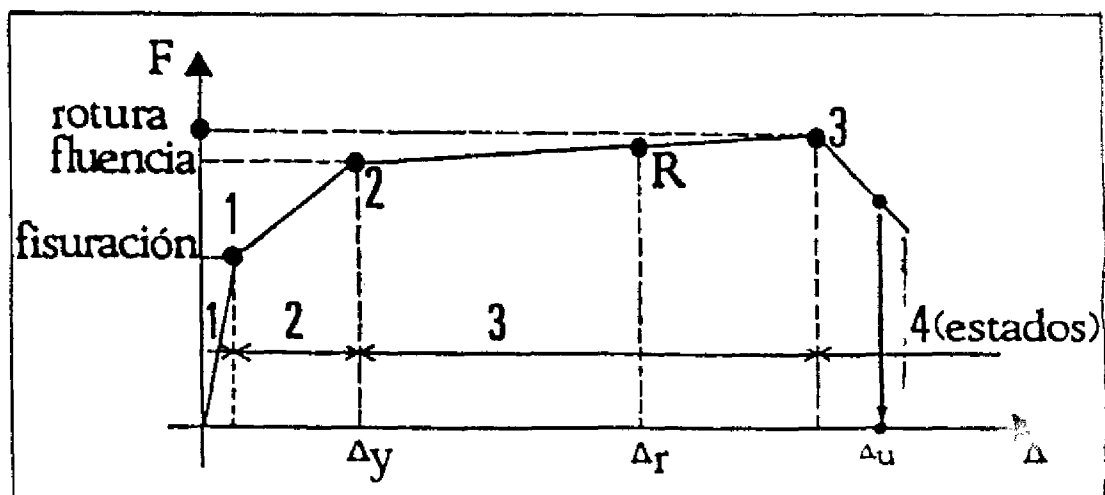


FIGURA 5. COMPORTAMIENTO DE UN MURO DUCTIL.

adhesión de la unidad con el mortero y con el concreto líquido, sin influencia de la presencia y cuantía de armadura. En este caso de comportamiento no se presentan daños en la estructura.

El segundo estado de comportamiento corresponde a un muro de albañilería ya agrietada donde las tracciones por flexión son absorbidas por la armadura con deformaciones por debajo de las que corresponden a su fluencia. Al alcanzarse la deformación por fluencia del acero se ubica el límite 2. Numéricamente, el valor de momento para este límite es igual al del momento del inicio de la fluencia. Este estado es equivalente a aquel en el que se diseña estructuras de concreto armado sometidas a cargas de servicio: cargas gravitacionales y sismos moderados; si se considera que la albañilería armada tiene un comportamiento equivalente al del concreto armado la misma condición de diseño le sería aplicable. Sin embargo, aspectos relativos al control de daños pueden ser los que controlen indirectamente el diseño para cargas de servicio en edificaciones de albañilería.

El primer y el segundo estado, son los estados de servicio de un muro y en ellos, el amortiguamiento de una excitación vibratoria, como un sismo, es esencialmente inercial.

En el tercer estado de comportamiento o estado último, la máxima deformación por fluencia del mismo, pero la máxima deformación unitaria en compresión en la albañilería es inferior al valor de su deformación utilizable. El límite 3 ocurre cuando la máxima deformación en compresión de la albañilería es igual a la máxima deformación utilizable de la misma. En este límite se supone que se ha alcanzado el nivel máximo de la competencia estructural del muro: su resistencia máxima.

El cuarto estado de comportamiento se inicia cuando se alcanza la resistencia máxima y termina cuando ha ocurrido una pérdida arbitraria de esa resistencia, usualmente se admite 30% de pérdida. El desarrollo del cuarto estado depende sobre todo de la capacidad del talón comprimido del muro para evitar su deterioro. Si el talón se rompe rápidamente por compresión, la pendiente de caída de la línea carga-deformación será elevada, mientras que si el talón logra mantener su integridad, lo que se obtiene, por ejemplo, incorporando planchas de confinamiento en las hiladas, la pendiente de dicha línea puede ser reducida y el muro puede alcanzar mayores deformaciones sin pérdida considerable de resistencia. En este

cuarto estado se ubica la deformación del muro bajo un sismo severo, y en ese contexto debe efectuarse el análisis correspondiente a la ductilidad máxima demandada o cuando se limitan las rotaciones a la ductilidad útil. En este estado, así como en el tercero, el amortiguamiento se debe a la capacidad hysterética de disipación de energía. De otro lado, a partir del momento que el muro alcanza su resistencia máxima, y ante deformaciones crecientes, el sufrirá agrietamientos crecientes y su reparación será cada vez más costosa y difícil; es por ello, que en muchos casos no se permite que el muro ingrese francamente en este cuarto estado ante el ataque de sismos severos.

DAÑOS SISMICOS

Como se ha mencionado, la incursión de la estructura en el rango inelástico, el tercero y cuarto estados, implica la ocurrencia de daños. Y aunque en teoría estos daños están limitados a la zona de las rótulas plásticas, en la práctica, las deformaciones demandadas (y permitidas) ocasionan otros daños estructurales en el mismo muro, ya sea porque los sismos descubren fragilidades, que proceden a descartar de la línea resistente, o por las características intrínsecas del sistema estructural donde no es posible desdoblar el comportamiento naturalmente integral del muro en un comportamiento por flexión y en otro por corte.

La filosofía de aceptación de daños y la eventual ocurrencia de los mismos demandan un análisis adicional a los señalados anteriormente, el cual también corresponde a un diseño al límite condicionado por la tolerancia de determinado nivel de daños. En esencia de dicho análisis deberá obtenerse un nuevo valor de K , inferior al obtenido de criterios de ductilidad, de modo tal que la fuerza sísmica de diseño que corresponde a la resistencia en fluencia de la estructura $F_y = F_u/K$ sea lo suficientemente elevada para impedir excursiones inelásticas en el rango A-Ay que excedan el nivel del daño aceptable. Se trata de establecer el límite R, señalado en la figura 5, caracterizado por una deformación A_r que no deberá ser excedida por el muro sometido a sismos severos.

En el marco de la escasa experiencia sísmica existente con edificios de albañilería armada el límite R es un impreciso. Algunos investigadores han propuesto que K , para impedir daños excesivos deber ser definido a partir de un valor de la ductilidad de desplazamiento, que procede de un valor A_u definido a su vez por una

degradación de 30% al 70% de la resistencia máxima. Pero, evidentemente, esto implica ya sea que el muro dúctil ingresó al estado de comportamiento cuatro, lo que no siempre es aceptable, o que su modo de falla es en corte, forma de falla que hemos descartado por corresponder a un comportamiento sísmico inadecuado. Otros han propuesto que para determinada deformación angular del muro (A/h) que corresponde a un nivel de sismo también determinado, no debe ocurrir daño visible alguno. Este último será el enfoque que emplearemos en este análisis, ya que se conduce con el comportamiento del muro dúctil y permite una aproximación conservadora, sin excesos, para determinar el límite de fluencia más adecuado a dicho propósito.

De otro lado, para precisar el límite de la deriva debe tenerse en cuenta que el límite de daños se relaciona necesariamente con preferencias y características de la sociedad que incluyen los siguientes aspectos cualitativos:

- a) La aceptabilidad social del daño ocurrido; el daño no puede ser de tal magnitud, que aún siendo cosmético, cause alarma o sensación de inseguridad en los habitantes de la edificación.
- b) La probabilidad elevada de que él podrá ser reparado para impedir la acumulación de daños y la pérdida eventual de la capacidad de absorción de energía; este aspecto incluye no sólo posibilidad de acceso a la edificación para la inspección después de un sismo, sino también de adjudicación de recursos para su reparación.
- c) La disponibilidad de técnicas de reparación accesibles y económicas; por ejemplo, la común inyección con resinas epóxicas estructurales ha demostrado ser excesivamente costosa en muchos países en desarrollo y, por lo tanto, no debe considerarse siempre disponible.

Efectuando el análisis de ensayos cíclicos coplanares realizados por diferentes investigadores en muros de albañilería armada encontramos ductilidades elevadas en el caso de configuraciones correctas de muros, es decir, con esbelteces adecuadas y con fallas preferentes en flexión; las ductilidades de desplazamiento alcanzan

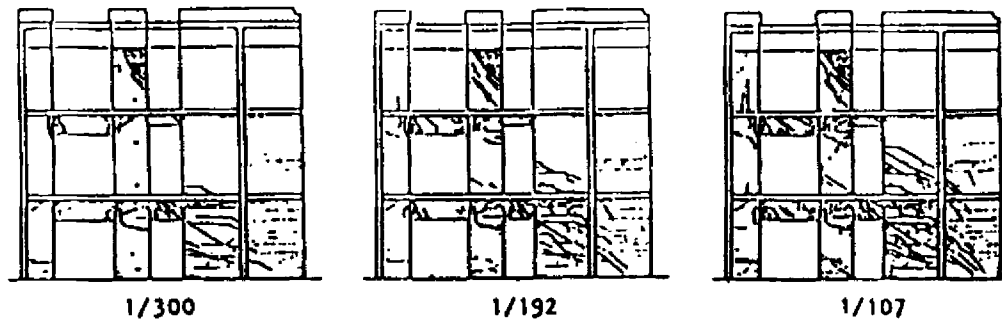


FIGURA 6. PROPAGACION DE FISURAS EN ENSAYO DE MUROS ACOPLADOS (Yamazaki, et al, 1987). BIBLIOGRAFIA 11.

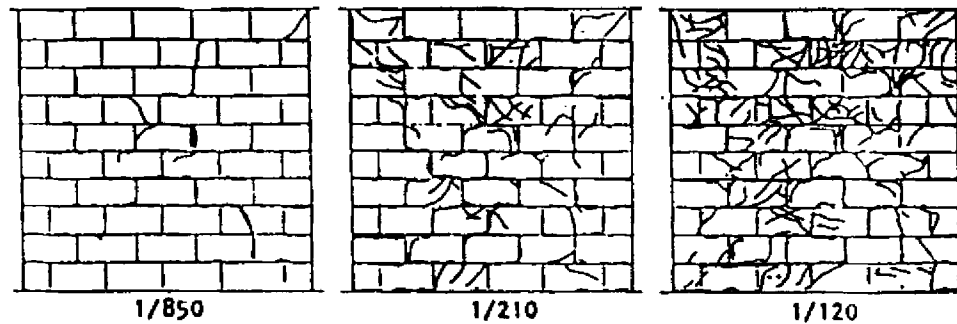


FIGURA 7. PROPAGACION DE FISURAS EN ENSAYO CICLICO DE MUROS. ESBELTEZ $a = 1$ (Fontana, 1987). BIBLIOGRAFIA 3.

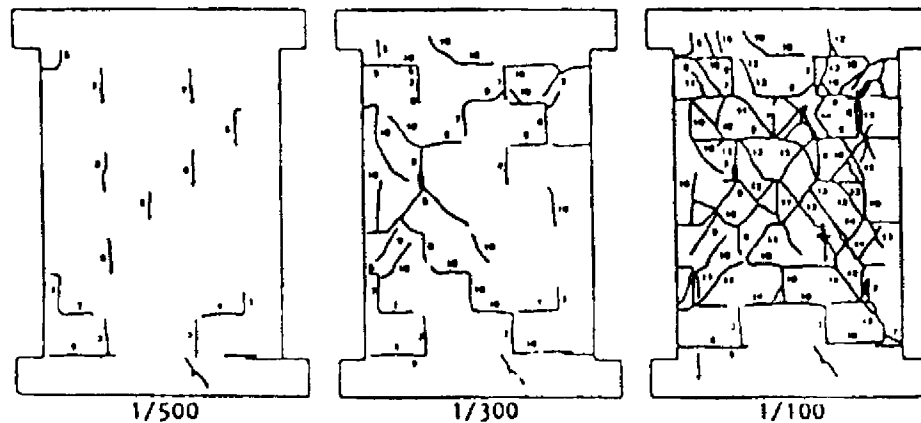


FIGURA 8. PROPAGACION DE FISURAS EN ENSAYO CICLICO DE MUROS. ESBELTEZ $a = 2$. ARMADO PARA IGUAL NIVEL RESISTENTE EN FLEXION Y CORTE (Chen, et al, 1978). BIBLIOGRAFIA 1.

fácilmente valores entre 6 y 10. Este hecho ha justificado que en las reglamentaciones sísmicas modernas se admitan factores de comportamiento (K), también llamados factores de ductilidad (R_d) para la albañilería, entre 2.5 y 3. Sin embargo, el análisis detallado de los testigos sometidos a dichos ensayos muestra un severo deterioro del muro como consecuencia de la ocurrencia de daños a partir de rotaciones bastante inferiores a las rotaciones últimas.

Por ejemplo, en los ensayos efectuados por Yamazaki et al, 1987, con muros acoplados de albañilería de arcilla (ver figura 6) se encuentra que la resistencia última se alcanza con una deriva de $1/107$ de la altura con una ductilidad de desplazamiento del orden de 8. Sin embargo, ya para una deriva de $1/300$ de la altura los daños ocurridos son importantes y probablemente en una edificación real se pueden considerar como irreparables. En ensayos realizados por Fontana, 1987, en muros de albañilería armada con bloques de concreto liviano (ver figura 7) la situación es ligeramente menos crítica por la falta de acoplamiento; en este caso la rotura ocurre nuevamente para una deriva del orden $1/100$ de la altura y para una deriva $1/250$ de la altura ya han ocurrido daños irremediables. Finalmente, en los ensayos realizados por Chen et al, 1978, con bloques de concreto de alta resistencia (ver figura 8) la situación es semejante. Las investigaciones realizadas con otros ladrillos de arcilla y ladrillos sílico-calcáreos producen resultados de la misma naturaleza: adecuada ductilidad y daños tempranos.

Si bien ha existido la tendencia a usar como criterio de aceptabilidad de la rigidez estructural valores de la deriva para sismos severos de $1/100$ a $1/150$ de la altura, es indudable que en el caso de la albañilería armada este valor debe ser más restrictivo. Con base en la revisión de los efectos de los sismos de Chile 1985 y El Salvador 1986, en el que edificios de albañilería armada correctamente configurados y diseñados fueron sometidos a derivas entre $1/200$ y $1/400$ de la altura sin que ocurrieran daños y a los ensayos recientes reseñados en las referencias 13 y 14, parece ser razonable admitir que las derivas tolerables para condiciones sociales usuales, no deben exceder en albañilería armada, para los sismos más severos, valores de $1/200$ de la altura.

Para poder evaluar las implicaciones de esta decisión se ha preparado el gráfico mostrado en la figura 9, en el que se relacionan la cuantía de acero vertical y la esbeltez, con la deriva en rotura. por ejemplo para una cuantía de acero de 0.5% y

una esbeltez de 4 la ductilidad de desplazamiento calculada es 5 y la deriva en rotura esperable es 1/160 de la altura. Para estas condiciones el valor del coeficiente o factor de comportamiento K será igual a $(2u-1) = 3$, valor satisfactorio desde el punto de vista reglamentario. Sin embargo, su aplicación está acompañada de daños severos irreparables en la eventualidad de un sismo importante; de limitarse la deriva a 1/300 de la altura el valor útil de A_u quedaría reducido a A_r , la ductilidad útil sería $(160/300 \times 5 = 2.7$ y el valor de K sería igual a 2.1 (ver figura 5).

El efecto práctico final en el diseño será que en lugar de calcular la edificación para una fluencia $F_y = F_u/K$, donde F_u es el cortante basal espectral elástico y $K = 2.5$, el valor de cálculo tendrá que ser aumentado a un valor $F_{yr} = F_u/2.1$, con lo cual las demandas de armadura, tanto vertical como horizontal, serán mayores (ver figura 4). La cuantía de la armadura vertical aumentará alrededor de 20% a 0.6% y la ductilidad calculada se reducirá a 4.2 que provee margen adecuado sobre la ductilidad utilizada (o útil) de 2.7.

Dos métodos adicionales diferentes, quizás complementarios, a reducir el valor de K para posibilitar la limitación de daños están siendo reconocidos como consecuencia de estudios de materiales destinados a optimizar otras características de la albañilería.

El primero de ellos se refiere a la utilización de morteros adhesivos, blandos y flexibles logrados como consecuencia de aumentos sustanciales sobre el contenido "normal" de cal, en vez de los morteros rígidos de alta resistencia con elevada presencia de cemento y, algunas veces, sin cal. La función del mortero en albañilería convencional es tanto separar las unidades de albañilería, que no son nunca perfectas, como pegar las unidades de albañilerías (ver figura 10) para lograr resistencia a la tracción e impermeabilidad del muro. Sin embargo, la aplicación de morteros blandos en el caso de la albañilería armada tiene un efecto adicional, ya que impide la rotura de las unidades de albañilería. De otro lado, de ocurrir las fisuras sólo en las juntas ellas no serán notorias y serán fácilmente reparables. Más aún, con morteros que contienen cal la posibilidad de que estas fisuras se sellen autógenamente, como consecuencia de la carbonatación de la cal, es viable. Las proporciones sugeridas para estos morteros es, en volumen, 1 de cemento, 2 a 3 de cal y 5 de agregado inerte, aumentando así de 2 a 3 veces los contenidos "normales" de cal.

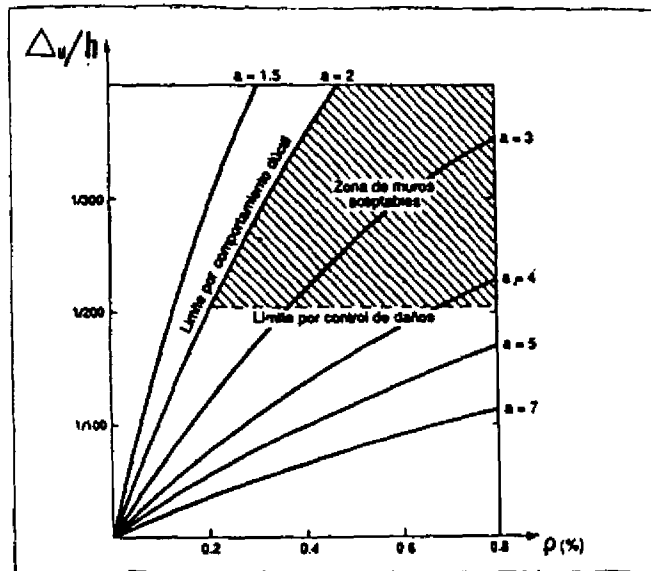


FIGURA 9. RELACION DE LA CUANTIA DE ACERO VERTICAL Y LA ESBELTEZ CON LA DERIVA EN ROTURA PARA $f'_m = 100 \text{ kg/cm}^2$, $n = E_s/E_m = 21$ Y COMPRESIONES DE $0.1 f'_m$.

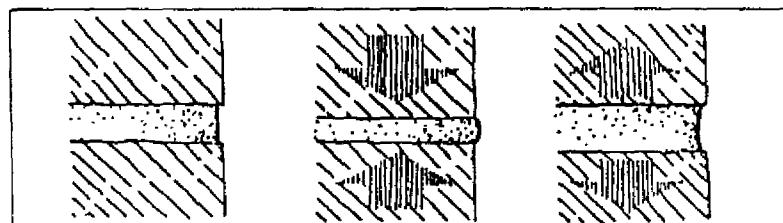


FIGURA 10. MORTEROS ADHESIVOS, BLANDOS Y FLEXIBLES. BIBLIOGRAFIA 91

La segunda posibilidad está relacionada con la investigación industrial para lograr unidades de albañilería que eliminen la dependencia de la construcción de albañilería del mortero de asentado, retirado así del proceso constructivo la causa más importante de variabilidad y acelerando y facilitando la construcción. Estas unidades, cuando se logra gran perfección geométrica y uniformidad en su producción permiten su apilado directo en vez de su asentado con mortero. Las unidades que se encuentran hoy en el mercado en diferentes países son de formas y materiales diferentes y entre ellas se encuentra una unidad sílico-calcárea desarrollada en el Perú (ver bibliografía 5 y 7). Con esta unidad la armadura vertical y la horizontal se colocan en alveolos de la unidad de albañilería, que luego permiten la colocación de concreto líquido para lograr el muro de albañilería armada. Los ensayos realizados con el propósito de establecer las características estructurales de esta albañilería, particularmente los cíclicos coplanares, demuestran ausencia de daños visibles hasta niveles muy elevados de rotación. En las figuras 11 y 12 se muestran los daños ocurridos en testigos ensayados con dos tipos de armado en muros elaborados con dichas unidades aplicables. Se puede notar (ver figura 12) que para el muro conducido a fallar en flexión los daños hasta la deriva de $1/107$ de la altura, que corresponde a la resistencia última, son considerablemente menores que los que ocurren en albañilería armada convencional.

CONCLUSIONES

Las siguientes se pueden considerar conclusiones del presente trabajo:

- a) En edificaciones de albañilería armada convencional es necesario que el proyectista analice la validez del factor de comportamiento (o factor de ductilidad) reglamentario para reducirlo, en caso que sea necesario, a condiciones tales que la deriva máxima para sismos severos no exceda 1/200 de la altura.**
- b) Es posible mejorar el comportamiento de la albañilería armada en cuanto a la ocurrencia de daños empleando morteros adhesivos, blandos y flexibles con contenidos de cal bastante superiores a los recomendados por las normas actuales.**
- c) Por diferentes motivos es importante desarrollar la albañilería armada con unidades aplicables; la experiencia peruana señala que el control de daños con este tipo de unidades es considerablemente mejor que con unidades convencionales.**

BIBLIOGRAFIA

1. CHEN S., HIDALGO P.A., MAYES R.L., CLOUGH RW. y MCNIVEN H.D. (1978):
Cyclic loading test of masonry shear piers. Volumen II, UBC/EERC 78/28. University of California. Berkeley. U.S.A.
2. ENGLEKIRK R.E. y HART G.C. (1982): Earthquake Design of Concrete Masonry Buildings. Prentice-Hall, Inc. New Jersey. U.S.A.
3. FONTANA A (1987): Albañilería estructural con bloques huecos de concreto ligero. Tesis de Grado. Pontifica Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.
4. GALLEGOS H. (1986): Ductilidad y reparabilidad de edificios de albañilería. Colegio de Ingenieros. Lima, Perú.
5. GALLEGOS H. (1987): Albañilería construida con unidades aplicables. Colloquia 87. Porto Alegre, Brasil.
6. GALLEGOS H. (1987): Stress-strain diagram for unconfined and confined sand-lime masonry. Pacific Conference on Earthquake Engineering. Wairakei, New Zealand.
7. GALLEGOS H. (1987): Mortarless masonry. XIV IAHS World Congress on Housing. Berlín, West Germany.
8. LANGENBACH R. (1987): Masonry as a ductile material. Fourth North American Masonry Conference. los Angeles, U.S.A.

9. **MARCHESO E. (1987): Failures short of complete collapse. Architecture. July 1987, 91-93.**
10. **MONGE J. (1986): El sismo de marzo 1985, Chile. Acero Comercial S.A. Santiago, Chile.**
11. **YAMAZAKI, KAMINOSONO, TESHIGAWARA, NISHI, MATSUNO (1987): Seismic behavior of three story full-scale clay block planar frame under cyclic lateral loading. Fourth North American Masonry Conference. Los Angeles, U.S.A.**
12. **ZAVALA M.A. (1987): Estudio de un sistema constructivo en base a unidades de albañilería autolineantes sin emplear juntas de mortero. Tesis de Grado. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.**
13. **The Japanese 5-Story Full Scale Reinforced Concrete Masonry Test - Vol. 6, No. 1 y No. 2, Vol. 7, No. 1. The Masonry Society Journal.**
14. **P.B. SHING, J.L. NOLAND, E. KLAMERUS and H. SPACK. Inelastic Behavior of Concrete Masonry Shear Walls. Journal of Structural Engineering. Vol. 115, No. 9. ASCE (1989).**