

PROPUESTA DE DISEÑO EN ADOBE CONFINADO

Capítulo X de la Norma E.080 “Adobe”

Por: Ángel San Bartolomé
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

X.1. Consideraciones Generales

Las edificaciones de adobe confinado podrán tener una altura de hasta 2 pisos o 6 m. Para efectos de esta Norma, se considerará que un muro de adobe se encuentra confinado por elementos de concreto armado cuando se cumpla las siguientes especificaciones.

1. La albañilería de adobe deberá estar completamente bordeada por elementos de concreto armado, vaciado después de haberse construido la mampostería.
2. Para el primer piso, puede emplearse como elemento de confinamiento horizontal a la cimentación, que deberá ser hecha de concreto ciclópeo. Esta cimentación deberá tener por lo menos un peralte que permita anclar a las varillas verticales de las columnas más un recubrimiento de 7.5 cm.
3. La distancia entre las columnas de confinamiento no deberá ser mayor que dos veces la distancia entre los confinamientos horizontales (vigas soleras), ni mayor que 3.5 m.
4. Los vanos de puertas y ventanas deberán estar bordeados por columnas de concreto armado. Las vigas dinteles en estos vanos, serán de concreto armado y podrán tener la misma sección transversal que las vigas soleras existentes sobre los muros.
5. El espesor del muro no deberá ser menor que 25 cm. El espesor de los confinamientos (“t”) podrá ser igual o mayor que el espesor del muro. El área mínima de la sección transversal de los confinamientos será $10t$ (en cm^2).
6. La conexión albañilería-columna será a ras.
7. Todos los muros llevarán refuerzo horizontal continuo, consistente por lo menos de 1 varilla corrugada de $\frac{1}{4}$ ” cada 5 hiladas, ubicadas en el eje del muro sobre una capa de mortero en proporción volumétrica cemento-arena gruesa 1: 5, y colocadas durante la construcción de la albañilería. Estas varillas anclarán 12 cm en el interior de la columna más un dobléz vertical a 90° de 10 cm. En caso la columna tuviese un peralte menor que 15 cm, el anclaje de estas varillas en las columnas podrá hacerse en forma mecánica, doblándolas sobre un estribo.
8. El concreto de los confinamientos deberá tener una resistencia a compresión ($f'c$) mayor o igual a 100 kg/cm^2 . La compactación del concreto deberá hacerse con una varilla lisa de $\frac{1}{2}$ ” de diámetro o con una vibradora. En caso se detecte cangrejas, se

eliminarán las partículas sueltas, para luego humedecer esa zona y compactar mortero, en proporción volumétrica cemento-arena 1:4, a presión manual.

9. Los elementos de refuerzo en los confinamientos deberán ser varillas corrugadas de acero dúctil, con diámetros mayores a iguales a $\frac{1}{4}$ " y esfuerzo nominal de fluencia (f_y) igual a 4200 kg/cm^2 . Estas varillas tendrán un recubrimiento de 2 cm, cuando se aplique un tarrajeo de cemento, y 3 cm cuando el muro carezca de tarrajeo de cemento.
10. El refuerzo longitudinal mínimo de los confinamientos estará compuesto por 2 varillas de $\frac{1}{4}$ ", mientras que los estribos mínimos estarán compuestos por ganchos de $\frac{1}{4}$ " 1 a 5, 4 a 10 y el resto a 25 cm. Estos ganchos doblarán 180° sobre las varillas longitudinales.

X.2. Análisis Sísmico

Para el análisis sísmico de las edificaciones de adobe confinado se cumplirán las siguientes especificaciones:

1. La fuerza sísmica de diseño a la rotura (V , para sismos severos) será la proporcionada por la Norma Sismorresistente E.030, considerando un factor de reducción de las fuerzas sísmicas elásticas $R = 3$.
2. Se asumirá que las vigas (soleras y dinteles) continuas de concreto armado proporcionan acción de diafragma rígido en cada nivel, pudiéndose emplear techos de madera o metálicos debidamente conectados a las vigas. Además deberá cumplirse que la relación longitud-ancho de la planta de la edificación sea menor que 4.
3. Se evitará irregularidades en planta y en elevación, dividiendo a la edificación en bloques separados por juntas sísmicas. Cada bloque se analizará independientemente.
4. Los muros portantes de carga sísmica deberán tener continuidad vertical y una longitud no menor que 1.2 m.
5. El módulo de elasticidad de la albañilería de adobe (E_a) podrá suponerse igual a 6500 kg/cm^2 , y el módulo de corte (G_a) será tomado como $0.4 E_a$. El módulo de elasticidad del concreto será determinado de la expresión $E_c = 15000 \sqrt{f'c}$, en kg/cm^2 .
6. Para el cálculo de la rigidez lateral de los muros de adobe confinados, deberá transformarse las columnas de confinamiento en áreas equivalentes de adobe, multiplicando al espesor de las columnas por la relación E_c / E_a . Adicionalmente, deberá agregarse la participación de las paredes transversales considerando un ancho efectivo igual a 4 veces el espesor de la pared transversal. Asimismo, deberá considerarse la participación de los alféizares de ventanas en caso no hayan sido aislados de la estructura principal.

7. La determinación de las fuerzas internas en cada muro (momentos flectores “**Mu**” y fuerzas cortantes “**Vu**”) ante la acción de sismos severos, se hará mediante métodos racionales de cálculo (manual o computacional), contemplando las excentricidades de las fuerzas sísmicas especificadas por la Norma Sismorresistente E.030.
8. Se verificará, de acuerdo a lo indicado por la Norma Sismorresistente E.030, que las distorsiones angulares máximas inelásticas no sean mayores que 0.005; en caso se supere este límite, se deberá rigidizar a la edificación.

X.3. Diseño para Acciones Sísmicas en el Plano de los Muros Confinados

Para el diseño sísmico de los muros de adobe confinados ante acciones coplanares, deberá cumplirse las siguientes especificaciones:

1. **Resistencia al Corte (VR).** La resistencia a fuerza cortante en condición de rotura para el caso de adobes asentados con mortero de barro, será obtenida con la ecuación 1:

$$VR = 0.5 L t + 0.2 P \quad [\text{ecuación 1, en kg y cm}]$$

Donde:

L = longitud total del muro (incluyendo columnas)

t = espesor del muro sin tarrajeo

P = carga de gravedad acumulada.

Para el caso en que el adobe sea asentado con mortero de cemento, VR se incrementará por 1.3. Para el caso que se aplique un tarrajeo de cemento sobre una malla debidamente conectada a la mampostería, el espesor “t” incluirá el grosor del tarrajeo.

2. **Densidad de Muros.** En cada dirección de la edificación y en cada piso, la densidad de muros se medirá a través de la suma de la resistencia a fuerza cortante (ΣVR) de los muros portantes de carga sísmica orientados en la dirección en análisis. Esta suma de resistencias deberá ser mayor o igual que la fuerza cortante actuante en el entrepiso en análisis (ecuación 2), especificada por la Norma Sismorresistente.

$$\Sigma VR \geq V \quad [\text{Ecuación 2}]$$

Para el caso en que se obtenga $\Sigma VR > R V$, donde $R = 3$, los muros se comportarán en el rango elástico ante los sismos severos; estos muros serán diseñados de acuerdo a lo especificado en el acápite 5.

3. **Verificación para Sismos Moderados.** Asumiendo que los sismos moderados proporcionan fuerzas laterales iguales al 50% de las correspondientes al sismo severo, se verificará mediante la ecuación 3 que ante los sismos moderados ningún muro sobrepase el 60% de su resistencia al corte; es decir, ante sismos moderados ningún muro debe agrietarse por fuerza cortante.

$$0.5 V_u \leq 0.6 V_R \quad [\text{Ecuación 3}]$$

4. **Diseño de Muros Agrietados por Corte.** Para sismos severos se supondrá que todos los muros se agrietan por corte alcanzando su nivel de resistencia V_R , excepto cuando $\Sigma V_R > R V$ (ver el acápite 2). Para los muros que se agrietan por corte, se seguirá el siguiente procedimiento de diseño para los confinamientos.
- 4.1 **Determinación de las Fuerzas Internas en los Confinamientos.** En los confinamientos se presentan 3 fuerzas internas: Tracción (**T**), Compresión (**C**) y Fuerza Cortante (**V_c**), no existe momento flector ya que la columna no puede flexionarse al estar conectada al muro. Para efectos de diseño, se desprecia la compresión (**C**), debido a que los muros son de baja altura (máximo 2 pisos) y la dimensión mínima de la columna es capaz de absorber esta compresión. Estas fuerzas internas se determinarán con las expresiones que aparecen en la Tabla 1.

Tabla 1. Fuerzas Internas en las Columnas.		
COLUMNA	V_c (fuerza cortante)	T (tracción)
Interior	$\frac{V_R \cdot L_m}{L(N_c + 1)}$	$V_R \frac{h}{L} - P_t$
Extrema	$1,5 \frac{V_R \cdot L_m}{L(N_c + 1)}$	$F - P_t$

Donde:

$F = M / L$ = fuerza axial en las columnas extremas producidas por “M”

$M = \mu_1 (V_R / V_u)$ = momento flector asociado al agrietamiento del muro

L_m = longitud del paño mayor o $0.5 L$, lo que sea mayor

L = longitud total del muro, incluyendo el peralte de las columnas

N_c = número total de columnas en el muro en análisis

h = altura del entrepiso en análisis

P_t = carga vertical tributaria proveniente del muro transversal a la columna

Nota: en muros de 1 paño existen 2 columnas extremas ($N_c = 2$) y $L_m = L$

4.2 **Diseño de Columnas.** El área de concreto (A_c) y el refuerzo vertical (A_s) deberán ser capaces de absorber la acción combinada de la tracción (T) y el corte-fricción (V_c):

$$A_c = \frac{V_c}{0,2 f_c' \phi} \geq 10 t(cm^2) \quad A_{sf} = \frac{V_c}{f_y \cdot \mu \cdot \phi} \quad A_{st} = \frac{T}{f_y \cdot \phi}$$

$$A_s = A_{sf} + A_{st} \geq \frac{0,1 f_c' A_c}{f_y} \dots (\text{mínimo : } 2 \phi 1/4'')$$

Ecuación 4

Donde:

$$\phi = 0.85$$

μ = coeficiente de fricción concreto-concreto = 0.8

Los estribos en las columnas serán mínimos y estarán compuestos por estribos cerrados o ganchos de 1/4", espaciados 1 a 5, 4 a 10, resto a 25 cm.

4.3 **Diseño de Soleras.** El refuerzo a colocar en la solera será calculado con la ecuación 5. El área de concreto A_{cs} será mínima (10 t, en cm^2) y los estribos estarán compuestos por estribos cerrados o ganchos de 1/4", espaciados 1 a 5, 4 a 10, resto a 25 cm.

$$T_s = VR \frac{L_m}{2L}; \quad A_s = \frac{T_s}{\phi f_y} \geq \frac{0,1 f_c' A_{cs}}{f_y} \dots (\text{mínimo : } 2 \phi 1/4'')$$

Ecuación 5

Donde: $\phi = 0.9$

Este refuerzo será anclado en los nudos, pudiéndose adicionar ganchos en el refuerzo vertical para doblar a 90° las varillas de la solera.

4.4 **Diseño del Refuerzo Horizontal.** En los muros agrietados, se colocará refuerzo horizontal continuo, anclado en las columnas. Este refuerzo será colocado sobre juntas horizontales hechas con mortero de cemento. El refuerzo horizontal (A_{sh}) se calculará con la ecuación 6 y como mínimo se utilizará 1 $\phi 1/4''$ cada 5 hiladas.

$$A_{sh} = \frac{VR \cdot s}{f_y \cdot L}$$

Ecuación 6

Donde:

s = espaciamiento vertical entre los refuerzos horizontales

5. **Diseño de Muros No Agrietados.** Esta disposición se aplica cuando en la vivienda se tenga exceso de resistencia al corte: $\Sigma VR > R V$. En las columnas internas y en las soleras de los muros no agrietados, se utilizará refuerzo mínimo, asimismo, en estos muros no será necesario adicionar refuerzo horizontal, ni refuerzo por corte-fricción en las columnas. Sólo se diseñarán las columnas extremas empleando la ecuación 7.

$$T = F - P_i \quad A_s = \frac{T}{\phi f_y} \geq \frac{0,1 f_c A_c}{f_y} \dots (\text{mínimo: } 2 \phi 1/4") \quad \boxed{\text{Ecuación 7}}$$

Donde:

F = Mu / L = fuerza axial en las columnas extremas producidas por “Mu”

$\phi = 0.9$

6. **Diseño de Vigas Dinteles.** Las vigas dinteles deberán soportar la acción combinada de las cargas de gravedad y las cargas sísmicas. Estas vigas serán diseñadas de tal forma que fallen dúctilmente por flexión, según se especifica en la Norma de Concreto Armado E.080.

X.4. Diseño para Sismos Perpendiculares al Plano del Muro

La albañilería de adobe confinada y reforzada horizontalmente, tal como se indica en X1, no necesitará ser diseñada ante cargas sísmicas perpendiculares al plano. Sólo se diseñarán los arriostres utilizando las siguientes especificaciones.

1. La carga sísmica perpendicular al plano del muro, “w” (en kg/m², ecuación 8), será la proporcionada por la Norma Sismorresistente E.030.

$$w = Z.U.C_1 \gamma e \quad \boxed{\text{Ecuación 8}}$$

Donde:

Z = factor de zona especificado en la NTE E.030.

U = factor de importancia especificado en la NTE E.030.

C₁ = coeficiente sísmico especificado en la NTE E.030.

e = espesor bruto del muro (incluyendo tarrajeos), en metros

γ = peso volumétrico de la albañilería de adobe = 1600 kg/m³

2. Los confinamientos de concreto armado, actuarán esta vez como arriostres del muro.
3. Para calcular la carga proveniente del muro (“w”) sobre los arriostres, se podrá utilizar la denominada “regla del sobre”, consistente en trazar rectas a 45° desde los vértices del muro que se interceptan con una línea horizontal trazada a la mitad de la altura del muro.

4. En todo arriostre que pueda deformarse por flexión (por ejemplo: solera no restringida por el techo, o columna perteneciente a un borde libre del muro), las cargas (trapezoidales o triangulares) actuantes sobre los arriostres originarán momentos flectores y fuerzas cortantes que deberán ser absorbidos por el refuerzo y la sección transversal, evaluados según se especifica en la Norma de Concreto Armado E.060.
5. El refuerzo o la sección transversal que se obtenga en los elementos de concreto armado actuando como arriostres, no deberán sumarse con aquellos valores obtenidos en esos elementos actuando como confinamientos, sino que se adoptará el mayor de ellos.