

Hormigón estructural simple

ACTUALIZACIÓN PARA EL CÓDIGO 2002

El cambio más significativo introducido en el Capítulo 22 surgió como resultado de la modificación de otro capítulo. En el artículo 9.3.5 el factor de reducción de la resistencia para hormigón simple se redujo de 0,65 a 0,55. Esto significa una reducción del 15% de las resistencias de diseño de los elementos estructurales de hormigón simple. Esta reducción será contrarrestada en parte por los factores de carga más bajos incluidos en las combinaciones de cargas del artículo 9.2. A pesar de estos dos cambios, las combinaciones de carga y los factores de reducción de la resistencia de 9.2 y 9.3, respectivamente, del Código ACI-99 se trasladaron al Apéndice C, y el artículo 9.1.3 aún permite utilizarlos. El Capítulo 5 de este documento y la sección 22.4 del presente capítulo contienen una discusión adicional sobre este tema.

El artículo 22.2.4 del Código ACI-99 indicaba que la resistencia a la compresión especificada del hormigón usado en las estructuras de hormigón simple no podía ser menor que 2500 psi. El Capítulo 22 presentaba este requisito porque no había ningún requisito de resistencia mínima para el hormigón usado para construir elementos de hormigón armado, a menos que algún requisito específico del código lo estableciera explícitamente. Se ha eliminado este límite de resistencia del artículo 22.2.4, y se ha incluido una referencia al artículo 1.1.1. Los artículos 1.1.1 y 5.1.1 del Código ACI 2002 incluyen una limitación que establece una resistencia mínima de 2500 psi; su inclusión en estos dos artículos hace que esta limitación sea aplicable a todos los tipos de hormigón, tanto armado como simple.

Se agregó la Ecuación (22-3) en el artículo 22.5.1, la cual permite calcular la resistencia nominal al momento cuando una sección es controlada por compresión. En las ediciones anteriores del código esta expresión sólo aparecía en el Comentario. Como consecuencia de este cambio, todas las ecuaciones posteriores a la (22-3) fueron numeradas.

En la edición de 1999 se introdujeron algunos requisitos para tratar el uso de elementos de hormigón estructural simple en estructuras ubicadas en zonas de elevada peligrosidad sísmica o en estructuras para las cuales se requiere un nivel de comportamiento o diseño sismorresistente elevado. En esta edición se revisó el requisito que se refiere al uso de hormigón simple con armadura longitudinal nominal para especificar que la zapata debe soportar ya sea un tabique de hormigón armado colado en obra o bien un tabique de mampostería armada.

ANTECEDENTES

En la edición de 1983 del Código ACI 318 se incorporaron por referencia requisitos para el hormigón estructural simple. El documento al cual se hacía referencia era ACI 318.1, *Requisitos para hormigón estructural simple*. Esta manera de regular el hormigón simple se mantuvo en la edición de 1989. Pero para la edición de 1995 del Código, los requisitos formalmente

contenidos en la norma ACI 318.1 fueron incorporados al Capítulo 22 del Código y se dejó de publicar la norma ACI 318.1. Aunque la presentación de algunos requisitos es diferente, son pocos los cambios técnicos introducidos desde la edición 1989 de ACI 318.1. En este capítulo discutimos estos cambios técnicos.

22.1, 22.2 CAMPO DE VALIDEZ Y LIMITACIONES

Por definición, los elementos de hormigón estructural simple son aquellos que carecen de armadura o que contienen menos armadura que la cantidad mínima especificada para el hormigón armado en otros capítulos de ACI 318 y en sus apéndices (22.2.1). El diseñador debe prestar particular atención al artículo 22.2.2. Como la integridad estructural del hormigón simple depende exclusivamente de las propiedades de hormigón, este artículo limita el uso de hormigón simple a: elementos que están apoyados en forma continua sobre el terreno o sobre otros elementos estructurales capaces de brindar apoyo vertical continuo a toda la longitud del elemento de hormigón simple; elementos en los cuales el efecto de arco asegura compresión bajo todas las condiciones de carga posibles; y tabiques y pedestales. El Capítulo 22 de ACI 318 contiene requisitos de diseño específicos para los tabiques, zapatas y pedestales de hormigón estructural simple.

El artículo 22.1.1.2 indica que las aceras y otras losas apoyadas directamente sobre el suelo no están reguladas por el código a menos que transmitan al suelo cargas verticales provenientes de otras partes de la estructura. El artículo 1.1.6 también establece que si una losa transfiere esfuerzos laterales de la estructura al suelo, dicha losa también debe satisfacer los requisitos del Código. Además, el artículo 22.2.3 señala que este capítulo no se aplica al diseño y la construcción de pilas y pilotes hormigonados en obra en suelos capaces de proveer un apoyo lateral adecuado. Los requisitos correspondientes a estos elementos típicamente se especifican en el código de construcción aplicable.

22.3 JUNTAS

Los elementos de hormigón estructural simple deben ser suficientemente pequeños, o bien se deben dividir en elementos que no tengan continuidad a flexión mediante la construcción de juntas de contracción (o control) (22.3.1). Esto requiere establecer valores límite admisibles para la acumulación de tensiones de tracción debidas a las cargas externas e internas, tales como las provocadas por la contracción por secado, los cambios de temperatura y contenido de humedad, y la fluencia lenta. El artículo 22.3.2 enfatiza varios elementos que afectarán el tamaño de los elementos y, en consecuencia, la separación de las juntas de construcción. Estos incluyen: las condiciones climáticas; la selección y dosificación de los materiales; el mezclado, la colocación y el curado del hormigón; el grado de restricción del movimiento; las tensiones debidas a las cargas externas e internas a las cuales estará solicitado el elemento; y las técnicas constructivas. Si se proveen juntas de contracción, el espesor del elemento se debe reducir como mínimo 25% para que las juntas sean efectivas. En las Referencias 30.1 a 30.3 el lector encontrará información adicional sobre la contracción por secado del hormigón, otras causas que provocan variaciones del volumen del hormigón y el uso de juntas de contracción para aliviar la acumulación de tensiones.

Aunque no forma parte de los requisitos obligatorios, el artículo R22.3 indica una excepción a este requisito sobre juntas de contracción. Esta excepción establece que no es necesario disponer juntas de contracción cuando la fisuración aleatoria debida a los efectos de la fluencia lenta, la contracción y la temperatura no afecta la integridad estructural, a la vez que se considera aceptable, como en el caso de la fisuración transversal de un tabique o muro de fundación continuo.

22.4 MÉTODO DE DISEÑO

Al igual que para los elementos de hormigón armado diseñados de acuerdo con los Capítulos 1 a 21, los requisitos del Capítulo 22 se basan en la metodología de diseño por resistencia. Las combinaciones y factores de carga se indican en 9.2, y son los mismos utilizados para diseñar elementos de hormigón armado. Las combinaciones y factores de carga del Código ACI 1999 y ediciones anteriores han sido reemplazados por las combinaciones y factores de carga de ASCE 7-98. El factor de reducción de la resistencia, ϕ , se indica en 9.3.5. Este factor se ha reducido de 0,65 (valor indicado en el Código 1999) a 0,55 y se aplica a todas las solicitaciones (es decir, flexión, compresión, corte y aplastamiento del hormigón). Si todos los demás parámetros permanecen iguales, la reducción de ϕ da por resultado una reducción del 15,4% de la resistencia de diseño. Aunque algunos factores de carga de 9.2 son menores que los de C.2, la reducción de estos factores no compensa completamente la menor resistencia de diseño. Aunque es necesario investigar cada caso de forma particular, en general se obtendrán diseños más

económicos si se utilizan las cargas y factores de reducción de la resistencia del Apéndice C. Si la carga gravitatoria determinante incluye cargas de nieve o sobrecargas en la cubierta, dependiendo de la magnitud de estas cargas con respecto a las sobrecargas en los entresijos, es posible que resulte más económico utilizar los factores de carga y reducción de la resistencia del Capítulo 9.

Para determinar rápidamente cuál de los dos grupos de factores de carga y reducción de la resistencia se debería utilizar, se puede calcular la carga o sollicitación determinante (por ejemplo, P_u o M_u) usando los factores de carga de 9.2 y C.2. Luego estos valores se pueden dividir por los correspondientes factores de reducción de la resistencia de 9.3.5 y C.3.5, respectivamente, para determinar las cargas o sollicitaciones nominales. Puede resultar más económico satisfacer las carga o sollicitaciones nominal más bajas.

El cuerpo principal de este capítulo contiene numerosas figuras y tablas para ayudarle al ingeniero a diseñar elementos de hormigón estructural simple. Estas se basan en los factores de carga y en el factor de reducción de la resistencia del Capítulo 9 ($\phi = 0,55$). Un apéndice de este capítulo contiene figuras y tablas similares basadas en los factores de carga y el factor de reducción de la resistencia del Apéndice C ($\phi = 0,65$). Para simplificar la comparación de las diferentes tablas y figuras se le ha asignado la misma numeración, excepto que la numeración de las que corresponden al apéndice está precedida por la letra "C."

Para los elementos solicitados a flexión y carga axial se asume una relación tensión-deformación lineal tanto en tracción como en compresión. Los procedimientos de diseño por tensiones admisibles indicados en el Apéndice A – Método de Diseño Alternativo – de las ediciones 1999 y anteriores no se aplican a los elementos estructurales de hormigón simple. Este Apéndice se ha eliminado del Código 2002.

Si se satisfacen los requisitos sobre juntas de contracción y/o dimensiones de los elementos de acuerdo con 22.3, está permitido considerar la resistencia a tracción del hormigón simple (22.4.5). No se debe considerar que hay transferencia de tracción más allá de los bordes exteriores del panel, las juntas de contracción o las juntas constructivas; tampoco se debe considerar ninguna continuidad flexional entre elementos de hormigón simple adyacentes (22.4.7).

El artículo 22.4.8 permite considerar que la totalidad de la sección transversal de un elemento es efectiva para resistir flexión, combinaciones de cargas axiales y flexión, y corte; **excepto que para el caso de hormigón colocado directamente sobre el terreno** (por ejemplo para las zapatas) **el espesor total h se debe considerar 2 in. menor que el espesor real**. El comentario indica que el objetivo de este requisito es considerar las irregularidades de la excavación y cierto grado de contaminación del hormigón adyacente al suelo. No se debe asignar ninguna resistencia a cualquier armaduras colocada (22.4.6).

Al igual que en el pasado, el artículo 22.2.4, a través de su referencia al artículo 1.1.1, exige que la mínima resistencia a la compresión especificada para el hormigón, f'_c , usada en el diseño de los elementos de hormigón estructural simple debe ser mayor o igual que 2500 psi. Este requisito es necesario porque la seguridad y la capacidad de carga de estos elementos se basa exclusivamente en la resistencia y la durabilidad del hormigón.

22.5 DISEÑO POR RESISTENCIA

Las tensiones admisibles de ACI 318.1-89 han sido reemplazadas por expresiones que permiten calcular las resistencias nominales a flexión, compresión corte y aplastamiento. La resistencia nominal al momento, M_n , está dada por:

$$M_n = 5\sqrt{f'_c} S \quad \text{Ec. (22-2)}$$

para las secciones solicitadas a flexión controladas por tracción, y

$$M_n = 0,85 f'_c S \quad \text{Ec. (22-3)}$$

para las secciones solicitadas a flexión controladas por compresión.

La resistencia nominal a la compresión axial, P_n , está dada por:

$$P_n = 0,60 f'_c \left[1 - \left(\frac{\ell_c}{32h} \right)^2 \right] A_1 \quad \text{Ec. (22-5)}$$

Observar que en el numerador del término $\ell_c/32h$ falta el factor de longitud efectiva, k . Este cambio respecto de ACI 318.1 se debe a que siempre es conservador suponer $k = 1$, valor que se basa en considerar que ambos extremos están arriostrados contra el desplazamiento lateral. Además, se reconoce que es difícil lograr conexiones perfectamente fijas en las típicas estructuras en las cuales se utilizan tabiques de hormigón simple estructural. Si uno o ambos extremos están restringidos contra la rotación, el diseñador siempre puede asumir $k = 0,8$ como se hacía en el pasado. Sin embargo, antes de adoptar este valor debe verificar que el elemento que proporciona la restricción contra la rotación posee una rigidez a flexión EI/ℓ como mínimo igual a la del tabique.

En los elementos solicitados a un combinación de flexión y compresión axial se deben satisfacer dos ecuaciones de interacción. Para la cara comprimida:

$$\frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{M_u}{\phi M_n} \leq 1 \quad \text{Ec. (22-6)}$$

donde $M_n = 0,85 f'_c S$

y para la cara traccionada:

$$\frac{M_u}{S} - \frac{P_s}{A_g} \leq 5\phi\sqrt{f'_c} \quad \text{Ec. (22-7)}$$

La resistencia nominal al momento, M_n , a utilizar en la Ecuación (22-6) (es decir $0,85 f'_c S$) es más conservadora que en la edición 1989 de ACI 318.1, donde era igual a $f'_c S$. Las demás resistencias nominales del Capítulo 22 son consistentes con las calculadas usando las tensiones admisibles de ACI 318.1-89.

La resistencia nominal al corte, V_n , está dada por:

$$V_n = \frac{4}{3} \sqrt{f'_c} b h \quad \text{Ec. (22-9)}$$

para corte en una dirección, y por

$$V_n = \left[\frac{4}{3} + \frac{8}{3\beta_c} \right] \sqrt{f'_c} b_o h \leq 2,66 \sqrt{f'_c} b_o h \quad \text{Ec. (22-10)}$$

para corte en dos direcciones, o corte por punzonamiento.

En la Ecuación (22-10), el término $[4/3 + 8/(3\beta_c)]$ reduce la resistencia nominal al corte para las cargas concentradas en las cuales la relación del lado mayor al lado menor, β_c , es mayor que 2. Cuando esta relación es menor o igual que 2 la expresión adopta el valor máximo permitido de 2,66.

Las expresiones para calcular las resistencias nominales a flexión y corte se aplican al hormigón de peso normal. Si se utiliza hormigón de agregados livianos estas resistencias se deben reducir de acuerdo con el artículo 22.5.6. Cuando se especifica la resistencia promedio a la tracción por compresión diametral del hormigón, f_{ct} , y el hormigón se dosifica de acuerdo con el artículo 5.2 de ACI 318, el término $\sqrt{f'_c}$ se debe reemplazar por $f_{ct}/6,7$; pero el valor de $f_{ct}/6,7$ no debe ser mayor que

$\sqrt{f'_c}$. Si no se especifica f_{ct} , el valor de $\sqrt{f'_c}$ se debe multiplicar por 0,75 para el caso de hormigón de agregados livianos y por 0,85 para el caso de hormigón de agregados livianos y arena.

La resistencia nominal al aplastamiento del hormigón, B_n , está dada por:

$$B_n = 0,85 f'_c A_1 \quad \text{Ec. (22-11)}$$

donde A_1 es el área cargada. Si las dimensiones de la superficie de apoyo son mayores que las dimensiones de A_1 , la resistencia al aplastamiento se puede aumentar multiplicando por $\sqrt{A_2/A_1}$, pero el valor de $\sqrt{A_2/A_1}$ no debe ser mayor que 2. A_2 es el área de la base inferior del mayor tronco de pirámide, cono o cuña achaflanada contenida en su totalidad dentro del área de apoyo, y que tiene por base superior el área cargada, A_1 , y sus caras laterales con pendientes de 1 vertical en 2 horizontal. En el Capítulo 6 de este documento se discute la determinación de A_2 .

22.6 TABIQUES

22.6.5 Método de diseño empírico

El Código ofrece dos alternativas para diseñar los tabiques de hormigón simple. El más sencillo se conoce como *método de diseño empírico*, y sólo está permitido para los tabiques de sección rectangular maciza en los cuales la resultante de todas las cargas mayoradas está ubicada dentro del tercio medio del espesor total del tabique. Para determinar la excentricidad efectiva se debe considerar el momento inducido por las cargas laterales, además de cualquier momento inducido por la excentricidad de la carga axial. Limitando la excentricidad a un sexto del espesor del tabique se asegura que todas las regiones del tabique permanezcan comprimidas. En el método de diseño empírico la resistencia nominal a la carga axial, P_{nw} , se determina como:

$$P_{nw} = 0,45 f'_c \left[1 - \left(\frac{\ell_c}{32 h} \right)^2 \right] A_g \quad \text{Ec. (22-14)}$$

Esta es una ecuación correspondiente a una resistencia única, que sólo considera la carga axial. Los momentos debidos a la excentricidad de la carga axial aplicada y/o a las cargas laterales se pueden despreciar, ya que se asume una excentricidad menor o igual que $h/6$.

La Figura 30-1 se presenta a modo de ayuda para los diseñadores de tabiques estructurales de hormigón simple que optan por utilizar el método de diseño empírico. Ingresando a la figura con la resistencia a carga axial requerida se puede seleccionar el espesor de tabique con el cual se obtendrá una resistencia a la carga axial de diseño, ϕP_{nw} , mayor o igual que la requerida. Para valores intermedios de f'_c , el espesor del tabique se puede determinar por interpolación lineal.

22.6.3 Combinación de flexión y carga axial

El segundo método, que se puede aplicar para cualquiera de las condiciones de carga, es el que se debe utilizar si la resultante de todas las cargas mayoradas está fuera del tercio medio del espesor del elemento (es decir, cuando $e > h/6$). En este procedimiento el tabique se debe diseñar de manera que satisfaga los requisitos para combinación de flexión y carga axial indicados por las ecuaciones de interacción (22-6) y (22-7). Si la excentricidad efectiva es menor que 10% del espesor del tabique, h , se debe utilizar una excentricidad hipotética que no sea menor que $0,10h$.

En este método se utiliza un procedimiento en base a prueba y error, suponiendo un valor para el espesor del tabique y la resistencia a la compresión especificada del hormigón, f'_c , y determinando si se satisfacen las dos ecuaciones de interacción. Este procedimiento se puede optimizar si en primer lugar se determina cuál de las ecuaciones será determinante, la (22-6) o la (22-7). Estas ecuaciones se pueden reordenar despejando M_u . Luego, igualando ambas expresiones, pasando los términos que contienen P_u al lado izquierdo, e introduciendo constantes para lograr la consistencia de las unidades, la ecuación (1) resultante indicada a continuación se puede resolver para determinar la carga axial, P_u . El valor de P_u calculado es la carga axial para la cual la resistencia al momento tiene el valor más elevado, y es invariable ya sea que se utilice la ecuación (22-6) o la (22-7).

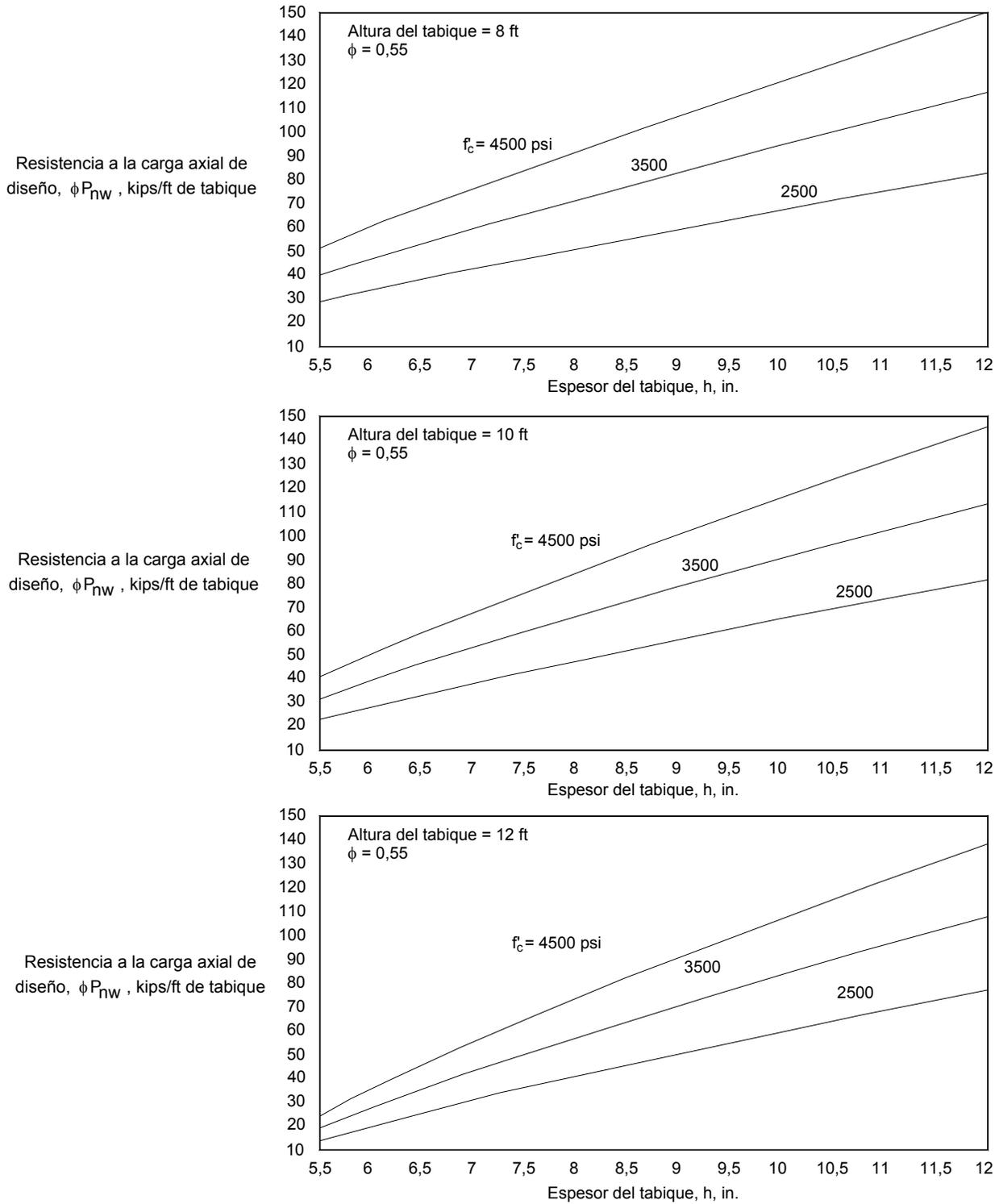


Figura 30-1 – Resistencia a la carga axial de diseño, ϕP_{nw} , de los tabiques de hormigón simple (Método de diseño empírico)

Si la resistencia a la carga axial requerida es menor que el valor de P_u calculado, el diseño es determinado por la Ecuación (22-7). Por el contrario, si la resistencia a la carga axial requerida es mayor que el valor de P_u calculado, el diseño es determinado por la Ecuación (22-6). La ecuación para obtener P_u es:

$$\frac{SP_u}{12A_g} + \frac{M_n P_u}{P_n} = \phi M_n - \frac{5\phi\sqrt{f'_c} S}{12.000} \quad (1)$$

donde las cargas axiales se expresan en kips, los momentos en ft-kips, el módulo resistente en in^3 , el área en in^2 y $\sqrt{f'_c}$ en psi.

Si se determina que la Ecuación (22-6) es determinante, la ecuación (1) se puede reordenar expresando A_g y S en función de h . Para obtener el espesor de tabique requerido, h , se puede resolver la ecuación cuadrática (2):

$$0,06 \phi\sqrt{f'_c} h^2 + P_u h - 72 M_u = 0 \quad (2)$$

donde la carga axial se expresa en kips, el momento en ft-kips, $\sqrt{f'_c}$ en psi y el espesor en in. Si el espesor de tabique requerido es mayor que el supuesto inicialmente se debe realizar una nueva iteración. Si es significativamente menor que el valor supuesto se aconseja repetir el proceso para determinar si se puede justificar un espesor o una resistencia del hormigón más económicos.

Si la ecuación (22-6) es determinante la mejor manera de determinar el espesor de tabique requerido es por el método de prueba y error. Es posible que sea necesario realizar varias iteraciones antes de lograr la solución de diseño más económica.

El procedimiento de diseño se puede simplificar enormemente si se utilizan curvas resistencia a carga axial-resistencia al momento como las ilustradas en las Figuras 30-2 y 30-3. A estas curvas se debe ingresar con la carga axial mayorada conocida, P_u , y determinar si la resistencia al momento de diseño, ϕM_n , es mayor o igual que la resistencia al momento requerida, M_u . Evidentemente las curvas también se pueden usar ingresando con la resistencia al momento mayorado, M_u , para determinar si la resistencia a la carga axial de diseño, ϕP_n , es mayor o igual que la resistencia a la carga axial mayorada requerida, P_u .

Si la excentricidad efectiva debida a todas las cargas mayoradas es menor que $0,10h$ la resistencia a la carga axial de diseño, ϕP_n , se determina proyectando horizontalmente hacia la izquierda a partir del punto de intersección de la recta que corresponde a " $e = h/10$ " y la curva que representa la resistencia a la compresión especificada del hormigón, f'_c . Por ejemplo, la Figura 30-2 muestra que para un tabique de 8 in. de espesor y 8 ft de altura construido de un hormigón que tiene una resistencia a la compresión especificada, f'_c , igual a 2500 psi, la resistencia a la carga axial de diseño, ϕP_n , es aproximadamente igual a 68 kips/ft de tabique. Esto supone que el tabique está cargado de forma centrada y que no hay cargas laterales que inducen momentos (es decir, $\phi M_n = 0$). Sin embargo, cuando la carga axial se aplica con la excentricidad mínima requerida ($0,10h$) la resistencia a la carga axial de diseño se reduce aproximadamente a 37 kips/ft de tabique. El momento correspondiente a la carga de 37 kips aplicada con la excentricidad mínima de $0,10h$ es aproximadamente igual a 3,3 ft-kips/ft de tabique.

En las Figuras 30-2 y 30-3 también se han trazados rectas correspondientes a " $e = h/6$ " para ayudar a que el diseñador identifique cuándo la excentricidad efectiva es mayor que este valor. Si la intersección de la carga axial, P_u , y el momento, M_u , está a la derecha de esta recta, hay una región del tabique que está solicitada a tracción debido al momento inducido.

Los tabiques de hormigón simple típicamente se utilizan como muros exteriores de subsuelos y en pequeñas construcciones residenciales y comerciales. En la mayoría de los casos las cargas axiales son pequeñas en comparación con la resistencia a la compresión axial de diseño, ϕP_n , del tabique. Por este motivo se han desarrollado las Figuras 30-4 a 30-6, las cuales incluyen solamente el rango inferior de los valores de carga axial de las Figuras 30-2 y 30-2. Cuando hay cargas axiales de poca intensidad que actúan simultáneamente con momentos flectores, el diseño es determinado por la tracción por flexión [Ecuación (22-7)] y no por la combinación de carga axial y flexión [Ecuación (22-6)]. Analizando la Ecuación (22-7) se puede observar que la resistencia al momento de diseño de los tabiques con bajas cargas axiales no depende de la altura del mismo; por lo tanto, el formato de las Figuras 30-4 a 30-6 es algo diferente al de las Figuras 30-2 y 30-3. Las Figuras 30-7 a 30-9 se incluyen para ayudarle al diseñador a verificar si un tabique es controlado por la Ecuación (22-7) y no por la Ecuación (22-6). Estas figuras ilustran el valor de la resistencia a la carga axial de diseño, ϕP_n , que corresponde al máximo valor de la resistencia al

momento de diseño, ϕM_n . Por ejemplo, la Figura 30-7 muestra que un tabique de 8 in. de espesor y 8 ft de altura tiene una resistencia a la carga axial de diseño, ϕP_n , de aproximadamente 37,4 kips/ft de tabique cuando se aplica un momento igual a la máxima resistencia al momento de diseño, ϕM_n . De la Figura 30-2, la máxima resistencia al momento de diseño, ϕM_n , es aproximadamente igual a 5,6 ft-kips/ft de tabique cuando se aplica una carga mayorada de aproximadamente 37 kips/ft de tabique. Al utilizar las Figuras 30-4 a 30-6 el usuario siempre debe verificar que la resistencia a la carga axial requerida, P_u , sea menor que el valor determinado usando las Figuras 30-7 a 30-9. Tampoco se deben descuidar los requisitos del artículos 22.6.6.2. Estos requisitos establecen que el espesor del tabique debe ser mayor o igual que el mayor valor entre 1/24 de la longitud o altura libre del tabique, ó 5-1/2 in. Analizando las Figuras 30-7 a 30-9 se observa que en prácticamente todos los casos cubiertos la resistencia a la carga axial de diseño es mayor que 15 kips/ft de tabique.

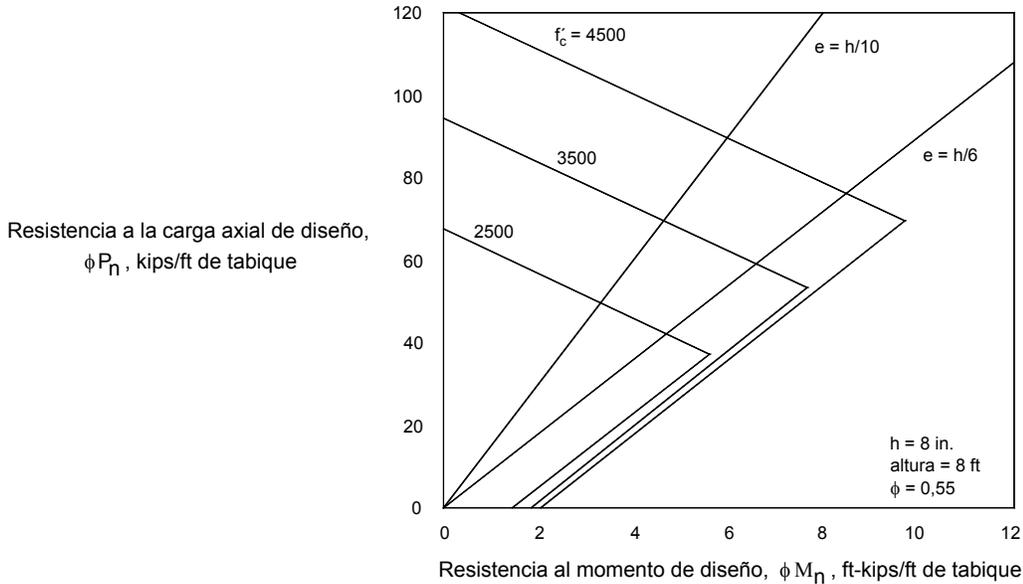


Figura 30-2 – Diagramas de interacción de las resistencias para un tabique de 8 in. (8 ft de altura)

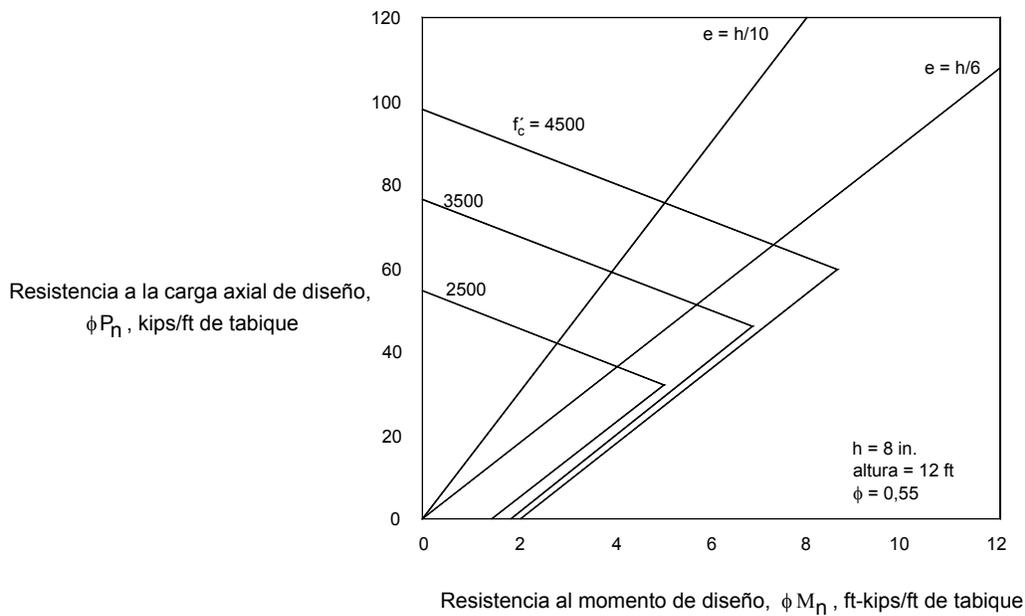


Figura 30-3 – Diagramas de interacción de las resistencias para un tabique de 8 in. (12 ft de altura)

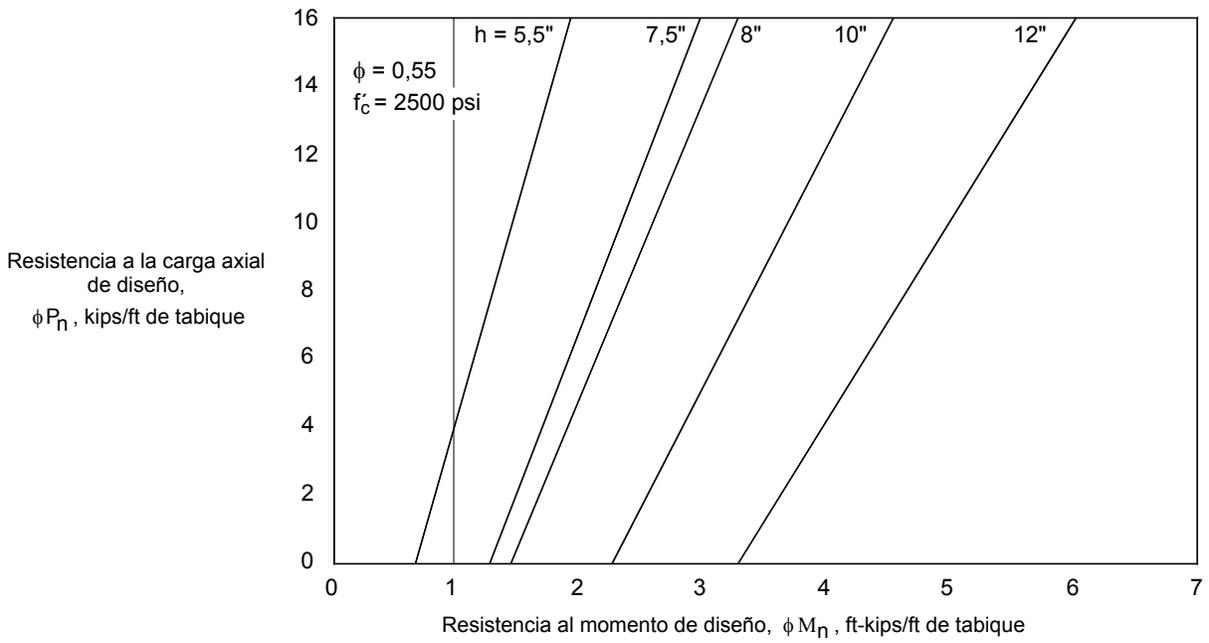


Figura 30-4 – Diagramas de interacción de las resistencias de diseño para tabiques de hormigón simple poco cargados ($f'_c = 2500$ psi)

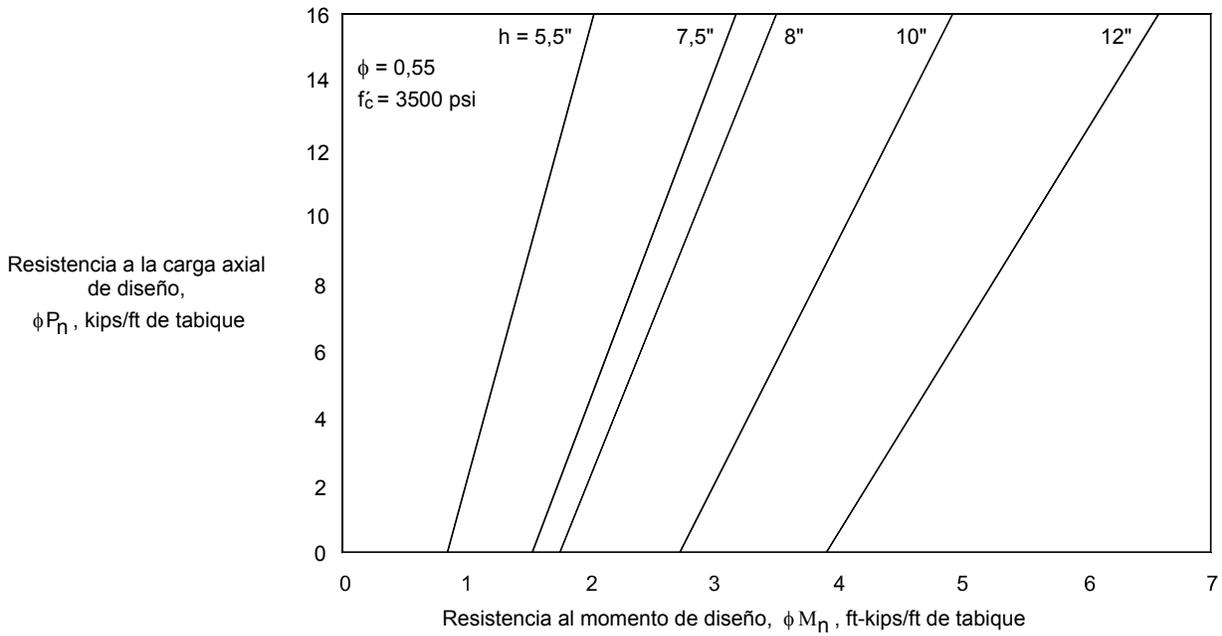


Figura 30-5 – Diagramas de interacción de las resistencias de diseño para tabiques de hormigón simple poco cargados ($f'_c = 3500$ psi)

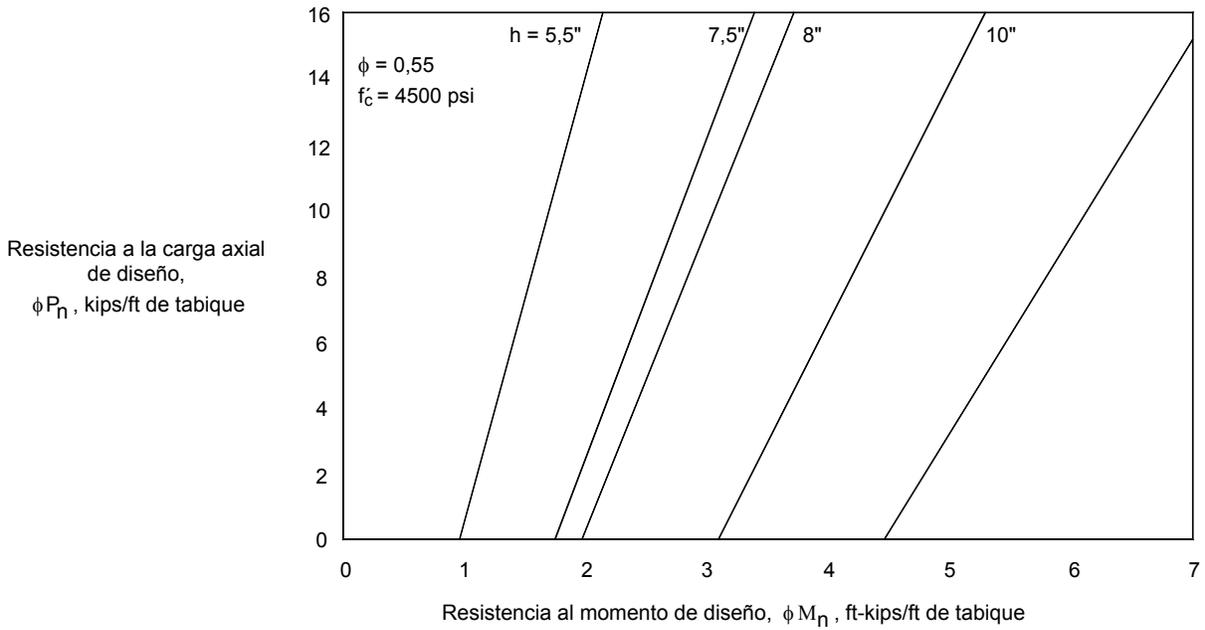


Figura 30-6 – Diagramas de interacción de las resistencias de diseño para tabiques de hormigón simple poco cargados ($f'_c = 4500$ psi)

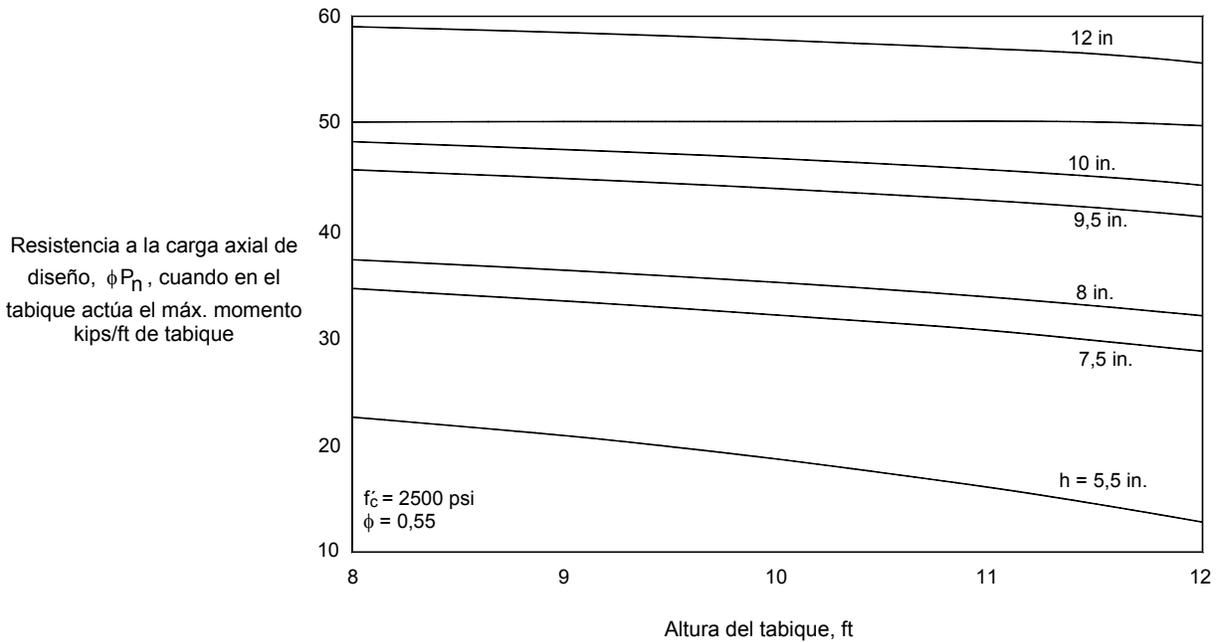


Figura 30-7 – Resistencia a la carga axial de diseño de los tabiques de hormigón simple para la máxima resistencia al momento de diseño ($f'_c = 2500$ psi)

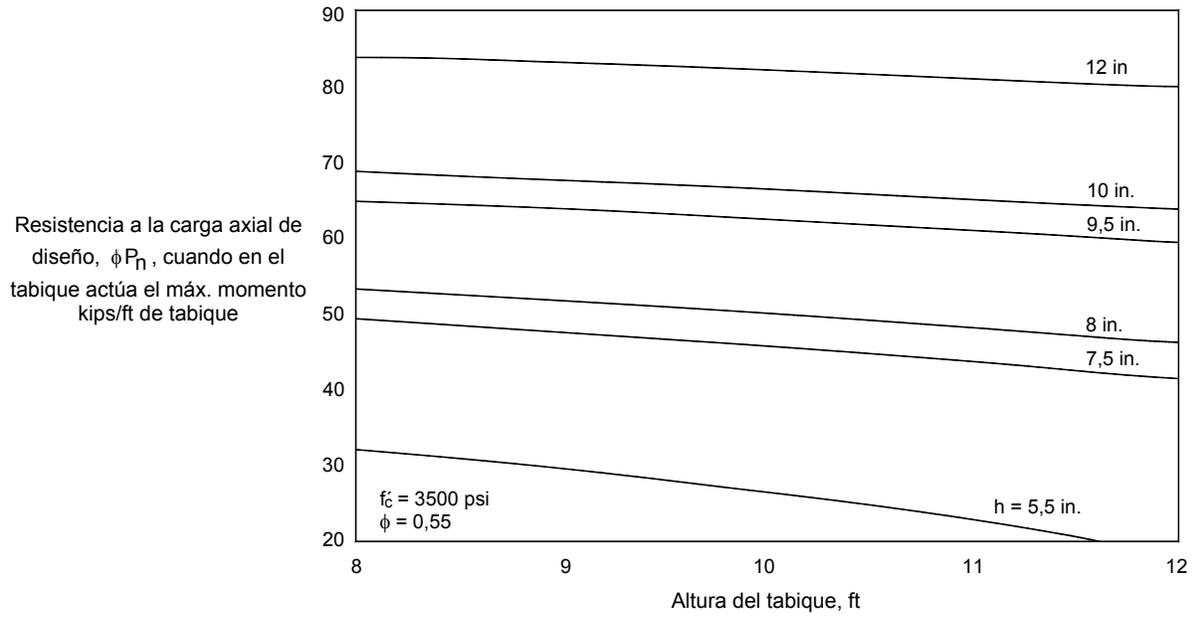


Figura 30-8 – Resistencia a la carga axial de diseño de los tabiques de hormigón simple para la máxima resistencia al momento de diseño ($f'_c = 3500$ psi)

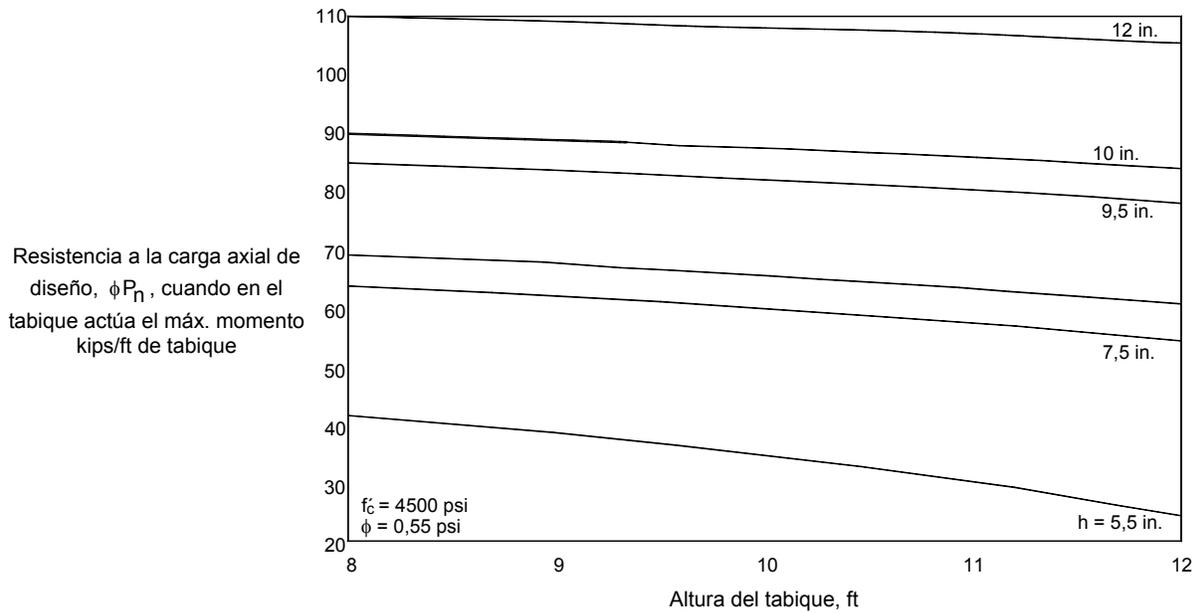


Figura 30-9 – Resistencia a la carga axial de diseño de los tabiques de hormigón simple para la máxima resistencia al momento de diseño ($f'_c = 4500$ psi)

En las construcciones en las cuales hay tabiques exteriores de subsuelos o muros de sostenimiento que soportan relleno no equilibrado, algunos de los tabiques generalmente no son portantes. En este caso, especialmente si existe la posibilidad que el relleno detrás del tabique se coloque antes que la carga permanente que finalmente actuará sobre el mismo, es recomendable diseñar el tabique suponiendo que no hay ninguna carga axial actuando simultáneamente con el empuje lateral del suelo. Para esta condición la Ecuación (2) se reduce a:

$$0,6 \phi \sqrt{f'_c} h^2 - 72 M_u = 0 \quad (3)$$

Esta expresión se puede reordenar de manera de obtener el espesor de tabique requerido:

$$h = \left(72 M_u / 0,06 \phi \sqrt{f'_c} \right)^{1/2} \quad (4)$$

o también se puede resolver para obtener la resistencia a la compresión especificada del hormigón:

$$f'_c = \left(72 M_u / 0,06 \phi h^2 \right)^2 \quad (5)$$

En las Ecuaciones (3), (4) y (5) f'_c se expresa en psi, h en pulgadas, y M_u en ft-kips/ft de tabique.

Comparación de los dos métodos

Como el artículo 22.6.5.1 limita el uso del método empírico a aquellos casos en los cuales la resultante de todas las cargas mayoradas está ubicada dentro del tercio medio del tabique, sería lógico suponer que este método es más conservador cuando la excentricidad efectiva es menor que un sexto del espesor del tabique. Pero esto no es así. El método empírico tiene un factor de excentricidad implícito [relación entre la resistencia dada por la Ec. (22-14) y la dada por la Ec. (22-5)] igual a 0,75 (es decir 0,45/0,60). Sin embargo, las curvas de las Figuras 30-2 y 30-3 tienen un factor de excentricidad (relación entre la resistencia para carga aplicada con una excentricidad de 0,10h y la resistencia correspondiente a la aplicación de la carga sin excentricidad) igual a 0,725 para hormigón de 2500 psi. Por lo tanto, cuando la excentricidad efectiva es menor que un sexto del espesor del tabique, con el método empírico se obtendrá una resistencia nominal a la carga axial más elevada (es decir, $\phi P_{nw} > \phi P_n$).

El artículo 22.6.6.3 establece que los tabiques exteriores de subsuelos y los tabiques de fundación deben tener un espesor mayor o igual que 7-1/2 in. Algunos códigos de construcción permiten que el espesor de estos tabiques sea de 5-1/2 in. El artículo 22.6.6.2 exige que el espesor de los demás tabiques sea mayor o igual que 5-1/2 in., pero nunca menor que 1/24 de la longitud o altura libre del tabique, cualquiera sea el valor que resulte menor.

También se deben respetar las demás limitaciones establecidas en la sección 22.6.6, entre ellas las siguientes: el tabique debe estar arriostrado contra los desplazamientos laterales (22.6.6.4); en el perímetro de las aberturas se deben colocar como mínimo dos barras mayores o iguales que una barra No. 5, las cuales se deben prolongar como mínimo 24 in. más allá de las esquinas de las aberturas (22.6.6.5).

Las Tablas 30-1 y 30-2 se incluyen para facilitar el diseño de los tabiques simplemente apoyados solicitados a cargas laterales de viento y/o empujes laterales del suelo. Estas tablas dan los momentos mayorados debidos a diferentes combinaciones de cargas laterales de viento y empujes del suelo, correspondientes a diferentes alturas de relleno. Las tablas también cubren los tabiques exteriores ubicados totalmente por encima del nivel del terreno (sin empuje lateral debido a la presencia de relleno), así como los tabiques que no están solicitados a cargas laterales de viento. Las Tablas 30-1 y 30-2 se deben utilizar con los factores de carga del artículo 9.2; las Tablas C30-1 y C30-2 se deben utilizar con los factores de carga del artículo C.2. Observar que la única diferencia entre las dos tablas de cada grupo es que la primera tabla fue desarrollada usando para el viento un factor de carga igual a 1,6 mientras que la segunda tabla utiliza un factor de carga igual a 1,3. En cada grupo de tablas el factor de carga que se aplica a la carga lateral debida al empuje del suelo es el mismo, ya sea 1,6 ó 1,7. Las Tablas 30-1 o C30-1 se deben usar cuando se investigan las combinaciones de cargas de 9.2 o C.2, respectivamente en las cuales la carga de viento se ha reducido aplicando un factor de direccionalidad, como por ejemplo el indicado en el IBC y en ASCE 7-98 [9.2.1(b)]. Las Tablas 30-2 o C30-2 se deben utilizar cuando se investigan las combinaciones de cargas de 9.2 o C.2 en las

cuales la carga de viento no se ha reducido mediante la aplicación de un factor de direccionalidad, como por ejemplo las combinaciones de cargas del NBC, del SBC y del UBC, y de las ediciones de ASCE 7 anteriores a 1998.

Para los tabiques exteriores que tienen una parte por encima del nivel del terreno, los momentos indicados en la tabla suponen que la carga de viento actúa en la misma dirección que el empuje lateral del suelo (es decir, hacia el interior de la estructura). La mayoría de las normas de diseño para viento actualmente vigentes requieren que los tabiques exteriores se diseñen considerando las presiones debidas al viento actuando tanto hacia adentro como hacia fuera. En general, el mayor valor absoluto de la carga de viento se produce cuando el tabique está solicitado a una presión negativa (es decir, cuando la fuerza está actuando hacia el exterior de la estructura). El artículo 9.2.1(d) establece que si el empuje del suelo contrarresta la carga de viento, lo cual corresponde al caso del viento actuando de adentro hacia fuera, en la combinación de cargas dada por la Ecuación (9-6) el factor de carga correspondiente a H se debe tomar igual a cero. Excepto en las situaciones en las cuales la altura del relleno es pequeña en comparación con la altura total del tabique, y dependiendo de la magnitud relativa de la presión de viento de diseño y el empuje lateral del suelo, generalmente se aplicará el momento debido a los empujes laterales del suelo y las cargas de viento actuando de afuera hacia adentro indicados en las Tablas 30-1 y 30-2. Cuando resulta determinante el viento actuando de adentro hacia afuera, es más sencillo diseñar el tabique como si la totalidad de la altura del tabique estuviera expuesta a la presión del viento. Las Tablas 30-1, 30-2, C30-1 y C30-2 se pueden utilizar de este modo, suponiendo que la altura del relleno detrás del tabique es nula.

Antes de diseñar un tabique estructural de hormigón simple que resistirá fuerzas de levantamiento y/o vuelco se deben investigar las combinaciones de cargas indicadas en 9.2 o C.2. Si toda la sección transversal estará traccionada debido a los esfuerzos axiales y laterales mayorados, el tabique se debe diseñar como un tabique de hormigón armado, o bien se deben emplear otros medios para transferir los esfuerzos de levantamiento a la fundación. Esta situación es frecuente cuando se diseñan tabiques sobre los cuales se colocan sistemas de cubiertas livianas que soportan esfuerzos netos de levantamiento provocados por la acción de las cargas de viento.

22.7 ZAPATAS

Una práctica habitual en los Estados Unidos, incluso en las zonas de elevada peligrosidad sísmica, consiste en utilizar zapatas de hormigón simple para soportar los tabiques de todo tipo de estructuras. El hormigón simple también es muy utilizado para las zapatas que soportan columnas y pedestales, particularmente en las estructuras residenciales. El Capítulo 22 permite estas aplicaciones del hormigón estructural simple; sin embargo, el artículo 22.7.3 prohíbe utilizar el hormigón estructural simple para cabezales de pilotes. Además, los códigos de construcción vigentes también contienen limitaciones respecto del uso de las zapatas de hormigón estructural simple en las estructuras ubicadas en regiones de peligrosidad sísmica moderada, o en las estructuras para las cuales se requiere un nivel de comportamiento o diseño sismorresistente intermedio. Ver también la discusión de la sección 22.10 respecto de las limitaciones sobre el uso de zapatas de hormigón estructural simple en las estructuras ubicadas en regiones de peligrosidad sísmica elevada o en estructuras para las cuales se requiere un nivel de comportamiento o diseño sismorresistente elevado.

Muchos arquitectos e ingenieros especifican el uso de dos barras longitudinales No. 4 o No. 5 en las zapatas que soportan tabiques. Sin embargo, en general estas zapatas no tienen ninguna armadura en la dirección transversal, o bien la cantidad de armadura colocada es menor que la requerida por el código para poder considerar que la zapata está "armada". Este tipo de elementos se deben diseñar como zapatas de hormigón estructural simple, ya que en la dirección transversal la zapata está solicitada a flexión y posiblemente a esfuerzos de corte debidos a la proyección de la zapata más allá de la cara del elemento soportado.

El área de la base de las zapatas se debe determinar a partir de los esfuerzos y momentos no mayorados, usando la tensión admisible del suelo. Una vez seleccionada la superficie de la base de la zapata, para dimensionar el espesor de la zapata se deben considerar los esfuerzos y momentos mayorados de manera de satisfacer los requisitos de resistencia al momento y, cuando corresponda, al corte. Los artículos 22.7.5 y 22.7.6.1 definen las secciones críticas para el cálculo de los momentos y esfuerzos de corte mayorados. Estas ubicaciones se resumen en la Tabla 30-3. La Figura 22-2 ilustra la ubicación de las secciones críticas tanto para corte en una dirección como para corte en dos direcciones para el caso de una zapata que soporta una columna o pedestal.

Tabla 30-1 – Momentos mayorados inducidos en un tabique por el empuje lateral del suelo o por la presión del viento (ft-kips/ft lineal)
 (Para utilizar con los factores de carga del Capítulo 9: Empuje del suelo 1,6; Viento 1,6)

Alt. (ft.)	Alt. relleno (ft.)	Empuje lateral del suelo de diseño, no mayorado (lb/ft ² por pie de profundidad)																			
		30	30	30	30	30	45	45	45	45	45	60	60	60	60	60	100	100	100	100	100
		Presión del viento de diseño, no mayorada (lb/ft ²)																			
		0	10	20	40	80	0	10	20	40	80	0	10	20	40	80	0	10	20	40	80
8	0	0,00	0,13	0,26	0,51	1,02	0,00	0,13	0,26	0,51	1,02	0,00	0,13	0,26	0,51	1,02	0,00	0,13	0,26	0,51	1,02
8	1	0,01	0,13	0,25	0,50	1,00	0,01	0,13	0,25	0,50	1,00	0,01	0,13	0,26	0,50	1,00	0,02	0,14	0,26	0,51	1,01
8	2	0,05	0,14	0,26	0,48	0,93	0,08	0,16	0,27	0,50	0,95	0,10	0,18	0,29	0,51	0,96	0,17	0,23	0,34	0,56	1,00
8	3	0,15	0,21	0,29	0,48	0,85	0,23	0,28	0,35	0,53	0,90	0,31	0,36	0,42	0,59	0,95	0,51	0,56	0,62	0,75	1,10
8	4	0,33	0,37	0,41	0,51	0,78	0,49	0,53	0,57	0,66	0,90	0,65	0,69	0,73	0,82	1,02	1,09	1,12	1,166	1,25	1,42
8	5	0,57	0,59	0,62	0,67	0,79	0,85	0,87	0,90	0,95	1,06	1,13	1,16	1,18	1,23	1,34	1,88	1,91	1,93	1,98	2,09
8	6	0,86	0,88	0,83	0,91	0,96	1,30	1,31	1,32	1,34	1,39	1,73	1,74	1,75	1,78	1,83	2,88	2,89	2,90	2,93	2,98
8	7	1,21	1,21	1,21	1,22	1,23	1,81	1,81	1,82	1,82	1,84	2,41	2,42	2,42	2,43	2,44	4,02	4,03	4,03	4,04	4,05
8	8	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	2,36	2,36	2,36	2,36	2,36	3,15	3,15	3,15	3,15	3,15	5,26	5,26	5,26	5,26	5,26
9	0	0,00	0,16	0,32	0,65	1,30	0,00	0,16	0,32	0,65	1,30	0,00	0,16	0,32	0,65	1,30	0,00	0,16	0,32	0,65	1,30
9	1	0,01	0,16	0,32	0,64	1,27	0,01	0,16	0,32	0,64	1,27	0,01	0,17	0,32	0,64	1,27	0,02	0,17	0,33	0,65	1,28
9	2	0,05	0,18	0,32	0,62	1,20	0,08	0,20	0,34	0,63	1,22	0,10	0,21	0,36	0,65	1,23	0,17	0,27	0,40	0,69	1,27
9	3	0,16	0,24	0,36	0,61	1,12	0,24	0,31	0,42	0,67	1,17	0,32	0,39	0,48	0,72	1,23	0,53	0,60	0,68	0,88	1,37
9	4	0,34	0,40	0,47	0,65	1,05	0,51	0,57	0,63	0,78	1,17	0,69	0,74	0,80	0,94	1,30	1,14	1,20	1,26	1,38	1,66
9	5	0,60	0,65	0,69	0,76	1,01	0,91	0,95	0,99	1,08	1,28	1,21	1,25	1,29	1,38	1,57	2,01	2,05	2,09	2,18	2,36
9	6	0,94	0,96	0,99	1,04	1,16	1,41	1,43	1,46	1,51	1,62	1,88	1,90	1,93	1,98	2,09	3,13	3,15	3,18	3,23	3,33
9	7	1,33	1,35	1,36	1,38	1,43	2,00	2,01	2,03	2,05	2,10	2,67	2,68	2,69	2,72	2,77	4,45	4,46	4,47	4,50	4,55
9	8	1,78	1,78	1,78	1,79	1,80	2,66	2,67	2,67	2,68	2,69	3,55	3,56	3,56	3,57	3,58	5,92	5,92	5,93	5,93	5,95
9	9	2,24	2,24	2,24	2,24	2,24	3,37	3,37	3,37	3,37	3,37	4,49	4,49	4,49	4,49	4,49	7,48	7,48	7,48	7,48	7,48
10	0	0,00	0,20	0,40	0,80	1,60	0,00	0,20	0,40	0,80	1,60	0,00	0,20	0,40	0,80	1,60	0,00	0,20	0,40	0,80	1,60
10	1	0,01	0,20	0,40	0,79	1,57	0,01	0,20	0,40	0,79	1,57	0,01	0,20	0,40	0,79	1,58	0,02	0,21	0,41	0,80	1,58
10	2	0,05	0,22	0,40	0,77	1,51	0,08	0,23	0,42	0,78	1,52	0,11	0,25	0,43	0,80	1,54	0,18	0,30	0,48	0,84	1,58
10	3	0,16	0,28	0,44	0,76	1,43	0,25	0,35	0,50	0,82	1,48	0,33	0,42	0,56	0,87	1,53	0,55	0,64	0,74	1,03	1,67
10	4	0,36	0,44	0,54	0,80	1,35	0,54	0,61	0,70	0,93	1,47	0,71	0,79	0,87	1,08	1,60	1,19	1,27	1,34	1,52	1,96
10	5	0,64	0,70	0,76	0,91	1,31	0,95	1,01	1,08	1,22	1,55	1,27	1,33	1,39	1,53	1,82	2,12	2,18	2,24	2,37	2,64
10	6	1,00	1,04	1,09	1,18	1,39	1,50	1,54	1,59	1,68	1,87	2,00	2,04	2,09	2,18	2,36	3,33	3,38	3,42	3,51	3,69
10	7	1,44	1,47	1,49	1,55	1,66	2,16	2,19	2,22	2,27	2,38	2,88	2,91	2,94	2,99	3,10	4,81	4,83	4,86	4,91	5,02
10	8	1,95	1,96	1,97	2,00	2,05	2,92	2,93	2,95	2,97	3,02	3,89	3,91	3,92	3,94	3,99	6,49	6,50	6,52	6,54	6,59
10	9	2,50	2,50	2,51	2,51	2,53	3,75	3,75	3,76	3,76	3,76	5,00	5,00	5,01	5,01	5,03	8,33	8,33	8,34	8,35	8,36
10	10	3,08	3,08	3,08	3,08	3,08	4,62	4,62	4,62	4,62	4,62	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	10,26	10,26	10,26	10,26	10,26
12	0	0,00	0,29	0,58	1,15	2,30	0,00	0,29	0,58	1,15	2,30	0,00	0,29	0,58	1,15	2,30	0,00	0,29	0,58	1,15	2,30
12	1	0,01	0,29	0,57	1,14	2,28	0,01	0,29	0,57	1,14	2,28	0,01	0,29	0,58	1,14	2,28	0,02	0,30	0,58	1,15	2,29
12	2	0,06	0,30	0,58	1,12	2,21	0,08	0,32	0,59	1,14	2,22	0,11	0,34	0,61	1,15	2,24	0,18	0,39	0,65	1,20	2,28
12	3	0,17	0,36	0,61	1,12	2,13	0,26	0,43	0,67	1,17	2,18	0,34	0,50	0,73	1,23	2,23	0,57	0,70	0,90	1,38	2,38
12	4	0,38	0,51	0,71	1,15	2,06	0,57	0,69	0,86	1,28	2,18	0,76	0,88	1,02	1,42	2,30	1,26	1,38	1,51	1,83	2,66
12	5	0,69	0,80	0,92	1,25	2,01	1,03	1,14	1,25	1,53	2,25	1,37	1,48	1,59	1,84	2,51	2,29	2,39	2,50	2,73	3,26
12	6	1,10	1,19	1,28	1,49	2,03	1,65	1,74	1,83	2,02	2,46	2,20	2,28	2,37	2,56	2,97	3,66	3,75	3,84	4,02	4,40
12	7	1,61	1,68	1,75	1,89	2,20	2,42	2,49	2,55	2,69	2,99	3,23	3,29	3,36	3,50	3,78	5,38	5,45	5,51	5,65	5,92
12	8	2,22	2,27	2,31	2,41	2,61	3,34	3,38	3,43	3,52	3,71	4,45	4,49	4,54	4,63	4,82	7,41	7,46	7,50	7,59	7,78
12	9	2,92	2,94	2,97	3,03	3,14	4,37	4,40	4,43	4,48	4,59	5,83	5,86	5,89	5,94	6,05	9,72	9,75	9,77	9,83	9,94
12	10	3,68	3,69	3,70	3,73	3,78	5,51	5,53	5,54	5,56	5,62	7,35	7,36	7,38	7,40	7,45	12,25	12,27	12,28	12,30	12,35
12	11	4,48	4,49	4,49	4,50	4,51	6,73	6,73	6,73	6,74	6,75	8,97	8,97	8,98	8,98	8,99	14,95	14,95	14,95	14,96	14,97
12	12	5,32	5,32	5,32	5,32	5,32	7,98	7,98	7,98	7,98	7,98	10,64	10,64	10,64	10,64	10,64	17,74	17,74	17,74	17,74	17,74

Tabla 30-2 – Momentos mayorados inducidos en un tabique por el empuje lateral del suelo o por la presión del viento (ft-kips/ft lineal)
 (Para utilizar con los factores de carga del Capítulo 9: Empuje del suelo 1,6; Viento 1,3x)

Alt. (ft.)	Alt. relleno (ft.)	Empuje lateral del suelo de diseño, no mayorado (lb/ft ² por pie de profundidad)																			
		30	30	30	30	30	45	45	45	45	45	60	60	60	60	60	100	100	100	100	100
		Presión del viento de diseño, no mayorada (lb/ft ²)																			
		0	10	20	40	80	0	10	20	40	80	0	10	20	40	80	0	10	20	40	80
8	0	0,00	0,10	0,21	0,42	0,83	0,00	0,10	0,21	0,42	0,83	0,00	0,10	0,21	0,42	0,83	0,00	0,10	0,21	0,42	0,83
8	1	0,01	0,10	0,21	0,41	0,81	0,01	0,11	0,21	0,41	0,81	0,01	0,11	0,21	0,41	0,81	0,02	0,11	0,21	0,42	0,82
8	2	0,05	0,12	0,21	0,40	0,76	0,08	0,14	0,23	0,41	0,78	0,10	0,16	0,25	0,43	0,79	0,17	0,22	0,30	0,47	0,83
8	3	0,15	0,20	0,26	0,41	0,71	0,23	0,27	0,32	0,46	0,76	0,31	0,35	0,40	0,52	0,81	0,51	0,55	0,60	0,70	0,96
8	4	0,33	0,36	0,39	0,47	0,68	0,49	0,52	0,55	0,62	0,80	0,65	0,68	0,72	0,78	0,94	1,09	1,12	1,15	1,21	1,35
8	5	0,57	0,59	0,61	0,65	0,74	0,85	0,87	0,89	0,93	1,02	1,13	1,15	1,17	1,21	1,30	1,88	1,90	1,92	1,96	2,05
8	6	0,86	0,87	0,88	0,90	0,94	1,30	1,31	1,32	1,34	1,38	1,73	1,74	1,75	1,77	1,81	2,88	2,89	2,90	2,92	2,96
8	7	1,21	1,21	1,21	1,22	1,23	1,81	1,81	1,82	1,82	1,83	2,41	2,42	2,42	2,43	2,44	4,02	4,03	4,03	4,04	4,05
8	8	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	2,36	2,36	2,36	2,36	2,36	3,15	3,15	3,15	3,15	3,15	5,26	5,26	5,26	5,26	5,26
9	0	0,00	0,13	0,26	0,53	1,05	0,00	0,13	0,26	0,53	1,05	0,00	0,13	0,26	0,53	1,05	0,00	0,13	0,26	0,53	1,05
9	1	0,01	0,13	0,26	0,52	1,03	0,01	0,13	0,26	0,52	1,03	0,01	0,14	0,26	0,52	1,04	0,02	0,14	0,27	0,53	1,04
9	2	0,05	0,15	0,27	0,51	0,98	0,08	0,17	0,29	0,52	1,00	0,10	0,19	0,30	0,54	1,01	0,17	0,24	0,35	0,58	1,06
9	3	0,16	0,22	0,32	0,52	0,93	0,24	0,30	0,38	0,57	0,98	0,32	0,38	0,44	0,63	1,04	0,53	0,59	0,65	0,80	1,18
9	4	0,34	0,39	0,44	0,58	0,90	0,51	0,56	0,61	0,72	1,02	0,69	0,73	0,78	0,88	1,15	1,14	1,19	1,23	1,33	1,55
9	5	0,60	0,64	0,67	0,75	0,92	0,91	0,94	0,97	1,04	1,20	1,21	1,24	1,27	1,34	1,49	2,01	2,05	2,08	2,15	2,29
9	6	0,94	0,96	0,98	1,02	1,11	1,41	1,43	1,45	1,49	1,58	1,88	1,90	1,92	1,96	2,05	3,13	3,15	3,17	3,21	3,29
9	7	1,33	1,34	1,35	1,37	1,42	2,00	2,01	2,02	2,04	2,08	2,67	2,68	2,69	2,71	2,75	4,45	4,46	4,47	4,49	4,53
9	8	1,78	1,78	1,78	1,79	1,80	2,66	2,67	2,67	2,68	2,69	3,55	3,56	3,56	3,56	3,57	5,92	5,92	5,93	5,93	5,94
9	9	2,24	2,24	2,24	2,24	2,24	3,37	3,37	3,37	3,37	3,37	4,49	4,49	4,49	4,49	4,49	7,48	7,48	7,48	7,48	7,48
10	0	0,00	0,16	0,33	0,65	1,30	0,00	0,16	0,33	0,65	1,30	0,00	0,16	0,33	0,65	1,30	0,00	0,16	0,33	0,65	1,30
10	1	0,01	0,16	0,32	0,64	1,28	0,01	0,17	0,32	0,64	1,28	0,01	0,17	0,33	0,65	1,28	0,02	0,17	0,33	0,65	1,29
10	2	0,05	0,18	0,33	0,63	1,23	0,08	0,20	0,35	0,65	1,24	0,11	0,22	0,36	0,66	1,26	0,18	0,27	0,41	0,71	1,30
10	3	0,16	0,25	0,38	0,64	1,18	0,25	0,32	0,44	0,70	1,23	0,33	0,40	0,50	0,75	1,28	0,55	0,62	0,70	0,92	1,43
10	4	0,36	0,42	0,50	0,70	1,14	0,54	0,60	0,67	0,84	1,27	0,71	0,78	0,84	0,99	1,40	1,19	1,25	1,31	1,45	1,77
10	5	0,64	0,69	0,74	0,85	1,15	0,95	1,00	1,05	1,16	1,41	1,27	1,32	1,37	1,48	1,71	2,12	2,17	2,22	2,32	2,53
10	6	1,00	1,04	1,07	1,15	1,31	1,50	1,54	1,57	1,64	1,80	2,00	2,04	2,07	2,14	2,29	3,33	3,37	3,40	3,47	3,62
10	7	1,44	1,47	1,46	1,53	1,62	2,16	2,18	2,21	2,25	2,34	2,88	2,90	2,93	2,97	3,06	4,81	4,83	4,85	4,89	4,98
10	8	1,95	1,96	1,97	1,99	2,03	2,92	2,93	2,94	2,96	3,00	3,89	3,90	3,91	3,93	3,98	6,49	6,50	6,51	6,53	6,57
10	9	2,50	2,50	2,51	2,51	2,52	3,75	3,75	3,76	3,76	3,77	5,00	5,00	5,00	5,01	5,02	8,03	8,34	8,34	8,34	8,35
10	10	3,08	3,08	3,08	3,08	3,08	4,62	4,62	4,62	4,62	4,62	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	10,26	10,26	10,26	10,26	10,26
12	0	0,00	0,23	0,47	0,94	1,87	0,00	0,23	0,47	0,94	1,87	0,00	0,23	0,47	0,94	1,87	0,00	0,23	0,47	0,94	1,87
12	1	0,01	0,23	0,47	0,93	1,85	0,01	0,24	0,47	0,93	1,85	0,01	0,24	0,47	0,93	1,85	0,02	0,24	0,47	0,94	1,86
12	2	0,06	0,25	0,47	0,92	1,80	0,08	0,27	0,49	0,93	1,82	0,11	0,29	0,51	0,95	1,83	0,18	0,34	0,55	0,99	1,87
12	3	0,17	0,32	0,52	0,93	1,75	0,26	0,39	0,58	0,98	1,80	0,34	0,46	0,64	1,04	1,85	0,57	0,68	0,82	1,19	2,00
12	4	0,38	0,48	0,63	0,98	1,72	0,57	0,67	0,79	1,12	1,84	0,76	0,86	0,97	1,26	1,97	1,26	1,36	1,46	1,69	2,33
12	5	0,69	0,77	0,87	1,12	1,73	1,03	1,12	1,21	1,41	1,97	1,37	1,46	1,55	1,74	2,24	2,29	2,37	2,46	2,64	3,05
12	6	1,10	1,17	1,24	1,40	1,80	1,65	1,72	1,79	1,94	2,28	2,20	2,27	2,34	2,49	2,81	3,66	3,73	3,80	3,95	4,25
12	7	1,61	1,67	1,72	1,84	2,08	2,42	2,47	2,53	2,64	2,87	3,23	3,28	3,34	3,44	3,67	5,38	5,43	5,49	5,59	5,82
12	8	2,22	2,26	2,30	2,37	2,53	3,34	3,37	3,41	3,48	3,64	4,45	4,48	4,52	4,60	4,75	7,41	7,45	7,49	7,56	7,71
12	9	2,92	2,94	2,96	3,00	3,10	4,37	4,40	4,42	4,46	4,55	5,83	5,85	5,88	5,92	6,01	9,72	9,74	9,76	9,81	9,90
12	10	3,68	3,69	3,70	3,72	3,76	5,51	5,52	5,53	5,55	5,60	7,35	7,36	7,37	7,39	7,43	12,25	12,26	12,27	12,29	12,33
12	11	4,48	4,49	4,49	4,49	4,51	6,73	6,73	6,73	6,74	6,75	8,97	8,97	8,97	8,97	8,99	14,95	14,95	14,95	14,96	14,97
12	12	5,32	5,32	5,32	5,32	5,32	7,98	7,98	7,98	7,98	7,98	10,64	10,64	10,64	10,64	10,64	17,74	17,74	17,74	17,74	17,74

Las zapatas se deben dimensionar de manera que satisfagan los requisitos para momento de acuerdo con la Ecuación (22-2). Para las zapatas que soportan columnas, pedestales o tabiques de hormigón, si la proyección de la zapata más allá de la cara del elemento soportado es menor o igual que el espesor de la zapata, h , no es necesario verificar el corte en una dirección ya que la sección crítica para el cálculo del corte está fuera de la zapata. En aquellos casos en los cuales es necesario considerar el corte en una dirección (comportamiento como viga) se deben satisfacer los requisitos de la Ecuación (22-9). Además, para las zapatas que soportan columnas, pedestales u otras cargas concentradas, si la proyección de la zapata más allá de la sección crítica es mayor que $h/2$ es necesario verificar si se satisfacen los requisitos de la Ecuación (22-10) correspondientes a corte en dos direcciones (punzonamiento). Generalmente el diseño del espesor de una zapata de hormigón simple será determinado por la resistencia a flexión; sin embargo, el ingeniero no debe descuidar la posibilidad de que el diseño sea controlado por el corte en una o en dos direcciones. Se debe recordar que los requisitos del artículo 22.4.8 establecen que para los elementos de hormigón simple colocado directamente sobre el terreno el espesor, h , usado para calcular las resistencias a flexión y corte es el espesor total menos 2 in. En consecuencia, para una zapata que tiene un espesor total de 8 in. (valor que corresponde al mínimo espesor total permitido por el artículo 22.7.4) para determinar las resistencias se debe usar un espesor, h , igual a 6 in. Algunos códigos de construcción permiten utilizar zapatas de 6 in. de espesor para estructuras residenciales y otras estructuras pequeñas. En estos casos, a los fines del cálculo de las resistencias, el espesor, h , es igual a 4 in.

La Figura 30-10 se incluye para ayudarle al diseñador a seleccionar un espesor de zapata que satisfaga los requisitos de resistencia a flexión. A la figura se ingresa con la tensión del suelo *mayorada*. Luego se proyecta verticalmente hacia arriba hasta la curva que representa la longitud de la parte de la zapata que se proyecta más allá de la sección crítica donde se debe calcular el momento (ver Tabla 30-3). Para determinar el espesor mínimo requerido para la zapata se debe leer horizontalmente hacia la izquierda. A este valor se le deben sumar 2 in. Los espesores indicados en la figura se basan en una resistencia a la compresión especificada del hormigón f_c de 2500 psi. Si se utilizan hormigones de mayor resistencia está permitido reducir este espesor multiplicándolo por el factor:

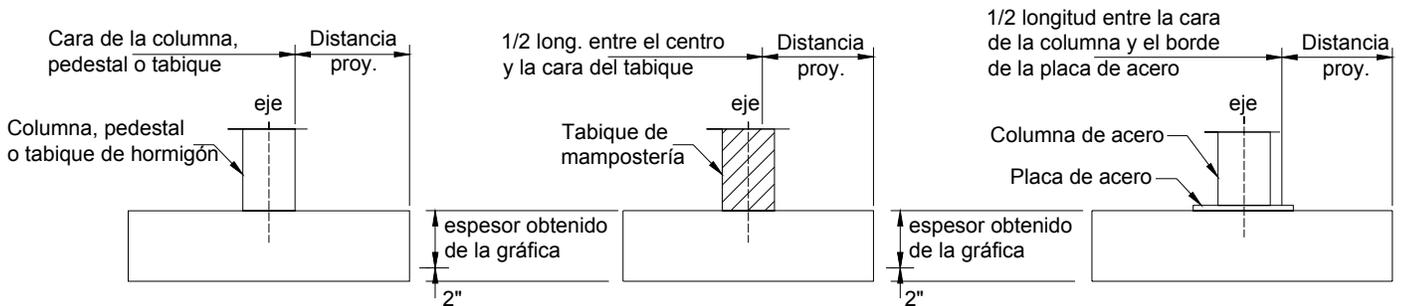
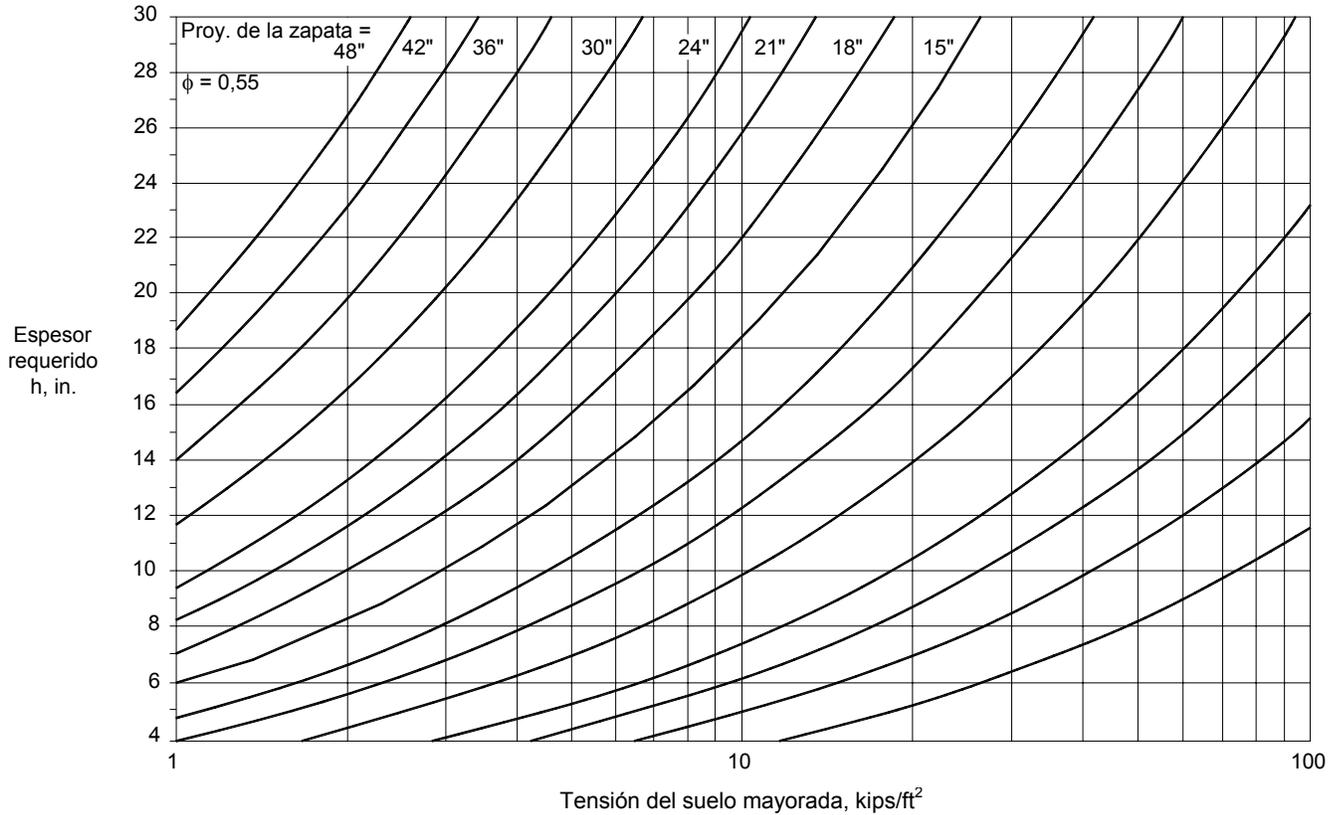
$$(2500/\text{resistencia a la compresión especificada del hormigón})^{0,25}$$

Debido al exponente que contiene la expresión anterior, un gran aumento de la resistencia del hormigón representa apenas una pequeña disminución del espesor de la zapata. Por ejemplo, si se duplica la resistencia del hormigón el espesor sólo se reduce un 16 por ciento.

*Tabla 30-3 – Ubicaciones donde se deben calcular los momentos y esfuerzos de corte en las zapatas**

Elemento soportado	Momento	Corte en una dirección	Corte en dos direcciones (punzonamiento)
Tabique de hormigón	en la cara del tabique	a una distancia h desde la cara del tabique	No corresponde
Tabique de mampostería	a la mitad de la longitud entre el centro y la cara del tabique	a una distancia h desde la cara del tabique	No corresponde
Columna o pedestal	en la cara de la columna o pedestal	a una distancia h desde la cara de la columna o pedestal	a una distancia $h/2$ desde la cara de la columna o pedestal
Columna con placa de fijación de acero	a la mitad de la longitud entre la cara de la columna y el borde de la placa de acero	a una distancia h a partir de la mitad de la longitud entre la cara de la columna y el borde de la placa de base de acero	a una distancia $h/2$ desde la mitad de la longitud entre la cara de la columna y el borde de la placa de acero

* h = espesor de la zapata a los fines del cálculo de momentos y cortes.



* Si f_c es mayor que 2500 psi, multiplicar el espesor determinado con la gráfica por $(2500/f_c)^{0,25}$

Figura 30-10 – Espesor de zapata requerido para satisfacer la resistencia a flexión para diferentes distancias proyectadas, in. ($f_c = 2500$ psi*)

22.8 PEDESTALES

El artículo 22.8.2 permite construir pedestales de hormigón estructural simple, siempre que la altura libre no sea mayor que tres veces la menor dimensión en planta. El diseño debe considerar todas las cargas verticales y horizontales que solicitarán al pedestal. La resistencia nominal al aplastamiento del área cargada, B_n , se debe determinar usando la ecuación (22-12). Si hay momentos inducidos por la excentricidad de las cargas axiales y/o las cargas laterales, el pedestal se debe diseñar para la combinación de flexión y cargas axiales, y debe satisfacer las ecuaciones de interacción (22-6) y (22-7). En la Ecuación (22-6), el término P_n se reemplaza por B_n , la resistencia nominal al aplastamiento del área cargada.

Los elementos tipo pedestal en los cuales la altura es mayor que tres veces la menor dimensión lateral son definidos por el código como *columnas*, y se deben diseñar como elementos de hormigón armado. El Capítulo 22 prohíbe utilizar columnas de hormigón estructural simple.

Algunos códigos de construcción contemporáneos prohíben usar pedestales de hormigón estructural simple para resistir esfuerzos laterales sísmicos en estructuras en zonas de peligrosidad sísmica moderada o en estructuras para las cuales se requiere un nivel de comportamiento o diseño sismorresistente intermedio. Ver la Tabla 1-3 y el párrafo siguiente sobre el artículo 22.10.

22.10 ELEMENTOS DE HORMIGÓN SIMPLE EN LAS ESTRUCTURAS SISMORRESISTENTES

En la edición 1999 se incluyó una nueva sección 22.10 para tratar el diseño sismorresistente, tema que anteriormente no estaba cubierto por el Código. Esta sección se refiere al uso de elementos de hormigón simple en estructuras solicitadas a movimientos sísmicos de intensidad suficiente como para provocar daños estructurales significativos en los elementos o el colapso total o parcial de la estructura. Por defecto, los códigos de construcción modelo actualmente en uso en los Estados Unidos asumen la responsabilidad por este tema. Los requisitos, basados en requisitos similares del *BOCA National Building Code*^{30.4} y el *Standard Building Code*^{30.5}, prohíben el uso de elementos de fundación de hormigón estructural simple en las zonas de peligrosidad sísmica elevada o en estructuras para las cuales se requiere un nivel de comportamiento o diseño sismorresistente elevado, a excepción de los tres casos específicamente indicados en los requisitos. La Tabla 1-3 contiene una explicación acerca de cómo la peligrosidad sísmica asignada por los códigos de construcción modelo se pueden correlacionar con los requisitos de ACI 318.

Los requisitos prohíben el uso de elementos de fundación de hormigón estructural simple en las estructuras en zonas de peligrosidad sísmica "elevada" de acuerdo con la Tabla 1-3, a excepción de los tres casos específicos siguientes:

1. En las viviendas unifamiliares independientes de no más de tres plantas y construidas con tabiques portantes de madera o acero, se permiten los siguientes elementos:
 - a. zapatas de hormigón simple que soportan tabiques, columnas o pedestales; y
 - b. tabiques de fundación o muros exteriores de subsuelos de hormigón simple, siempre que se verifique que:
 - i. el tabique tiene un espesor mayor o igual que 7-1/2 in., y
 - ii. no retiene más de 4 ft de relleno no balancead.
2. En todas las demás estructuras está permitido utilizar zapatas de hormigón simple para soportar tabiques de hormigón armado colado en obra o tabiques de mampostería armada, siempre que la zapata tenga como mínimo dos barras longitudinales No. 4 continuas que proporcionen un área de acero mayor o igual que 0,002 veces el área de la sección transversal bruta de la zapata. La armadura debe ser continua en las esquinas e intersecciones. En el Código ACI 2002, se añadió el requisito que limita la aplicación de este requisito a situaciones en las cuales el tabique soportado es de hormigón armado colado en obra o de mampostería armada.

Aunque el Capítulo 22 del Código no contiene ninguna limitación referida al uso de elementos de hormigón estructural simple en las estructuras en zonas de peligrosidad sísmica moderada o en las estructuras para las cuales se requiere un nivel de comportamiento o diseño sismorresistente intermedio de acuerdo con la Tabla 1-3, los códigos modelo vigentes en Estados Unidos prohíben su uso o bien, el caso más habitual, requieren que se coloque algo de armadura para proveer ductilidad y mantener unidos los elementos de la estructura. Si se está por realizar un diseño correspondiente a este tipo de estructuras se recomienda consultar el código de construcción aplicable para determinar las limitaciones específicas que se aplican en cada caso.

REFERENCIAS

- 30.1 *Joints in Walls Below Grade*, Portland Cement Association, Skokie, IL, 1982.
- 30.2 *Building Movements and Joints*, Portland Cement Association, Skokie, IL, 1982.
- 30.3 Kosmatka, Steven H., Kerhoff, Beatrix y Panarese, William, C., *Design and Control of Concrete Mixtures*, EB001, 14^o Edición, Portland Cement Association, Skokie, IL, 1994.
- 30.4 *The BOCA National Building Code*, Building Officials and Code Administrators International, Country Club Hills, IL, 1999.
- 30.5 *Standard Building Code*, Southern Building Code Congress International, Birmingham, AL, 1999.

APÉNDICE 30A

Este Apéndice contiene figuras y tablas similares a las del Capítulo 30 de esta publicación. Las figuras de este Apéndice son compatibles con los factores de carga y el factor de reducción de la resistencia ($\phi = 0,65$) del Apéndice C de ACI 318-02. (Las figuras y tablas del cuerpo principal del Capítulo 30 son compatibles con los factores de carga y el factor de reducción de la resistencia ($\phi = 0,55$) del Capítulo 9 de ACI 318-02).

Se incluyen las siguientes tablas:

Tabla C30-1	Momentos mayorados inducidos en un tabique por el empuje lateral del suelo y/o la presión del viento (ft-kips/ft lineal) (Para usar con los factores de carga del Apéndice C: Empuje del suelo 1,7; Viento 1,6)
Tabla C30-2	Momentos mayorados inducidos en un tabique por el empuje lateral del suelo y/o la presión del viento (ft-kips/ft lineal) (Para usar con los factores de carga del Apéndice C: Empuje del suelo 1,7; Viento 1,3)
Figura C30-1(a-c)	Resistencia a la carga axial de diseño, P_{nw} , de los tabiques de hormigón simple (Método de Diseño Empírico)
Figura C30-2	Diagramas de interacción de las resistencias para un tabique de 8,0 in. (8 ft de altura)
Figura C30-3	Diagramas de interacción de las resistencias para un tabique de 8,0 in. (12 ft de altura)
Figura C30-4	Diagramas de interacción de las resistencias para tabiques de hormigón simple poco cargados ($f'_c = 2500$ psi)
Figura C30-5	Diagramas de interacción de las resistencias para tabiques de hormigón simple poco cargados ($f'_c = 3500$ psi)
Figura C30-6	Diagramas de interacción de las resistencias para tabiques de hormigón simple poco cargados ($f'_c = 4500$ psi)
Figura C30-7	Resistencia a la carga axial de diseño de los tabiques de hormigón simple para la máxima resistencia al momento de diseño ($f'_c = 2500$ psi)
Figura C30-8	Resistencia a la carga axial de diseño de los tabiques de hormigón simple para la máxima resistencia al momento de diseño ($f'_c = 3500$ psi)
Figura C30-9	Resistencia a la carga axial de diseño de los tabiques de hormigón simple para la máxima resistencia al momento de diseño ($f'_c = 4500$ psi)
Figura C30-10	Espesor de zapata requerido para satisfacer la resistencia a flexión para diferentes distancias proyectadas, in. ($f'_c = 2500$ psi*)

Tabla C30-1 – Momentos mayorados inducidos en un tabique por el empuje lateral del suelo y/o la presión del viento (ft-kips/ft lineal)
 (Para usar con los factores de carga del Apéndice C: Empuje del suelo 1,7; Viento 1,6)

Alt. (ft.)	Alt. relleno (ft.)	Empuje lateral del suelo de diseño, no mayorado (lb/ft ² por pie de profundidad)																			
		30	30	30	30	30	45	45	45	45	45	60	60	60	60	60	100	100	100	100	100
		Presión del viento de diseño, no mayorada (lb/ft ²)																			
		0	10	20	40	80	0	10	20	40	80	0	10	20	40	80	0	10	20	40	80
8	0	0,00	0,13	0,26	0,51	1,02	0,00	0,13	0,26	0,51	1,02	0,00	0,13	0,26	0,51	1,02	0,00	0,13	0,26	0,51	1,02
8	1	0,01	0,13	0,25	0,50	1,00	0,01	0,13	0,25	0,50	1,00	0,02	0,13	0,26	0,50	1,00	0,03	0,14	0,26	0,51	1,01
8	2	0,05	0,15	0,26	0,48	0,93	0,08	0,17	0,28	0,50	0,95	0,11	0,19	0,29	0,52	0,96	0,18	0,24	0,34	0,56	1,01
8	3	0,16	0,22	0,30	0,48	0,86	0,25	0,30	0,37	0,54	0,91	0,33	0,38	0,44	0,60	0,97	0,55	0,60	0,65	0,78	1,12
8	4	0,35	0,39	0,43	0,53	0,80	0,52	0,56	0,60	0,69	0,92	0,69	0,73	0,77	0,86	1,06	1,15	1,19	1,23	1,31	1,49
8	5	0,60	0,63	0,65	0,70	0,82	0,90	0,93	0,95	1,00	1,11	1,20	1,23	1,25	1,30	1,41	2,00	2,03	2,05	2,10	2,20
8	6	0,92	0,93	0,94	0,97	1,02	1,38	1,39	1,40	1,43	1,48	1,84	1,85	1,86	1,88	1,93	3,06	3,07	3,08	3,11	3,16
8	7	1,28	1,29	1,29	1,30	1,31	1,92	1,93	1,93	1,94	1,95	2,57	2,57	2,57	2,58	2,59	4,28	4,28	4,28	4,29	4,30
8	8	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	2,51	2,51	2,51	2,51	2,51	3,35	3,35	3,35	3,35	3,35	5,58	5,58	5,58	5,58	5,58
9	0	0,00	0,16	0,32	0,65	1,30	0,00	0,16	0,32	0,65	1,30	0,00	0,16	0,32	0,65	1,30	0,00	0,16	0,32	0,65	1,30
9	1	0,01	0,16	0,32	0,64	1,27	0,01	0,16	0,32	0,64	1,27	0,02	0,17	0,32	0,64	1,27	0,03	0,17	0,33	0,65	1,28
9	2	0,06	0,18	0,33	0,62	1,20	0,08	0,20	0,34	0,64	1,22	0,11	0,22	0,36	0,65	1,24	0,19	0,27	0,41	0,70	1,28
9	3	0,17	0,25	0,37	0,62	1,13	0,26	0,33	0,43	0,68	1,18	0,34	0,41	0,50	0,74	1,24	0,57	0,63	0,71	0,91	1,39
9	4	0,36	0,42	0,49	0,66	1,07	0,55	0,60	0,66	0,81	1,19	0,73	0,78	0,84	0,98	1,33	1,21	1,27	1,33	1,45	1,73
9	5	0,64	0,68	0,73	0,82	1,04	0,96	1,00	1,05	1,13	1,33	1,28	1,32	1,37	1,45	1,64	2,14	2,18	2,22	2,31	2,48
9	6	1,00	1,02	1,05	1,10	1,21	1,49	1,52	1,55	1,60	1,71	1,99	2,02	2,04	2,10	2,20	3,32	3,35	3,37	3,42	3,53
9	7	1,42	1,43	1,44	1,47	1,52	2,13	2,14	2,15	2,18	2,23	2,84	2,85	2,86	2,88	2,93	4,73	4,74	4,75	4,77	4,82
9	8	1,89	1,89	1,89	1,90	1,91	2,83	2,83	2,84	2,84	2,86	3,77	3,78	3,78	3,79	3,80	6,29	6,29	6,30	6,30	6,32
9	9	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	3,58	3,58	3,58	3,58	3,58	4,77	4,77	4,77	4,77	4,77	7,95	7,95	7,95	7,95	7,95
10	0	0,00	0,20	0,40	0,80	1,60	0,00	0,20	0,40	0,80	1,60	0,00	0,20	0,40	0,80	1,60	0,00	0,20	0,40	0,80	1,60
10	1	0,01	0,20	0,40	0,79	1,57	0,01	0,20	0,40	0,79	1,57	0,02	0,20	0,40	0,79	1,58	0,03	0,21	0,41	0,80	1,58
10	2	0,06	0,22	0,40	0,77	1,51	0,09	0,24	0,42	0,79	1,52	0,11	0,26	0,44	0,80	1,54	0,19	0,31	0,49	0,85	1,59
10	3	0,18	0,29	0,44	0,77	1,43	0,26	0,36	0,51	0,83	1,49	0,35	0,44	0,57	0,89	1,54	0,58	0,67	0,77	1,06	1,70
10	4	0,38	0,46	0,56	0,82	1,37	0,57	0,65	0,73	0,96	1,50	0,76	0,83	0,92	1,11	1,63	1,26	1,34	1,42	1,59	2,02
10	5	0,68	0,74	0,80	0,95	1,34	1,01	1,07	1,14	1,27	1,60	1,35	1,41	1,47	1,60	1,90	2,25	2,31	2,37	2,50	2,77
10	6	1,06	1,11	1,15	1,24	1,45	1,59	1,64	1,68	1,77	1,96	2,13	2,17	2,21	2,30	2,49	3,54	3,59	3,63	3,72	3,89
10	7	1,53	1,56	1,58	1,64	1,75	2,30	2,32	2,35	2,40	2,51	3,06	3,09	3,12	3,17	3,28	5,11	5,13	5,16	5,21	5,32
10	8	2,07	2,08	2,09	2,12	2,17	3,10	3,12	3,13	3,15	3,20	4,14	4,15	4,16	4,19	4,24	6,90	6,91	6,92	6,95	7,00
10	9	2,66	2,66	2,66	2,67	2,68	3,98	3,99	3,99	4,00	4,01	5,31	5,32	5,32	5,33	5,34	8,85	8,86	8,86	8,87	8,88
10	10	3,27	3,27	3,27	3,27	3,27	4,91	4,91	4,91	4,91	4,91	6,54	6,54	6,54	6,54	6,54	10,91	10,91	10,91	10,91	10,91
12	0	0,00	0,29	0,58	1,15	2,30	0,00	0,29	0,58	1,15	2,30	0,00	0,29	0,58	1,15	2,30	0,00	0,29	0,58	1,15	2,30
12	1	0,01	0,29	0,57	1,14	2,28	0,01	0,29	0,57	1,14	2,28	0,02	0,29	0,58	1,14	2,28	0,03	0,30	0,58	1,15	2,29
12	2	0,06	0,31	0,58	1,12	2,21	0,09	0,32	0,60	1,14	2,23	0,12	0,34	0,61	1,16	2,24	0,19	0,39	0,66	1,20	2,29
12	3	0,18	0,37	0,62	1,12	2,13	0,27	0,44	0,68	1,18	2,19	0,37	0,51	0,74	1,24	2,25	0,61	0,74	0,93	1,40	2,40
12	4	0,40	0,53	0,73	1,17	2,07	0,60	0,73	0,89	1,31	2,20	0,81	0,93	1,07	1,46	2,34	1,34	1,46	1,59	1,89	2,72
12	5	0,73	0,84	0,96	1,29	2,04	1,09	1,20	1,32	1,58	2,30	1,46	1,56	1,68	1,92	2,57	2,43	2,54	2,64	2,87	3,39
12	6	1,17	1,26	1,35	1,55	2,08	1,75	1,84	1,93	2,12	2,55	2,34	2,42	2,51	2,70	3,10	3,89	3,98	4,07	4,25	4,62
12	7	1,71	1,78	1,85	1,99	2,30	2,57	2,64	2,70	2,84	3,13	3,43	3,50	3,56	3,70	3,98	5,72	5,78	5,85	5,98	6,26
12	8	2,36	2,41	2,45	2,55	2,74	3,54	3,59	3,63	3,73	3,92	4,72	4,77	4,82	4,91	5,10	7,87	7,92	7,97	8,06	8,24
12	9	3,10	3,13	3,15	3,21	3,32	4,65	4,67	4,70	4,76	4,87	6,20	6,22	6,25	6,31	6,42	10,33	10,35	10,38	10,44	10,55
12	10	3,91	3,92	3,93	3,96	4,01	5,86	5,87	5,88	5,91	5,96	7,81	7,82	7,84	7,86	7,91	13,02	13,03	13,04	13,07	13,12
12	11	4,76	4,77	4,77	4,78	4,79	7,15	7,15	7,15	7,16	7,17	9,53	9,53	9,54	9,54	9,56	15,88	15,89	15,89	15,89	15,91
12	12	5,65	5,65	5,65	5,65	5,65	8,48	8,48	8,48	8,48	8,48	11,31	11,31	11,31	11,31	11,31	18,84	18,84	18,84	18,84	18,84

Tabla C30-2 – Momentos mayorados inducidos en un tabique por el empuje lateral del suelo y/o la presión del viento (ft-kips/ft lineal)
 (Para usar con los factores de carga del Apéndice C: Empuje del suelo 1,7; Viento 1,3)

Alt. (ft.)	Alt. relleno (ft.)	Empuje lateral del suelo de diseño, no mayorado (lb/ft ² por pie de profundidad)																			
		30	30	30	30	30	45	45	45	45	45	60	60	60	60	60	100	100	100	100	100
		Presión del viento de diseño, no mayorada (lb/ft ²)																			
		0	10	20	40	80	0	10	20	40	80	0	10	20	40	80	0	10	20	40	80
8	0	0,00	0,10	0,21	0,42	0,83	0,00	0,10	0,21	0,42	0,83	0,00	0,10	0,21	0,42	0,83	0,00	0,10	0,21	0,42	0,83
8	1	0,01	0,11	0,21	0,41	0,81	0,01	0,11	0,21	0,41	0,81	0,02	0,11	0,21	0,41	0,81	0,03	0,12	0,22	0,42	0,82
8	2	0,05	0,13	0,22	0,40	0,76	0,08	0,15	0,23	0,42	0,78	0,11	0,17	0,25	0,43	0,80	0,18	0,23	0,30	0,48	0,84
8	3	0,16	0,21	0,27	0,41	0,72	0,25	0,29	0,34	0,47	0,77	0,33	0,37	0,42	0,54	0,83	0,55	0,59	0,63	0,73	0,99
8	4	0,35	0,38	0,41	0,49	0,69	0,52	0,55	0,58	0,65	0,82	0,69	0,72	0,76	0,82	0,98	1,15	1,18	1,22	1,28	1,42
8	5	0,60	0,62	0,64	0,68	0,78	0,90	0,92	0,94	0,98	1,07	1,20	1,22	1,24	1,28	1,37	2,00	2,02	2,04	2,08	2,17
8	6	0,92	0,93	0,94	0,96	1,00	1,38	1,39	1,40	1,42	1,46	1,84	1,85	1,86	1,88	1,92	3,06	3,07	3,08	3,10	3,14
8	7	1,28	1,29	1,29	1,29	1,30	1,92	1,93	1,93	1,93	1,95	2,57	2,57	2,57	2,58	2,59	4,28	4,28	4,28	4,29	4,30
8	8	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	2,51	2,51	2,51	2,51	2,51	3,35	3,35	3,35	3,35	3,35	5,58	5,58	5,58	5,58	5,58
9	0	0,00	0,13	0,26	0,53	1,05	0,00	0,13	0,26	0,53	1,05	0,00	0,13	0,26	0,53	1,05	0,00	0,13	0,26	0,53	1,05
9	1	0,01	0,13	0,26	0,52	1,03	0,01	0,13	0,26	0,52	1,03	0,02	0,14	0,27	0,52	1,04	0,03	0,14	0,27	0,53	1,04
9	2	0,06	0,15	0,27	0,51	0,98	0,08	0,17	0,29	0,53	1,00	0,11	0,19	0,31	0,54	1,02	0,19	0,25	0,36	0,59	1,06
9	3	0,17	0,23	0,32	0,52	0,94	0,26	0,31	0,39	0,58	0,99	0,34	0,40	0,46	0,65	1,05	0,57	0,62	0,68	0,83	1,21
9	4	0,36	0,41	0,46	0,59	0,91	0,55	0,59	0,64	0,75	1,05	0,73	0,77	0,82	0,93	1,18	1,21	1,26	1,31	1,40	1,62
9	5	0,64	0,68	0,71	0,78	0,95	0,96	1,00	1,03	1,10	1,25	1,28	1,32	1,35	1,42	1,57	2,14	2,17	2,21	2,27	2,41
9	6	1,00	1,02	1,04	1,08	1,17	1,49	1,52	1,54	1,58	1,67	1,99	2,01	2,03	2,08	2,16	3,32	3,34	3,36	3,41	3,49
9	7	1,42	1,43	1,44	1,46	1,50	2,13	2,14	2,15	2,17	2,21	2,84	2,85	2,86	2,88	2,92	4,73	4,74	4,75	4,77	4,81
9	8	1,89	1,89	1,89	1,90	1,91	2,83	2,83	2,84	2,84	2,85	3,77	3,78	3,78	3,79	3,80	6,29	6,29	6,30	6,30	6,31
9	9	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	3,58	3,58	3,58	3,58	3,58	4,77	4,77	4,77	4,77	4,77	7,95	7,95	7,95	7,95	7,95
10	0	0,00	0,16	0,33	0,65	1,30	0,00	0,16	0,33	0,65	1,30	0,00	0,16	0,33	0,65	1,30	0,00	0,16	0,33	0,65	1,30
10	1	0,01	0,16	0,32	0,64	1,28	0,01	0,17	0,32	0,64	1,28	0,02	0,17	0,33	0,65	1,28	0,03	0,17	0,33	0,65	1,29
10	2	0,06	0,18	0,33	0,63	1,23	0,09	0,20	0,35	0,65	1,25	0,11	0,22	0,37	0,67	1,26	0,19	0,28	0,42	0,71	1,31
10	3	0,18	0,26	0,38	0,65	1,18	0,26	0,34	0,45	0,71	1,24	0,35	0,42	0,52	0,77	1,30	0,58	0,65	0,73	0,94	1,45
10	4	0,38	0,44	0,52	0,72	1,16	0,57	0,63	0,70	0,87	1,29	0,76	0,82	0,89	1,03	1,43	1,26	1,33	1,39	1,52	1,84
10	5	0,68	0,73	0,78	0,89	1,18	1,01	1,06	1,11	1,22	1,46	1,35	1,40	1,45	1,55	1,78	2,25	2,30	2,35	2,45	2,66
10	6	1,06	1,10	1,13	1,21	1,37	1,59	1,63	1,66	1,74	1,89	2,13	2,16	2,20	2,27	2,41	3,54	3,58	3,61	3,68	3,83
10	7	1,53	1,55	1,57	1,62	1,71	2,30	2,32	2,34	2,38	2,47	3,06	3,08	3,11	3,15	3,24	5,11	5,13	5,15	5,19	5,28
10	8	2,07	2,08	2,09	2,11	2,15	3,10	3,11	3,12	3,14	3,18	4,14	4,15	4,16	4,18	4,22	6,90	6,91	6,92	6,94	6,98
10	9	2,66	2,66	2,66	2,67	2,68	3,98	3,99	3,99	3,99	4,01	5,31	5,31	5,32	5,32	5,33	8,85	8,86	8,86	8,86	8,87
10	10	3,27	3,27	3,27	3,27	3,27	4,91	4,91	4,91	4,91	4,91	6,54	6,54	6,54	6,54	6,54	10,91	10,91	10,91	10,91	10,91
12	0	0,00	0,23	0,47	0,94	1,87	0,00	0,23	0,47	0,94	1,87	0,00	0,23	0,47	0,94	1,87	0,00	0,23	0,47	0,94	1,87
12	1	0,01	0,24	0,47	0,93	1,85	0,01	0,24	0,47	0,93	1,85	0,02	0,24	0,47	0,93	1,85	0,03	0,25	0,48	0,94	1,86
12	2	0,06	0,26	0,48	0,92	1,80	0,09	0,27	0,49	0,94	1,82	0,12	0,29	0,51	0,95	1,84	0,19	0,35	0,56	1,00	1,88
12	3	0,18	0,33	0,53	0,93	1,75	0,27	0,40	0,59	0,99	1,81	0,37	0,48	0,65	1,05	1,87	0,61	0,71	0,85	1,22	2,02
12	4	0,40	0,51	0,65	1,00	1,73	0,60	0,70	0,82	1,15	1,86	0,81	0,90	1,01	1,30	2,00	1,34	1,44	1,54	1,77	2,39
12	5	0,73	0,82	0,91	1,15	1,76	1,09	1,18	1,27	1,48	2,02	1,46	1,54	1,63	1,83	2,31	2,43	2,52	2,60	2,78	3,18
12	6	1,17	1,24	1,31	1,47	1,85	1,75	1,82	1,89	2,05	2,38	2,34	2,41	2,48	2,63	2,94	3,89	3,96	4,03	4,18	4,48
12	7	1,71	1,77	1,82	1,94	2,19	2,57	2,63	2,68	2,79	3,02	3,43	3,48	3,54	3,65	3,87	5,72	5,77	5,82	5,93	6,15
12	8	2,36	2,40	2,44	2,51	2,67	3,54	3,58	3,62	3,69	3,85	4,72	4,76	4,80	4,87	5,02	7,87	7,91	7,95	8,02	8,17
12	9	3,10	3,12	3,14	3,19	3,28	4,65	4,67	4,69	4,74	4,83	6,20	6,22	6,24	6,28	6,37	10,33	10,35	10,37	10,42	10,50
12	10	3,91	3,92	3,93	3,95	3,99	5,86	5,87	5,88	5,90	5,94	7,81	7,82	7,83	7,85	7,89	13,02	13,03	13,04	13,06	13,10
12	11	4,76	4,77	4,77	4,78	4,79	7,15	7,15	7,15	7,16	7,17	9,53	9,53	9,53	9,54	9,55	15,88	15,88	15,89	15,89	15,90
12	12	5,65	5,65	5,65	5,65	5,65	8,48	8,48	8,48	8,48	8,48	11,31	11,31	11,31	11,31	11,31	18,84	18,84	18,84	18,84	18,84

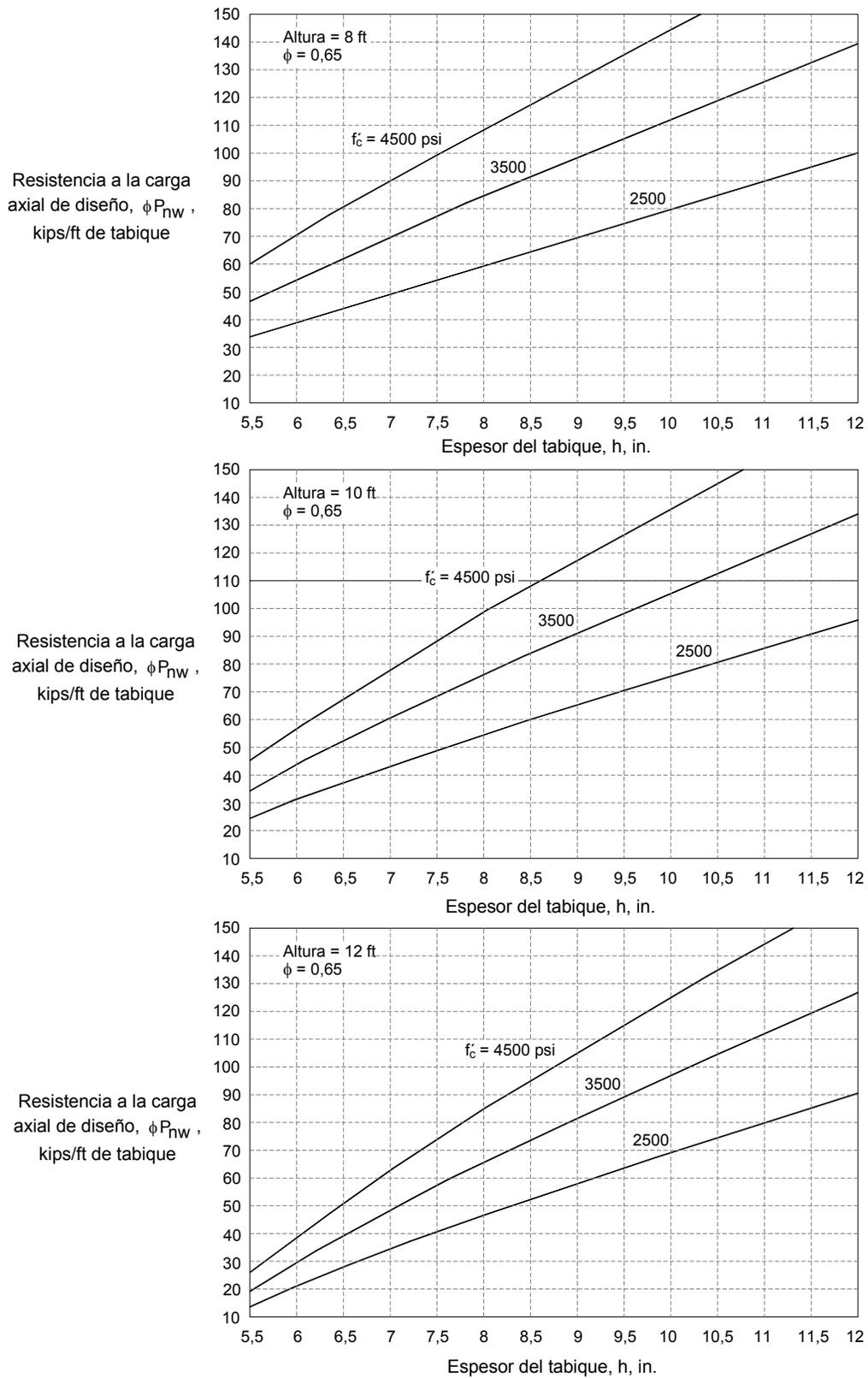


Figura C30-1 – Resistencia a la carga axial de diseño, P_{nw} , de los tabiques de hormigón simple (Método de Diseño Empírico)

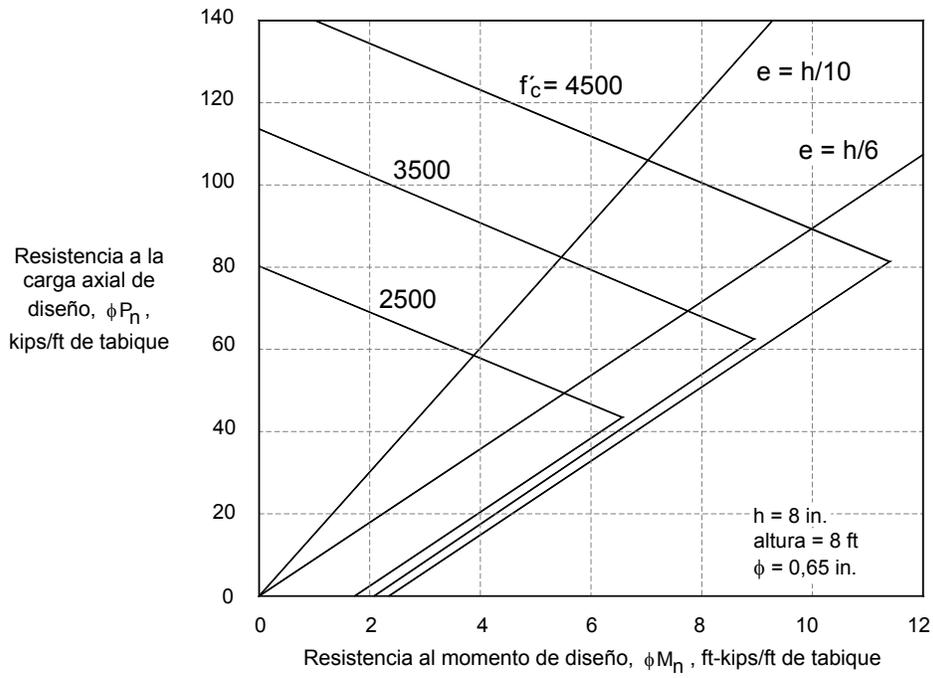


Figura C30-2 – Diagramas de interacción de las resistencias para un tabique de 8,0 in. (8 ft de altura)

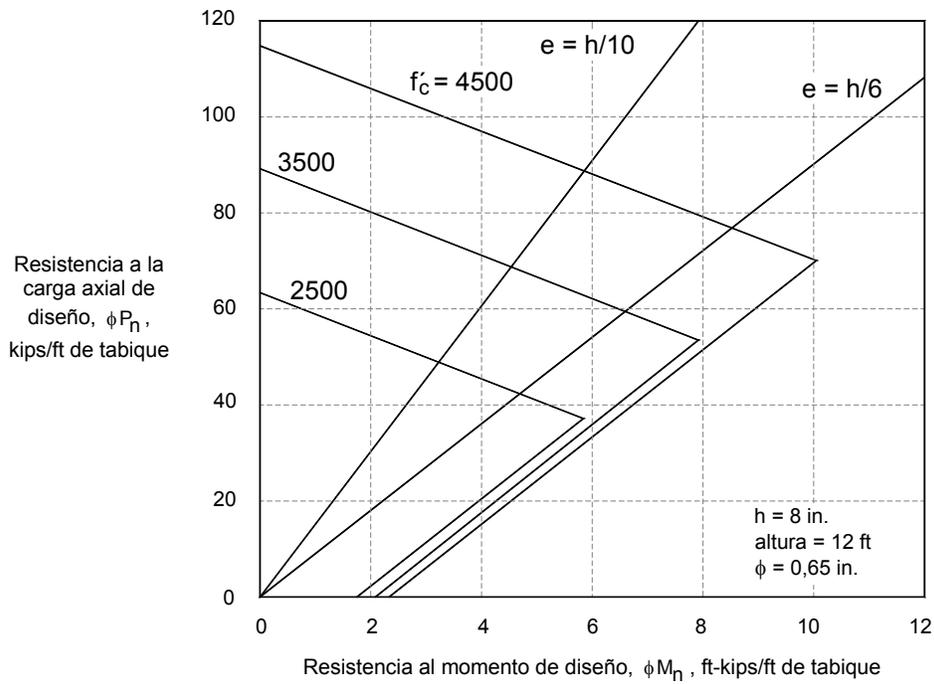


Figura C30-3 – Diagramas de interacción de las resistencias para un tabique de 8,0 in. (12 ft de altura)

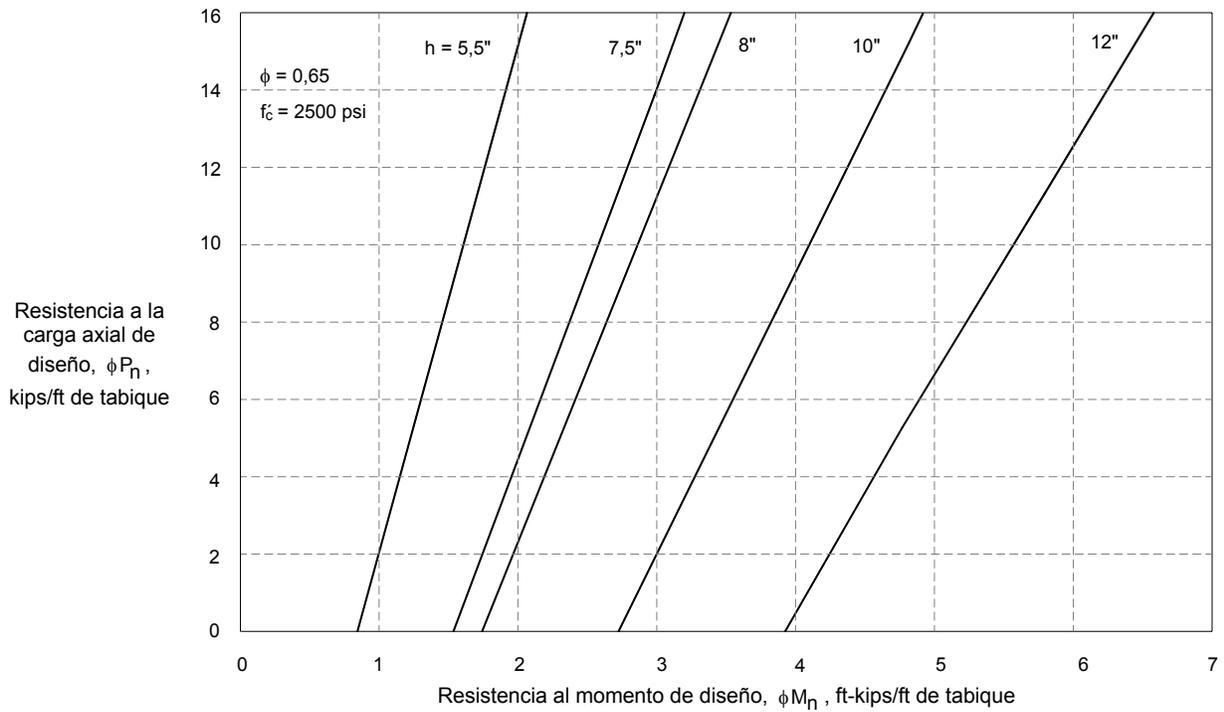


Figura C30-4 – Diagramas de interacción de las resistencias de diseño para tabiques de hormigón simple poco cargados ($f'_c = 2500 \text{ psi}$)

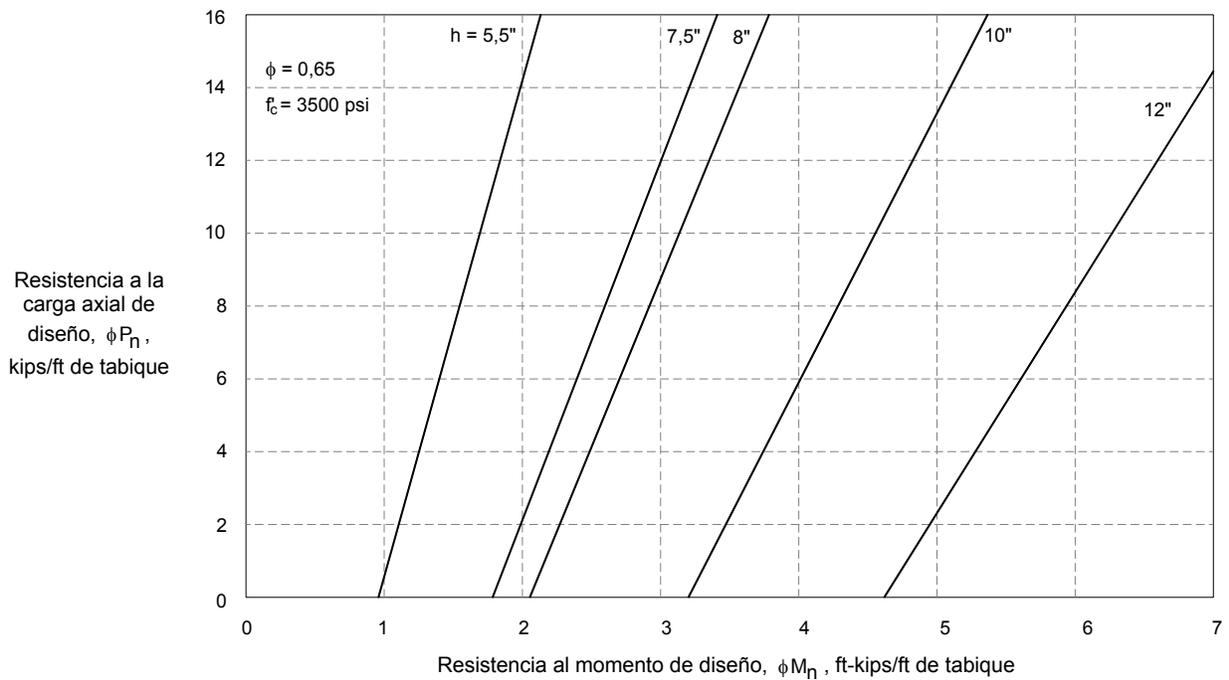


Figura C30-5 – Diagramas de interacción de las resistencias de diseño para tabiques de hormigón simple poco cargados ($f'_c = 3500 \text{ psi}$)

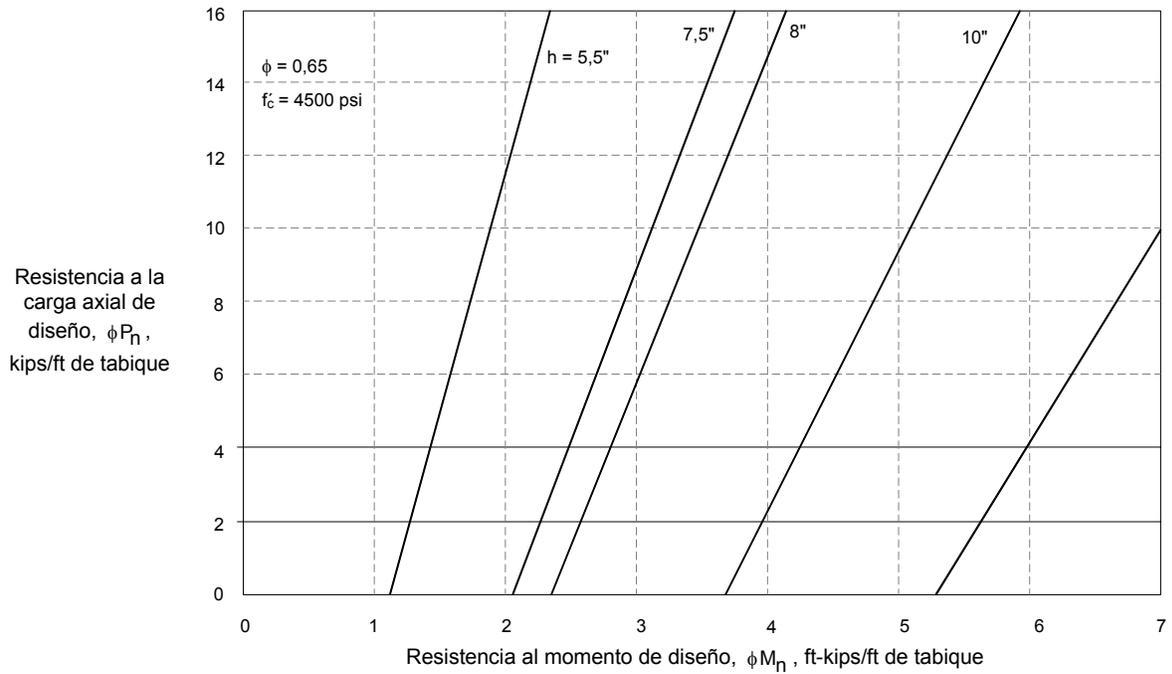


Figura C30-6 – Diagramas de interacción de las resistencias de diseño para tabiques de hormigón simple poco cargados ($f'_c = 4500 \text{ psi}$)

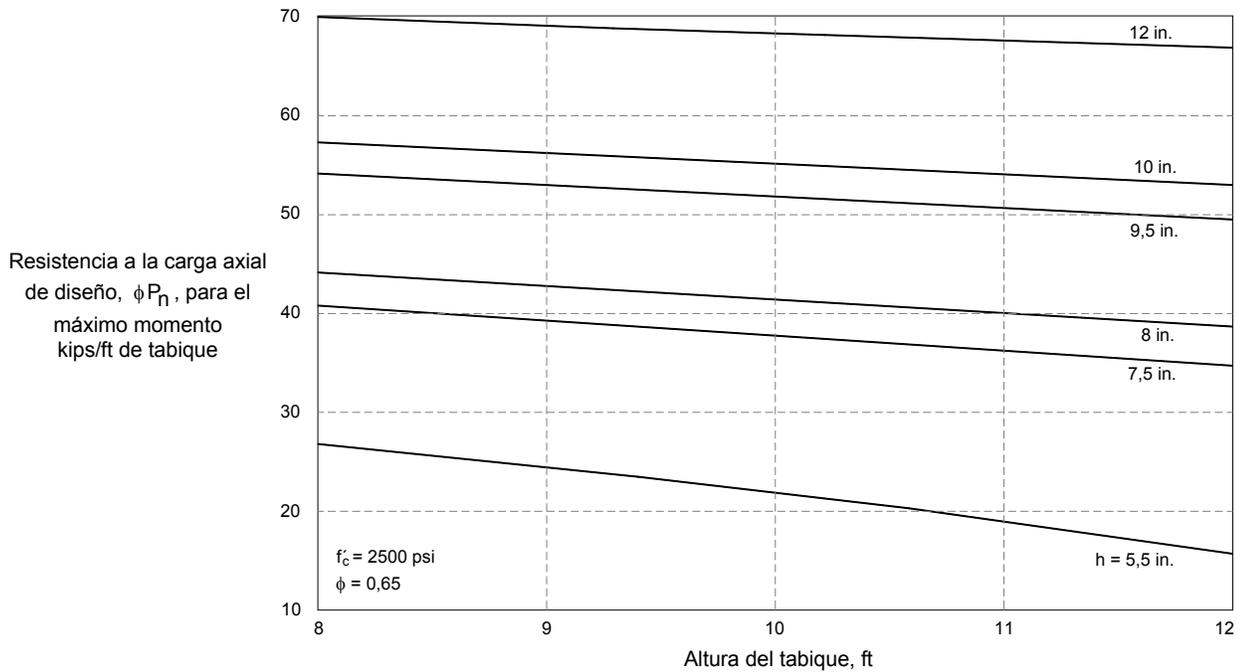


Figura C30-7 – Resistencia a la carga axial de diseño de los tabiques de hormigón simple para la máxima resistencia al momento de diseño ($f'_c = 2500 \text{ psi}$)

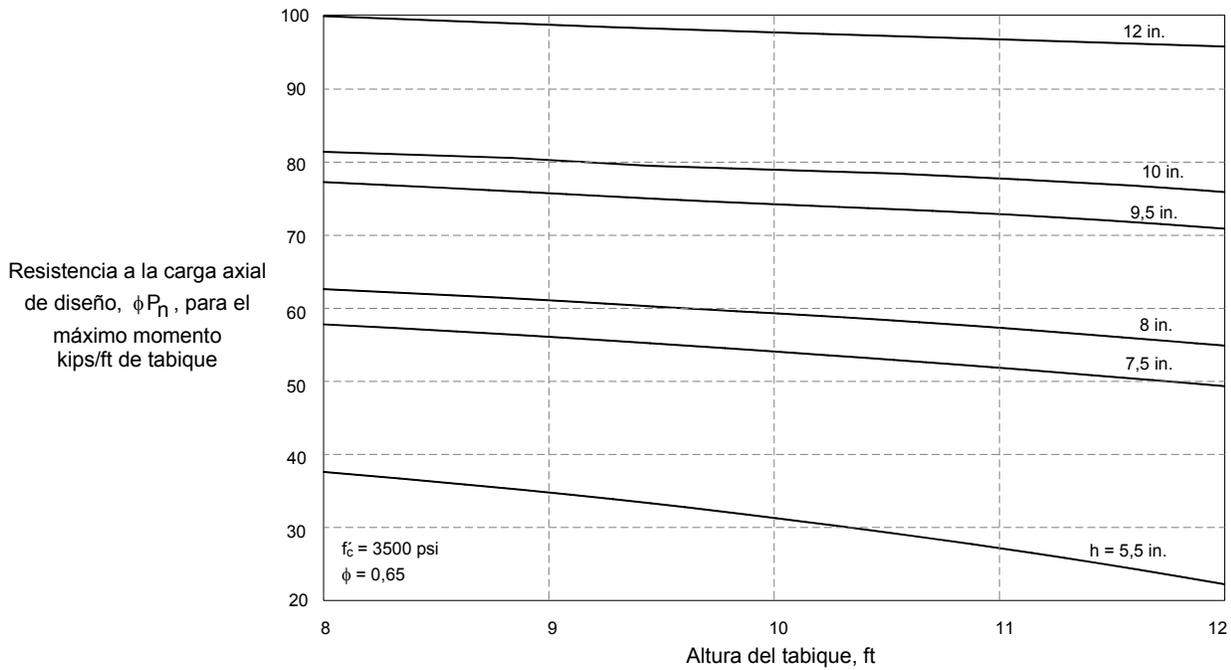


Figura C30-8 – Resistencia a la carga axial de diseño de los tabiques de hormigón simple para la máxima resistencia al momento de diseño ($f'_c = 3500$ psi)

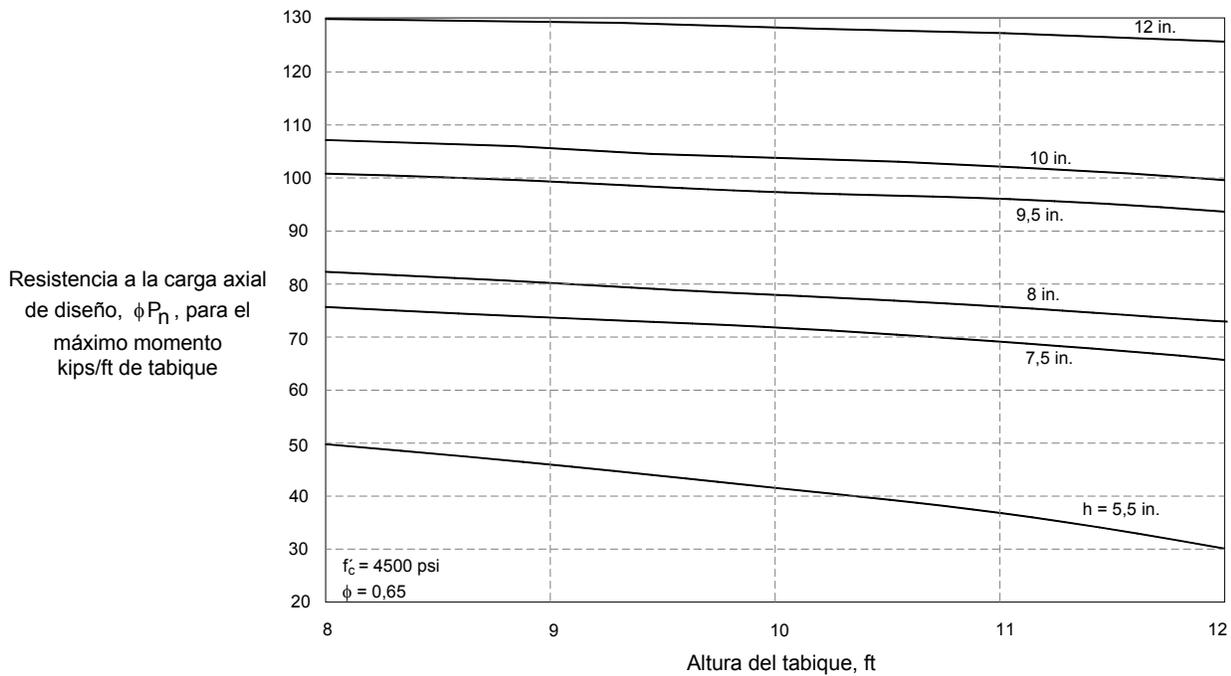
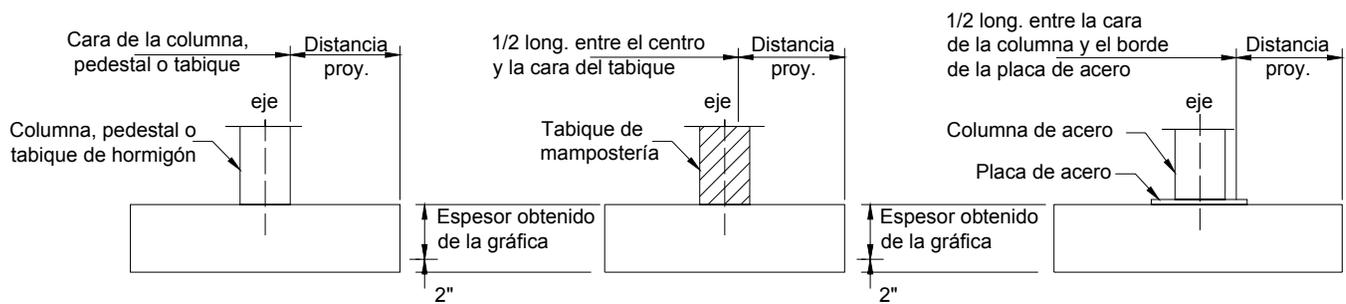
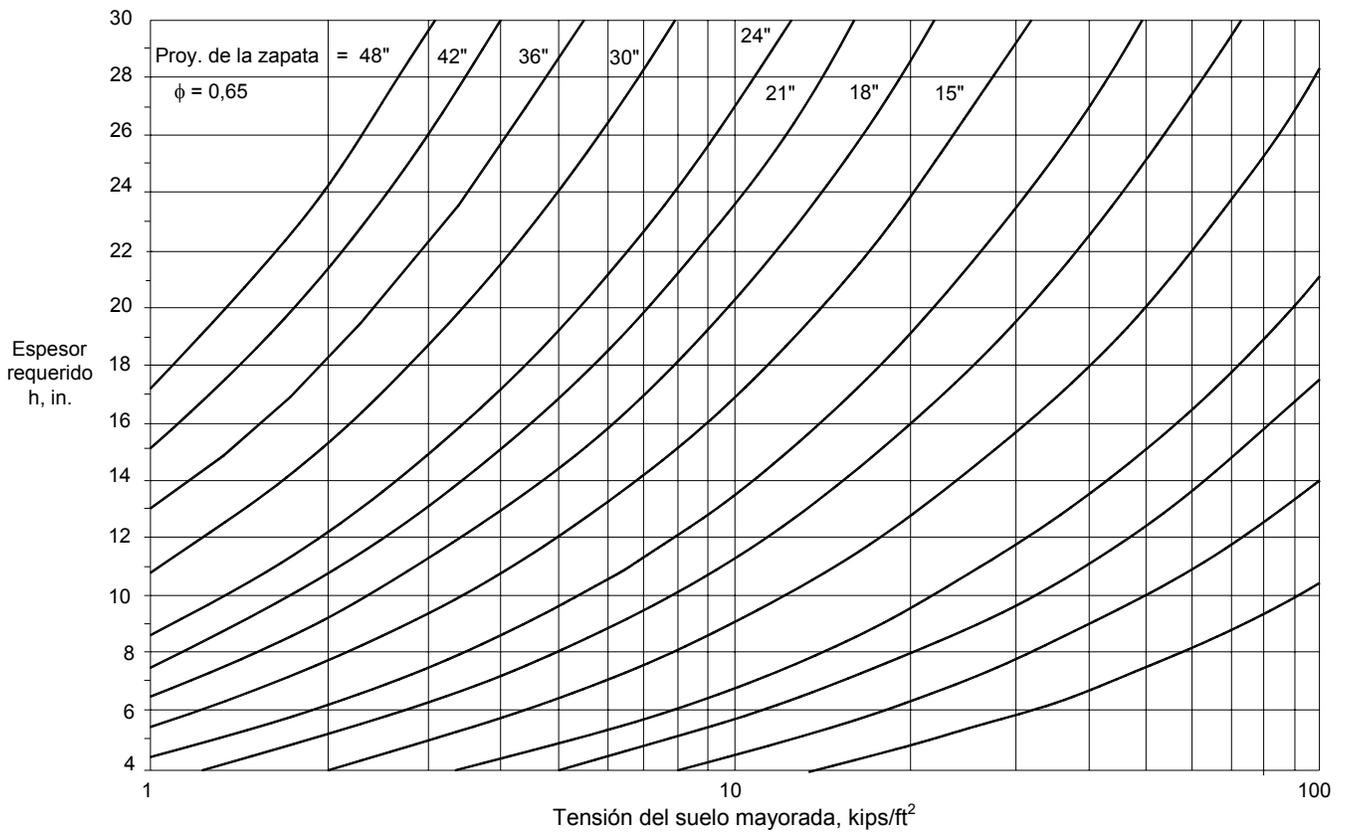


Figura C30-9 – Resistencia a la carga axial de diseño de los tabiques de hormigón simple para la máxima resistencia al momento de diseño ($f'_c = 4500$ psi)



* Si f'_c es mayor que 2500 psi, multiplicar el espesor determinado con la gráfica por $(2500/f'_c)^{0,25}$

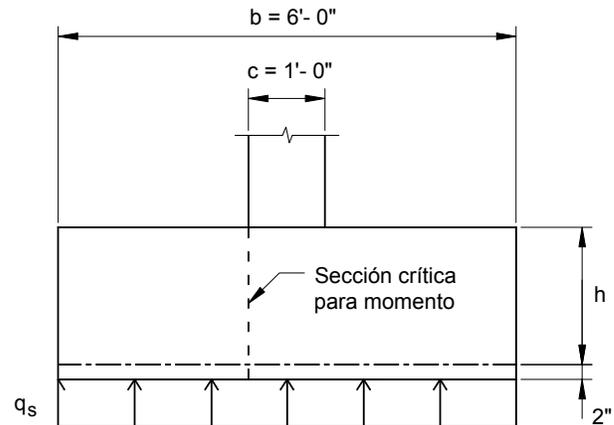
Figura C30-10 – Espesor de zapata requerido para satisfacer la resistencia a flexión para diferentes distancias proyectadas, in. ($f'_c = 2500$ psi*)

Ejemplo 30.1 – Diseño de una zapata y un pedestal de hormigón simple

Dimensionar una zapata cuadrada de hormigón simple con un pedestal que se usará en un edificio residencial. Realizar el diseño de acuerdo con el Capítulo 22 del Código, usando los factores de carga y reducción de la resistencia del Capítulo 9. Efectuar un segundo diseño usando los factores de carga y reducción de la resistencia alternativos del Apéndice C para determinar cuál de los diseños es más económico.

Datos para el diseño:

- Carga permanente de servicio = 40 kips
- Sobrecarga de servicio en los entrepisos = 40 kips
- Sobrecarga de servicio en la cubierta = 7,5 kips
- Carga de nieve en la cubierta = 10 kips
- Fuerza de levantamiento de servicio = 0
- Dimensiones del pedestal = 12 × 12 in.
- Tensión admisible del suelo = 2,5 kips/ft²
- $f'_c = 2500$ psi



Cálculos y discusión

Referencia del Código

- Determinar el área de la base de la zapata:

El área de la base se determina usando las cargas gravitatorias de servicio, no mayoradas, y la tensión admisible del suelo.

22.7.2

$$A_f = \frac{40 + 40 + 10}{2,5} = 36 \text{ ft}^2$$

Usar una zapata cuadrada de 6×6 ft ($A_f = 36 \text{ ft}^2$)

- Determinar las combinaciones de cargas aplicables que se deben considerar.

Para dimensionar la zapata para resistencia se deben utilizar las cargas mayoradas. Hay dos conjuntos de factores de carga: uno en 9.2 y el otro C.2. Debido a la diferencia significativa entre el factor de reducción de la resistencia, ϕ , a utilizar con cada uno de los conjuntos de factores de carga (0,55 en 9.3.5 versus 0,65 en C.3.5), se deben evaluar dos diseños, uno con cada conjunto de factores, a fin de determinar cuál alternativa permite obtener la solución más económica.

22.7.1
9.2
9.3.5
C.2
C.3.5

La resistencia requerida debe ser como mínimo igual a la mayor carga mayorada determinada a partir de las combinaciones de cargas aplicables. Una de las siguientes combinaciones de cargas será determinante:

- $U = 1,2D + 1,6L + 0,5S$ Ec. (9-2)
- $U = 1,2D + 0,5L + 1,6S$ Ec. (9-3)
- $U = 1,2D + 0,5L + 0,5S$ Ec. (9-4)

Observar que en la Combinación 1 despreciamos T. En las Combinaciones 2 y 3 el factor correspondiente a L es igual a 0,5 de acuerdo con 9.2.1(a). 9.2.1(a)

3. Calcular la carga axial mayorada, P_u , para cada combinación de cargas.

Una simple observación permite determinar que la mayor carga axial se obtendrá ya sea con la Combinación 1 o con la Combinación 2.

$$1. P_u = 1,2D + 1,6L + 0,5S = 1,2(40) + 1,6(40) + 0,5(10) = 117 \text{ kips} \quad \text{Ec. (9-2)}$$

$$2. P_u = 1,2D + 0,5L + 1,6S = 1,2(40) + 0,5(40) + 0,5(40) + 1,6(10) = 64,8 \text{ kips} \quad \text{Ec. (9-3)}$$

Usar $P_u = 117 \text{ kips}$

Revisando las combinaciones de cargas aplicables de C.2 resulta evidente que la Ecuación (C-1) será determinante:

$$P_u = 1,4D + 1,7L = 1,4(40) + 1,7(50) = 141 \text{ kips} \quad \text{Ec. (C-1)}$$

Para determinar rápidamente cuál de los dos conjuntos de factores de carga y reducción de la resistencia debemos utilizar, comparemos la resistencia nominal a la carga axial, P_n , requerida por las cargas mayoradas de 9.2 con la requerida por las de C.2. 9.3.5
C.3.5

Capítulo 9: $P_n = P_u / \phi = 117 / 0,55 = 212,7 \text{ kips}$

Apéndice C: $P_n = P_u / \phi = 141 / 0,65 = 216,9 \text{ kips}$

Como la resistencia nominal a la carga axial requerida por los factores de carga y reducción de la resistencia del Capítulo 9 es menor que la requerida por el Apéndice C, será más económico diseñar de acuerdo con el Capítulo 9. Sin embargo, el procedimiento de diseño será el mismo, independientemente de los factores de carga y resistencia utilizados.

4. Calcular la tensión del suelo mayorada.

Como la zapata se debe diseñar para las cargas mayoradas y las reacciones inducidas, debemos usar la tensión del suelo mayorada. 22.7.1

$$q_s = \frac{P_u}{A_f} = \frac{117}{36} = 3,25 \text{ kips / ft}^2$$

5. Determinar el espesor de la zapata requerido para satisfacer la resistencia al momento.

El espesor de los elementos de hormigón simple generalmente es determinado por la resistencia a la flexión. La sección crítica para el cálculo del momento es en la cara del pedestal de hormigón (ver figura anterior). 22.7.5(a)

$$M_u = q_s (b) \left(\frac{b-c}{2} \right) \left(\frac{b-c}{4} \right)$$

$$= 3,25(3)(2,5)^2 = 60,9 \text{ ft-kips}$$

$$\phi M_n \geq M_u \quad \text{Ec. (22-1)}$$

$\phi = 55$ para todas las solicitaciones

9.3.5

$$\phi M_n = 5 \phi \sqrt{f'_c} S$$

Ec. (22-2)

$$= \frac{5(0,55)(\sqrt{2500})(6)(12)h^2}{(1000)(6)} \geq 60,9 \text{ ft-kips}$$

Resolviendo para h:

$$h \geq \left[\frac{60,9(12)(1000)(6)}{5(0,55)(\sqrt{2500})(6)(12)} \right]^{0,5} = 21,0 \text{ in.}$$

Solución alternativa usando la Figura 30-10:

Ingresar a la figura con la tensión del suelo mayorada (3,25 kips/ft²). Trazar una vertical hasta cortar la curva correspondiente a la distancia que la zapata se proyecta más allá de la cara del pedestal, o sea 30 in. (36-6). Trazando una horizontal, se puede leer que el espesor requerido para la zapata es de aproximadamente 21 in.

Quando se trata de hormigón colocado directamente sobre el terreno, para los cálculos de resistencia no se deben considerar las 2 in. inferiores de hormigón, es decir, el espesor total h se debe considerar 2 in. menor que el espesor real (este espesor reducido considera las irregularidades de la excavación y cierto grado de contaminación del hormigón adyacente al suelo).

22.4.8

Usar un espesor total de 24 in.

6. Verificar el corte en una dirección. Usar un espesor efectivo $h = 22 \text{ in.} = 1,83 \text{ ft.}$

La sección crítica para el corte en una dirección está ubicada a una distancia igual al espesor, h, a partir de la cara del pedestal, es decir a 0,67 ft (3 - 0,5 - 1,83) a partir del borde de la zapata.

22.7.6.1
22.7.6.2(a)

$$V_u = q_s b \left[\left(\frac{b}{2} \right) - \left(\frac{c}{2} \right) - h \right] = 3,25 (6) (0,67) = 13,07 \text{ kips}$$

$$\phi V_n \geq V_u$$

Ec. (22-8)

$$V_n = \left(\frac{4}{3} \right) \sqrt{f'_c} b h$$

Ec. (22-9)

$$\phi V_n = \frac{4(0,55)(\sqrt{2500})(72)(22)}{(3)(1000)} = 58,08 \text{ kips} > 13,07 \text{ kips} \quad \text{VERIFICA}$$

7. Verificar el corte en dos direcciones (punzonamiento).

La sección crítica para el corte en dos direcciones está ubicada a una distancia igual a la mitad del espesor de la zapata, h, a partir de la cara del pedestal.

22.7.6.1
22.7.6.2(b)

$$V_u = q_s \left[b^2 - (c+h)^2 \right] = 3,25 \left[6^2 - \left(1 + \frac{22^2}{12} \right) \right] = 90,91 \text{ kips}$$

$$\phi V_n \geq V_u \quad \text{Ec. (22-8)}$$

$$V_n = \left[\frac{4}{3} + \frac{8}{3\beta_c} \right] \sqrt{f'_c} b_o h \leq 2,66 \sqrt{f'_c} b_o h \quad \text{Ec. (22-10)}$$

siendo β_c la relación entre el lado mayor y el lado menor del área donde actúa la carga. En este caso $\beta_c = 1$.

$$\text{Como } \left[\left(\frac{4}{3} \right) + \left(\frac{8}{3} \right) \right] = 4,0 > 2,66$$

$$V_n = 2,66 \sqrt{f'_c} b_o h$$

$$\phi V_n = \frac{2,66(0,55)(\sqrt{2500})(34)(4)(22)}{1000} = 218,87 \text{ kips} > 90,91 \text{ kips} \quad \text{VERIFICA}$$

8. Verificar la resistencia al aplastamiento del pedestal. 22.8.3

$$P_u = 141 \text{ kips} \quad (\text{del Paso 3 anterior})$$

$$\phi B_n \geq P_u \quad \text{Ec. (22-11)}$$

$$B_n \geq 0,85 f'_c A_1 \quad \text{Ec. (22-12)}$$

$$\phi B_n = \frac{0,85(0,55)(2500)(12 \times 12)}{1000} = 168,3 \text{ kips} > 117 \text{ kips} \quad \text{VERIFICA}$$

Ejemplo 30.2 – Diseño de un tabique exterior de un subsuelo de hormigón simple

Para soportar una construcción residencial de dos plantas cuya estructura es de madera y tiene cerramientos de mampostería se ha de utilizar un tabique portante exterior que forma parte del subsuelo. La altura del tabique es de 10 ft (distancia entre la parte superior de la losa de hormigón y el entrepiso de madera, dos elementos que le proporcionan apoyo lateral al tabique). La altura del relleno detrás del tabique es de 7 ft y el tabique está restringido lateralmente en su parte superior. Se pide diseñar el tabique de acuerdo con el Capítulo 22 usando los factores de carga y reducción de la resistencia del Capítulo 9. Realizar un segundo diseño utilizando los factores de carga y reducción de la resistencia alternativos del Apéndice C para determinar cuál es el diseño más económico.

Datos para el diseño:

Carga permanente de servicio = 1,6 kips por pie lineal

Sobrecarga de servicio en el entrepiso = 0,8 kips por pie lineal

Sobrecarga de servicio en la cubierta = 0,4 kips por pie lineal

Sobrecarga de nieve en la cubierta (nivel de servicio) = 0,3 kips por pie lineal

Empuje lateral del suelo (nivel de servicio) = 60 lb/ft² por pie de altura

Presión del viento (nivel de servicio) = 20 lb/ft² hacia adentro, 25 lb/ft² hacia afuera

Se supone que la carga permanente mayorada en la cubierta más fuerza de levantamiento del viento mayorada en la cubierta (Ec. (9-6)) = 0

Excentricidad de las cargas axiales = 0

Cálculos y discusión

Referencia del Código

Diseño utilizando los factores de carga y reducción de la resistencia del Capítulo 9.

1. El tabique se debe diseñar para las cargas verticales, laterales y de cualquier otro tipo a las cuales pueda estar solicitado. Por lo tanto, determinar las combinaciones de cargas aplicables que se deben considerar. 22.6.2
9.2
 1. $U = 1,2D + 1,6L + 0,5L_r + 1,6H$ Ec. (9-2)
 2. $U = 1,2D + 0,5L + 1,6L_r + 1,6H$ Ec. (9-3)
 3. $U = 1,2D + 0,5L + 0,5L_r + 1,6W + 1,6H$ Ec. (9-4)
 4. $U = 0,9D + 1,6W + 1,6H$ Ec. (9-6)
 5. $U = 1,6H$ Ec. (9-6)

Observar que en la Combinación 1 despreciamos T. En las Combinaciones 2 y 3 el factor correspondiente a L es igual a 0,5 de acuerdo con 9.2.1(a). En las Combinaciones 2 y 4 se ha incluido 1,6H porque siempre estará actuando el empuje lateral del suelo. En la Combinación 5 se omitió D, ya que esta condición puede ocurrir durante la construcción.

2. Calcular la carga axial, P_u , para cada combinación de cargas.

1. $P_u = 1,2D + 1,6L + 0,5L_r = 1,2(1,6) + 1,6(0,8) + 0,5(0,4) = 3,40$ kips / ft Ec. (9-2)

2. $P_u = 1,2D + 0,5L + 1,6L_r = 1,2(1,6) + 0,5(0,8) + 1,6(0,4) = 2,96 \text{ kips/ft}$ Ec. (9-3)

3. $P_u = 1,2D + 0,5L + 0,5L_r = 1,2(1,6) + 0,5(0,8) + 0,5(0,4) = 2,52 \text{ kips/ft}$ Ec. (9-4)

4. $P_u = 0,9D = 0,9(1,6) = 1,44 \text{ kips/ft}$ Ec. (9-6)

5. $P_u = 0$ Ec. (9-6)

3. Calcular el momento, M_u , para cada combinación de cargas.

1. M_u debido a $1,6H$ Ec. (9-2)

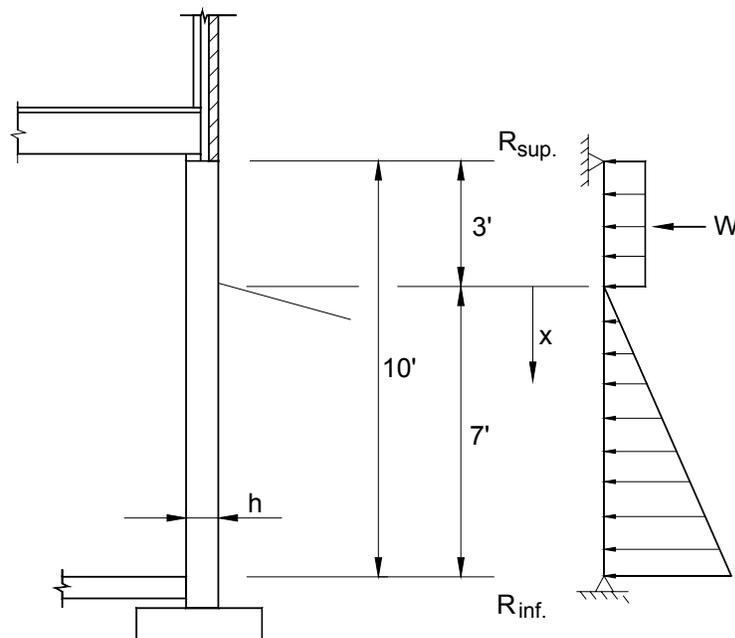
2. M_u debido a $1,6H$ Ec. (9-3)

3. M_u debido a $1,6W + 1,6H$ Ec. (9-4)

4. M_u debido a $1,6W + 1,6H$ Ec. (9-6)

5. M_u debido a $1,6H$ Ec. (9-6)

El máximo momento se produce en la ubicación donde el corte es nulo. Para determinar esta ubicación con referencia a la parte superior del tabique, primero se calcula la reacción en la parte superior del tabique. Si hay viento actuando en la misma dirección que el empuje lateral del suelo y la resultante de la carga de viento, W , es mayor que la reacción en la parte superior del tabique, la ubicación donde el corte es nulo se encontrará a una distancia " X " por debajo del punto superior del tabique (por encima del punto donde termina el relleno). Si esto no es así, la ubicación donde el corte es nulo se encontrará a una distancia " X " por debajo del punto donde termina el relleno. A continuación se suman los esfuerzos horizontales por encima de " X " (ubicación donde el corte es nulo). Finalmente se resuelve para determinar " X ". Ver la siguiente figura.



Para las Combinaciones de cargas 3 y 4, la reacción en la parte superior del tabique es igual a:

$$R_{\text{sup.}} = \frac{1,6(20)(3)(8,5) + [1,6(60)7^3]/6}{10} = 630,4 \text{ lb/ft}$$

$$W = 1,6(20)(3) = 96 \text{ lb/ft}$$

$$W < R_{\text{sup.}}$$

Por lo tanto, la ubicación donde el corte es nulo está por debajo del punto donde termina el relleno.

Sumatoria de los esfuerzos horizontales en "X":

$$630,4 - 1,6(20)(3) - [1,6(60)(X^2)]/2 = 0$$

$$630,4 - 96 - 48X^2 = 0$$

Resolviendo para obtener la distancia "X":

$$X = \left(\frac{630,4 - 96}{48} \right)^{0,5} = 3,37 \text{ ft}$$

El punto donde el corte es nulo está a una distancia igual a $3,0 + 3,37 = 6,37$ ft del borde superior del tabique.

Nota: Generalmente es más sencillo calcular la ubicación donde el corte es nulo con respecto al borde superior del tabique, ya que hacerlo con respecto al borde inferior implicaría resolver una ecuación cuadrática.

Calcular el máximo momento, M_u , debido a las cargas laterales debidas al viento y al empuje del suelo:

$$M_u = \frac{630,4(6,37) - 1,6(20)(3)(6,37 - 1,5) - [1,6(60)(3,37)^3]/6}{1000} = 2,94 \text{ ft-kips/ft}$$

Alternativamente, el máximo momento se puede determinar usando la Tabla 30-1, ya que el factor de carga para el viento es igual a 1,6.

De la Tabla 30-1, para un tabique de 10 ft de altura con 7 ft de relleno, para una carga de viento no mayorada de 20 lb/ft^2 y un empuje del suelo no mayorado de $60 \text{ lb/ft}^2/\text{ft}$, el momento M_u es igual a $2,94 \text{ ft-kips/ft}$, que es el mismo valor que se calculó anteriormente.

Luego determinar el momento usando la Tabla 30-1 para las Combinaciones 1, 2 y 5 (sin carga de viento). De la Tabla 30-1, para un tabique de 10 ft de altura con 7 ft de relleno, para carga de viento nula y un empuje del suelo no mayorado igual a $60 \text{ lb/ft}^2/\text{ft}$, el momento M_u es igual a $2,88 \text{ ft-kips/ft}$. Observar que se puede utilizar tanto la Tabla 30-1 como la Tabla 30-2, ya que esta combinación de cargas no incluye la acción del viento. El momento se lee en la columna correspondiente a "presión del viento no mayorada" igual a cero.

4. Calcular las excentricidades efectivas para las Combinaciones 1, 3 y 4 a fin de determinar si el tabique se puede diseñar mediante el método empírico (es decir si se verifica $e \leq h/6$). Asumir un espesor conservador para el tabique, digamos 12 in. 22.6.3
22.6.5

$$\text{Excentricidad admisible: } e = 12/6 = 2 \text{ in.} = 0,167 \text{ ft}$$

Para la Combinación de cargas 1:

$$e = \frac{2,88}{3,40} = 0,85 \text{ ft.} > 0,167 \text{ ft}$$

Para la Combinación de cargas 3:

$$e = \frac{2,94}{2,52} = 1,17 \text{ ft.} > 0,167 \text{ ft}$$

Para la combinación de cargas 4:

$$e = \frac{2,94}{1,44} = 2,04 \text{ ft.} > 0,167 \text{ ft}$$

Como la excentricidad efectiva es mayor que $h/6$ el tabique no se puede diseñar usando el método empírico. 22.5.3
El tabique se debe diseñar considerando tanto la flexión como la compresión axial. 22.6.3

5. Determinar el espesor de tabique requerido para satisfacer las cargas axiales y los momentos inducidos usando la ecuación de interacción que corresponda. En la siguiente tabla se resumen las cargas axiales y los momentos para las diferentes combinaciones de carga. Ec. (22-6)
Ec. (22-7)

Combinación de cargas	Carga axial, P_u , kips/ft	Momento, M_u , ft-kips/ft
1	3,40	2,88
2	2,96	2,88
3	2,52	2,94
4	1,44	2,94
5	0	2,88

Se puede observar que una combinación correspondiente a carga axial muy baja y momento relativamente elevado será gobernada por la Ecuación (22-7). 22.5.3

$$\frac{M_u}{S} - \frac{P_u}{A_g} \leq 5 \phi \sqrt{f'_c} \quad \text{Ec. (22-6)}$$

Reordenando los términos de la ecuación y expresando S y A_g en términos de "h", el espesor requerido se puede determinar resolviendo la siguiente ecuación cuadrática (3):

$$0,06 \phi \sqrt{f'_c} h^2 + P_u h - 72M_u = 0 \quad (3)$$

Determinar el espesor de tabique requerido, h , para satisfacer la Combinación de cargas 5 ($\phi = 0,55$; $P_u = 0$; $M_u = 2,88$ ft-kips/ft), ya que esta combinación es la que tiene mayor momento y menor carga axial. Como $P_u = 0$, la ecuación (3) se puede simplificar para obtener la ecuación (4). Utilizamos la ecuación (4) para determinar el valor de "h" requerido, suponiendo que $f'_c = 4000$ psi.

$$h = \left(72M_u / 0,06 \phi \sqrt{f'_c} \right)^{1/2} = \left[((72)(2,88)) / ((0,6)(0,55)(\sqrt{4000})) \right]^{1/2} = 9,97 \text{ in.} \quad (4)$$

Suponer un tabique de 10 in. con $f'_c = 4000$ psi.

Verificar estas dimensiones preliminares para todas las combinaciones de cargas, interpolando entre los valores de las Figuras 30-5 y 30-6 para $f'_c = 3500$ y 4500 psi, respectivamente. La siguiente tabla resume las resistencias a la carga axial, P_u , y al momento, M_u , requeridas para las diferentes combinaciones de cargas, e indica la resistencia al momento de diseño aproximada, ϕM_n , determinada a partir de las figuras en base a un tabique de 10 in. de espesor.

Combinación de cargas	Carga axial, P_u kips/ft	Momento, M_u ft-kips/ft	Resistencia al momento de diseño aproximada ¹ , ϕM_n ft-kips/ft	$\phi M_n/M_u$
1	3,40	2,88	Nota 2	–
2	2,96	2,88	$(3,1 + 3,5) / 2 = 3,3$	1,15
3	2,52	2,94	Nota 2	–
4	1,44	2,94	$(2,9 + 3,3) / 2 = 3,1$	1,05
5	0	2,88	$(2,7 + 3,1) / 2 = 2,9$	1,01

¹ Valores interpolados de las Figuras 30-5 y 30-6.

² No es necesario evaluar esta combinación, ya que hay otra combinación que tiene el mismo momento y una carga axial menor. Si los momentos son iguales, la combinación con menor carga axial será determinante.

Como en todos casos la relación entre la resistencia al momento de diseño, ϕM_n , y la resistencia al momento requerida, M_u , es mayor que la unidad, el tabique de 10 in. de espesor es adecuado para las cargas axiales y los momentos inducidos.

Tentativamente utilizar un tabique de 10 in. y un hormigón con $f'_c = 4000$ psi y verificar al corte.

6. Verificar la resistencia al corte.

La resistencia al corte generalmente no determina el diseño de los tabiques, a pesar de lo cual no se debe obviar esta verificación. El corte será mayor en el borde inferior del tabique. La sección crítica para calcular el corte está ubicada a una distancia igual al espesor del tabique, h , por encima del borde superior de la losa de piso.

22.5.4
22.6.4

Para el corte serán determinantes las Combinaciones de cargas 3 y 4, que son iguales. Calcular la reacción en el borde inferior del tabique.

$$R_{inf.} = \frac{\left[(1,6)(20)(3)^2 / 2 \right] + \left[\left((1,6)(60)(7)^2 / 2 \right) (3 + (2/3)(7)) \right]}{10} = 1818 \text{ lb/ft}$$

$$V_u = 1818 - 1,6(60) \left\{ \left[(7 - 10/12)(10/12) \right] + \left[(10/12)^2 / 2 \right] \right\}$$

$$= 1291 \text{ lb/ft} = 1,29 \text{ kips/ft}$$

$$\phi V_n \geq V_u \quad \text{Ec. (22-8)}$$

$$\phi V_n = \frac{4 \phi \sqrt{f'_c} b h}{3} \quad \text{Ec. (22-9)}$$

$$= \frac{4(0,55)(\sqrt{4000})(12)(10)}{3(1000)} = 5,57 \text{ kips/ft} > 1,29 \text{ kips/ft} \quad \text{VERIFICA}$$

7. Usar un tabique de 10 in. con una resistencia a la compresión especificada del hormigón $f'_c = 4000$ psi.

Diseño utilizando los factores de carga y reducción de la resistencia del Apéndice C.

C1. El tabique se debe diseñar para las cargas verticales, laterales y de cualquier otro tipo a las cuales pueda estar solicitado. Por lo tanto, determinar las combinaciones de cargas aplicables que se deben considerar. 22.6.2
C.2

1. $U = 0,75(1,4D + 1,7L) + 1,6W + 1,7H$ Ec. (C-2)

2. $U = 0,9D + 1,6W + 1,7H$ Ec. (C-3)

3. $U = 1,4D + 1,7L + 1,7H$ Ec. (C-4)

4. $U = 0,9D + 1,7H$ Ec. (C-3)

5. $U = 1,7H$ Ec. (C-3)

En las Combinaciones 1 y 2 se ha añadido el término $1,7H$ debido a que el empuje del suelo actuará siempre y por motivos de consistencia con las Ecuaciones (9-2) y (9-3). Por motivos de consistencia con la Ecuación (9-6) y debido a que la carga permanente D no puede actuar durante las etapas tempranas de la construcción, este término se ha omitido.

C2. Calcular la carga axial mayorada, P_u , para cada combinación de cargas.

1. $P_u = 0,75 + (1,4D + 1,7L) = 0,75((1,4)(1,6) + (1,7)(1,2)) = 3,21$ kips / ft Ec. (C-2)

2. $P_u = 0,9D = 0,9(1,6) = 1,44$ kips / ft Ec. (C-3)

3. $P_u = 1,4D + 1,7L = 1,4(1,6) + 1,7(1,2) = 4,28$ kips / ft Ec. (C-4)

4. $P_u = 0,9D = 0,9(1,6) = 1,44$ kips / ft Ec. (C-3)

5. $P_u = 0$ Ec. (C-3)

C3. Calcular el momento mayorado, M_u , para cada combinación de cargas usando la Tabla 30-3.

1. $M_u = 1,6W + 1,7H = 3,12$ ft-kips/ft Ec. (C-2)

2. $M_u = 1,6W + 1,7H = 3,12$ ft-kips/ft Ec. (C-3)

3. $M_u = 1,7H = 3,06$ ft-kips/ft Ec. (C-4)

4. $M_u = 1,7H = 3,06$ ft-kips/ft Ec. (C-3)

5. $M_u = 1,7H = 3,06$ ft-kips/ft Ec. (C-3)

C4. Una simple observación permite determinar que las excentricidades efectivas son mayores que un sexto del espesor del tabique. Esto significa que no se puede utilizar el procedimiento de diseño empírico. 22.6.5.1

- C5. Determinar el espesor de tabique requerido utilizando la ecuación de interacción que corresponda. Como los tabiques poco cargados son gobernados por la Ecuación (22-7), utilizaremos las Figuras 30-4 a 30-6 para diseñar el tabique para cargas axiales y flexión. La siguiente tabla indica la carga axial mayorada y el momento mayorado para cada combinación de cargas, y la correspondiente resistencia al momento de diseño aproximada, ϕM_n , junto con la relación $\phi M_n/M_u$ basada en los valores supuestos para el espesor de tabique y la resistencia del hormigón. Suponer un tabique de 10 in. de espesor y $f'_c = 3000$ psi. 22.5.3
Ec. (22-6)
Ec. (22-7)

Combinación de cargas	Carga axial, P_u kips/ft	Momento, M_u ft-kips/ft	Resistencia al momento de diseño aproximada ¹ , ϕM_n ft-kips/ft	$\phi M_n/M_u$
1	3,21	3,12	Nota 2	–
2	1,44	3,12	$(2,9 + 3,4) / 2 = 3,15$	1,031
3	4,28	3,06	$(3,3 + 3,8) / 2 = 3,55^3$	1,16
4	1,44	3,06	Nota 2	–
5	0	3,06	$(2,7 + 3,2) / 2 = 2,95$	0,96

¹ Valores interpolados de las Figuras C30-4 y C30-5 en base a un tabique de 10 in. de espesor y hormigón de 3000 psi.

² No es necesario evaluar esta combinación, ya que hay otra combinación que tiene el mismo momento y una carga axial menor. Si los momentos son iguales, la combinación con menor carga axial será determinante.

³ Aunque en realidad no era necesario verificar esta combinación, se la incluyó para ilustrar que, cuando los momentos inducidos son iguales, con la combinación que tiene la mayor carga axial, P_u , se obtiene una mayor resistencia al momento de diseño, ϕM_n .

Como el tabique de 10 in. de hormigón de 3000 psi satisface los requisitos para todas las combinaciones de cargas excepto aquella en la cual no hay carga permanente presente (Combinación 5), y que aún así en este caso la falta de resistencia es menor que 4%, tentativamente utilizaremos estos parámetros.

- C6. Verificar la resistencia al corte.

Como se indicó en la primera parte de este ejemplo, en la cual se utilizaron los factores de carga y reducción de la resistencia del Capítulo 9, rara vez la resistencia al corte determinará el diseño de un tabique. Como en el diseño anterior se demostró que el tabique está muy sobredimensionado para el corte, no es necesario verificar el corte nuevamente en esta parte del ejemplo. 22.5.4
22.6.4

- C7. Usar un tabique de 10 in. con una resistencia a la compresión especificada del hormigón $f'_c = 3000$ psi.

En este ejemplo se puede ver que utilizando los factores de carga y reducción de la resistencia del Apéndice C se obtuvo un diseño más económico. Para determinar rápidamente cuál de los dos conjuntos de factores de carga y reducción de la resistencia utilizar, comparar la resistencia nominal al momento requerida por las cargas mayoradas de 9.2 con la requerida por las de C.2. Generalmente el conjunto que requiere la menor resistencia nominal es el que permite obtener resultados más económicos.

$$\text{Capítulo 9} \quad M_n = M_u / \phi = 2,88 / 0,55 = 5,24 \text{ ft-kips/ft}$$

$$\text{Apéndice C} \quad M_n = M_u / \phi = 3,06 / 0,65 = 4,71 \text{ kips}$$

Como la resistencia nominal al momento requerida por los factores de carga y reducción de la resistencia del Apéndice C es menor que la correspondiente resistencia requerida por el Capítulo 9, tal como lo demuestra el ejemplo, se obtendrá un diseño más económico diseñando de acuerdo con el Apéndice C. Sin embargo, el procedimiento de diseño será el mismo, independientemente de los factores de carga y resistencia utilizados.