

Método Normalizado para Determinar la Resistencia al Fuego de las Construcciones de Hormigón y Mampostería

Informado por el Comité ACI/TMS 216

James P. Hurst
Presidente

Gene C. Abbate
Stanley G. Barton
Ronald G. Burg
Donald O. Dusenberry
William L. Gamble*
Richard G. Gewain
Michael P. Gillen
Tibor Z. Harmathy

Thomas F. Herrell
Mark Hogan
Thomas H. Holm
John R. Irving
Phillip J. Iverson
T.T. Lie
Tung D. Lin
Howard R. May

Mark A. Nunn
John Perry
Walter Prebis
John P. Ries
Thomas J. Rowe
Jeffery F. Speck
F.R. Vollert

* Anterior Presidente del Comité

PREFACIO

La resistencia al fuego de los elementos que forman parte de un edificio es una importante consideración al realizar el diseño. Aunque ACI 318 y ACI 530/ASCE 5/TMS 402 se ocupan de las consideraciones para el diseño estructural de elementos de hormigón y mampostería, respectivamente, bajo condiciones de temperatura ambiente, estos códigos no consideran el impacto del fuego sobre las construcciones de hormigón y mampostería. Una parte de este documento contiene procedimientos analíticos y de diseño para determinar la resistencia al fuego de los elementos y construcciones de hormigón y mampostería. Cuando exista una diferencia entre esta norma y los códigos arriba mencionados, como en el caso del recubrimiento de hormigón sobre las armaduras de acero, se deberá aplicar el más restrictivo de los requisitos.

Palabras Clave: acero de pretensado; armadura de acero; columnas (apoyos); diseño estructural; distribución de temperatura; ensayos de resistencia al fuego; durabilidad frente al fuego; clasificación de la resistencia al fuego; hormigón armado; hormigón pretensado; losas de hormigón; módulo de elasticidad; propiedades térmicas; resistencia a la compresión; resistencia al fuego; tabiques; tabiques de mampostería; vigas (apoyos).

* La intención de los Informes, Guías, Prácticas Normalizadas y Comentarios preparados por los Comités ACI es proveer lineamientos para la planificación, diseño, ejecución e inspección de las construcciones. Este documento fue preparado para ser utilizado por personas capacitadas para evaluar la relevancia y limitaciones de su contenido y recomendaciones, personas que se harán responsables por la aplicación del material que contienen las publicaciones. ACI deslinda cualquier responsabilidad por los principios expuestos. El Instituto no será responsable por cualquier pérdida o daño que surgiera de los mismos.

No se hará referencia a este documento en ningún documento contractual. Si el Arquitecto/Ingeniero desea que los elementos de este documento formen parte de los documentos contractuales, dichos elementos deberán ser reescritos en términos obligatorios antes de ser incorporados.

TABLA DE CONTENIDOS

Capítulo 1 – Disposiciones generales

- 1.1 – Campo de validez
- 1.2 – Métodos alternativos
- 1.3 – Definiciones
- 1.4 – Simbología
- 1.5 – Determinación de la resistencia al fuego

Capítulo 2 – Hormigón

- 2.1 – Disposiciones generales
- 2.2 – Tabiques, entrepisos y cubiertas de hormigón
- 2.3 – Recubrimiento de hormigón para protección de las armaduras de acero
- 2.4 – Métodos analíticos para calcular la resistencia al fuego estructural y el recubrimiento de hormigón de los elementos de hormigón solicitados a flexión
- 2.5 – Columnas de hormigón armado

Capítulo 3 – Mampostería de hormigón

- 3.1 – Disposiciones generales
- 3.2 – Espesor equivalente
- 3.3 – Tabiques de mampostería de hormigón
- 3.4 – Columnas de mampostería de hormigón reforzada
- 3.5 – Dinteles de mampostería de hormigón

* ACI 216.1-97 entró en vigencia el 1º de Setiembre de 1997.
Copyright © 1997, American Concrete Institute.
Todos los derechos reservados.

- 3.6 – Columnas de acero estructural protegidas mediante mampostería de hormigón

Capítulo 4 – Mampostería de ladrillos de arcilla y cerámicos

- 4.1 – Disposiciones generales
- 4.2 – Espesor equivalente
- 4.3 – Tabiques de ladrillos de mampostería de arcilla y cerámicos
- 4.4 – Columnas de mampostería de arcilla reforzada
- 4.5 – Dinteles de mampostería de arcilla reforzada
- 4.6 – Juntas de expansión o contracción
- 4.7 – Columnas de acero estructural protegidas mediante mampostería de arcilla

Capítulo 5 – Influencia de los materiales de acabado sobre la resistencia al fuego

- 5.1 – Disposiciones generales
- 5.2 – Procedimiento de cálculo
- 5.3 – Instalación de acabados

Capítulo 6 – Referencias

Apéndices

CAPÍTULO 1 – DISPOSICIONES GENERALES

1.1 – Campo de validez

Esta norma describe métodos aceptables para determinar la resistencia al fuego de las construcciones y elementos estructurales de hormigón y mampostería, incluyendo tabiques, losas de entrepiso, losas de cubierta, vigas, columnas, dinteles y la mampostería utilizada para proteger contra el fuego las columnas de acero estructural. Estos métodos se deberán utilizar con fines de diseño y analíticos, y se deberán basar en los criterios de exposición al fuego y criterios límite aplicables de la norma ASTM E 119. Esta norma no se aplicará a los tableros metálicos compuestos utilizados en entrepisos y cubiertas.

1.2 – Métodos alternativos

Estará permitido utilizar métodos diferentes a los descritos en la presente norma para determinar la resistencia al fuego de las construcciones y elementos de hormigón y mampostería, siempre que estos métodos se basen en los criterios de exposición al fuego y criterios límite aplicables de la norma ASTM E 119.

1.3 – Definiciones

En la presente norma se aplican las siguientes definiciones.

Acero laminado en caliente – Acero utilizado para barras de armadura o elementos de acero estructural.

Aprobado – Aprobado por la Autoridad responsable por hacer cumplir el código de construcción adoptado legalmente del cual forma parte esta norma, o aprobado por alguna otra autoridad con jurisdicción para hacerlo.

Barras de acero aleado de alta resistencia – Barras utilizadas para postesado de acuerdo con los requisitos de la norma ASTM A 722.

Cable – Tendón de pretensado compuesto por varios alambres torcidos sobre un alambre central o núcleo.

Clasificación de la resistencia al fuego (también llamada resistencia nominal al fuego) – Término legal definido en los códigos de construcción, generalmente en base a la durabilidad frente al fuego; los códigos de construcción otorgan clasificaciones de la resistencia al fuego para diferentes tipos de construcciones y usos u ocupaciones, las cuales generalmente se indican en incrementos de una hora o media hora.

Código de construcción – Documento legal que establece los requisitos mínimos necesarios para el diseño y la construcción de edificios con el objeto de preservar la salud y la seguridad públicas.

Criterios límite – Condiciones de aceptación para un ensayo de incendio de acuerdo con ASTM E 119.

Criterio límite de integridad – Criterio de aceptación establecido por la norma ASTM E 119 que prohíbe el paso de llamas o gases lo suficientemente calientes como para encender desperdicios de algodón antes que finalice el período de durabilidad frente al fuego deseado. Este término también se aplica al ensayo con chorro de manguera utilizado para los tabiques expuestos al fuego.

Criterio límite de temperatura del acero – Criterio de aceptación establecido por la norma ASTM E 119 que define las temperaturas límite del acero para las clasificaciones de construcciones no restringidas.

Criterio límite de transmisión de calor – Criterio de aceptación establecido por la norma ASTM E 119 que limita el aumento de temperatura de la superficie no expuesta a un promedio de 250 grados Fahrenheit en todos los puntos de medición o a un máximo de 325 grados Fahrenheit en cualquier punto individual.

Criterio límite estructural – Criterio de aceptación establecido por la norma ASTM E 119 que especifica las

condiciones para la aceptación del comportamiento estructural de un conjunto ensayado.

Durabilidad frente al fuego – Medida del tiempo durante el cual un material o elemento continúa exhibiendo resistencia al fuego. En relación con los elementos de un edificio y la aplicación de esta norma, la durabilidad frente al fuego se medirá siguiendo los métodos y criterios indicados en la norma ASTM E 119.

Elemento de barrera – Elemento de un edificio que funciona como una barrera, evitando la propagación del fuego.

Ensayo de incendio – Ver Ensayo de incendio normalizado.

Ensayo de incendio normalizado – Ensayo prescripto por la norma ASTM E 119.

Exposición al fuego estándar – Relación tiempo-temperatura definida por la norma ASTM E 119.

Fibras minerales para rociar – Mezcla de fibras minerales refinadas y ligantes inorgánicos. Durante la operación de rociado se añade agua. Su peso unitario no compactado es de aproximadamente 13 lb/ft³.

Hormigón armado – Hormigón que contiene armadura adecuada (pretensada o no pretensada) y diseñado en base a la hipótesis que los dos materiales actúan resistiendo las fuerzas conjuntamente.

Hormigón celular – Hormigón aislante, no estructural, que se prepara mezclando una espuma preformada con lechada de cemento pórtland. El peso unitario seco se determina de acuerdo con la norma ASTM C 796, y está comprendido entre 25 y 110 lb/ft³, dependiendo de los requisitos de cada aplicación. Los hormigones celulares cuyos pesos unitarios secos son mayores que 75 lb/ft³ requieren la adición de arena.

Hormigón de agregados de carbonato – Hormigón preparado con agregados gruesos consistentes principalmente en carbonato de calcio o una combinación de carbonato de calcio y magnesio (por ejemplo, caliza o dolomita).

Hormigón de agregados livianos – Hormigón preparado con agregados livianos (arcilla expandida, lutita, escoria o ceniza fina sinterizada) que tiene un peso unitario secado en aire a 28 días comprendido entre 85 y 105 lb/ft³.

Hormigón de agregados silíceos – Hormigón preparado con agregados gruesos de peso normal compuestos principalmente por sílice y silicatos.

Hormigón de peso normal – Hormigón que tiene un peso unitario de aproximadamente 150 lb/ft³ y que se prepara con agregados de peso normal.

Hormigón de vermiculita – Hormigón en el cual el agregado consiste en vermiculita exfoliada.

Hormigón estructural – Cualquier hormigón utilizado para propósitos estructurales, incluyendo el hormigón simple y armado.

Hormigón perlítico – Hormigón aislante, liviano, no estructural, que tiene un peso unitario seco de aproximadamente 30 lb/ft³ y que se prepara mezclando agregados para hormigón perlítico que satisfacen la norma ASTM C 332 con lechada de cemento pórtland. Nota: El hormigón perlítico se puede aplicar por rociado u otros medios.

Hormigón semiliviano – Hormigón preparado con una combinación de agregados livianos (arcilla expandida, lutita, escoria o pizarra, o ceniza fina sinterizada) y agregados de peso normal, y que tiene un peso unitario secado en aire a 28 días comprendido entre 105 y 120 lb/ft³.

Hormigón simple – Hormigón estructural que tiene menos armadura que la especificada para el hormigón armado.

Mampostería reforzada – Mampostería en la cual la armadura está dispuesta de manera tal que los dos materiales actúan resistiendo las fuerzas conjuntamente.

Mampostería simple – Mampostería sin armadura o mampostería que solamente tiene la armadura requerida para cambios de temperatura o contracción.

Mampuesto de arcilla (ladrillo) – Unidad maciza o hueca fabricada de arcilla, lutita u otras sustancias térreas naturales a las cuales se les da forma de unidades prismáticas y somete a tratamiento térmico a temperaturas elevadas. Deben satisfacer los requisitos de las normas ASTM C 34, C 56, C 62, C 126, C 212, C 216, C 652 o C 1088.

Mampuesto de hormigón (bloque) – Unidad maciza o hueca fabricada de materiales cementicios, agua y agregados, con o sin la inclusión de otros materiales, y que satisface los requisitos de las normas ASTM C 55, C 73, C 90 o C 129.

Manta de fibra cerámica – Material aislante de lana mineral fabricada de fibras de alúmina y sílice y que tiene una densidad de 4 a 8 lb/ft³.

Armadura de alambre estirado en frío – Alambre de acero fabricado de barras laminadas a partir de lingotes y estiradas en frío a través de una matriz para armaduras. Su diámetro no es menor que 0,08 in. ni mayor que 0,625 in.

Mastic intumescente – Recubrimiento aplicado en forma de spray que reacciona al calor, aproximadamente a 300 grados Fahrenheit, formando una espuma de estructura multicelular que tiene entre 10 y 15 veces su espesor original.

Material cementicio de vermiculita – Material cementicio preelaborado en planta al cual se añade agua para formar una mezcla apta para rociado. La mezcla tiene un peso unitario húmedo comprendido entre alrededor de 55 y alrededor de 60 lb/ft³.

Placas aislantes de fibra de vidrio – Placas aislantes de fibra de vidrio que satisfacen la norma ASTM C 612.

Placas de fibras minerales – Placas aislantes de fibras minerales que satisfacen la norma ASTM C 726.

Cartón de yeso tipo "X" - Producto prefabricado que consiste en una placa con núcleo de yeso con minerales especiales y cuyo frente está revestido con un papel para acabado; en la parte posterior tiene un papel de revestimiento.

Resistencia al fuego – Capacidad de un material o elemento de soportar fuego o de proporcionar protección contra el fuego. En relación con los elementos de un edificio, la resistencia al fuego se caracteriza por la habilidad de confinar el fuego o de continuar satisfaciendo una determinada función estructural, o ambas cosas.

Tabique compuesto – Tabique consistente en dos o más paneles. También llamado tabique de múltiples paneles.

Tabique simple – Tabique consistente en un solo panel.

Temperatura crítica – Temperatura del acero de los elementos flexionados no restringidos, durante la exposición al fuego, para la cual la resistencia nominal a la flexión de los elementos se reduce a un valor igual al momento debido a las cargas de servicio.

Tendón – Elemento de acero, tal como un alambre, cordón, varilla o cable, o atado de estos elementos, utilizados principalmente en tracción para impartir al hormigón tensiones de compresión.

Viga – Elemento estructural sujeto a cargas axiales y de flexión, pero fundamentalmente de flexión.

Vigueta – Vigas relativamente angostas utilizadas en disposiciones poco separadas para soportar losas de entrepiso o cubierta, según se define en ACI 116R.

1.4 – Simbología

a = profundidad del bloque rectangular de tensiones equivalente del hormigón correspondiente a la resistencia nominal a flexión

A_1 , A_2 y A_n = factor de aire para cada espacio de aire contiguo que tiene una distancia de 1/2 in. a 3-1/2 in. entre paneles

A_{ps} = área de la sección transversal de los cables o tendones de pretensado

a_θ = profundidad del bloque rectangular de tensiones equivalente del hormigón a temperatura elevada

A_{st} = área de la sección transversal de la armadura no pretensada (Sección 3.6)

A_s = área de la sección transversal de la columna de acero (Sección 2.4.2)

b = ancho de la losa o viga de hormigón

b_f = ancho del ala (Capítulo 3)

D = densidad de la mampostería utilizada como protección

d_{st} = dimensión de la columna (ver Figura 3.3)

d_1 = dimensión de la capa de hormigón expuesta al fuego (Sección 2.2.5.2)

d = profundidad efectiva, distancia desde el baricentro de la armadura de tracción hasta la fibra comprimida extrema (Sección 2.4.2)

d_{ef} = distancia desde el baricentro de la armadura de tracción hasta la fibra comprimida extrema del hormigón cuando la temperatura no supera los 1400 grados Fahrenheit (Sección 2.4.2)

F = grados Fahrenheit

f_c = resistencia a la compresión del hormigón medida usando probetas cilíndricas a temperatura ambiente

f'_c = resistencia a la compresión especificada del hormigón

$f_{c\theta}$ = resistencia a la compresión reducida del hormigón a temperatura elevada	T_e = espesor equivalente del mampuesto de hormigón
f_{ps} = tensión en el acero de pretensado correspondiente a la resistencia nominal	t_e = espesor equivalente de una sección de hormigón nervurada u ondulada
$f_{ps\theta}$ = resistencia reducida del acero de pretensado a temperatura elevada	T_{ea} = espesor equivalente del conjunto de mampostería de hormigón
f_{pu} = resistencia a la tracción especificada de los tendones de pretensado	T_{ef} = espesor equivalente de los acabados
f_y = tensión de fluencia especificada del acero de las armaduras no pretensadas	t_w = espesor del alma (ver Figura 3.3)
$f_{y\theta}$ = resistencia reducida del acero de las armaduras no pretensadas a temperatura elevada	u = espesor promedio del hormigón entre el centro de la armadura principal y la superficie expuesta al fuego
H = altura especificada del mampuesto	u_{ef} = valor ajustado de u que considera vigas de geometrías tales que tienen tres lados expuestos al fuego (Capítulo 2)
k = conductividad térmica a temperatura ambiente	V_n = volumen neto del mampuesto
L = longitud especificada del mampuesto	w = carga aplicada (carga permanente + sobrecarga no mayoradas)
l = longitud del tramo	x_θ = distancia desde el punto de inflexión luego de la redistribución de momentos hasta la ubicación del primer apoyo interno (Capítulo 2)
M = momento debido a la totalidad de la carga de servicio que actúa sobre el elemento	x_l = distancia a la cual se produce el máximo valor del momento positivo redistribuido, medida a partir de (a) el apoyo exterior cuando hay continuidad sobre un apoyo y (b) en cualquier apoyo cuando hay continuidad sobre dos apoyos (Capítulo 2)
$M_{n\theta}^+$ = resistencia nominal al momento flector positivo en la sección a temperatura elevada	x_2 = distancia entre los puntos de inflexión de un tramo continuo (Capítulo 2)
$M_{n\theta}^-$ = resistencia nominal al momento flector negativo en la sección a temperatura elevada	ρ_g = relación entre el área total de armadura y el área de la sección transversal de la columna
M_n = resistencia nominal a la flexión del elemento	θ = subíndice que indica un cambio del parámetro debido a la presencia de una temperatura elevada
$M_{n\theta}$ = resistencia nominal a la flexión en la sección a temperatura elevada	ρ = cuantía de armadura
M_{x1} = máximo valor del momento positivo redistribuido a una distancia x_1	ω_p = índice de armadura para una viga de hormigón reforzada con acero de pretensado
p = perímetro interior de la protección de mampostería de hormigón	ω_θ = índice de armadura para una viga de hormigón a temperatura elevada
p_s = perímetro caliente de la columna de acero	ω_r = índice de armadura para una viga de hormigón reforzada con acero no pretensado
R = resistencia al fuego del conjunto	
R_1, R_2, R_n = resistencia al fuego de las capas 1, 2... n, respectivamente	
s = separación de los nervios u ondulaciones	
t = tiempo en minutos	
t_{min} = espesor mínimo, in. (Sección 2.2.4)	
t_{tot} = espesor total de la losa (Sección 2.2.5.2)	
T_E = espesor equivalente del mampuesto de arcilla	

1.5 – Determinación de la resistencia al fuego

1.5.1 Clasificación mediante ensayos – La resistencia al fuego de los materiales y los conjuntos de materiales de

construcción ensayados de acuerdo con los requisitos establecidos en la norma ASTM E 119 deberá ser calificada de acuerdo con los resultados y condiciones de dichos ensayos.

1.5.2 Resistencia al fuego calculada – La resistencia al fuego asociada con un elemento o conjunto se considerará aceptable cuando haya sido calculada de acuerdo con los procedimientos establecidos en la presente norma o cuando haya sido establecida de acuerdo con el Artículo 1.2 – Métodos Alternativos.

1.5.3 Aprobación en base al comportamiento observado en el pasado – No es la intención de los requisitos de la presente norma impedir la aplicación de las resistencias al fuego de elementos y conjuntos que se hayan utilizado en el pasado y cuyo comportamiento se haya verificado en el pasado.

1.5.4 Análisis basados en la Ingeniería – No es la intención de los requisitos de la presente norma impedir la aplicación de nuevas técnicas de la ingeniería para predecir el grado de protección de las vidas y los bienes materiales que implican los edificios y estructuras.

CAPÍTULO 2 – HORMIGÓN

2.1 – Disposiciones generales

La resistencia al fuego de los elementos y conjuntos de elementos de hormigón diseñados de acuerdo con la norma ACI 318 para hormigón estructural simple y armado se deberá determinar en base a los requisitos del presente capítulo. Los tabiques, entrepisos y cubiertas de hormigón deberán satisfacer los espesores mínimos requeridos para considerar que poseen resistencia de barrera. Además, los elementos de hormigón que contengan armadura de acero también deberán satisfacer los requisitos de recubrimiento de hormigón indicados en este capítulo para mantener la resistencia al fuego estructural.

En algunos casos se distingue entre los hormigones de peso normal con agregados de carbonato y los que tienen agregados silíceos. Si se desconoce el tipo de agregado se deberá utilizar el valor correspondiente al agregado con el cual se obtenga el mayor espesor o recubrimiento de las armaduras requerido.

2.2 – Tabiques, entrepisos y cubiertas de hormigón

Los tabiques portantes o no portantes y las losas de entrepiso y cubierta de hormigón simple o armado para los cuales se requiera una resistencia al fuego comprendida entre 1 y 4 horas deberán satisfacer los valores mínimos de espesor equivalente indicados en la

Tabla 2.1. Para los tabiques macizos y las losas con superficies planas el espesor equivalente se deberá determinar de acuerdo con el Artículo 2.2.1. El espesor equivalente de los tabiques de núcleo hueco, o de los tabiques o elementos de barrera cuyas superficies no sean planas, se deberán determinar de acuerdo con los Artículos 2.2.2 a 2.2.4. El recubrimiento de hormigón del acero de las armaduras será como se indica en la Sección 2.3.

Tabla 2.1 – Resistencia al fuego de tabiques, entrepisos y cubiertas consistentes en una capa de hormigón

Tipo de Agregados	Mínimo espesor equivalente para una resistencia al fuego de:				
	1 hr	1 ½ hr	2 hr	3 hr	4 hr
Silíceos	3,5	4,3	5,0	6,2	7,0
Carbonatos	3,2	4,0	4,6	5,7	6,6
Semilivianos	2,7	3,3	3,8	4,6	5,4
Livianos	2,5	3,1	3,6	4,4	5,1

2.2.1 Tabiques macizos y losas con superficies planas – Para los tabiques macizos y las losas con superficies planas el espesor equivalente será igual al espesor real.

2.2.2 Tabiques y losas de hormigón de núcleo hueco – Para los tabiques y losas construidos con paneles de hormigón prefabricado de núcleo hueco en los cuales la sección transversal del núcleo es constante en toda su longitud, el espesor equivalente se calculará dividiendo el área neta de la sección transversal por el ancho del panel. Si todos los espacios del núcleo se llenan con mortero o material de relleno suelto, tal como perlita, vermiculita, arena o arcilla expandida, lutita, escoria o pizarra, la resistencia al fuego del tabique o losa será igual que la correspondiente a un tabique o losa macizo del mismo tipo de hormigón.

2.2.3 Paneles con alas – Para los tabiques con alas y los paneles para entrepisos y cubiertas en los cuales las alas tienen espesor variable, el espesor equivalente se deberá determinar en la ubicación de la menor distancia entre dos veces el espesor mínimo o 6 in. a partir del punto de mínimo espesor del ala (ver Figura 2.0).

2.2.4 Paneles nervurados u ondulados – El espesor equivalente de los elementos consistentes en paneles con superficies nervuradas u onduladas se determinará de la siguiente manera:

A. Si la separación entre los centros de los nervios u ondulaciones es mayor o igual que cuatro veces el espesor mínimo, el espesor equivalente será igual al espesor mínimo del panel.

B. Si la separación entre los centros de los nervios u ondulaciones es menor o igual que dos veces el espesor mínimo, el espesor equivalente se calculará dividiendo el área neta de la sección transversal por el ancho del panel. El espesor máximo utilizado para calcular el área neta de la sección transversal deberá ser menor o igual que dos veces el espesor mínimo.

C. Si la separación entre los centros de los nervios u ondulaciones es mayor que dos veces el espesor mínimo pero menor que cuatro veces el espesor mínimo, el espesor equivalente se deberá calcular mediante la siguiente expresión:

$$\text{Espesor equivalente} = t_{\min} + \left[(4t_{\min} / s) - 1 \right] (t_e - t_{\min}) \quad (2-1)$$

donde:

s = separación de los nervios u ondulaciones, in.

t_{\min} = espesor mínimo, in.

t_e = espesor equivalente, in., calculado de acuerdo con el apartado B del Artículo 2.2.4

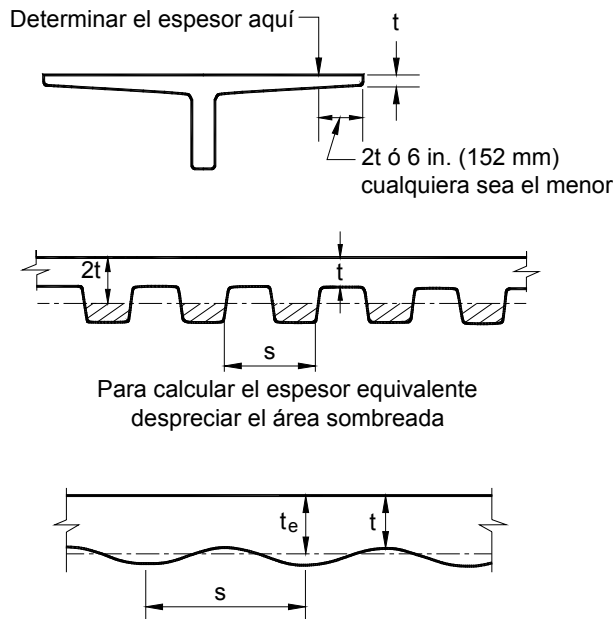


Figura 2.0 – Espesor equivalente de paneles con alas, nervurados y ondulados

2.2.5 Tabiques, entrepisos y cubiertas de múltiples capas – Para los tabiques, entrepisos y cubiertas que consisten en dos o más capas de diferentes tipos de hormigón, mampostería o ambos materiales, la resistencia al fuego se determina de acuerdo con las soluciones gráficas o numéricas presentadas en los Artículos 2.2.5.1,

2.2.5.2 o 2.2.5.3. La resistencia al fuego de los entrepisos y cubiertas de hormigón aisladas se deberá determinar de acuerdo con el Artículo 2.2.6.

2.2.5.1 Soluciones gráficas y analíticas – Para los tabiques, entrepisos y cubiertas formados por dos capas de diferentes tipos de hormigón, la resistencia al fuego se deberá determinar usando la Figura 2.1 o bien las Ecuaciones (2-2) o (2-3). Se deberán realizar dos cálculos independientes, suponiendo que cada uno de los lados del elemento es el lado expuesto al fuego. A menos que el código de construcción aplicable permita lo contrario, la resistencia al fuego será el menor valor de los dos valores calculados. Excepción: En el caso de entrepisos y cubiertas se deberá asumir que la superficie inferior es la superficie expuesta al fuego.

2.2.5.2 Solución numérica – Para losas de entrepiso y cubierta y tabiques que consisten en una capa de hormigón de peso normal y una capa de hormigón semiliviano o liviano, cuando cada capa tiene un espesor mayor o igual que 1 in., estará permitido determinar la resistencia al fuego combinada usando las siguientes expresiones:

(a) Cuando la capa expuesta al fuego es de hormigón de peso normal:

$$R = 0,057 \left(2t_{\text{tot}}^2 - d_1 t_{\text{tot}} + 6 / t_{\text{tot}} \right) \quad (2-2)$$

(b) Cuando la capa expuesta al fuego es de hormigón liviano o semiliviano:

$$R = 0,063 \left(t_{\text{tot}}^2 + d_1 t_{\text{tot}} - d_1^2 + 4 / t_{\text{tot}} \right) \quad (2-3)$$

donde:

R = resistencia al fuego, horas

t_{tot} = espesor total de la losa, in.

d_1 = espesor de la capa expuesta al fuego, in.

2.2.5.3 Solución numérica alternativa – Para los tabiques, entrepisos y cubiertas que no satisfacen los criterios del Artículo 2.2.5.1 y que consisten en dos o más capas de diferentes tipos de hormigón, mampostería de hormigón y/o mampostería de arcilla, la resistencia al fuego se puede determinar usando la Ecuación (2-4):

$$R = \left(R_1^{0,59} + R_2^{0,59} + \dots + R_n^{0,59} + A_1 + A_2 + \dots + A_n \right)^{1,7} \quad (2-4)$$

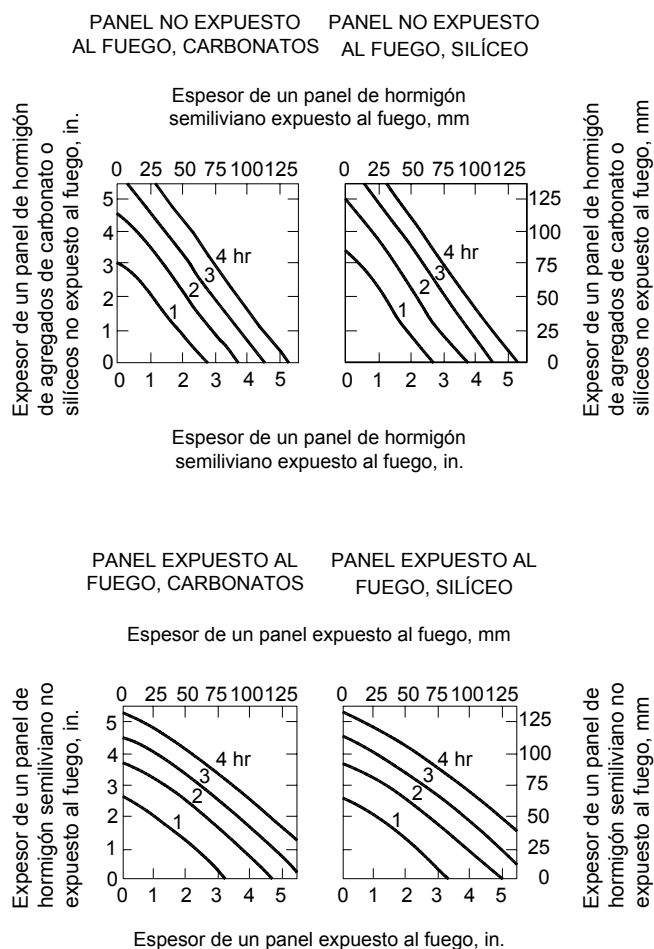


Figura 2.1 – Resistencia al fuego de los tabiques, entrepisos y cubiertas de hormigón de dos capas

donde:

R = resistencia al fuego, horas

R_1 , R_2 y R_n = resistencia al fuego de las capas individuales, horas

A_1 , A_2 y $A_n = 0,30$; factor de aire para cada espacio de aire continuo que tiene una distancia de $\frac{1}{2}$ a $3\frac{1}{2}$ in. entre capas

Los valores de R_n correspondientes a las capas individuales a utilizar en la Ecuación (2-4) se pueden obtener de la Tabla 2.1 o de la Figura 2.2 si se trata de una capa de hormigón, de la Tabla 3.1 si se trata de mampostería de hormigón, o de la Tabla 4.1 si se trata de mampostería de arcilla. Está permitido interpolar entre los valores tabulados. Nota: La Ecuación (2-4) no toma en cuenta cuál de las capas está siendo expuesta al fuego.

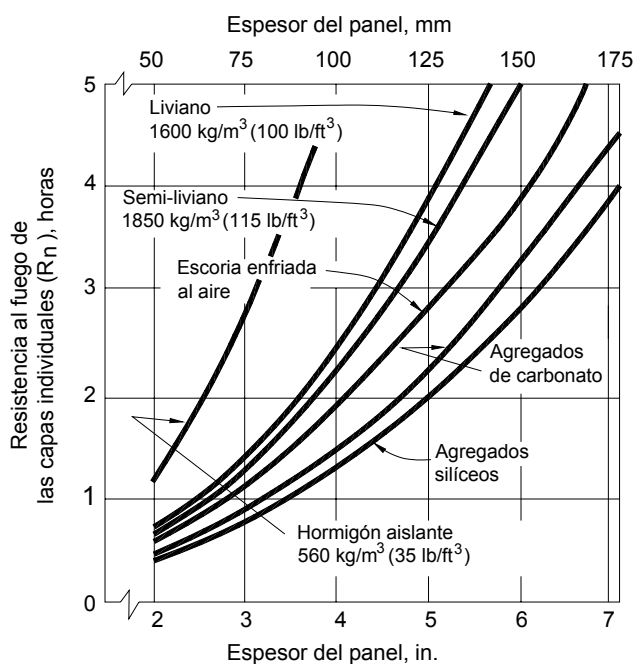


Figura 2.2 – Efecto del espesor de la losa y el tipo de agregado sobre la resistencia al fuego de losas de hormigón en base a un aumento de temperatura de 250 °F (139 °C) en la superficie no expuesta

2.2.5.4 Paneles tipo sándwich – Para determinar la resistencia al fuego de los paneles prefabricados de hormigón que se utilizan en tabiques y que consisten en una capa de espuma plástica entre dos capas de hormigón se utilizará la Ecuación (2-4). Si la espuma plástica tiene un espesor mayor o igual que 1 in., en la Ecuación (2-4) se deberá utilizar $R_n^{0,59} = 0,22$ horas. Si el espesor total de la espuma plástica es menor que 1 in., se deberá considerar que la contribución del plástico a la resistencia al fuego es nula. La espuma plástica deberá estar protegida a ambos lados con un espesor de hormigón mayor o igual que 1 in.

2.2.6 Entrepisos y cubiertas aislados – Se deberán utilizar las Figuras 2.3 (a), (b) y (c) o las Figuras 2.3.1 (a) y (b) para determinar la resistencia al fuego de los entrepisos o cubiertas compuestos por una losa base de hormigón con una sobrecapa de hormigón celular, perlítico o de vermiculita, o con placas aislantes y de las cubiertas compuestas de múltiples capas. Si se instala una cubierta compuesta de tres capas encima de una sobrecapa de hormigón liviano aislante u hormigón semiliviano, estará permitido sumar 10 minutos a la resistencia al fuego determinada en base a las Figuras 2.3 (a), (b), (c) o 2.4.

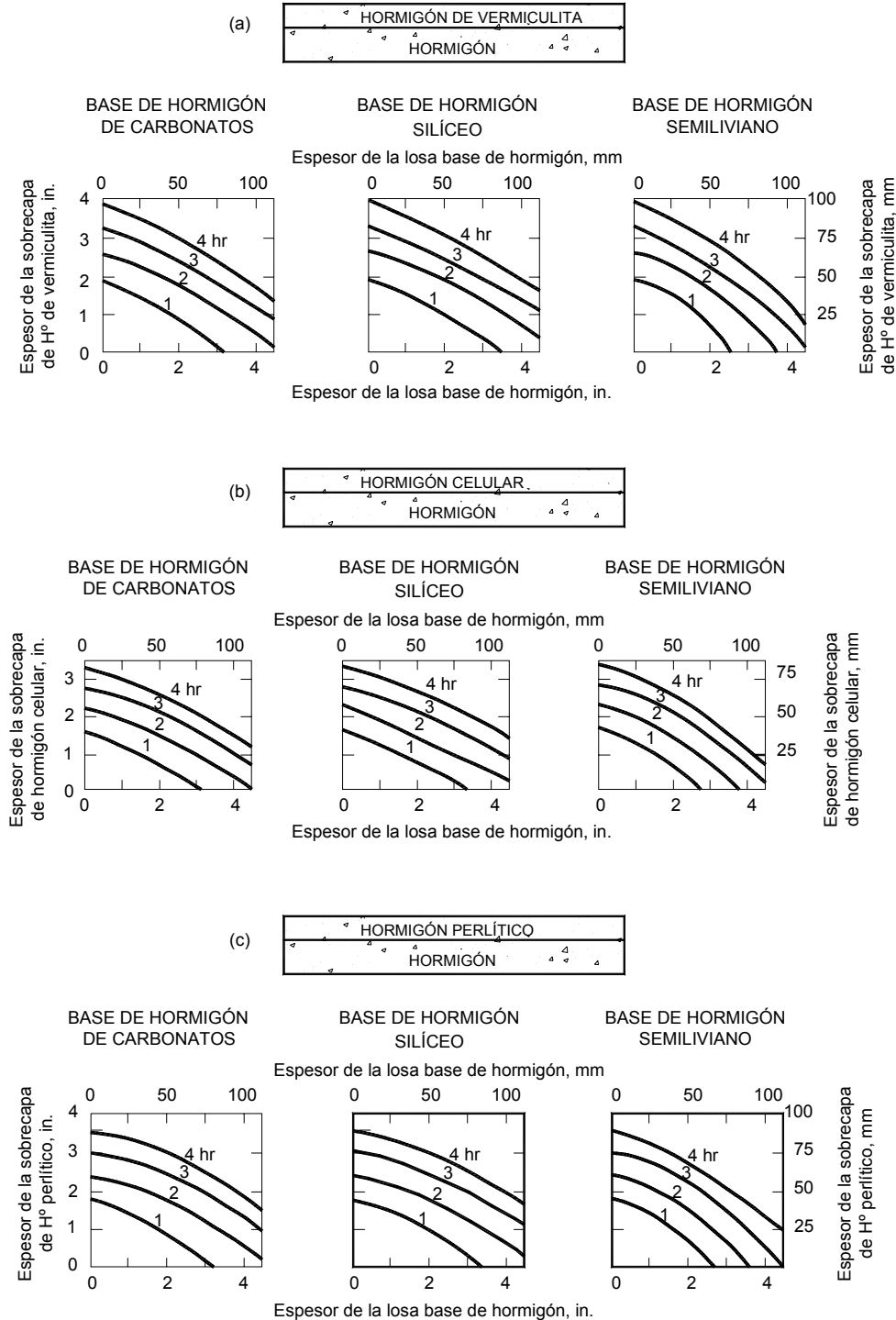


Figura 2.3 (a), (b) y (c) – Resistencia al fuego de las losas compuestas por una base de hormigón y sobrecapas de hormigón aislante, 30 lb/ft³

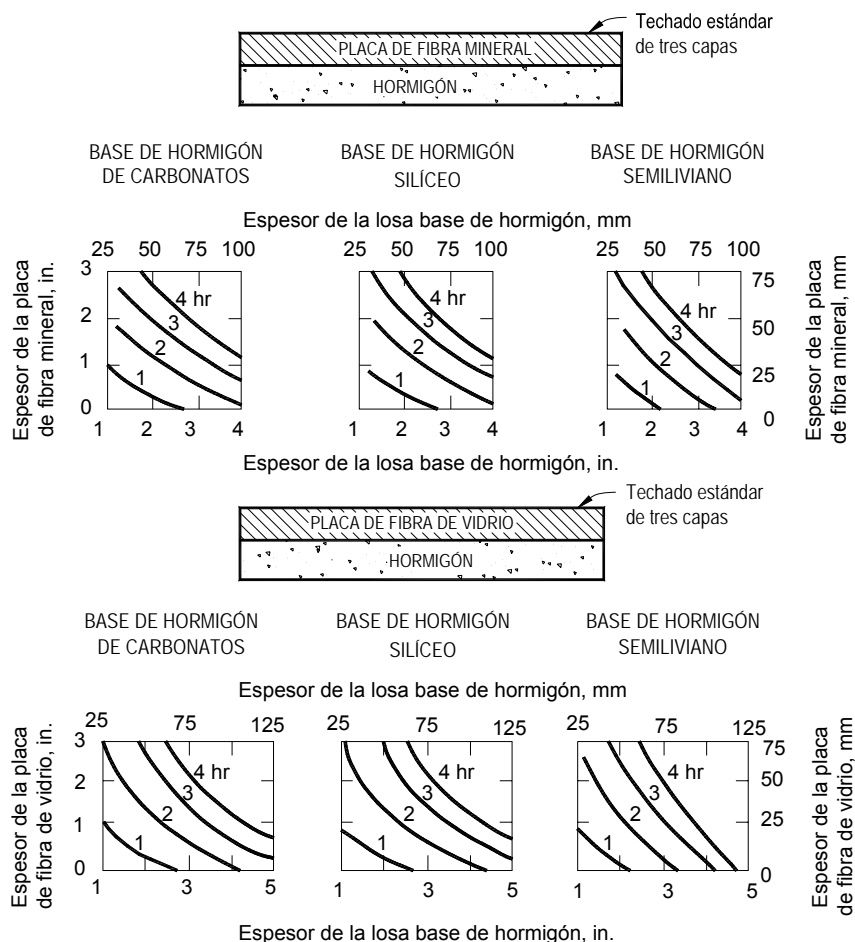


Figura 2.3.1 (a) y (b) – Resistencia al fuego de cubiertas de hormigón con placas aislantes

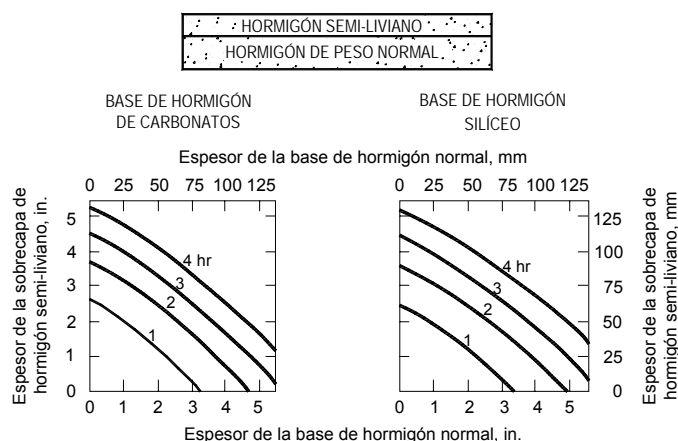


Figura 2.4 – Resistencia al fuego de una sobrecapa de hormigón semiliviano sobre una losa base de hormigón de peso normal

2.2.7 Protección de las juntas entre paneles prefabricados para tabiques y losas de hormigón armado – Cuando de acuerdo con el Artículo 2.2.7.1 se deban aislar las juntas entre paneles prefabricados para tabiques de hormigón armado, esto se deberá hacer de acuerdo con el Artículo 2.2.7.3.

2.2.7.1 Juntas de tabiques que deben ser aisladas – Cuando no se permitan las aberturas o cuando se requiera la protección de las aberturas, para determinar el espesor del aislante de las juntas requerido se deberán utilizar los requisitos del Artículo 2.2.7.2. Las juntas entre paneles de tabiques de hormigón que no están aisladas como se describe en el Artículo 2.2.7.2 se deberán considerar aberturas no protegidas. Si está limitado el porcentaje de aberturas no protegidas en los tabiques exteriores, las juntas no protegidas de los tabiques exteriores se deben incluir junto con las demás aberturas no protegidas. Al determinar el porcentaje de

aberturas admisible no se considerarán las juntas aisladas que satisfagan el Artículo 2.2.7.2.

2.2.7.2 Espesor del aislante – El espesor de la manta de fibra cerámica aislante requerido para aislar las juntas entre paneles de tabiques de hormigón de 3/8 y 1 in. de ancho a fin de mantener resistencias al fuego de 1 hora a 4 horas deberá ser como se indica en la Figura 2.5. Para juntas cuyos anchos están comprendidos entre 3/8 y 1 in., el espesor del aislante se deberá determinar por interpolación. Estará permitido utilizar otros sistemas de tratamiento de juntas aprobados, siempre que éstos mantengan la resistencia al fuego requerida.

2.2.7.3 Juntas entre losas prefabricadas – Al calcular el espesor equivalente de una losa estará permitido ignorar las juntas entre losas de hormigón prefabricadas adyacentes, siempre que se utilice una sobrecapa de hormigón de un espesor mayor o igual que 1 in. Si no se utiliza una sobrecapa de hormigón (juntas cementadas hasta una profundidad como mínimo igual a un tercio del espesor de la losa en la junta, pero no menos que el recubrimiento lateral), el mínimo recubrimiento utilizado en los cálculos deberá ser igual a la mitad del valor real. El recubrimiento real de cualquier barra deberá ser mayor o igual que el valor indicado en la Tabla 2.4 o 3/4 in., cualquiera sea el valor que resulte mayor.

2.2.8 Efectos de los materiales de acabado sobre la resistencia al fuego – Estará permitido utilizar materiales de acabado para aumentar la resistencia al fuego. Los efectos de los materiales de acabado, ya sea que se utilicen en la cara expuesta al fuego o en la cara no expuesta, se deberán evaluar de acuerdo con los requisitos del Capítulo 5.

2.3 – Recubrimiento de hormigón sobre el acero de las armaduras

Los cálculos del recubrimiento indicados en esta sección se basan en el criterio límite estructural. Además, aquellos conjuntos que deban funcionar como barreras contra el fuego también deberán satisfacer el criterio límite de transmisión de calor y cumplir con los requisitos de la Sección 2.2.

2.3.1 Disposiciones generales – El mínimo recubrimiento de hormigón sobre la armadura de momento positivo de losas y vigas de entrepisos y cubiertas se deberá determinar usando los métodos descritos en los Artículos 2.3.1.1 a 2.3.1.3. El recubrimiento de hormigón no podrá ser menor que el requerido por ACI 318. Para determinar el recubrimiento mínimo de hormigón las losas y vigas se deberán clasificar como restringidas o no restringidas de acuerdo con la Tabla 2.2.

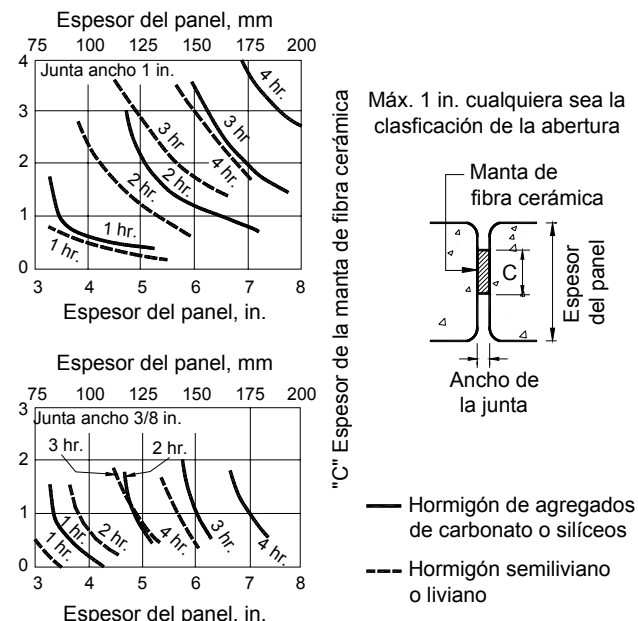


Figura 2.5 – Protección de las juntas con fibra cerámica

2.3.1.1 Recubrimiento de las armadura de las losas – Para los diferentes tipos de losas de entrepiso y cubierta, el espesor mínimo del recubrimiento de hormigón sobre la armadura de momento positivo (acero inferior) requerido para proporcionar una resistencia al fuego comprendida entre 1 y 4 horas deberá satisfacer los valores indicados en la Tabla 2.3. La Tabla 2.3 se aplica para los sistemas de vigas/losas hormigonadas in situ armadas en dos direcciones o para las losas prefabricadas macizas o de núcleo hueco cuyas superficies inferiores son planas.

2.3.1.2 Recubrimiento de la armadura de flexión no pretensada de las vigas – Para las vigas restringidas y no restringidas de diferentes anchos, el espesor mínimo del recubrimiento de hormigón sobre la armadura de momento positivo (acero inferior) requerido para proporcionar una resistencia al fuego comprendida entre 1 y 4 horas deberá satisfacer los valores indicados en la Tabla 2.4. Los valores especificados en la Tabla 2.4 para vigas no restringidas se aplican a vigas cuyos centros están separados una distancia mayor que 4 ft. En el caso de vigas y viguetas restringidas cuyos centros están separados una distancia menor o igual que 4 ft, estará permitido utilizar un recubrimiento de 3/4 in. cuando la resistencia al fuego requerida sea menor o igual que 4 horas. Para vigas de anchos intermedios el recubrimiento se deberá determinar por interpolación lineal.

El recubrimiento de hormigón de una barra individual es el mínimo espesor de hormigón entre la superficie de la barra y la superficie de la viga expuesta al fuego. Para las vigas en las cuales se utilizan múltiples barras, a los fines de la Tabla 2.4 el recubrimiento será el promedio del recubrimiento mínimo de las barras individuales. Para las barras en esquina (es decir, para aquellas barras que equidistan del fondo y el lateral de la viga) el recubrimiento mínimo utilizado en los cálculos será igual a la mitad del valor real. El recubrimiento real de cualquier barra individual deberá ser mayor o igual que la mitad del valor indicado en la Tabla 2.4 o $\frac{3}{4}$ in., cualquiera sea el valor que resulte mayor.

2.3.1.3 Recubrimiento de la armadura de flexión pretensada – Para las vigas restringidas y no restringida y unidades en forma de T de diferentes anchos y diferentes tipos de hormigón, el espesor mínimo del recubrimiento de hormigón sobre la armadura de momento positivo (acero inferior) requerido para proporcionar una resistencia al fuego comprendida entre 1 y 4 horas deberá satisfacer los valores indicados en las Tablas 2.5 y 2.6. Los valores especificados en la Tabla 2.5 se aplican para elementos cuyos anchos son mayores o iguales que 8 in. Los valores especificados en la Tabla 2.6 se aplican para elementos pretensados de cualquier ancho en los cuales el área de la sección transversal es mayor o igual que 40 in.² En caso de conflicto entre los valores, estará permitido utilizar el menor de los valores obtenidos de las Tablas 2.5 y 2.6. El recubrimiento a utilizar con los valores de las Tablas 2.5 o 2.6 será un promedio ponderado, calculado según los requisitos del Artículo 2.3.1.2, reemplazando el término "barra" por los términos "cable" o "tendón." El recubrimiento mínimo de la armadura de momento positivo no pretensada de una viga pretensada se deberá determinar de acuerdo con el Artículo 2.3.1.2.

2.4 – Métodos analíticos para calcular la resistencia al fuego estructural y el recubrimiento de hormigón de los elementos solicitados a flexión

En lugar de utilizar los métodos descriptos en la Sección 2.3, para determinar la resistencia al fuego y establecer si el recubrimiento de hormigón de los elementos solicitados a flexión es adecuado en base a las relaciones tiempo-temperatura correspondientes a las exposiciones al fuego indicadas en ASTM E 119, estará permitido utilizar los métodos descriptos en la presente sección. Los requisitos de la Sección 2.4 no toman en cuenta explícitamente los efectos de la restricción de la expansión inducida térmicamente; sin embargo, estará permitido utilizar análisis y procedimientos de diseño

que consideren los efectos de la redistribución de momentos y la restricción de las expansiones de origen térmico. En ningún caso se permitirán recubrimientos de hormigón de espesores menores que los requeridos por ACI 318.

2.4.1 Losas y vigas armadas en una dirección, simplemente apoyadas y no restringidas – En base al criterio límite estructural, la resistencia al fuego de un elemento solicitado a flexión simplemente apoyado, no restringido, se deberá determinar mediante:

$$M_n \geq M_{n\theta} \geq M$$

donde:

$M_{n\theta}$ = resistencia nominal a la flexión a temperaturas elevadas

M = momento no mayorado debido a la totalidad de la carga de servicio que actúa sobre el elemento, es decir ($wl^2/8$) para una viga o losa uniformemente cargada

M_n = resistencia nominal a la flexión del elemento a temperatura ambiente, calculada de acuerdo con ACI 318.

Suponer que la totalidad del momento no mayorado debido a las cargas de servicio, M , es constante durante todo el período de resistencia al fuego.

No estará permitido redistribuir los momentos ni incluir la influencia de los efectos de la restricción de los efectos térmicos al determinar la resistencia al fuego de los elementos clasificados tanto como simplemente apoyados como no restringidos.

2.4.1.1 Procedimiento de cálculo para losas – Para determinar la resistencia al fuego estructural de una losa de hormigón o el recubrimiento de hormigón, u , hasta el centro de la armadura utilizar la Figura 2.6.

2.4.1.2 Procedimiento de cálculo para vigas simplemente apoyadas – Para las vigas se aplican los mismos procedimientos indicados en el Artículo 2.4.1.1, con la siguiente diferencia: En el caso de vigas con barras en esquina o tendones en esquina, en lugar del valor promedio de u se deberá utilizar un " u efectivo," u_{ef} . Los valores de u para las barras o tendones en esquina usados en el cálculo de u_{ef} deberán ser iguales a $\frac{1}{2}$ del valor de su u real. La Figura 2.6 se deberá utilizar en combinación con el valor de u_{ef} calculado.

2.4.2 Vigas y losas continuas – A los fines del método descripto en la presente sección, un elemento continuo se define como un elemento solicitado a flexión

que se extiende sobre uno o más apoyos o construido integralmente con uno o más apoyos de modo tal que durante el período de resistencia al fuego puede haber redistribución de momentos.

En base al criterio límite estructural, la resistencia al fuego de los elementos continuos solicitados a flexión se determinará mediante:

$$M_{n\theta}^+ = M_{xl}$$

es decir, cuando $M_{n\theta}^+$ se reduce a M_{xl} , el valor máximo del momento positivo redistribuido a una distancia x_l . Para losas y vigas continuas sobre un apoyo, esta distancia se mide a partir del apoyo exterior. Si hay continuidad sobre dos apoyos la distancia x_l se mide a partir de cualquiera de los apoyos. [Ver Figuras 2.7 (a) y 2.7 (b).]

$M_{n\theta}^+$ se deberá calcular como se especifica en el Artículo 2.4.2.2(a). Los valores de $M_{n\theta}^+$ requerido y disponible se deberán determinar como se especifica en los Artículos 2.4.2.2(b) y 2.4.2.2(d).

2.4.2.1 Detalles de las armaduras – Los elementos deberán diseñar de manera de asegurar que el diseño sea controlado por la flexión. La armadura de momento negativo deberá tener longitud suficiente para acomodar el momento total redistribuido y el cambio de ubicación de los puntos de inflexión. Las longitudes requeridas de la armadura de momento negativo se deberán determinar suponiendo que el tramo considerado está sujeto a su carga mínima probable, y que el tramo adyacente o los tramos adyacentes están cargados con la totalidad de sus cargas de servicio no mayoradas. Los detalles de las armaduras deberán satisfacer los requisitos de la Sección 7.13 y el Capítulo 12 de ACI 318, además de los requisitos del Artículo 2.4.2.1(b) de la presente norma.

2.4.2.1 (a) Para evitar la falla por compresión en la región de momento negativo, el índice de armadura de tracción para momento negativo, ω_θ , deberá ser menor o igual que 0,30. Al calcular ω_θ se deberá despreciar el hormigón a temperaturas superiores a 1400°F. En este caso, en lugar de d se deberá utilizar un d_{ef} reducido, siendo d_{ef} igual a la distancia entre el baricentro de la armadura de tracción y la fibra comprimida extrema donde la temperatura no supera los 1400°F.

Donde:

$$\omega_\theta = \rho f_{y\theta} / f_{c\theta}' = A_s f_{y\theta} / b d_{ef} f_{c\theta}' \text{ para armadura no pretensada, y}$$

$$\omega_{p\theta} = A_{ps} f_{ps\theta} / b d_{ef} f_{c\theta}' \text{ para armadura pretensada.}$$

2.4.2.1 (b) Si el análisis de 2.4.2.1 indica que los momentos negativos se extienden en la totalidad de la longitud del tramo, no menos del 20 por ciento de la armadura de momento negativo del tramo se deberá prolongar en todo el tramo para acomodar la redistribución del momento negativo y el cambio de ubicación de los puntos de inflexión.

2.4.2.2 Procedimiento de cálculo para losas continuas – Los procedimientos indicados en 2.4.2.2(a) se deberán utilizar para determinar la resistencia al fuego estructural y el recubrimiento requerido para el caso de continuidad sobre un apoyo. Para el caso de continuidad sobre dos apoyos se deberán utilizar los procedimientos indicados en 2.4.2.2(c).

2.4.2.2 (a) Determinación de la resistencia al fuego estructural o la cantidad de armadura de acero para el caso de continuidad sobre un apoyo – Se deberán obtener las temperaturas del hormigón y el acero en la región de máximo momento positivo utilizando las Figuras 2.8(a) a (c) en base al tipo de agregados del hormigón y la resistencia al fuego requerida, y suponiendo una exposición al fuego correspondiente al ensayo de incendio de la norma ASTM E 119.

Las capacidades de momento positivo se calculan como:

$$M_{n\theta}^+ = A_s f_{y\theta} (d - a_\theta / 2) \text{ para armadura no pretensada, y}$$

$$M_{n\theta}^+ = A_{ps} f_{ps\theta} (d - a_\theta / 2) \text{ para armadura pretensada}$$

donde:

$f_{y\theta}, f_{ps\theta}$ = resistencias reducidas de la armadura a temperaturas elevadas, determinadas de la Figura 2.9

$$a_\theta = A_s f_{y\theta} / 0,85 f_{c\theta}' b \text{ para barras de armadura, y}$$

$$a_\theta = A_{ps} f_{ps\theta} / 0,85 f_{c\theta}' b \text{ para acero de pretensado}$$

Tabla 2.2 – Clasificación de las construcciones: Construcciones restringidas y no restringidas

No Restringidas	
Tabiques portantes	Tramos simples y tramos finales simplemente apoyados de vanos múltiples tales como losas de hormigón o unidades prefabricadas ^A
Restringidas	
Tabiques portantes	Tramos interiores de vanos múltiples: 1. Sistemas de losas hormigonadas in situ 2. Hormigón prefabricado cuando la potencial expansión térmica es resistida por construcciones adyacentes ^B
Pórticos de hormigón	1. Vigas firmemente aseguradas a los elementos del pórtico 2. Sistemas de entrepiso o cubierta hormigonados in situ (como por ejemplo sistemas de vigas/losas, losas planas y losas nervuradas en una o dos direcciones) cuando el sistema de entrepiso o cubierta se hormigona junto con los elementos del pórtico 3. Tramos interiores y exteriores de sistemas prefabricados en los cuales las juntas se hormigonan in situ proporcionando restricción equivalente a la de la condición 1, pórticos de hormigón 4. Sistemas de entrepiso o cubierta prefabricados en los cuales los elementos estructurales están asegurados a dichos sistemas y la potencial expansión térmica de los sistemas de entrepiso o cubierta es resistida por el sistema aporticado o por los entrepisos o cubiertas adyacentes ^C

A. Estará permitido considerar que los sistemas de entrepiso y cubierta están restringidos si están arriostrados a tabiques con o sin vigas de arriostramiento, siempre que los tabiques estén diseñados y detallados para resistir el empuje térmico del sistema de entrepiso o cubierta.

B. Por ejemplo, se considera que existe resistencia a la potencial expansión térmica cuando:

1. Se utiliza una sobrecapa continua de hormigón estructural.
2. El espacio entre los extremos de las unidades prefabricadas o entre los extremos de las unidades y la cara vertical de los apoyos se rellena con hormigón o mortero, o
3. El espacio entre los extremos de las unidades prefabricadas y la cara vertical de los apoyos, o entre los extremos de unidades de losas macizas o de núcleo hueco, es menor o igual que 0,25 por ciento de la longitud en el caso de elementos de hormigón de peso normal o 0,1 por ciento de la longitud en el caso de elementos de hormigón liviano estructural.

Tabla 2.3 – Mínimo recubrimiento para losas de entrepiso y cubierta de hormigón

Tipo de Agregados	Recubrimiento ^{A,B} para la resistencia al fuego correspondiente, in.					
	Restringida		No restringida			
	4 o menos	1 hr	1½ hr	2 hr	3 hr	4 hr
No pretensada						
Silíceos	3/4	3/4	3/4	1	1-1/4	1 5/8
Carbonatos	3/4	3/4	3/4	3/4	1-1/4	1-1/4
Semilivianos	3/4	3/4	3/4	3/4	1-1/4	1-1/4
Livianos	3/4	3/4	3/4	3/4	1-1/4	1-1/4
Pretensada						
Silíceos	3/4	1-1/8	1-1/2	1-3/4	2-3/8	2-3/4
Carbonatos	3/4	1	1-3/8	1-3/8	2-1/8	2-1/4
Semilivianos	3/4	1	1-3/8	1-1/2	2	2-1/4
Livianos	3/4	1	1-3/8	1-1/2	2	2-1/4

A. También deberán satisfacer los requisitos de recubrimiento mínimo establecidos en el Artículo 2.3.1.

B. Medido desde la superficie del hormigón hasta la superficie de la armadura longitudinal.

Tabla 2.4 – Mínimo recubrimiento para vigas no pretensadas

Restricción	Ancho de la viga, in	Recubrimiento para la resistencia al fuego correspondiente				
		1 hr	1½ hr	2 hr	3 hr	4 hr
Restringida	5	3/4	3/4	3/4	1	1-1/4
	7	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4
	≥ 10	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4
No restringida	5	3/4	1	1-1/4	NP ^A	NP
	7	3/4	3/4	3/4	1-3/4	3
	≥ 10	3/4	3/4	3/4	1	1-3/4

A. No permitido.

Tabla 2.5 – Mínimo recubrimiento para vigas de hormigón pretensado de ancho mayor o igual que 8 in.

Restricción	Tipo de agregados	Ancho de la viga, in.	Espesor del recubrimiento para la correspondiente resistencia al fuego, in.				
			1 hr	1½ hr	2 hr	3 hr	4 hr
Restringida ^A	Carbonatos o silíceos	8	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-3/4	2-1/2
		≥ 12	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-7/8
	Semilivianos	8	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-1/2	2
		≥ 12	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-5/8
No restringida	Carbonatos o silíceos	8	1-1/2	1-3/4	2-1/2	5 ^B	NP ^C
		≥ 12	1-1/2	1-1/2	1-7/8	2-1/2	3
	Semilivianos	8	1-1/2	1-1/2	2	3-1/4	NP
		≥ 12	1-1/2	1-1/2	1-5/8	2	2-1/2

A. Los valores tabulados para vigas restringidas se aplican a las vigas cuya separación entre centros es mayor que 4 ft.

B. No práctico para vigas de 8 in. de ancho, pero se incluye para permitir la interpolación.

C. No permitido.

Tabla 2.6 – Recubrimiento mínimo para vigas de hormigón pretensado de todos los anchos

Restricción	Tipo de agregados	Área, ^A in. ²	Espesor del recubrimiento para la correspondiente resistencia al fuego, in.				
			1 hr	1½ hr	2 hr	3 hr	4 hr
Restringida	Todos	40 ≤ A ≤ 150	1-1/2	1-1/2	2	2-1/2	NP ^C
	Carbonatos o Silíceos	150 < A ≤ 300	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-3/4	2-1/2
		300 < A	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-1/2	2
	Livianos o Semilivianos	150 < A	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-1/2	2
No Restringida	Todos	40 ≤ A ≤ 150	2	2-1/2	NP	NP	NP
	Carbonatos o Silíceos	150 < A ≤ 300	1-1/2	1-3/4	2-1/2	NP	NP
		300 < A	1-1/2	1-1/2	2	3 ^B	4 ^B
	Livianos o Semilivianos	150 < A	1-1/2	1-1/2	2	3 ^B	4 ^B

A. Al calcular el área de la sección transversal de una sección T, el área del ala se deberá sumar al área del alma, y el ancho total del ala, tal como se lo utiliza, no deberá ser mayor que tres veces el ancho promedio del alma.

B. Se deberán tomar recaudos adecuados contra el descantillado mediante zunchos o estribos en U cuya separación no sea mayor que la profundidad del elemento y que tengan un recubrimiento de 1 in.

C. No permitido.

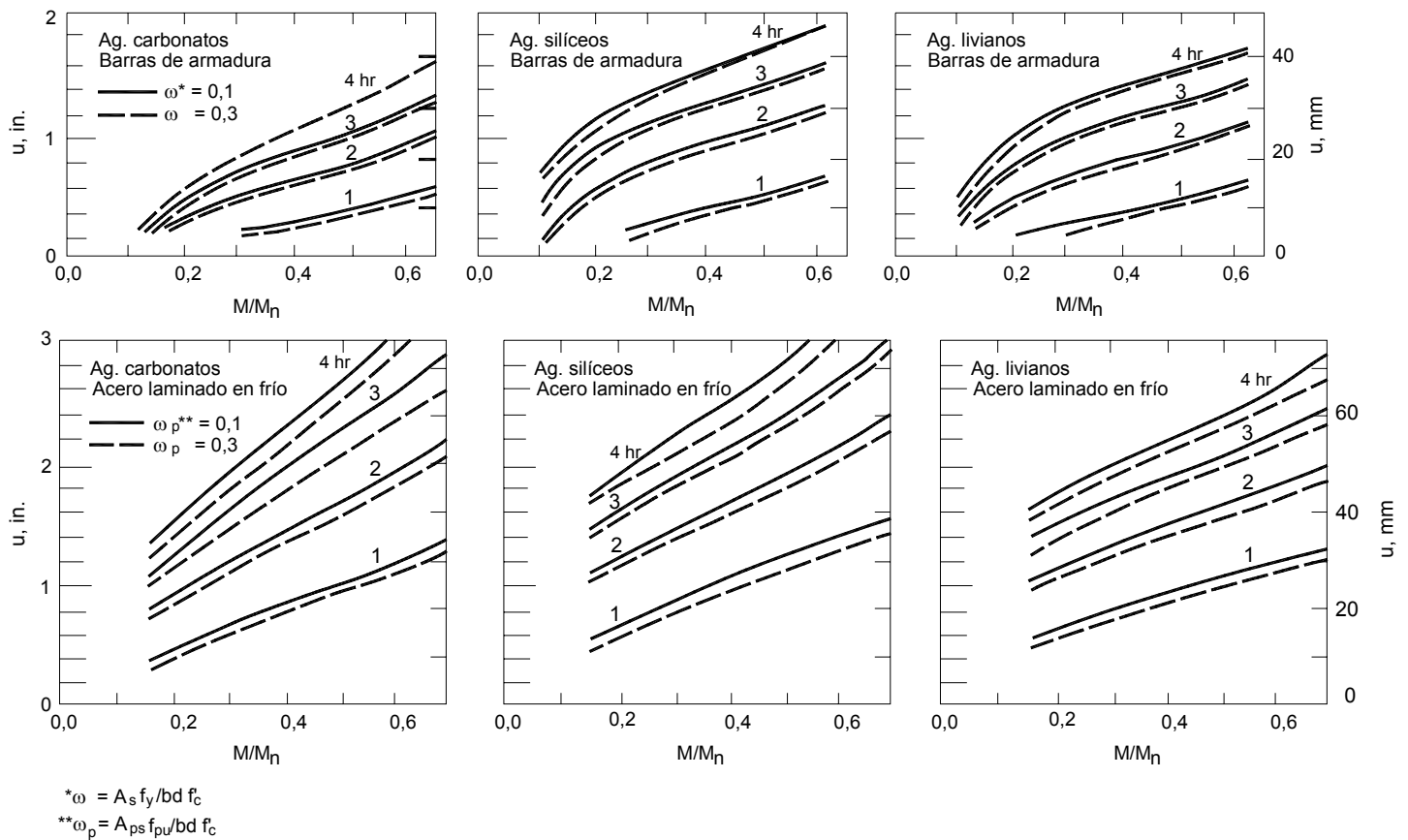


Figura 2.6 – Resistencia al fuego de las losas de hormigón, considerando la influencia del tipo de agregados, el tipo de acero de las armaduras, la intensidad del momento y u , según se define en el artículo 1.4

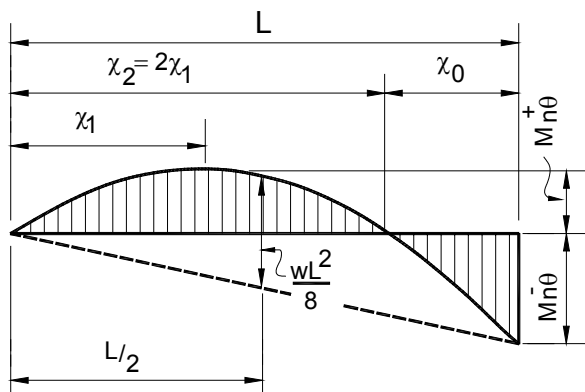


Figura 2.7(a) – Diagrama de momento aplicado redistribuido correspondiente a la condición de falla para un elemento continuo sobre un apoyo, uniformemente cargado, solicitado a flexión

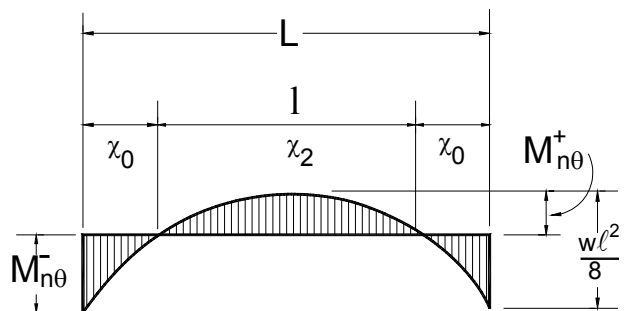


Figura 2.7(b) – Diagrama de momento aplicado redistribuido correspondiente a la condición de falla para un elemento simétrico, continuo sobre ambos apoyos, uniformemente cargado, solicitado a flexión

$f_{c\theta}$ = resistencia a la compresión reducida del hormigón en la zona comprimida por flexión correspondiente a temperaturas elevadas y según el tipo de agregados del hormigón, determinada de la Figura 2.10

d = distancia desde el baricentro de la armadura de tracción hasta la fibra comprimida extrema

La cuantía de armadura, ρ , el índice de armadura ω correspondiente a la armadura no pretensada, y el índice de armadura ω_p correspondiente la armadura pretensada no deberán ser mayores que los valores permitidos por ACI 318.

siendo:

$$\rho = A_s / bd$$

$$\omega = \rho f_y / f'_c \text{ para armadura no pretensada, y}$$

$$\omega_p = A_{ps} f_{ps} / b d f'_c \text{ para armadura pretensada.}$$

Alternativamente, también estará permitido utilizar la Figura 2.6 para determinar la capacidad de momento disponible, $M_{n\theta}^+$, como una fracción de M_n^+ .

2.4.2.2 (b) Diseño de la armadura de momento negativo – Determinar la armadura de momento negativo requerida y la ubicación de un punto de inflexión para calcular su longitud de desarrollo mediante los siguientes procedimientos

Calcular $\omega_\theta \leq 0,30$ como en 2.4.2.1(a) y aumentar el acero de compresión o alterar de otro modo la sección en caso de ser necesario.

Para una carga uniformemente distribuida, w , [Ver Figura 2.7(a)]

$$M_{x1} = (w l x_1) / 2 - (w x_1^2) / 2 - (M_{n\theta}^- x_1) / l = M_{n\theta}^+$$

$$M_{n\theta}^- = (w l^2) / 2 \pm w l^2 (2 M_{n\theta}^+ / w l^2)^{1/2}$$

$$x_1 = l / 2 - M_{n\theta}^- / w l$$

$$x_0 = 2 M_{n\theta}^- / w l$$

donde x_0 es igual a la distancia entre el punto de inflexión después de la redistribución del momento y la ubicación del primer apoyo interior. La distancia x_0 llega a un máximo cuando se aplica la mínima carga de servicio uniforme anticipada, w .

La capacidad de momento negativo disponible se deberá calcular como:

$$M_{n\theta} = A_s f_{y\theta} (d_{ef} - a_\theta / 2)$$

siendo d_{ef} como se definió en el Artículo 2.4.2.1(a).

2.4.2.2 (c) – Determinación de la resistencia al fuego estructural o la cantidad de armadura de acero para el caso de continuidad sobre dos apoyos – Para la armadura de momento positivo se aplicarán los mismos procedimientos utilizados para determinar la resistencia al fuego estructural y recubrimiento requerido especificados en el Artículo 2.4.2.2 (a) para losas continuas sobre un solo apoyo.

2.4.2.2 (d) Diseño de la armadura de momento negativo – Determinar la armadura de momento negativo requerida y la ubicación de los puntos de inflexión para calcular su longitud de desarrollo mediante los siguientes procedimientos:

Calcular $\omega_\theta \leq 0,30$ como en 2.4.2.1(a) y aumentar el acero de compresión o alterar de otro modo la sección en caso de ser necesario.

Para una carga uniformemente distribuida, w ,

$$M_{x1} = (w x_2^2) / 8 = M_{n\theta}^+ \text{ y}$$

$$x_2 = (8 M_{n\theta}^+ / w)^{1/2}$$

donde:

x_2 = distancia entre los puntos de inflexión del tramo en cuestión

$$M_{n\theta}^- = (w l^2) / 8 - M_{n\theta}^+$$

$$x_0 = l - x_2$$

La distancia x_0 llega a un máximo cuando se aplica la mínima carga de servicio uniforme anticipada, w .

2.4.2.3 Procedimiento de cálculo para vigas continuas – El procedimiento de cálculo será igual que el especificado en el Artículo 2.4.2.2(a) para losas continuas sobre un apoyo o en el Artículo 2.4.2.2(c) para losas continuas sobre dos apoyos, pero considerando las siguientes diferencias:

Para determinar las temperaturas del hormigón y el acero se deberán utilizar las Figuras 2.11(a) a 2.11(m) como se describe en el Artículo 2.4.2.2(a).

A los fines de calcular un valor u promedio, se deberá utilizar un " u efectivo" que considere la distancia de las barras o tendones en esquina a las superficies exteriores de la viga como $1/2$ de la distancia real.

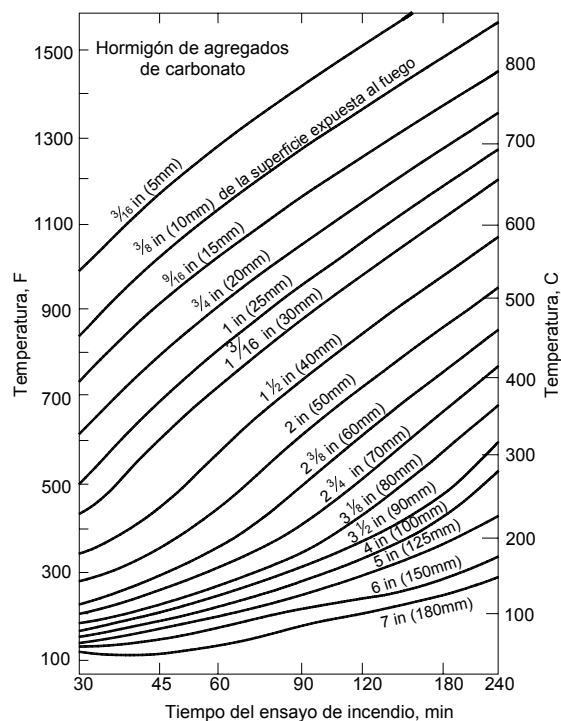


Figura 2.8(a) – Temperaturas dentro de las losas durante los ensayos de incendio según ASTM E 119 – Hormigón de agregados de carbonato

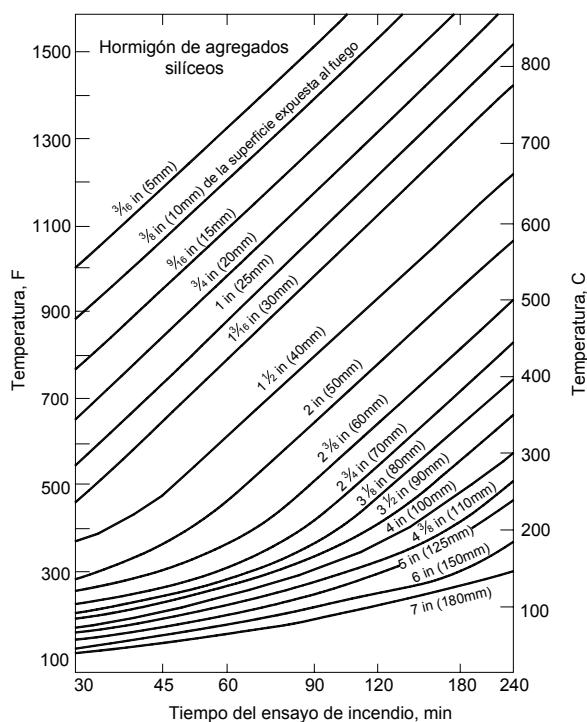


Figura 2.8(b) – Temperaturas dentro de las losas durante los ensayos de incendio según ASTM E 119 – Hormigón de agregados silíceos

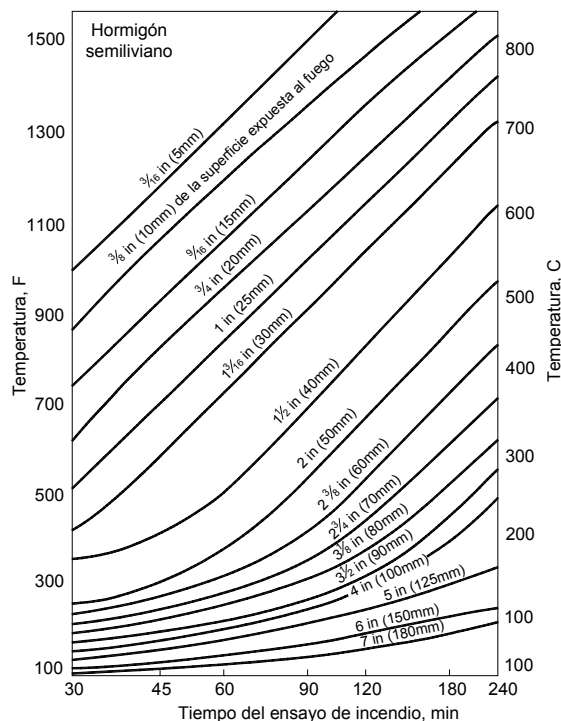


Figura 2.8(c) – Temperaturas dentro de las losas durante los ensayos de incendio según ASTM E 119 – Hormigón semiliviano

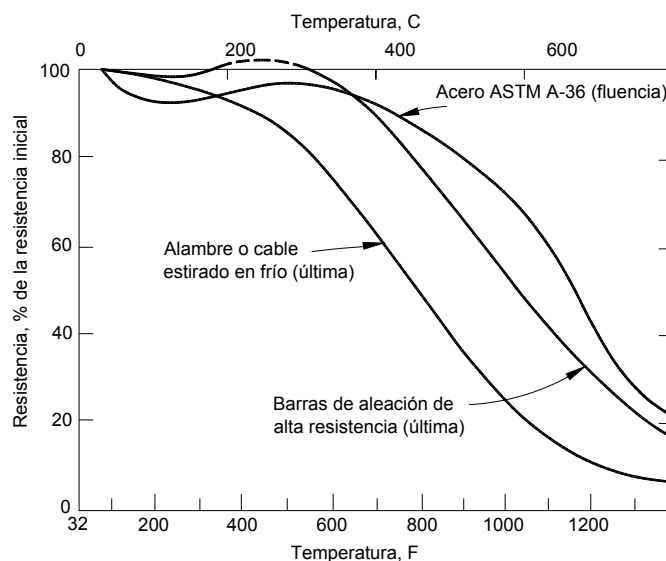


Figura 2.9 – Resistencia de las barras y cables utilizados como armadura de flexión a temperaturas elevadas

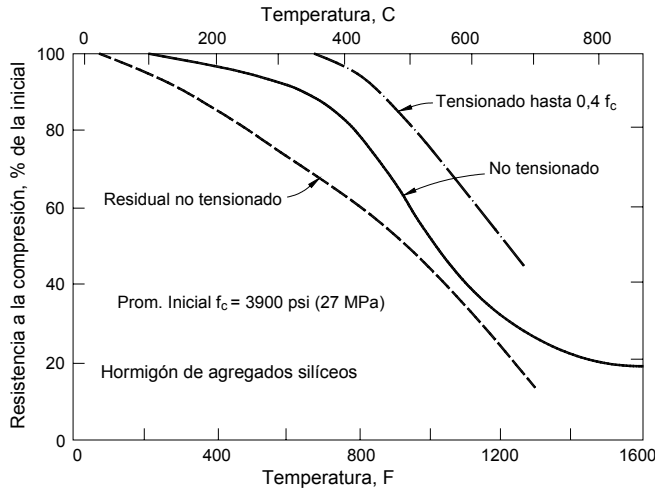


Figura 2.10(a) – Resistencia a la compresión del hormigón de agregados silíceos a temperaturas elevadas y luego de enfriado

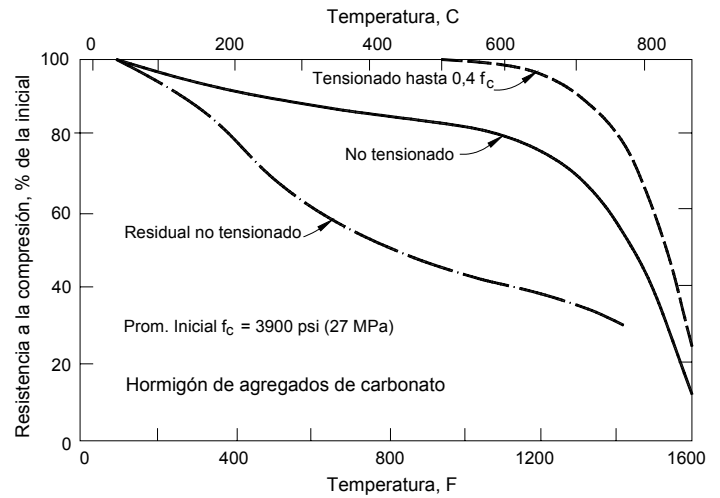


Figura 2.10(b) – Resistencia a la compresión del hormigón de agregados de carbonato a temperaturas elevadas y luego de enfriado

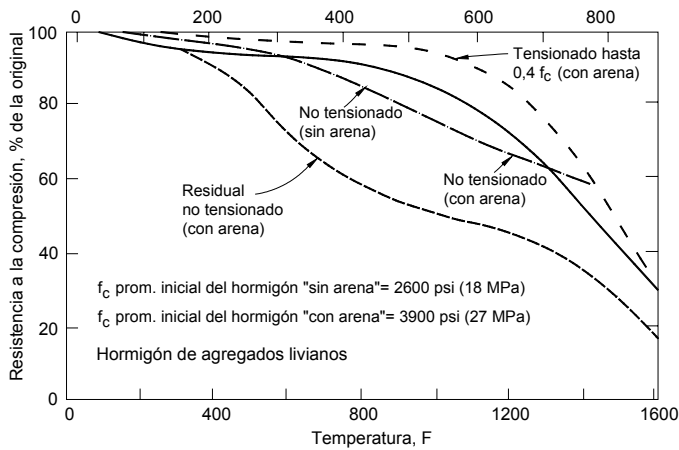


Figura 2.10(c) – Resistencia a la compresión del hormigón semiliviano a temperaturas elevadas y luego de enfriado

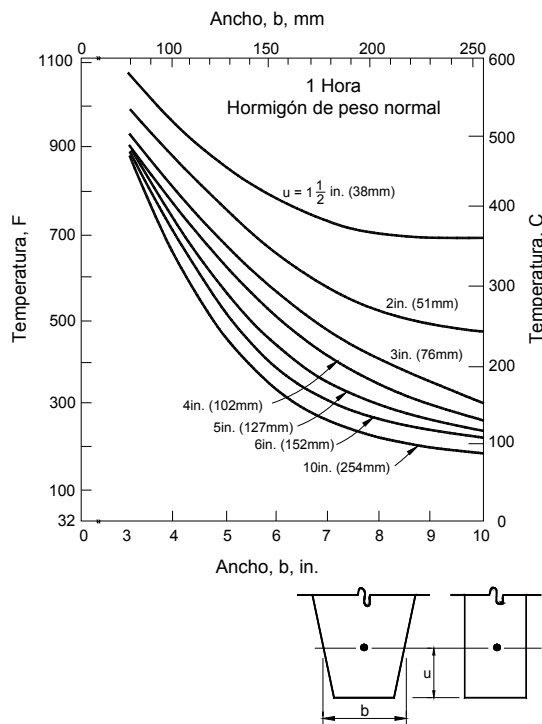


Figura 2.11(a) – Temperaturas en las unidades de hormigón de peso normal rectangulares y trapezoidales para una exposición al fuego de 1 hora

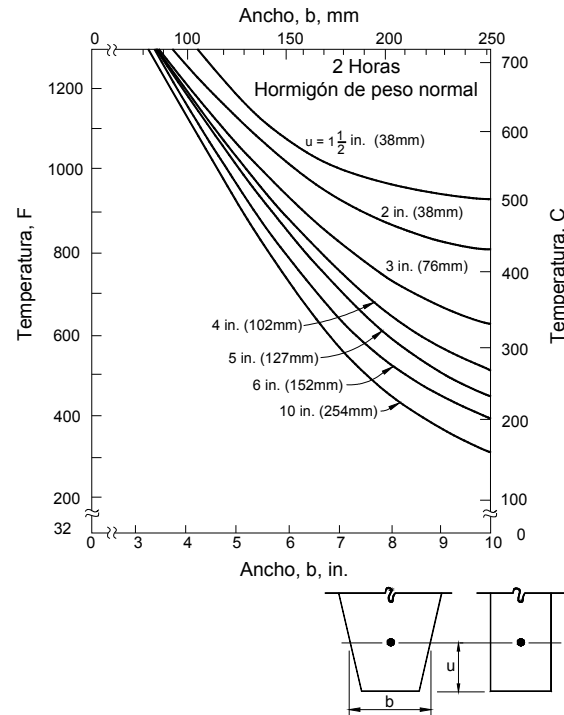


Figura 2.11(b) – Temperaturas en las unidades de hormigón de peso normal rectangulares y trapezoidales para una exposición al fuego de 2 horas

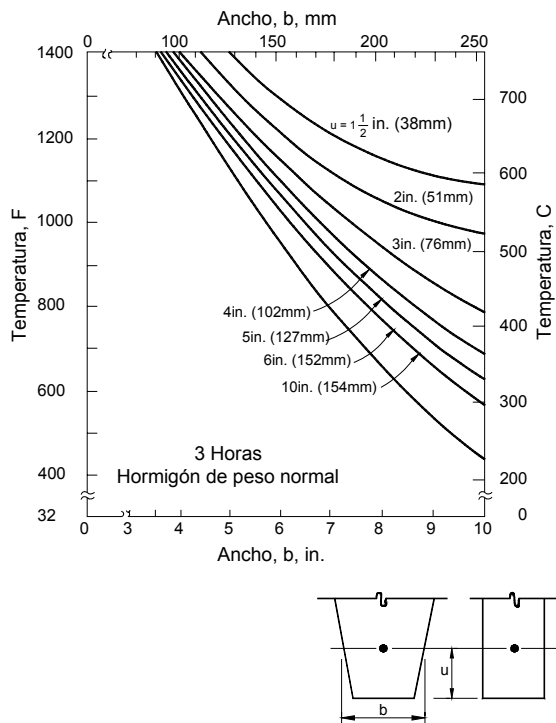


Figura 2.11(c) – Temperaturas en las unidades de hormigón de peso normal rectangulares y trapezoidales para una exposición al fuego de 3 horas

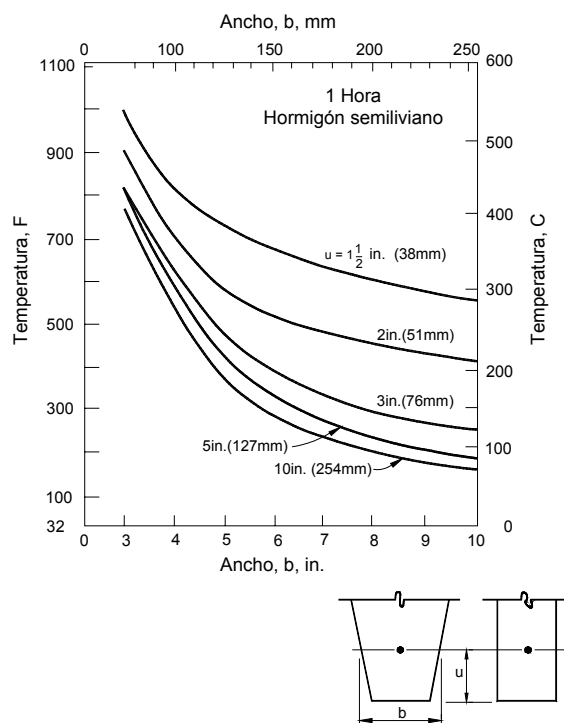


Figura 2.11(d) – Temperaturas en las unidades de hormigón semiliviano rectangulares y trapezoidales para una exposición al fuego de 1 hora

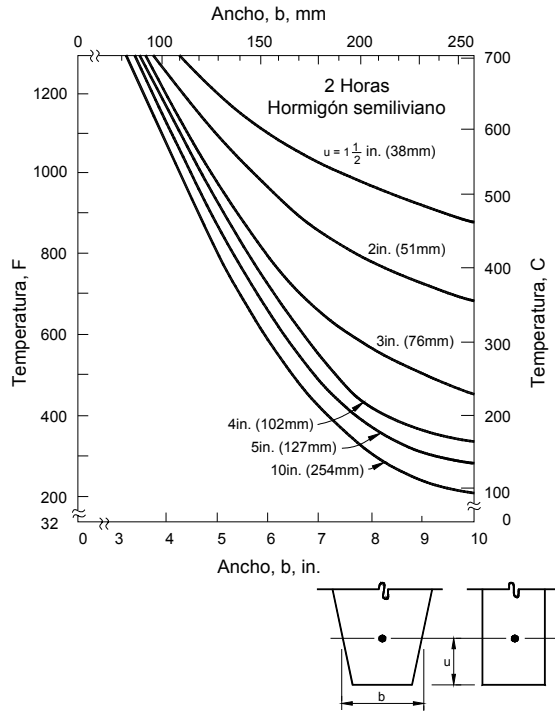


Figura 2.11(e) – Temperaturas en las unidades de hormigón semiliviano rectangulares y trapezoidales para una exposición al fuego de 2 horas

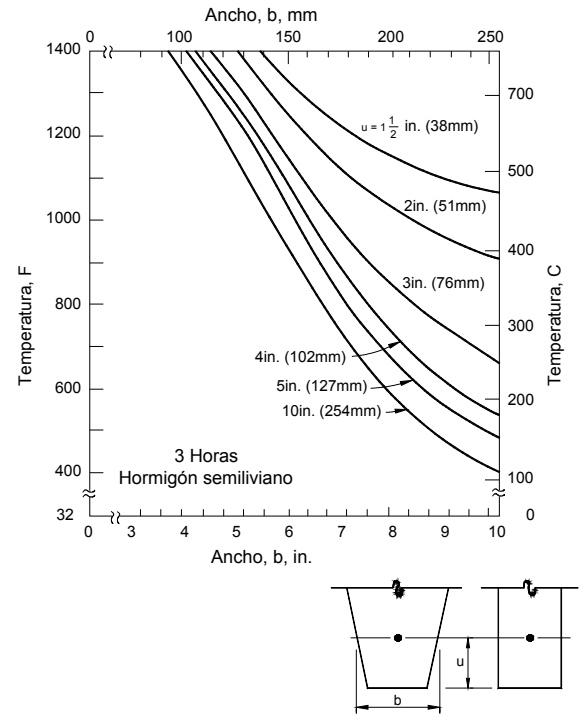


Figura 2.11(f) – Temperaturas en las unidades de hormigón semiliviano rectangulares y trapezoidales para una exposición al fuego de 3 horas

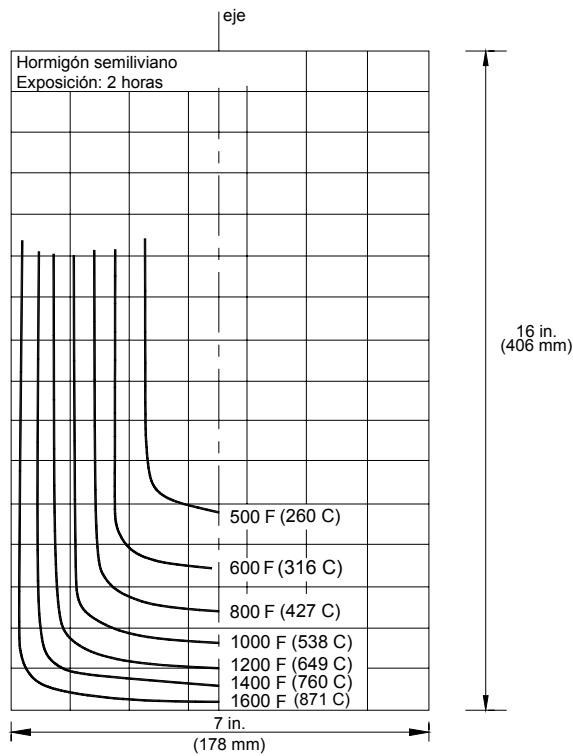


Figura 2.11(g) – Distribución de la temperatura medida en un mampuesto rectangular de hormigón semiliviano para una exposición al fuego de 2 horas

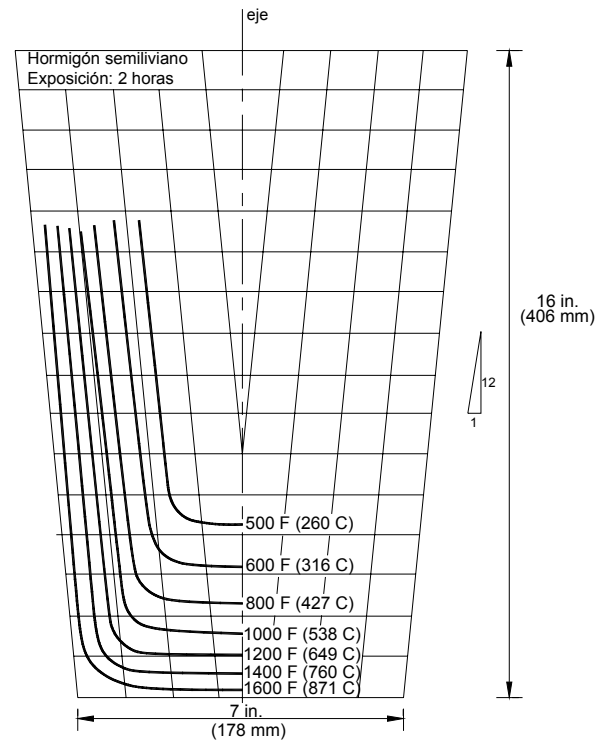


Figura 2.11(h) – Distribución de la temperatura medida en un mampuesto trapezoidal de hormigón semiliviano para una exposición al fuego de 2 horas

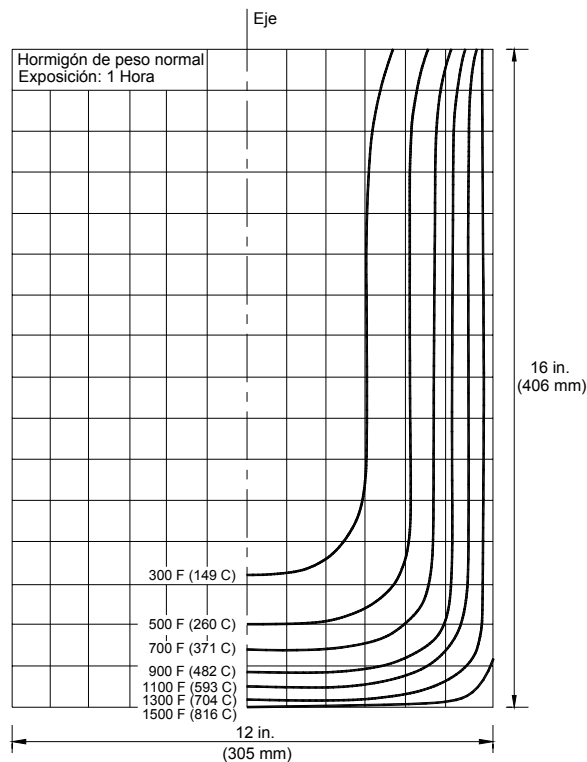


Figura 2.11(i) – Distribución de la temperatura en un mampuesto rectangular de hormigón de peso normal para una exposición al fuego de 1 hora

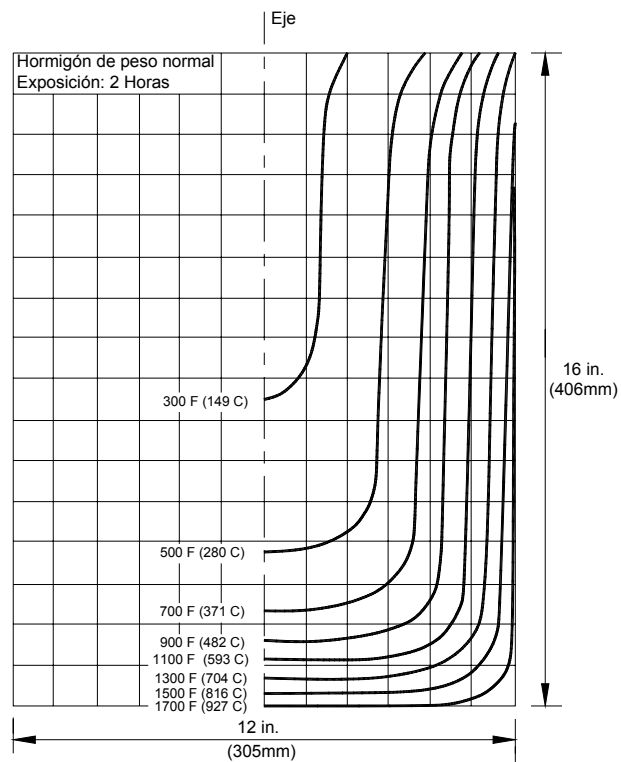


Figura 2.11(j) – Distribución de la temperatura en un mampuesto rectangular de hormigón de peso normal para una exposición al fuego de 2 horas

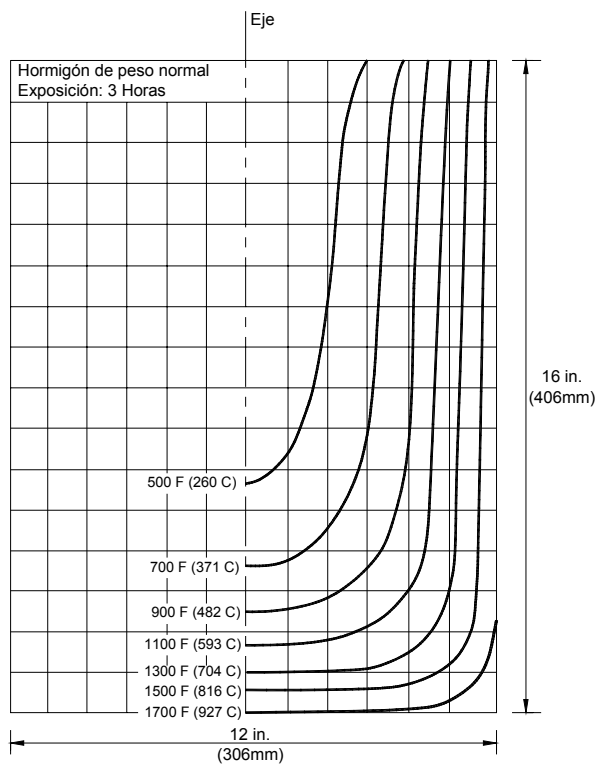


Figura 2.11(k) – Distribución de la temperatura en un mampuesto rectangular de hormigón de peso normal para una exposición al fuego de 3 horas

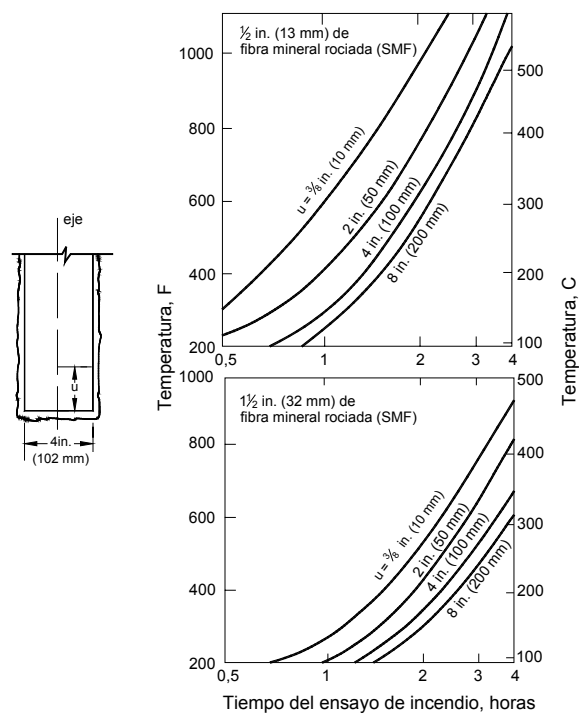


Figura 2.11(l) – Temperatura en los ejes verticales de unidades rectangulares de 4 in. (102 mm) de ancho recubiertas con fibra mineral rociada para diferentes exposiciones al fuego

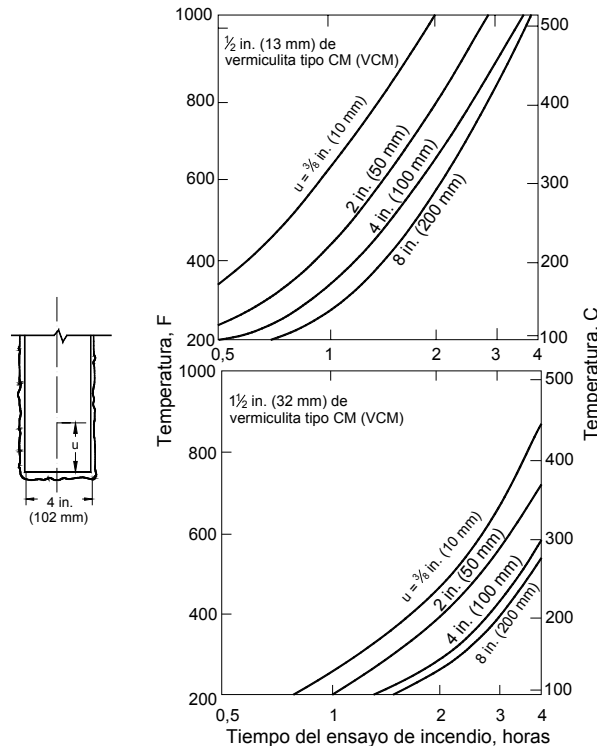


Figura 2.11(m) – Temperatura en los ejes verticales de unidades rectangulares de 4 in. (102 mm) de ancho recubiertas con vermiculita Tipo CM para diferentes exposiciones al fuego

2.5 – Columnas de hormigón armado

La menor dimensión de las columnas de hormigón armado de diferentes tipos de hormigón, para una resistencia al fuego de entre 1 y 4 horas, deberá satisfacer los valores indicados en las Tablas 2.7 y 2.8

2.5.1 Recubrimiento mínimo de las armaduras – El mínimo espesor del recubrimiento de hormigón sobre la armadura longitudinal principal de las columnas, independientemente del tipo de agregados utilizados en el hormigón, no deberá ser menor que 1 in. por el número de horas de resistencia al fuego requeridas ni que 2 in., cualquiera sea el valor que resulte menor.

Tabla 2.7 – Mínima dimensión de las columnas de hormigón

Tipo de agregados	Mínima dimensión de la columna (in.) para una resistencia al fuego de:				
	1 hr	1½ hr	2 hr	3 hr	4 hr
Carbonatos	8	9	10	11	12
Silíceos	8	9	10	12	14
Semilivianos	8	8½	9	10½	12

Tabla 2.8 – Mínimo tamaño de las columnas de hormigón sujetas a condiciones de exposición al fuego en dos caras paralelas

Tipo de agregados	Mínima dimensión de la columna (in.) ^A para una resistencia al fuego de:				
	1 hr	1½ hr	2 hr	3 hr	4 hr
Carbonatos	8	8	8	8	10
Silíceos	8	8	8	8	10
Semilivianos	8	8	8	8	10

A. Estas dimensiones mínimas son aceptables para columnas rectangulares sujetas a condiciones de exposición al fuego en 3 o 4 caras siempre que un par de caras paralelas de la columna tenga al menos 36 in. de longitud.

CAPÍTULO 3 - MAMPOSTERÍA DE HORMIGÓN

3.1 – Disposiciones generales

La resistencia al fuego de las construcciones de mampostería de hormigón se deberá determinar de acuerdo con los requisitos del presente capítulo. El mínimo espesor equivalente de las construcciones de mampostería de hormigón requerido para proporcionar una resistencia al fuego de 1 a 4 horas deberá satisfacer los valores indicados en las Tablas 3.1, 3.2 o 3.3, según corresponda de acuerdo con el tipo de construcción considerada. Excepto cuando los requisitos de este capítulo sean más restrictivos, el diseño, la construcción y los materiales utilizados en la mampostería de hormigón, incluyendo los mampuestos, el mortero, los materiales utilizados en las juntas de control y las armaduras, deberán satisfacer lo establecido por ACI 530 / ASCE 5 / TMS 402. Los mampuestos de hormigón deberán satisfacer las normas ASTM C55, C 73, C 09 o C 129.

3.2 – Espesor equivalente

El espesor equivalente de las construcciones de mampostería de hormigón se deberá determinar de acuerdo con los requisitos de la presente sección.

El espesor equivalente de un elemento de mampostería de hormigón, T_{ea} , se deberá calcular como la sumatoria del espesor equivalente de los mampuestos, T_e , determinado como se indica en los Artículos 3.2.1, 3.2.2 o 3.2.3 más el espesor equivalente de los acabados, T_{ef} , determinado de acuerdo con el Capítulo 5.

$$T_{ea} = T_e + T_{ef} \quad (3-1)$$

$$T_e = V_n / LH = \text{espesor equivalente del mampuesto, in.} \quad (3-2)$$

Tabla 3.1 – Resistencia al fuego de las construcciones de mampostería de hormigón

Tipo de agregados	Mínimo espesor equivalente requerido (in.) ^{A,B} para una resistencia al fuego de:				
	1 hr	1½ hr	2 hr	3 hr	4 hr
Grava calcárea o silícea (salvo caliza)	2,8	3,6	4,2	5,3	6,2
Caliza, cenizas o escoria enfriada al aire	2,7	3,4	4,0	5,0	5,9
Arcilla expandida, esquisto expandido o pizarra expandida	2,6	3,3	3,6	4,4	5,1
Escoria expandida o piedra pómez	2,1	2,7	3,2	4,0	4,7

- A. Para las resistencias al fuego comprendidas entre las resistencias listadas se deberá interpolar linealmente en base al valor del espesor equivalente de la construcción de mampostería de hormigón.
- B. Los mínimos espesores equivalentes requeridos para las resistencias al fuego de las construcciones realizadas con una combinación de agregados se deberán determinar por interpolación lineal en base al porcentaje en volumen de cada uno de los agregados utilizados.

Tabla 3.2 – Columnas de mampostería reforzada

Resistencia al fuego, hr	1	3	3	4
Mínima dimensión de la columna, in.	8	10	12	14

Tabla 3.3 – Dinteles de mampostería reforzada

Ancho nominal del dintel, in.	Mínimo recubrimiento de la armadura longitudinal para una resistencia al fuego de:			
	1 hr	2 hr	3 hr	4 hr
6	1½	2	NP ^A	NP
8	1½	1½	1¾	3
10 o más	1½	1½	1½	1¾

A. No permitido.

donde:

V_n = volumen neto del mampuesto, in.³

L = longitud especificada del mampuesto, in.

H = altura especificada del mampuesto, in.

3.2.1 Construcciones rellenas o parcialmente rellenas con mortero – T_e deberá ser el valor obtenido para el mampuesto determinado de acuerdo con ASTM C 140.

3.2.2 Construcciones con relleno de mortero macizo – El espesor equivalente, T_e , de los mampuestos de

hormigón con relleno macizo es igual al espesor real del mampuesto.

3.2.3 Espacios de aire y celdas rellenas con material suelto – El espesor equivalente de los mampuestos de hormigón huecos completamente llenados con material suelto será igual al espesor real del mampuesto si los materiales de relleno sueltos son: arena, gravilla, roca triturada o escoria que satisface los requisitos de ASTM C 33; piedra pómez, escoria, esquisto expandido, arcilla expandida, pizarra expandida, escoria expandida, ceniza fina expandida o cenizas que satisfacen los requisitos de ASTM C 331; o perlita o vermiculita que satisface los requisitos de ASTM C 549 y C 516, respectivamente.

3.3 – Tabiques de mampostería de hormigón

El mínimo espesor equivalente de los diferentes tipos de tabiques de mampostería de hormigón simple o reforzada, portantes o no portantes, requerido para proporcionar una resistencia al fuego de 1 a 4 horas deberá satisfacer lo especificado en la Tabla 3.1.

3.3.1 Tabiques simples – La resistencia al fuego de los tabiques de mampostería de hormigón consistentes en un solo panel deberá satisfacer lo especificado en la Tabla 3.1.

3.3.2 Tabiques compuestos – La resistencia al fuego de los tabiques formados por múltiples paneles (Figura 3.1) se deberá basar en la resistencia de cada panel individual y el espacio de aire comprendidos entre ellos de acuerdo con la Ecuación (2-4).

3.3.3 Juntas de expansión o contracción – Las juntas de expansión o contracción de las construcciones con tabiques de mampostería resistentes al fuego en las cuales no se permite la presencia de aberturas o en las cuales se exige la protección de las aberturas deberán ser como se especifica en la Figura 3.2.

3.4 – Columnas de mampostería de hormigón reforzada

La resistencia al fuego de las columnas de mampostería de hormigón reforzada se deberá basar en la menor dimensión en planta de las columnas de acuerdo con los requisitos de la Tabla 3.2. El mínimo recubrimiento de la armadura longitudinal será de 2 in.

3.5 – Dinteles de mampostería de hormigón

La resistencia al fuego de los dinteles de mampostería de hormigón se deberá establecer en base al ancho nominal del dintel y el mínimo recubrimiento de la armadura longitudinal de acuerdo con la Tabla 3.3.

3.6 – Columnas de acero estructural protegidas mediante mampostería de hormigón

La resistencia al fuego de las columnas de acero estructural protegidas mediante mampostería de hormigón se determinará utilizando las siguientes expresiones:

$$R = 0,401(A_{st}P_s)^{0,7} + \left[0,285(T_{ea}^{1,6} / k^{0,2}) \right] \quad (3.3)$$

$$\left[1,0 + 42,7 \left[(A_{st} / DT_{ea}) / (0,25p + T_{ea}) \right]^{0,8} \right]$$

donde:

R = resistencia al fuego del conjunto de la columna, hr

A_{st} = área de la sección transversal de la columna de acero estructural, in.²

D = densidad de la protección de mampostería de hormigón, lb/ft³

p = perímetro interior de la protección de mampostería de hormigón, in. (ver Figura 3.3a)

p_s = perímetro caliente de la columna de acero, in. [Ecuaciones (3-4), (3-5) y (3-6)]

T_{ea} = espesor equivalente de la protección de mampostería de hormigón, in.

k = conductividad térmica de la mampostería de hormigón, BTU/hr ft deg F [ver Ecuación (3-7)]

$$p_s = 2(b_f + d_{st}) + 2(b_f - t_w) \quad (\text{sección en W}) \quad (3-4)$$

$$p_s = \pi d_{st} \quad (\text{sección tubular circular}) \quad (3-5)$$

$$p_s = 4d_{st} \quad (\text{sección tubular cuadrada}) \quad (3-6)$$

donde:

b_f = ancho del ala, in.

d_{st} = dimensión de la columna, in. (ver Figura 3.3)

t_w = espesor del alma, in. (ver Figura 3.3, sección en W)

La conductividad térmica de la mampostería de hormigón a utilizar en la Ecuación (3.3) se podrá calcular como:

$$k = 0,0417e^{0,02D}, \text{ BTU/hr ft deg F} \quad (3-7)$$

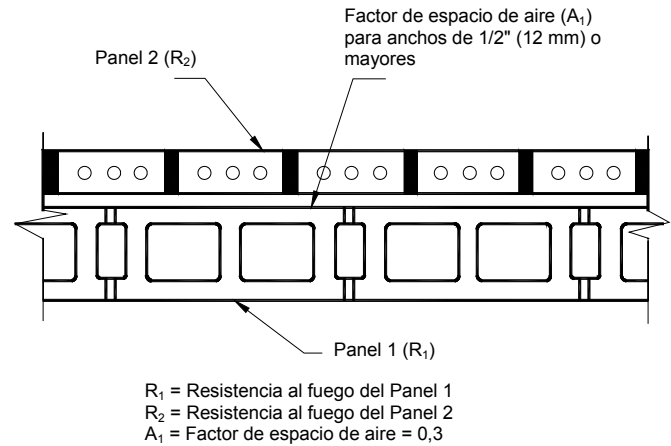


Figura 3.1 – Muros compuestos

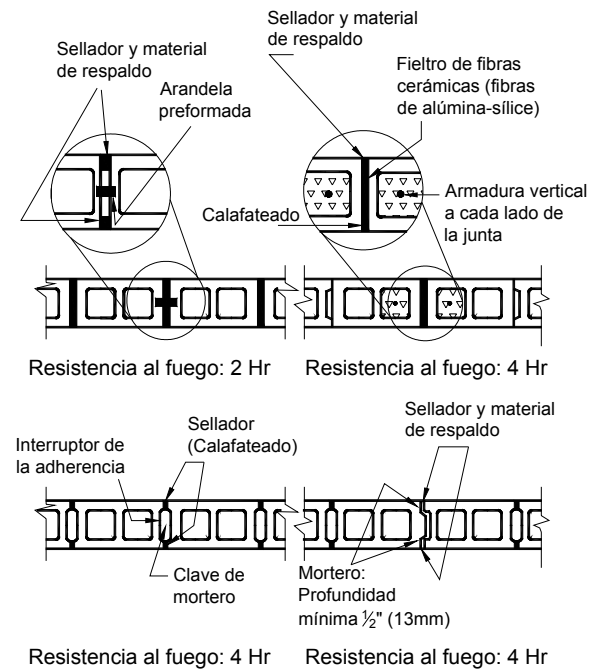


Figura 3.2 – Juntas de expansión o contracción en muros de mampostería con un ancho máximo de 1/2 in. (13 mm) para una resistencia al fuego de 2 ó 4 horas

donde:

D = densidad de la mampostería de hormigón, lb/ft³

El Apéndice A muestra los mínimos espesores equivalentes requeridos para diferentes formas y tamaños de columnas de acero estructural protegidas con mampostería de hormigón para diferentes resistencias al fuego especificadas.

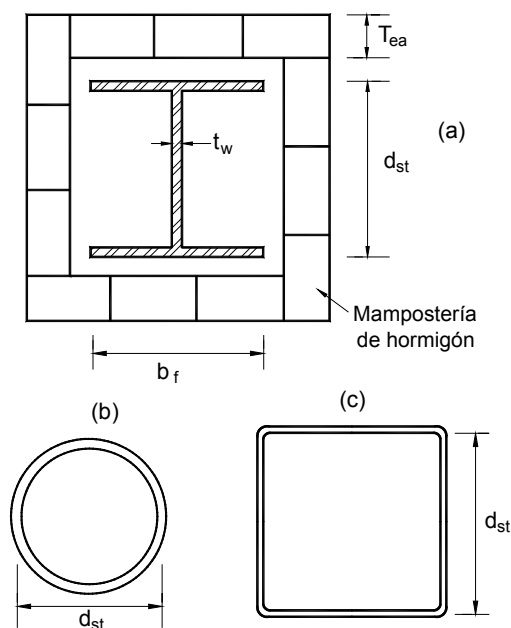


Figura 3.3 – Perfiles de acero estructural protegidos mediante mampostería de hormigón

CAPÍTULO 4 – MAMPOSTERÍA DE LADRILLOS DE ARCILLA Y CERÁMICOS

4.1 – Disposiciones generales

La resistencia al fuego calculada de las construcciones de mampostería de arcilla se deberá determinar en base a los requisitos del presente capítulo. Excepto cuando los requisitos de este capítulo sean más restrictivos, el diseño, la construcción y los materiales utilizados en la mampostería de arcilla, incluyendo los mampuestos, el mortero, los materiales utilizados en las juntas de control y las armaduras, deberán satisfacer lo establecido por ACI 530 / ASCE 5 / TMS 402. Los ladrillos de arcilla deberán satisfacer las normas ASTM C34, C56, C 62, C 73, C 126, C212, C216 o C 652.

4.2 – Espesor equivalente

El espesor equivalente de las construcciones de mampostería de arcilla se deberá determinar de acuerdo con los requisitos de la presente sección.

El espesor equivalente de las construcciones de mampostería de ladrillos de arcilla huecos se deberá basar en el espesor equivalente del mampuesto de arcilla determinado de acuerdo con los Artículos 4.2.1, 4.2.2, 4.2.3 y la Ecuación (4-1).

$$T_E = V_n / LH \quad (4-1)$$

donde:

T_E = espesor equivalente del mampuesto de arcilla, in.

V_n = volumen neto del mampuesto de arcilla, in.³

L = longitud especificada del mampuesto de arcilla, in.

H = altura especificada del mampuesto de arcilla, in.

4.2.1 Construcciones no rellenas o parcialmente rellenas con mortero – T_E será el valor obtenido para el mampuesto de arcilla hueco, determinado de acuerdo con ASTM C 67.

4.2.2 Construcciones con relleno de mortero macizo – El espesor equivalente de las unidades de mampostería de arcilla rellenas con mortero macizo se deberá tomar igual al espesor real de la unidad.

4.2.3 Espacios de aire y celdas llenadas con material suelto – El espesor equivalente de los mampuestos de arcilla huecos completamente llenados es igual al espesor real del mampuesto si los materiales de relleno sueltos son: arena, gravilla, roca triturada o escoria que satisface los requisitos de ASTM C 33; piedra pómez, escoria, esquisto expandido, arcilla expandida, pizarra expandida, escoria expandida, ceniza fina expandida o cenizas que satisfacen los requisitos de ASTM C 331; o perlita o vermiculita que satisface los requisitos de ASTM C 549 y C 516, respectivamente

4.3 – Tabiques de mampostería de ladrillos de arcilla y cerámicos

La resistencia al fuego de los tabiques de mampostería ladrillos de arcilla y cerámicos se deberá determinar de acuerdo con los requisitos de la presente sección.

4.3.1 Mampostería de ladrillos de arcilla y cerámicos rellena y no rellena – La resistencia al fuego de los tabiques de mampostería de ladrillos de arcilla y cerámicos se deberá determinar a partir de la Tabla 4.1, utilizando el procedimiento de cálculo del espesor equivalente indicado en la Sección 4.2.

4.3.2 Tabiques simples – La resistencia al fuego de los muros de mampostería de arcilla y cerámica se deberá determinar a partir de la Tabla 4.1.

4.3.3 Muros compuestos – La resistencia al fuego de los tabiques compuestos por múltiples paneles se deberá determinar de acuerdo con los requisitos de la presente sección y la Tabla 4.1.

4.3.3.1 Tabiques compuestos de mampostería de arcilla con paneles dimensionalmente diferentes – La

resistencia al fuego de los tabiques compuestos de mampostería de arcilla formados por dos o más paneles dimensionalmente diferentes se deberá determinar en base a la resistencia al fuego de cada panel. Para determinar la resistencia al fuego del muro en su conjunto se deberá utilizar la Ecuación (2-4).

4.3.3.2 Tabiques compuestos formados por paneles de diferentes materiales – Para los tabiques de mampostería compuestos formados por dos o más paneles de diferentes materiales (hormigón o mampostería de hormigón), se deberá determinar la resistencia al fuego de los diferentes paneles, R_n , de acuerdo con 2.2, Figura 2.2, si se trata de paneles de hormigón; o de acuerdo con 3.3, Tabla 3.1, si se trata de mampostería de bloques de hormigón. Para determinar la resistencia al fuego del tabique en su conjunto se deberá utilizar la Ecuación (2-4).

4.3.3.3 Espacios de aire continuos – Para determinar la resistencia al fuego de muros compuestos de mampostería de ladrillos de arcilla y cerámicos separados por espacios de aire continuos se deberá utilizar la Ecuación (2-4).

4.4 – Columnas de mampostería de arcilla reforzada

La resistencia al fuego de las columnas de mampostería de arcilla reforzada se deberá basar en la menor dimensión en planta de la columna de acuerdo con los requisitos de la Tabla 3.2. El mínimo recubrimiento de las armadura longitudinales será de 2 in.

4.5 – Dinteles de mampostería de arcilla reforzada

La resistencia al fuego de los dinteles de mampostería de arcilla se deberá determinar en base al ancho nominal del dintel y el recubrimiento mínimo para la armadura longitudinal de acuerdo con la Tabla 3.3.

4.6 – Juntas de expansión o contracción

Las juntas de expansión o contracción de las construcciones de mampostería de arcilla resistentes al fuego deberán ser de acuerdo con el Artículo 3.3.3.

4.7 – Columnas de acero estructural protegidas mediante mampostería de arcilla

4.7.1 Cálculo de la resistencia al fuego – Estará permitido calcular la resistencia al fuego de una columna de acero estructural protegida mediante mampostería de arcilla, o determinar el espesor de mampostería de arcilla necesario para satisfacer una resistencia al fuego requerida, siguiendo los métodos descriptos en la Sección 3.6. Para este cálculo la conductividad térmica

de la mampostería de arcilla se deberá adoptar de la siguiente manera:

$$\text{Densidad} = 120 \text{ lb/ft}^3 \quad k = 1,25 \text{ BTU/hr ft deg F}$$

$$\text{Densidad} = 130 \text{ lb/ft}^3 \quad k = 2,25 \text{ BTU/hr ft deg F}$$

El Apéndice B muestra los mínimos espesores equivalentes requeridos para diferentes formas y tamaños de columnas de acero estructural protegidas con mampostería de arcilla para diferentes resistencias al fuego especificadas.

Tabla 4.1 – Resistencia al fuego de los tabiques de mampostería de arcilla

Tipo de material	Mínimo espesor equivalente requerido (in.) para una resistencia al fuego de: ^{A, B, C}			
	1 hr	2 hr	3 hr	4hr
Ladrillos macizos de arcilla o lutita	1,7	3,8	4,9	6,0
Ladrillos o cerámicos huecos de arcilla o lutita, no rellenos	2,3	3,4	4,3	5,0
Ladrillos o cerámicos huecos de arcilla o lutita, rellenos con mortero o los materiales especificados en 4.2.3	3,0	4,4	5,5	6,6

A. Espesor equivalente de acuerdo con la Sección 4.2

B. Las resistencias al fuego calculadas comprendidas entre los incrementos horarios listados se deberán determinar por interpolación lineal.

C. Si hay elementos combustibles que se empotran en el tabique, el espesor del material macizo entre el extremo de cada elemento y la cara opuesta del tabique, o entre los elementos instalados desde lados opuestos, no deberá ser menor que 93 por ciento del espesor indicado.

CAPÍTULO 5 – INFLUENCIA DE LOS MATERIALES DE ACABADO SOBRE LA RESISTENCIA AL FUEGO

5.1 – Disposiciones generales

La resistencia al fuego adicional contribuida por los materiales de acabado instalados sobre las construcciones de hormigón o mampostería se deberá determinar de acuerdo con los requisitos del presente capítulo. El incremento de la resistencia al fuego se deberá basar estrictamente en la capacidad del material de acabado para extender el criterio límite de transmisión de calor en un ensayo de incendio de acuerdo con ASTM E119.

5.2 – Procedimiento de cálculo

La resistencia al fuego de los tabiques o losas de hormigón colocado en obra o prefabricado, o de los tabiques de mampostería de hormigón o arcilla, cuyos acabados consisten en cartón de yeso aplicado a uno o ambos lados del tabique o losa, se deberá determinar de acuerdo con la presente sección.

5.2.1 Asumir que cada una de las caras del tabique es la cara expuesta al fuego – Para un tabique que no tiene ningún acabado en sus caras o que tiene acabados de diferentes tipos y/o espesores en ambas caras, se deberán realizar los procedimientos de cálculo indicados en los Artículos 5.2.2 y 5.2.3 dos veces, secuencialmente, asumiendo que primero una y luego la otra cara del muro es la cara expuesta al fuego. La resistencia al fuego del tabique, incluyendo sus acabados, no deberá ser mayor que el menor de los dos valores calculados, excepto en caso que el código de edificación requiera que los muros exteriores sólo sean clasificados para una condición de exposición desde el lado interior del muro.

5.2.2 Cálculo para la cara no expuesta al fuego – Cuando el acabado de cartón de yeso, enlucido de yeso o terrazo está aplicado en la cara de la losa o tabique no expuesta al fuego, la resistencia al fuego del conjunto se deberá determinar de la siguiente manera: Corregir el espesor del acabado multiplicando el espesor real del acabado por el factor aplicable obtenido de la Tabla 5.1 en base al tipo de agregados del hormigón o de los mampuestos o bien del tipo de mampostería de arcilla. Sumar el espesor del acabado corregido al espesor real o espesor equivalente del muro o losa, y luego determinar la resistencia al fuego del hormigón o la mampostería, incluyendo el acabado, usando la Tabla 2.1, Figura 2.1 o Figura 2.2 si se trata de hormigón; la Tabla 3.1 si se trata de mampostería de hormigón; o bien la Tabla 4.1 si se trata de mampostería de arcilla.

5.2.3 Cálculo para la cara expuesta al fuego – Cuando el acabado de cartón de yeso, enlucido de yeso o terrazo está aplicado en la cara de la losa o tabique expuesta al fuego, la resistencia al fuego del conjunto se deberá determinar de la siguiente manera: Obtener el tiempo asignado al acabado de la Tabla 5.2 y sumarlo a la resistencia al fuego determinada de la Tabla 2.1, Figura 2.1 o Figura 2.2 para el hormigón; de la Tabla 3.1 para la mampostería de hormigón; o bien de la Tabla 4.1 para la mampostería de arcilla; o sumarlo a la resistencia al fuego determinada de acuerdo con el Artículo 5.2.2 para hormigón o mampostería con acabado en la cara no expuesta al fuego.

5.2.4 Mínima resistencia al fuego proporcionada por el hormigón o la mampostería – Cuando el acabado

aplicado a una losa de hormigón o a un muro de hormigón o mampostería contribuye a su resistencia al fuego, el hormigón o la mampostería, por sí solos, deberán proporcionar como mínimo un medio de la resistencia al fuego total requerida. Además, la contribución de la resistencia al fuego del acabado en la cara del muro no expuesta al fuego no deberá ser mayor que la mitad de la contribución del hormigón o la mampostería.

5.3 – Instalación de los acabados

Los acabados utilizados en losas de hormigón y en tabiques de hormigón y mampostería y que se asume contribuyen a la resistencia al fuego total deberán satisfacer los requisitos de instalación indicados en los Artículos 5.3.1 y 5.3.2 y los demás requisitos aplicables del código de construcción. Los enlucidos de yeso y terrazo se deberán aplicar directamente a la losa o tabique. El cartón de yeso se podrá fijar a una estructura soporte de madera o acero, o fijar directamente a los muros utilizando adhesivos.

5.3.1 Cartón de yeso – Los paneles de cartón de yeso se deberán fijar a las losas de hormigón y muros de hormigón o mampostería de acuerdo con los requisitos de la presente sección y tal como lo permita el código de construcción.

5.3.1.1 Estructura soporte – Fijar los paneles de cartón de yeso a elementos de una estructura soporte de madera o metálica separados no más de 24 in. entre sus centros. Los paneles de cartón de yeso se deberán fijar de acuerdo con uno de los métodos descritos en 5.3.1.1(a) o 5.3.1.1(b).

5.3.1.1 (a) Se deberán instalar sujetadores a tornillo autorroscante con una separación máxima de 12 in. entre sus centros que penetren 3/8 in. en elementos de la estructura soporte de acero tendidos horizontalmente y separados como máximo 24 in. entre sus centros.

5.3.1.1 (b) Se deberán instalar clavos con una separación máxima de 12 in. entre sus centros que penetren 3/4 in. en elementos 1 x 2 de la estructura soporte de madera asegurada a la mampostería mediante clavos para hormigón de 2 in. y separados como máximo 16 in. entre sus centros.

5.3.1.2 Fijación al hormigón y mampostería mediante adhesivos – Colocar un cordón de adhesivo para paneles de 3/8 in. de ancho alrededor del perímetro del panel de yeso y en las diagonales. Una vez que el panel está unido a la superficie de mampostería, asegurarlo con un clavo para mampostería por cada 2 ft² de panel.

Tabla 5.1 – Factor de multiplicación aplicable a los acabados instalados en la cara no expuesta al fuego de losas de hormigón y tabiques de hormigón y mampostería

Tipo de acabado aplicado a la losa o tabique	Tipo de material utilizado en la losa o tabique		
	Hormigón o mampuestos de hormigón de agregados silíceos o carbonato; mampostería de ladrillos de arcilla macizos	Hormigón semiliviano; ladrillos de arcilla huecos	Hº liviano; mampuestos de hormigón de esquisto expandido, escoria expandida o piedra pómez con menos de 20% de arena
Revoque de cemento pórtland y arena o terrazo ^A	1,00	0,75	0,75
Revoque de yeso y arena	1,25	1,00	1,00
Revoque de yeso y vermiculita o perlita	1,75	1,50	1,25
Cartón de yeso	3,00	2,25	2,25

A. Para los revoques de cemento pórtland y arena de menos de 5/8 in. de espesor y aplicados directamente sobre el hormigón o la mampostería en la cara del tabique no expuesta al fuego, el factor de multiplicación será igual a 1,0.

5.3.1.3 Orientación de los paneles de cartón de yeso

– Instalar los paneles de cartón de yeso con la dimensión mayor paralela a los elementos de la estructura soporte y con todas las uniones horizontales y verticales apoyadas y acabadas.

Excepción – Los paneles de cartón de yeso Tipo "X" de 5/8 in. de espesor se podrán instalar horizontalmente con las juntas horizontales no apoyadas.

5.3.2 Revoque y estuco – Los acabados revoques y estucos cuyo propósito sea aumentar la resistencia al fuego se deberán aplicar a la superficie de hormigón o mampostería de acuerdo con los requisitos del código de construcción.

Tabla 5.2 – Tiempo asignado a los materiales de acabado instalados en la cara expuesta al fuego de muros de hormigón y mampostería

Descripción del acabado	Tiempo, min.
Cartón de yeso	
3/8 in.	10
1/2 in.	15
5/8 in.	20
Dos capas de 3/8 in.	25
Una capa de 3/8 in. y una capa de 1/2 in.	35
Dos capas de 1/2 in.	40
Cartón de yeso Tipo "X"	
1/2 in.	25
5/8 in.	40
Revoque de cemento pórtland y arena aplicado directamente	A
Revoque de cemento pórtland y arena aplicado sobre listón metálico	
3/4 in.	20
3/8 in.	25
1 in.	30
Revoque de yeso y arena aplicado sobre listón yesero de 3/8 in.	
1/2 in.	35
5/8 in.	40
3/4 in.	50
Revoque de yeso y arena aplicado sobre listón metálico	
3/4 in.	50
7/8 in.	60
1 in.	80

CAPÍTULO 6 – REFERENCIAS

A continuación listamos los documentos de los diferentes organismos de normalización referenciados en el presente documento.

American Concrete Institute

ACI 318-95 Building Code Requirements for Structural Concrete

ACI 530-95 Building Code Requirements for Masonry Structures (también disponible como ASCE 5-95/TMS 402-95)

American Society for Testing and Materials

ASTM A722-90 Specification for Uncoated High-Strength Steel Bar for Prestressing Concrete

ASTM C33-93 Specification for Concrete Aggregates

ASTM C34-93 Specification for Structural Clay Load-Bearing Wall Tie

ASTM C36-95b Specification for Gypsum Wallboard

ASTM C55-95a Specification for Concrete Building Brick

ASTM C56-93 Specification for Structural Clay Non-Load-Bearing Tile

ASTM C62-95a Specification for Building Brick (Solid Masonry Units Made from Clay or Shale)

ASTM C67-94 Methods of Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile

ASTM C73-96 Specification for Calcium Silicate Face Brick (Sand-Lime-Brick)

ASTM C90-96 Specification for Load-Bearing Concrete Masonry Units

ASTM C126-95 Specification for Ceramic Glazed Structural Clay Facing Tile, Facing Brick, and Solid Masonry Units

ASTM C129-96 Specification for Non-Load-Bearing Concrete Masonry Units

ASTM C140-96 Methods of Sampling and Testing Concrete Masonry Units

ASTM C212-93 Specification for Structural Clay Facing Tile

ASTM C216-95a Specification for Facing Brick (Solid Masonry Units Made from Clay or Shale)

ASTM C330-89 Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete

SATM C331-94 Specification for Lightweight Aggregates for Concrete Masonry Units

ASTM C332-87 (91) Specification for Lightweight Aggregates for Insulating Concrete

ASTM C516-80 (90) Specification for Vermiculite Loose Fill Thermal Insulation

ASTM C549-81 (95) Specification for Perlite Loose Fill Insulation

ASTM C612-93 Specification for Mineral Fiber Block and Board Thermal Insulation

ASTM C652-95a Specification for Hollow Brick (Hollow Masonry Units Made from Clay or Shale)

ASTM C726-88 Specification for Mineral Fiber Roof Insulation Board

ASTM C796-87a (93) Method for Testing Foaming Agents for Use in Producing Cellular Concrete Using Preformed Foam

ASTM C1088-94 Specification for Thin Veneer Brick Units Made from Clay or Shale

ASTM E119-95a Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials

ASTM E176-95 Standard Terminology of Fire Standards

American Concrete Institute
P.O. Box 9094
Farmington Hills, MI 48333-9094

American Society of Civil Engineering
1801 Alexander Bell Dr.
Reston, VA 20191-4400

American Society for Testing and Materials
100 Barr Harbor Drive
West Conshohocken, PA 19428-2959

The Masonry Society
3970 Broadway, Unit 201 D
Boulder, CO 80304

APÉNDICE A

Tabla A.1 – Resistencia al fuego de columnas de acero protegidas mediante mampostería de hormigón*

Perfiles en W											
Tamaño de la columna	Densidad de la mampostería de hormigón, lb/ft³	Mínimo espesor equivalente requerido, T_e (in.), para la siguiente resistencia al fuego de la protección de mampostería de hormigón:				Tamaño de la columna	Densidad de la mampostería de hormigón, lb/ft³	Mínimo espesor equivalente requerido, T_e (in.), para la siguiente resistencia al fuego de la protección de mampostería de hormigón:			
		1 hr	2 hr	3 hr	4 hr			1 hr	2 hr	3 hr	4 hr
W14x82	80	0,74	1,61	2,36	3,04	W10x68	80	0,72	1,58	2,33	3,01
	100	0,89	1,85	2,67	3,40		100	0,87	2,83	2,65	3,38
	110	0,96	1,97	2,81	3,57		110	0,94	2,95	2,79	3,55
	120	1,03	2,08	2,95	3,73		120	1,01	2,06	2,94	3,72
W14x68	80	0,83	1,70	2,45	3,13	W10x54	80	0,88	1,76	2,53	3,21
	100	0,99	1,95	2,76	3,49		100	1,04	2,01	2,83	3,57
	110	1,06	2,06	2,91	3,66		110	1,11	2,12	2,98	3,73
	120	1,14	2,18	3,05	3,82		120	1,19	2,24	3,12	3,90
W14x53	80	0,91	1,81	2,58	3,27	W10x45	80	0,92	1,83	2,60	3,30
	100	1,07	2,05	2,88	3,62		100	1,08	2,07	2,90	3,64
	110	1,15	2,17	3,02	3,78		110	1,16	2,18	3,04	3,80
	120	1,22	2,28	3,16	3,94		120	1,23	2,29	3,18	3,96
W14x43	80	1,01	1,93	2,71	3,41	W10x33	80	1,06	2,00	2,79	3,49
	100	1,17	2,17	3,00	3,74		100	1,22	2,23	3,07	3,81
	110	1,25	2,28	3,14	3,90		110	1,30	2,34	3,20	3,96
	120	1,32	2,38	3,27	4,05		120	1,37	2,44	3,33	4,12
W12x72	80	0,81	1,66	2,41	3,09	W8x40	80	0,94	1,85	2,63	3,33
	100	0,91	1,88	2,70	3,43		100	1,10	2,10	2,93	3,67
	110	0,99	1,99	2,84	3,60		110	1,18	2,21	3,07	3,83
	120	1,06	2,10	2,98	3,76		120	1,25	2,32	3,20	3,99
W12x58	80	0,88	1,76	2,52	3,21	W8x31	80	1,06	2,00	2,78	3,49
	100	1,04	2,01	2,83	3,56		100	1,22	2,23	3,07	3,81
	110	1,11	2,12	2,97	3,73		110	1,29	2,33	3,20	3,97
	120	1,19	2,23	3,11	3,89		120	1,36	2,44	3,33	4,12
W12x50	80	0,91	1,81	2,58	3,27	W8x24	80	1,14	2,09	2,89	3,59
	100	1,07	2,05	2,88	3,62		100	1,29	2,31	3,16	3,90
	110	1,15	2,17	3,02	3,78		110	1,36	2,42	3,28	4,05
	120	1,22	2,28	3,16	3,94		120	1,43	2,52	3,41	4,20
W12x40	80	1,01	1,94	2,72	3,41	W8x18	80	1,22	2,20	3,01	3,72
	100	1,17	2,17	3,01	3,75		100	1,36	2,40	3,25	4,01
	110	1,25	2,28	3,14	3,90		110	1,42	2,50	3,37	4,14
	120	1,32	2,39	3,27	4,06		120	1,48	2,59	3,49	4,28

* Nota: Los valores tabulados asumen un espacio de aire de 1 in. entre la mampostería y el perfil de acero.

Tabla A.1 – Continuación*

Tubos de acero estructural de sección cuadrada						Tubos de acero estructural de sección circular					
Tamaño nominal del tubo, in.	Densidad de la mampostería de hormigón, lb/ft ³	Mínimo espesor equivalente requerido, T_e (in.), para la siguiente resistencia al fuego de la protección de mampostería de hormigón:				Tamaño nominal del tubo, in.	Densidad de la mampostería de hormigón, lb/ft ³	Mínimo espesor equivalente requerido, T_e (in.), para la siguiente resistencia al fuego de la protección de mampostería de hormigón:			
		1 hr	2 hr	3 hr	4 hr			1 hr	2 hr	3 hr	4 hr
4 x 4 Espesor de pared = 1/2	80	0,93	1,90	2,71	3,43	4 doble extra resistente Espesor de pared = 0,674	80	0,80	1,75	2,56	3,28
	100	1,08	2,13	2,99	3,76		100	0,95	1,99	2,85	3,62
	110	1,16	2,24	3,13	3,91		110	1,02	2,10	2,99	3,78
	120	1,22	2,34	3,26	4,06		120	1,09	2,20	3,12	3,93
4 x 4 Espesor de pared = 3/8	80	1,05	2,03	2,84	3,57	4 extra resistente Espesor de pared = 0,337	80	1,12	2,11	2,93	3,65
	100	1,20	2,25	3,11	3,88		100	1,26	2,32	3,19	3,95
	110	1,27	2,35	3,24	4,02		110	1,33	2,42	3,31	4,09
	120	1,34	2,45	3,37	4,17		120	1,40	2,52	3,43	4,23
4 x 4 Espesor de pared = 1/4	80	1,21	2,20	3,01	3,73	4 estándar Espesor de pared = 0,237	80	1,26	2,25	3,07	3,79
	100	1,35	2,40	3,26	4,02		100	1,40	2,45	3,31	4,07
	110	1,41	2,50	3,38	4,16		110	1,46	2,55	3,43	4,21
	120	1,48	2,59	3,50	4,30		120	1,53	2,64	3,54	4,34
6 x 6 Espesor de pared = 1/2	80	0,82	1,75	3,54	3,25	5 doble extra resistente Espesor de pared = 0,750	80	0,70	1,61	2,40	3,12
	100	0,98	1,99	2,84	3,59		100	0,85	1,86	2,71	3,47
	110	1,05	2,10	2,98	3,75		110	0,91	1,97	2,85	3,63
	120	1,12	2,21	3,11	3,91		120	0,98	2,02	2,99	3,79
6 x 6 Espesor de pared = 3/8	80	0,96	1,91	2,71	3,42	5 extra resistente Espesor de pared = 0,375	80	1,04	2,01	2,83	3,54
	100	1,12	2,14	3,00	3,75		100	1,19	2,23	3,09	3,85
	110	1,19	2,25	3,13	3,90		110	1,26	2,34	3,22	4,00
	120	1,26	2,35	3,26	4,05		120	1,32	2,44	3,34	4,14
6 x 6 Espesor de pared = 1/4	80	1,14	2,11	2,92	3,63	5 estándar Espesor de pared = 0,258	80	1,20	2,19	3,00	3,72
	100	1,29	2,31	3,18	3,93		100	1,34	2,39	3,25	4,00
	110	1,36	2,43	3,30	4,08		110	1,41	2,49	3,37	4,14
	120	1,42	2,52	3,43	4,22		120	1,47	2,58	3,49	4,28
8 x 8 Espesor de pared = 1/2	80	0,77	1,66	2,44	3,13	6 doble extra resistente Espesor de pared = 0,864	80	0,59	1,46	2,23	2,92
	100	0,92	1,91	2,75	3,49		100	0,73	1,71	2,54	3,29
	110	1,00	2,02	2,89	3,66		110	0,80	1,82	2,69	3,47
	120	1,07	2,14	3,03	3,82		120	0,86	1,93	2,83	3,63
8 x 8 Espesor de pared = 3/8	80	0,91	1,84	2,63	3,33	6 extra resistente Espesor de pared = 0,432	80	0,94	1,90	2,70	3,42
	100	1,07	2,08	2,92	3,67		100	1,10	2,13	2,98	3,74
	110	1,14	2,19	3,06	3,83		110	1,17	2,23	3,11	3,89
	120	1,21	2,29	3,19	3,98		120	1,24	2,34	3,24	4,04
8 x 8 Espesor de pared = 1/4	80	1,10	2,06	2,86	3,57	6 estándar Espesor de pared = 0,280	80	1,14	2,12	2,93	3,64
	100	1,25	2,28	3,13	4,87		100	1,29	2,33	3,19	3,94
	110	1,32	2,38	3,25	4,02		110	1,36	2,43	3,31	4,08
	120	1,39	2,48	3,38	4,17		120	1,42	2,53	3,43	4,22

* Nota: Los valores tabulados asumen un espacio de aire de 1 in. entre la mampostería y el perfil de acero.

APÉNDICE B

Tabla B.1 – Resistencia al fuego de las columnas de acero protegidas mediante mampostería de arcilla*

Perfiles en W											
Tamaño de la columna	Densidad de la mampostería de arcilla, lb/ft ³	Mínimo espesor equivalente requerido, T_e (in.), para la siguiente resistencia al fuego de la protección de mampostería:				Tamaño de la columna	Densidad de la mampostería de arcilla, lb/ft ³	Mínimo espesor equivalente requerido, T_e (in.), para la siguiente resistencia al fuego de la protección de mampostería:			
		1 hr	2 hr	3 hr	4 hr			1 hr	2 hr	3 hr	4 hr
W14x82	120	1,23	2,42	3,41	4,29	W10x68	120	1,27	2,46	3,36	4,35
	130	1,40	2,70	3,78	4,74		130	1,44	2,75	3,83	4,80
W14x68	120	1,34	2,54	3,54	4,43	W10x54	120	1,40	2,61	3,62	4,51
	130	1,51	2,82	3,91	4,87		130	1,58	2,89	3,98	4,95
W14x53	120	1,43	2,65	3,65	4,54	W10x45	120	1,44	2,66	3,67	4,57
	130	1,61	2,93	4,02	4,98		130	1,62	2,95	4,04	5,01
W14x43	120	1,54	2,76	3,77	4,66	W10x33	120	1,59	2,82	3,84	4,73
	130	1,72	3,04	4,13	5,09		130	1,77	3,10	4,20	5,13
W12x72	120	1,32	2,52	3,51	4,40	W8x40	120	1,47	2,70	3,71	4,61
	130	1,50	2,80	3,88	4,84		130	1,65	2,98	4,08	5,04
W12x58	120	1,40	2,61	3,61	4,50	W8x31	120	1,59	2,82	3,84	4,73
	130	1,57	2,89	3,98	4,94		130	1,77	3,10	4,20	5,17
W12x50	120	1,43	2,65	3,66	4,55	W8x24	120	1,66	2,90	3,92	4,82
	130	1,61	2,93	4,02	4,99		130	1,84	3,18	4,28	5,25
W12x40	120	1,54	2,77	3,78	4,67	W8x18	120	1,75	3,00	4,01	4,91
	130	1,72	3,05	4,14	5,10		130	1,93	3,27	4,37	5,34

* Nota: Los valores tabulados asumen un espacio de aire de 1 in. entre la mampostería y el perfil de acero.

Tabla B.1 – Continuación*

Tubos de acero estructural de sección cuadrada						Tubos de acero estructural de sección circular					
Tamaño nominal del tubo, in.	Densidad de la mampostería de arcilla, lb/ft ³	Mínimo espesor equivalente requerido, T_e (in.), para la siguiente resistencia al fuego de la protección de mampostería:				Tamaño nominal del tubo, in.	Densidad de la mampostería de arcilla, lb/ft ³	Mínimo espesor equivalente requerido, T_e (in.), para la siguiente resistencia al fuego de la protección de mampostería:			
		1 hr	2 hr	3 hr	4 hr			1 hr	2 hr	3 hr	4 hr
4 x 4 Espesor de pared = 1/2	120	1,44	2,72	3,76	4,68	4 doble extra resistente Espesor de pared = 0,674	120	1,26	2,55	3,60	4,52
	130	1,62	3,00	4,12	5,11		130	1,42	2,82	3,96	4,95
4 x 4 Espesor de pared = 3/8	120	1,56	2,84	3,88	4,78	4 extra resistente Espesor de pared = 0,337	120	1,60	2,89	3,92	4,83
	130	1,74	3,12	4,23	5,21		130	1,77	3,16	4,28	5,25
4 x 4 Espesor de pared = 1/4	120	1,72	2,99	4,02	4,92	4 estándar Espesor de pared = 0,237	120	1,74	3,02	4,05	4,95
	130	1,89	3,26	4,37	5,34		130	1,92	3,29	4,40	5,37
6 x 6 Espesor de pared = 1/2	120	1,33	2,58	3,62	4,52	5 doble extra resistente Espesor de pared = 0,750	120	1,17	2,44	3,48	4,40
	130	1,50	2,86	3,98	4,96		130	1,33	2,72	3,84	4,83
6 x 6 Espesor de pared = 3/8	120	1,48	2,74	3,76	4,67	5 extra resistente Espesor de pared = 0,375	120	1,55	2,82	3,85	4,76
	130	1,65	3,01	4,13	5,10		130	1,72	3,09	4,21	5,18
6 x 6 Espesor de pared = 1/4	120	1,66	2,91	3,94	4,84	5 estándar Espesor de pared = 0,258	120	1,71	2,97	4,00	4,90
	130	1,83	3,19	4,30	5,27		130	1,88	3,24	4,35	5,32
8 x 8 Espesor de pared = 1/2	120	1,27	2,50	3,52	4,42	6 doble extra resistente Espesor de pared = 0,864	120	1,04	2,28	3,32	4,23
	130	1,44	2,78	3,89	4,86		130	1,19	2,60	3,68	4,67
8 x 8 Espesor de pared = 3/8	120	1,43	2,67	3,69	4,59	6 extra resistente Espesor de pared = 0,432	120	1,45	2,71	3,75	4,65
	130	1,60	2,95	4,05	5,02		130	1,62	2,99	4,10	5,08
8 x 8 Espesor de pared = 1/4	120	1,62	2,87	3,89	4,78	6 estándar Espesor de pared = 0,280	120	1,65	2,91	3,94	4,84
	130	1,79	3,14	4,24	5,21		130	1,82	3,19	4,30	5,27

* Nota: Los valores tabulados asumen un espacio de aire de 1 in. entre la mampostería y el perfil de acero.