Programa Construcción con Adobe Estabilizado - COBE - 2a Fase-Ministerio de Vivienda y Construcción -Agencia para el Desarrollo Internacional.

CONVENIO
MINISTERIO DE VIVIENDA Y CONSTRUCCION
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

AUTOR
OSCAR CONCHA BUSTAMANTE

ASESOR
DR. RICARDO YAMASHIRO KAMIMOTO

Esta Publicación es un documento de trabajo que puede ser utilizado para el mejoramiento de las normas vigentes, sobre el particular, del Reglamento Nacional de Construcciones; y, además como referencia que facilite la aplicación de las mismas.

P R O L O G O

La gran actividad sísmica del Perú ha cobrado siempre sus mayores víctimas en las construcciones de adobe. Recordemos que así ocurrió, por ejemplo, en el terremoto del 31 de Mayo de 1970, en el que más del 90 por ciento de las construcciones dañadas eran de adobe y su colapso causó más de 40,000 muertes. Este desastre, añadido a los ocurridos en otros terremotos, desprestigió aún más a este material de tanta tradición y que es el de mayor uso en la construcción de viviendas. Se agudizó de esta manera el problema habitacional del país, ya de por sí grave.

Felizmente, se observó también en el sismo mencionado, que algunas construcciones de adobe resistieron sus embates. Esto ocurrió, por ejemplo, en Coishco, a sólo 40 kilómetros del epicentro, donde los daños fueron leves en muchas de las construcciones de este tipo, las cuales volvieron a ser habitadas después del sismo.

Este hecho asombroso puso en evidencia que este tipo de construcción tiene capacidad para resistir satisfactoriamente sismos severos bajo ciertas condiciones. Era necesario entonces conocer cuáles eran estas condiciones para que el adobe pudiera sobrevivir como una alternativa de solución, aunque fuese sólo temporal, al grave déficit de viviendas del país.

Fué en estas circunstancias que en 1970, a los pocos meses del terremoto de Ancash, la Universidad Nacional de Ingeniería (U.N.I.) inició un estudio riguroso de las construcciones de adobe, bajo los auspicios del entonces Ministerio de Vivienda. Posteriormente, en 1972, también bajo los auspicios del citado ministerio que ya se llamaba de Vivienda y Construcción y con la participación de otras instituciones, la U.N.I. desarrolló estudios en los que se utilizó bloques de suelo - estabilizado con asfalto (Proyecto COBE). En la actualidad, se está trabajando en la segunda fase de este proyecto.

Los objetivos de estos estudios, en rasgos generales, - eran el desarrollo de una tecnología para la fabricación de estos bloques, el desarrollo de procedimientos de construcción la determinación de una serie de características del material que permitiera el diseño racional de la construcción para que pudiera resistir adecuadamente los movimientos sísmicos. Estos objetivos se han alcanzado prácticamente en su totalidad para las construcciones de un sólo piso.

En la segunda fase del proyecto COBE, que está en ejecución, se está tratando de lograr construcciones de un piso, - más económicas que las que resultaron de la primera fase del tudio y de determinar las condiciones bajo las cuales podría construirse una vivienda de dos pisos con este material. El conocimiento de estas condiciones es indispensable para aquellas zonas en las que es una tradición arraigada la construcción con adobe hasta dos pisos (Cuzco y Cajamarca por ejemplo)

INDICE

1. INTRODUCCION

1.1 Objetivos y Alcances.

Este trabajo se realizó como parte de una investigación para obtener información básica que permita mejorar las características sismo-resistentes de las construcciones de adobe. En una fase anterior se estudió experimentalmente las características mecánicas básicas de la albañilería de adobe y se estableció normas tentativas para el diseño estructural (*). El presente estudio se concentra en el desarrollo de un procedimiento racional de diseño en el que se toma en cuenta los principios básicos de la mecánica y las características de los materiales que constituyen la albañilería de adobe.

La resistencia de las construcciones de adobe ha sido motivo de algunas investigaciones experimentales (1), (2). Existen recomendaciones prácticas (aparentemente sin sustentación analítica) para la mejor ejecución de este tipo de construcción (3), (4). Sin embargo no se ha encontrado información para un diseño estructural racional.

Es importante contar con algún procedimiento racional de diseño si se quiere proyectar las construcciones de adobe con un rigor comparable al aplicado a otros tipos de materiales.

El elemento estructural básico en una construcción de adobe es el muro. Su diseño se plantea para cargas verticales (Cap. 2.), cargas perpendiculares a su plano (Cap. 3.) y cargas horizontales en su plano (Cap. 4).

El procedimiento seguido es el de determinar primeramente la resistencia al colapso en cada caso, dividiendo luego entre un factor de seguridad para obtener la resistencia (ó el esfuerzo admisible) en condiciones de servicio. En el Cap. 5., se desarrollan procedimientos para la verificación de los esfuerzos en los encuentros de muros, para el diseño de llaves de amarre y dinteles. En el Cap. 6., en base a los procedimientos desarrollados en este estudio se hace una evaluación de las recomendaciones de carácter estructural dadas por otros autores.

1.2 Reconocimiento

Este estudio se realizó en el Departamento de Estructuras y Construcción de la Universidad Nacional de Ingeniería (U.N.I.). Fué planificado, dirigido y supervisado por el Dr. Ricardo Yamashiro; profesor del Departamento de Estructuras y Construcción y patrocinado por el Ministerio de Vivienda y Construcción como parte de la Segunda Fase del Proyecto COBE.

(*) La numeración entre paréntesis corresponde a las referencias bibliográficas que se dan al final del texto.

2. MUROS PORTANTES

2.1 Generalidades

Se considerará que un muro es portante cuando su función estructural principal es la de transmitir cargas de gravedad adicionales a su propio peso. Bajo estas cargas el muro está usualmente sometido a compresión excéntrica y su resistencia depende principalmente de la resistencia de los bloques, del mortero, de la esbeltez del muro y de la excentricidad de la resultante.

2.2 Resistencia Nominal en Compresión

La resistencia de la albañilería de adobe en compresión axial perpendicular a las juntas horizontales varía generalmente con la clase de materiales con que están construídas - (tierra, arcilla, paja, etc.). Los factores principales que influyen son :

1. La resistencia de los bloques de adobe
2. La resistencia del mortero
3. La relación entre el espesor de las juntas y la altura de las piezas
4. La calidad de la mano de obra.

2.3 Esfuerzo Admisible

Los muros portantes comúnmente se diseñan para cargas de servicio sin consideración explícita de la excentricidad. Para que un diseño realizado en esta forma sea adecuado, es - necesario usar un esfuerzo admisible suficientemente bajo , de modo que se tome en cuenta, implícitamente, los factores no considerados directamente. Expresado matemáticamente:

$$f_m = \phi_r \ \phi_c \ \phi_e \ \phi_L \ f'_m$$

donde f_m = esfuerzo admisible

f'_m = esfuerzo de rotura nominal

ϕ_r , ϕ_c , ϕ_e , ϕ_L = coeficiente de reducción por variabilidad de la resistencia real, variabilidad de las cargas, y por la excentricidad y esbeltez, respectivamente.

En lo que sigue se hace una evaluación de estos coeficientes, principalmente por similitud con los valores correspondientes en estructuras de concreto.

Variabilidad de la Resistencia Real. Para una columna de concreto :

$$\phi_r = 0.70 \times 0.85$$

donde el coeficiente 0.70 toma en cuenta que el concreto de la columna resiste menos que el concreto de la probeta normalizada, y el coefiente 0.85 considera la posibilidad de resistencias reales inferiores a la nominal por la variabilidad del material.

En un muro de adobe es probable que el primer factor sea muy cercano a la unidad, por cuanto no existe ningún factor que tienda a provocar diferencias entre las resistencias de los materiales del muro y de la probeta; por tanto tomaremos para este coeficiente el valor de 0.95. El segundo coeficiente probablemente no sea inferior al del concreto ya que la variabilidad de los materiales del muro, no debe ser muy marcada. Por lo tanto tomaremos para este coefiente el mismo valor 0.85. Así tenemos que el valor de ϕ_r será:

$$\phi_r = 0.81$$

Variabilidad de las Cargas . En construcciones de viviendas típicas de adobe, la carga viva es del 10 al 20 por ciento del valor de la carga muerta para el diseño de muros.

Para esta relación, el factor de mayoración ponderado para obtener la carga de rotura es de 1.45.

$$\frac{1.4 \times CM + 1.7 \times 0.2\ CM}{CM + 0.2\ CM} = 1.45$$

El coefiente de reducción será :

$$\phi_c = 0.69$$

Excentricidad de la resultante. Arbitrariamente se asumirá que la resultante actúa con una excentricidad máxima de 0.05t.

En esta condición, el esfuerzo máximo es 30 % mayor del esfuerzo nominal, de lo que resulta:

$$\phi_e = 0.77$$

Esbeltez. La carga crítica para un elemento en compresión elástica es :

$$P_{cr} = \pi^2 EI/(KL)^2$$

donde: KL = longitud de columna biarticulada equivalente.

El módulo de elasticidad E puede expresarse como una función lineal del esfuerzo en rotura f'_m :

$E = \alpha f'_m$

El momento de inercia para este caso está dado por :

$I = \beta t^2 / 12$

El esfuerzo crítico será:

$F_{cr} = \pi^2 f'_m 3t^3 / 12(KL)^2 \beta t$

Efectuando, obtenemos:

$F = 0.822 \; f'_m \; / (KL/t)^2$

Es mejor considerar una transición gradual de esta expresión al valor límite $\emptyset f'_m$.

Esto puede lograrse considerando que la curva pasa por una parábola vertical con vértice en $(KL/t)^2 = 0$, y $f_m = \emptyset f'_m$, y que además pase por el punto $f_m = 0.5 \emptyset f'_m$. Para este valor obtenemos

$KL/t - 1.283$

Pasando la parábola por estos puntos obtenemos finalmente:

Para $KL/t = 1.283 \; \alpha \qquad \dfrac{f_m}{\emptyset f'_m} = \left(\dfrac{0.908}{KL/t}\right)^2 \alpha$

Para $KL/t = 1.283 \; \alpha \qquad \dfrac{f_m}{\emptyset f'_m} = 1 - \left(\dfrac{0.551 \; KL}{\alpha \; t}\right)^2$

Estas ecuaciones expresadas gráficamente pueden verse en la fig. 2.1

<u>Ejemplo de Aplicación</u> . Determinar el esfuerzo admisible en compresión de un muro de 3 m. de altura y 0.38m. de espesor; sabiendo que su módulo de elasticidad es 400 kg/cm2 y su esfuerzo nominal en compresión 10 kg/cm2.

Si el muro está arriostrado en su parte superior KL=3.00 (K = 1)

α = 400/10 = 40

KL/t = 3.00/0.38 = 8

Con estos datos entramos al gráfico y obtenemos:

$f_m / \phi f'_m = 0.51$

Finalmente el esfuerzo será:

$f_m = 0.51 \times 0.81 \times 0.69 \times 0.77 \times 10 = 2.2$ kg/cm2

Si el muro tuviera libre su parte superior:

KL = 6.00 (K = 2)

KL/t= 6.00/0.38 = 16

$$\frac{f_m}{\phi f'_m} = \left(\frac{0.908}{16}\right)^2 \times 40 = 0.13$$

El esfuerzo admisible será:

$f_m = 0.13 \times 0.43 \times 10 = 0.56$ kg/cm2

En general podemos tomar como valores de K los dados en los ejemplos:

K = 1 columna biarticular equivalente

K = 2 " sólo apoyada en la base

3. MUROS CON CARGAS PERPENDICULARES A SU PLANO

3.1 Generalidades

Un muro sometido a fuerzas perpendiculares a su superficie se comporta como una losa. Se producen esfuerzos de tracción que, cuando tienden a robasar la resistencia de la albañilería - su " módulo de rotura" -, la agrietan, pudiendo colapsar si esta no está reforzada.

Para diseñar sísmicamente un muro en flexión se requiere conocer el coeficiente sísmico que le corresponde; determinar luego, el máximo esfuerzo en flexión; y, finalmente, conocer el "módulo de rotura" o el esfuerzo admisible correspondiente.

En este capítulo se desarrolla un procedimiento que permite determinar cada uno de estos parámetros y se ilustra mediante ejemplos la determinación del espesor mínimo de muros.

3.2 Coeficiente Sísmico

El coeficiente sísmico para el diseño de muros está dado por las normas correspondientes o, si estas lo permiten puede determinarse mediante un estudio especial de riesgo sísmico.

3.3 Resistencia en Flexión

Cuando un muro se encuentra sometido a cargas normales a su plano, se producen esfuerzos de flexión en la estructura del muro que normalmente tienden a producir fallas en el sentido vertical y horizontal; pudiendo entonces clasificar estos esfuerzos como flexión en el plano vertical, y flexión en el plano horizontal. (Fig. 3.1).

Flexión en el Plano Vertical. Para el análisis de flexión en el plano vertical, utilizaremos para el efecto el bloque de esfuerzos equivalente, tal como vemos en la fig. 3.2.

En el análisis se deducirá el valor del momento resistente en condiciones de trabajo, y el momento resistente en condiciones de rotura; aplicamos luego al factor de seguridad resultante de dividir ambas expresiones, un valor razonable para el diseño y finalmente despejamos el valor del esfuerzo admisible en flexión para el plano vertical.

Análisis. Según muestra la fig. 3.2, el momento resistente en estado de colapso para el muro, está dado por la carga que resiste la zona achurada, multiplicada por su distancia al plano central interior (paralelo al plano del muro); siendo en ése momento la carga resistente P igual a la carga actuante:

$$P = \gamma_m h_c t$$

Luqgo, el momento resistente será igual a la carga P por la excentricidad e :

$$M_r = \gamma_m h_c te$$

Por otro lado, tenemos que el momento resistente en condiciones de trabajo, viene dado por la fórmula :

$$_t = f_v t^2/6 \quad \text{(por unidad de longitud)}$$

Dividiendo ambos momentos, obtenemos el valor del factor de seguridad, el que podemos fijar en un valor razonable tal como 2.16 (*)

$$FS = 6eth_c \gamma_m / f_v t^2 = 2.16$$

(*) YAMASHIRO RICARDO, comunicación personal.

De la figura anterior deducimos el valor de $\underline{e}$;

$e = (t - g)/2$

El valor de $\underline{a}$ podemos despejarlo de la igualdad de las cargas actuante y resistente :

carga resistente $= 0.85 \; f'_m \; g$

carga actuante $= \gamma_m \; h_c \; t$

$g = \gamma_m \; h_c \; t/0.85 \; f'_m$

Reemplazando en el valor de $\underline{e}$ y efectuando las reducciones correspondientes, obtenemos :

$$e = \frac{t}{2} \left(1 - \frac{\gamma_m \; h_c}{0.85 \; f'_m} \right)$$

Si despejamos el valor de f_v de la expresión del factor de seguridad, tendremos:

$$f_v = \frac{25}{18} \left(1 - \frac{\gamma_m \; h_c}{0.85 \; f'_m} \right) h_c \; \gamma_m$$

Para los casos típicos de muros ; haciendo diferentes verificaciones y ejemplos se encontró que el factor entre paréntesis, en la mayoría de los casos se encontraba cercano a la unidad, siendo ligeramente menor que uno. En vista de esto, podemos simplificar la fórmula, reduciendo el valor del factor 25/18 a 24/18, obteniendo finalmente el valor del esfuerzo resistente en flexión en el plano vertical $\underline{f_v}$ igual a :

$$f_v = \frac{4}{3} \; h_c \; \gamma_m$$

<u>Flexión en el Plano Horizontal</u>. Para el caso de flexión en el sentido horizontal, se considera para el análisis que

existe un movimiento de rotación entre bloques de hiladas - adyacentes al momento de empezar la falla del muro.

El centro de esta rotación se puede suponer que ocurre en los puntos que se muestran en la fig. 3.3.

Para el análisis, se considerarán dos condiciones de comportamiento: comportamiento elástico y comportamiento inelástico analizando en cada caso los esfuerzos que se producen en las partículas, al ocurrir la solicitación sísmica. Se supondrá asímismo que se produce una rotación entre los bloques tal como se vé en la fig. 3.3b.

<u>Análisis Elástico</u>. Suponiendo un comportamiento completamente elástico, según vemos en la fig. 3.3, el esfuerzo que se produce en un punto cualquiera situado a una distancia $\underline{r}$ del centro de rotación que estamos suponiendo en el lado que indica la fig. 3.3, es :

$$f_h = v\ r\ dA/\ (d/2)$$

y el momento resistente será :

$$M_r = \frac{vr^2}{d/2}\ dA$$

Efectuando las respectivas operaciones, obtenemos el - momento resistente en función del momento polar de inercia I_p

$$M_r = \frac{2v}{d}\ I_p$$

donde $I_p = (cb^3 + c^3b)/12 = cbd^2/12$

finalmente la expresión del momento resistente será :

$$M_r = \frac{cbd}{6}\ v$$

Por otro lado, si consideramos que el centro de rotación está en el borde central inferior el momento resistente será:

$$M_r = \frac{v \; r^2}{d} \, dA$$

resolviendo la integral, obtenemos:

$$M_r = v \; I_p / d$$

donde $I_p = (c\, b^3 + c^3\, b)/3$

reemplazando obtenemos la expresión final :

$$M_r = \frac{c \; b \; d}{3} \, v$$

<u>Análisis Plástico</u>. Si suponemos que el muro sigue un comportamiento plástico, y que el centro de rotación está situado tal como indica la fig. 3.3; en el estado plástico todas las partículas tienen la misma magnitud del esfuerzo que actúa sobre ellas, siendo por lo tanto <u>v</u> el esfuerzo en una partícula situada a una distancia <u>r</u> del centro de rotación, y el momento resistente M_r será :

$$M_r = v \;\; r \;\; dA$$

Como sabemos r dA representa el momento polar estático y es igual a :

$$Q_p = \left(\frac{c}{2} \times \frac{b}{2}\right) \left(\frac{d}{4}\right)$$

reemplazando e integrando en toda el área del bloque, obtenemos finalmente el momento resistente:

$$M_r = \frac{c \; b \; d}{4} \, v$$

De la misma manera, suponiendo un centro de rotación tal como el de la fig. 3.3 y haciendo un análisis similar al anterior obtenemos la expresión del momento resistente igual:

$$M_r = \frac{c\ b\ d}{2}\ v$$

Normalmente el adobe no sigue un comportamiento completamente elástico, ni tampoco completamente plástico. A falta de mayor información se tomará un promedio de los valores obtenidos para el momento resistente, para los dos tipos de comportamiento.

Tomando el promedio de los cuatro valores para obtener un valor más aproximado, tendremos finalmente la expresión del momento resistente en flexión en el plano horizontal:

$$M_r = \frac{5}{32}\ c\ b\ d\ v$$

donde

$$d = (c^2 + b^2)^{1/2}$$

Por otro lado el esfuerzo admisible está dado por la fórmula :

$$f_h = 6\ M_r / z\ b^2$$

si reemplazamos M_r y simplificamos, obtenemos:

$$f_h = c\ d\ v/z\ b$$

reemplazando el valor de $\underline{v}$ y $\underline{d}$, se tendrá:

$$f_h = \frac{c}{z} \sqrt{\left(\frac{c}{b}\right)^2 + 1}\ (0.85\ f\ \sigma + u)$$

Haciendo u = 0 en forma conservadora, simplificamos bastante el análisis; luego podemos encontrar la relación existente entre los esfuerzos admisibles de flexión paralelo a las hiladas y perpendicular a las hiladas.

$$\frac{f_h}{f_v} = \frac{0.85\ f\ \gamma_m\ h_i\ \left(\frac{c}{z}\right)^2 \sqrt{\left(\frac{c}{b}\right)^2 + 1}}{\frac{4}{3}\ \gamma_m\ h_i}$$

obteniendo finalmente:

$$f_h / f_v = 0.85 \; f \; \frac{c}{z} \qquad (\frac{c}{b})^2 + 1$$

Con esta fórmula que nos dá la relación de los esfuerzos resistentes en las dos direcciones en función de las dimensiones de los bloques, podemos averiguar para determinado tipo de bloques, cual es el esfuerzo resistente que predomina en el muro, y cual es su valor. Si verificamos con dicha fórmula los bloques cuadrados de 8 x 38 x 38 cm., tendremos:

$$c = (38 - 2)/2 = 18$$

$$b = 38$$

$$z = 8 + 2 = 10$$

reemplazando los valores en la fórmula, obtenemos:

$f_h / f_v = 1.076$ (adobe sin estabilizar $f = 0.85$)

$f_h / f_v = 1.65$ (adobe estabilizado $f = 1.30$)

Esto nos indica que el esfuerzo en flexión paralela a las hiladas es superior al esfuerzo en flexión perpendicular a las hiladas en un muro construído con bloques cuadrados de las dimensiones dadas. Del mismo modo, analizando, los bloques rectangulares en aparejo de cabeza, obtenemos:

$f_h / f_v = 0.59$ sin estabilizar

$f_h / f_v = 0.90$ estabilizado

En general los bloques rectangulares en aparejo de cabeza dan poca área de contacto, siendo su esfuerzo resistente en el plano horizontal inferior al esfuerzo resistente en el plano vertical.

3. Espesor Mínimo de Muros

El espesor mínimo de un muro requerido por flexión sísmica puede estimarse usando el siguiente procedimiento :

Se expresa el momento flector máximo de un muro rectangular en la siguiente forma:

$$M_{máx.} = \beta \; q \; a^2 \qquad (a)$$

donde β = coeficiente de momentos en losas

q = intensidad de la fuerza lateral ($=C_m t \gamma_m$ cuando se trata de una acción sísmica)

C_m = coeficiente sísmico para el muro

t = espesor del muro

γ_m = densidad del muro (1,600 kg/m3)

a = dimensión crítica del muro, que se define como sigue :

Caso 1. Muro con 4 bordes arriostrados a = menor dimensión.

Caso 2. Muro con 3 bordes arriostrados a = longitud del borde libre.

Caso 3. Muro con 2 bordes arriostrados a = altura del muro.

Caso 4. Muro en voladizo a = altura del muro.

Por otro lado, el momento resistente del muro es :

$$M_r = f_v \; t^2/6 \text{ (por unidad de ancho)} \qquad (b)$$

donde f_v = esfuerzo admisible en flexión

Salvo otra indicación, en lo que sigue se considera construcciones con bloques cuadrados por sus mejores características resistentes.

Usaremos para nuestro análisis el valor del esfuerzo admisible en flexión correspondiente al sentido perpendicular a las hiladas $\underline{f_v}$, que es el más bajo.

$$f_v = \frac{4}{3} \gamma_m \; h_c \qquad (c)$$

donde h_c = altura del muro sobre la sección crítica

Igualando los momentos actuante y resistente (expresiones a y b), y reemplazando valores, obtenemos finalmente la fórmula para calcular el espesor mínimo de un muro:

$$t = 4.5 \; \beta \; C_m \; \frac{a^2}{h_c}$$

Para los casos de arriostramiento más comunes, Timoshenko y Woinosky-Krieger (5) dan los valores del coeficiente que se muestran gráficamente en la fig. 3.5

Muros con aberturas. Cuando un muro tiene vanos de puertas y ventanas, su espesor mínimo puede estimarse considerando conservadoramente como bordes libres a los correspondientes a los lados verticales no arriostrados de los vanos. (ver fig. 3.4).

Ejemplos de Aplicación.

Ejemplo 1. Para el sistema de muros que se muestra en la figura 3.6a, calcular el mínimo espesor que se requiere, usando un coeficiente sísmico de 30%.

Paño 1. Podemos considerar conservadoramente que este paño está en el caso 4 (muro en voladizo)

β = 0.5

h_c = 0.50 m.

t = 4.5 x 0.5 x 0.30 x 0.50^2/0.50 = 0.34 m.

Paño 2. Este paño está en el caso 1. (4 bordes arriostrados.)

h_c = 0.60 + 2.00/2 = 1.60 m.

b/a = 3.00/ 2.00 = 1.5

β = 0.081

t = 4.5 x 0.081 x 0.30 x 2.00^2/1.60 = 0.27 m.

El muro deberá tener 0.34 m. de espesor.

Ejemplo 2. Calcular el coeficente sísmico que soportará el muro de la fig. 3.6b, en los paños 2 y 3. El espesor general del muro es 0.40 m.

Paño 2. Este paño está en el caso 2.

h_c = 0.60 + 1.05 = 1.65 m.(para los dos paños)

b/a = 1.20/2.10 = 0.57

β = 0.066

c_m = 0.40 x 1.65/4.5 x 0.066 x 2.10^2 = 0.50

Paño 3. Caso 2.

b/a = 1.80/2.10 = 0.86

β = 0.122

c_m = 0.40 x 1.65/4.5 x 0.122 x 2.10^2 = 0.27

El muro soportará un coeficiente sísmico de 27 %

Ejemplo 3. Determinar el espesor mínimo del muro de l- fig. 3.6c, usando un coeficiente sísmico de 30 %

Paño 1. Está en el caso 4

$\beta = 0.5$

$t = 4.5 \times 0.5 \times 0.30 \times 0.50^2 / 0.50 = 0.34$ m.

Paño 2. Está en el caso 3

$\beta = 0.125$

$h_c = 0.60 + 2.10/2 = 1.65$ m.

$t = 4.5 \times 0.125 \times 0.30 \times 2.10^2 / 1.65 = 0.45$ m

El espesor mínimo será de 0.45 m.

MUROS CON CARGAS HORIZONTALES EN SU PLANO

4. MUROS DE CORTE

4.1 Generalidades.

Al ocurrir un sismo, el muro puede recibir cargas en sus distintas direcciones, ya sean estas normales al muro como acabamos de ver en el anterior capítulo, o ya sean paralelas al mismo como veremos en este capítulo.

En este capítulo, analizaremos los esfuerzos producidos en el sentido longitudinal del muro (paralelo a las hiladas) y la resistencia que ofrece en dicho sentido.

En esta forma, el esfuerzo más importante a que se ve sometido el muro es al corte paralelo a las hiladas. En el análisis, estudiaremos el asfuerzo cortante que actúa sobre el muro, y el esfuerzo cortante resistente; relacionando ambos y aplicando dicha relación a un caso práctico.

Análisis. Según la fig. 4.1, el esfuerzo de corte que actúa en cualquier punto z es:

$$v = V Q / I t$$

donde $V = p + q H (1 - Y)$

$$Q = x (1 - x) B^2 t / 2$$

$$I = t B^3 / 12$$

Reemplazando valores y efectuando:

$$v = (p + q H (1 - Y)) 6 x (1 - x) / Bt$$

Por otro lado tenemos que el esfuerzo de corte resistente está dado por la fórmula :

$$V_r = 0.85 \ f \ \sigma + u$$

reemplazando el valor de σ tendremos :

$$V_r = 0.85 \ f \ \gamma_m \ H \ (1 - y) + u$$

Si hacemos la comparación de ambos esfuerzos cortantes, tendremos la siguiente relación de cortes R_v :

$$R_v = V_r / V_a = (0.85 \ f \ H \ (1 - y) \ \gamma_m + u)/(1.5V/3t)$$

En esta relación, R_v nos indica el factor de seguridad al corte con el que trabaja el muro, debiendo por lo tanto ser mayor que la unidad para que el muro trabaje satisfactoriamente.

En el siguiente ejemplo, analizaremos un caso típico de muro de corte tal como el de la fig. 4.2 en el que hallaremos el factor de seguridad al corte para un coeficiente sísmico de 30 %

Según la figura, tenemos que la fuerza cortante que actúa sobre el muro en la base es:

$$V = 0.30 \times 1.6 \times 2.60 \ (1 - 0) \ A = 1.25 \ A$$

siendo A el área total de la sección transversal del sistema de muros:

$$A = 2 \times 3 \times 0.40 + 4 \times 0.80 = 5.6 \ m2$$

El área de la sección resistente en el muro de corte será

$$a = 4.80 \times 0.80 = 3.84 \ m2.$$

por lo tanto el esfuerzo actuante será :

$$V_a = 1.25 \ A / a = 1.82 \ t/m2$$

Por otro lado, el esfuerzo resistente en bloques sin estabilizar donde f = 0.85 resultará :

$$V_r = 0.64 \times 1.6 \times 2.60 \times (1 - 0) + 1.5 = 4.16 \text{ t/m2}$$

y el factor de seguridad será :

$$FS = R_v = 4.16 / 1.82 = 2.29$$

De esta manera vemos que el muro resiste la fuerza sísmica paralela al muro, con un factor de seguridad de 2.29.

4.3 Estabilidad al Volteo en muros de Corte

Cuando un muro requiere de arriostramiento por condición de cargas perpendiculares a su plano, procedemos a diseñar un muro transversal a este para que resista los momentos de volteo a que se ve sometido el primer muro. Este muro, que llamaremos muro de arriostre, contribuye solamente con su peso a la estabilidad del sistema de muros, siendo por lo tanto su longitud uno de los factores principales de la resistencia.

En el análisis, estudiaremos los esfuerzos dinámicos y estáticos en el muro, comparando ambos esfuerzos y desarrollando una fórmula que nos dé la longitud requerida del muro de arriostre.

4.4 Análisis

Según la fig. 4.3, el peso total del sistema es:

$$W = \gamma_m h \ (B t + L_a t_a)$$

la fuerza sísmica será:

$$F = C_m \gamma_m h \ (B t + L_a t_a) = w h$$

En este caso estamos analizando un muro sin restricciones en la parte superior, por lo tanto podemos considerarlo como si fuera un muro en voladizo cuyo momento en la base es :

$$M = c\, w\, h^2 \quad (c = 1/2)$$

Por otro lado, el esfuerzo dinámico en la base es:

$$f_a = 6\, M / t_a\, L^2 = 6\, c\, w\, h^2 / t_a\, L^2$$

reemplazando el valor de w, obtenemos:

$$f_a = 6\, c\, C_m\, h^2 \;\; \gamma_m\, (B\, t + L_a\, t_a) / t_a\, L^2$$

El esfuerzo estático o resistente, está dado por el peso del muro por unidad de área :

$$f_r = \alpha\, \gamma_m\, h$$

Al producirse la falla, los esfuerzos se hacen iguales, de manera que $f_r = f_a$

$$6\, c\, C_m\, h^2 \;\; \gamma_m\, (B\, t + L_a\, t_a) / t_a\, L^2 = \alpha\, \gamma_m\, h$$

Si despejamos de esta igualdad el valor de L/ B, obtenemos la fórmula adimensional :

$$\frac{L}{B} = k + \quad k^2 + 2k \left(\frac{t}{t_a} - \frac{t}{B} \right)$$

donde $k = 3\, c\, C_m\, h / \alpha\, B$

Verificando la fórmula con casos prácticos, se encontró que el valor de t / B no influye mucho en el valor de L / B ; por lo tanto se ha tomado como valor promedio para $L/ B = 1/6$ para simplificar los gráficos en la fig. 4.4

En caso de tener el muro una viga collar, o una sobrecarga de altura equivalente h_s, se ha deducido el nuevo valor de la altura <u>h</u> :

$$h = (h_b^2 + 2\, h_b\, h_s) / (h_b + h_s)$$

donde h_b = altura de muro bajo la viga collar

h_s = altura de muro sobre la viga collar

Para adoptar un valor para el coeficiente c, deberemos previamente analizar al muro de arriostre.

Caso I. Cuando el muro no tiene restricciones de ningún tipo en su parte superior, podemos considerarlo como si fuera un voladizo y el valor de c será 1/2 tal como vimos en el análisis.

Caso II. Cuando el muro está restringido a los giros en su parte superior, pero tiene libertad de desplazamientos tomaremos el valor de c = 1/3.

Caso III. Finalmente cuando tenemos un muro con libertad de giros en su parte superior, pero restringido en sus desplazamientos, tomaremos como valor de c = 1/8.

Para la reducción de estos valores se utilizaron los esquemas de la fig. 4.5.

En general se pueden seguir distintos caminos para el diseño de muros de arriostre : uno de los métodos podría ser, elegir un valor para ■ y luego verificar hallando el factor de seguridad, tal como se muestra en el siguiente ejemplo. Otro método podría ser, elegir un valor del factor de seguridad y hallar la longitud del muro de arriostre.

<u>Ejemplo de Aplicación</u>

Calcular la longitud de los muros de arriostre del sistema de muros mostrado en la fig. 4.6., para los casos I, II y III, usando α = 1, y coeficientes sísmicos de 20% y 3(

Los valores de H serán :

$$H_{I} = 3 \text{ mt. (voladizo)}$$

$$H_{II,III} = \frac{2.10^2 + 2 \times 2.10 \times 0.90}{2.10 + 0.90} = 2.73 \text{ mt.}$$

Los valores de K son :

		C_m =	0.20	0.30
K_I	$= 3 \times 0.5 \times C_m \times 3 \;/\; 1 \times 3.60$	=	0.25	0.375
K_{II}	$= 3 \times 0.333 \times C_m \times 2.73/1 \times 3.60$	=	0.152	0.227
K_{III}	$= 3 \times 0.125 \times C_m \times 2.73/1 \times 3.60$	=	0.0569	0.0853

Para C_m = 0.20

t / t_a = 1

Caso	L (mt)
I	3.46
II	2.50
III	1.37

peso muro arriostre x g1 + peso muro arriostrado x g2

1,600 x 0.38 x 3.00 (4.58x 0.5 x 4.58 + 3.22 x 0.5 x 0.38)

momento resistente = 0.85 x 20,246 = 17,209 kg - mt

FS = 17,209 / 6,402 = 2.69

El muro trabaja con un factor de seguridad de 2.69.