

CAPÍTULO 4 [CE]

EFICIENCIA DE ENERGÍA COMERCIAL

Nota para el usuario:

Acerca de este capítulo: El Capítulo 4 presenta los caminos y opciones para el cumplimiento con las disposiciones de eficiencia de energía. El Capítulo 4 contiene las disposiciones de eficiencia de energía para la envolvente de la edificación, sistemas mecánicos y de calentamiento de agua, iluminación y requisitos adicionales de eficiencia. También se provee una alternativa de desempeño para permitir el cumplimiento del código de energía de otra forma que no sea el método prescriptivo.

SECCIÓN C401 GENERALIDADES

C401.1 Alcance. Las disposiciones en este capítulo son aplicables a edificaciones comerciales y sus sitios de edificación.

C401.2 Aplicación. Las edificaciones comerciales deben cumplir con la Sección C401.2.1 o C401.2.2.

*

C401.2.1 Código Internacional de Conservación de Energía (IECC). Las edificaciones comerciales deben cumplir con uno de los siguientes:

1. Cumplimiento Prescriptivo. La opción de Cumplimiento Prescriptivo requiere el cumplimiento con las Secciones C402 hasta C406 y Sección C408. Se debe considerar que las unidades de vivienda y las unidades de dormitorio de edificaciones del Grupo R-2 sin sistemas que sirven unidades múltiples están en cumplimiento con este capítulo, siempre que cumplan con la Sección R406.
2. Desempeño Total de la Edificación. La opción de Desempeño Total de la Edificación requiere el cumplimiento de la Sección C407.

Excepción: Las ampliaciones, modificaciones, reparaciones y cambios de destino a edificaciones existentes que cumplen con el Capítulo 5.

C401.2.2 ASHRAE 90.1. Las edificaciones comerciales deben cumplir con los requisitos de ANSI/ASHRAE/IESNA 90.1.

C401.3 Certificado de la envolvente térmica. Se debe completar un certificado permanente de la envolvente térmica por una parte *aprobada*. Dicho certificado se debe colocar en un muro en el espacio donde está ubicado el equipo de acondicionamiento, un cuarto de servicios u otra ubicación *aprobada*. Si está ubicado en un panel eléctrico, el certificado no debe cubrir ni obstruir la visibilidad del sello del directorio de circuitos, sello de desconexión del servicio u otros sellos requeridos. También se debe incluir una copia del certificado en los archivos de construcción del proyecto. El certificado debe incluir lo siguiente:

1. Los valores *R* del aislamiento instalado en o sobre cielorraso, techos muros, fundaciones y losas, *muros de sótanos*, muros de espacios angostos y pisos y conductos por fuera de los *espacios acondicionados*.
2. Los factores *U* y *coeficientes de ganancia de calor solar* (SHGC) de los ventanajes.

3. Los resultados de cualquier ensayo de fuga de aire de la envolvente de la *edificación* realizado en la *edificación*.

Cuando hay más de un valor para algún componente de la envolvente de la edificación, el certificado debe indicar el valor del promedio ponderado del área cuando esté disponible. Si el promedio ponderado del área no está disponible, el certificado debe listar cada valor que se aplique al 10 por ciento o más del área total del componente.

SECCIÓN C402 REQUISITOS PARA LA ENVOLVENTE DE LA EDIFICACIÓN

C402.1 Generalidades. Los sistemas *envolvente térmica de la edificación* para edificaciones que tienen por objeto cumplir con el código sobre una base prescriptiva de acuerdo con el camino de cumplimiento descrito en el Ítem 1 de la Sección C401.2.1 deben cumplir con lo siguiente:

1. Las partes opacas de la *envolvente térmica de la edificación* deben cumplir con los requisitos específicos de aislamiento de la Sección C402.2 y los requisitos térmicos del método basado en el valor *R* de la Sección C402.1.3; el método basado en el factor *U*, *C* y *F* de la Sección C402.1.4; o en la alternativa de desempeño del componente de la Sección C402.1.5.
2. La reflectancia solar y emitancia térmica del techo deben cumplir con la Sección C402.3.
3. El ventanaje en los sistemas de la envolvente de la edificación debe cumplir con la Sección C402.4.
4. La fuga de aire de los sistemas de la envolvente de la edificación debe cumplir con la Sección C402.5.

Alternativamente, cuando las edificaciones tienen un área de ventanaje vertical o área de claraboya que excede lo permitido en la Sección C402.4, la edificación y la *envolvente térmica de la edificación* debe cumplir con el Ítem 2 de la Sección C401.2.1 o Sección C401.2.2.

Las cámaras de enfriamiento, cámaras de congelación, almacenes frigoríficos de enfriamiento y almacenes frigoríficos de congelación deben cumplir con la Sección C403.11.

C402.1.1 Edificaciones de bajo consumo de energía e invernaderos. Las siguientes edificaciones de bajo consumo de energía o partes de la misma separadas del

resto de la edificación por los sistemas de la *envolvente térmica de la edificación* que cumplen con esta sección, deben estar exentas de las disposiciones de la *envolvente térmica de la edificación* de la Sección C402.

1. Aquellos con una máxima tasa de diseño del uso de energía menor de 3.4 Btu/h × pie² (10.7 W/m²) o 1.0 vatio por pie cuadrado (10.7 W/m²) del área de piso para propósitos de acondicionamiento de área.
2. Aquellos que no contienen *espacio acondicionado*.

C402.1.1.1 Invernaderos. Las estructuras o áreas de invernadero que se calientan o enfrían mecánicamente y que cumplen con todo lo siguiente deben estar exentas de los requisitos de la envolvente de la edificación de este código:

1. Sistemas de envolvente exterior opaca cumplen con las Secciones C402.2 y C402.4.5.

Excepción: Invernaderos de bajo consumo de energía que cumplen con la Sección C402.1.1.

2. Tabiques interiores de sistemas de la *envolvente térmica de la edificación* que separan el invernadero del *espacio acondicionado* cumplen con las Secciones C402.2, C402.4.3 y C402.4.5.
3. Sistemas de ventanaje que cumplen con los requisitos de la envolvente térmica en la Tabla C402.1.1.1. El factor *U* de un techo debe ser para el sistema de techo o un techo que incluye el sistema y un *sistema de cortina interno*.

Excepción: Invernaderos no acondicionados.

**TABLA C402.1.1.1
REQUISITOS MÁXIMOS DE LA ENVOLVENTE
TÉRMICA DEL VENTANAJE**

COMPONENTE	FACTOR <i>U</i> (BTU/h × pie ² × °F)
Claraboya	0.5
Ventanaje vertical	0.7

C402.1.2 Edificaciones con equipo. Las edificaciones que cumplen con lo siguiente deben estar exentas de las disposiciones de *envolvente térmica de la edificación* de este código:

1. Son edificaciones separadas con área de piso no mayor de 1,200 pies cuadrados (110 m²).
2. Están destinadas a almacenar equipo eléctrico con equipos de potencia instalados que totalicen no menos de 7 vatios por pie cuadrado (75 W/m²) y no están destinadas para la ocupación humana.
3. Tienen una capacidad del sistema de calentamiento no mayor de (17,000 Btu/h) (5 kW) y un punto fijo de calefacción del termostato que está restringido a no más de 50°F (10°C).
4. Tienen un factor *U* promedio de muro y techo menor de 0.200 en las *Zonas Climáticas* 1 hasta 5 y menor de 0.120 en las *Zonas Climáticas* 6 hasta 8.

5. Cumplen con las disposiciones de reflectancia solar y emitancia térmica del techo de la *Zona Climática* 1.

C402.1.3 Método basado en el valor *R* del componente de aislamiento. Los sistemas opacos de la *envolvente térmica de la edificación* deben cumplir con los requisitos de las Secciones C402.2 y C402.4 basado en la *Zona Climática* especificada en el Capítulo 3. Para partes opacas de la *envolvente térmica de la edificación* destinadas a cumplir sobre la base de un valor *R*, los valores *R* para aislamiento de cavidad y aislamiento continuo no deben ser menores a los especificados en la Tabla C402.1.3. Cuando el aislamiento de cavidad está instalado en varias capas, los valores *R* del aislamiento de cavidad deben sumarse para determinar el cumplimiento con los requisitos del valor *R* del aislamiento de cavidad. Cuando el aislamiento continuo está instalado en varias capas, los valores *R* del aislamiento continuo deben sumarse para determinar el cumplimiento con los requisitos del valor *R* del aislamiento continuo. Los valores *R* del aislamiento de cavidad no deben usarse para determinar el cumplimiento con los requisitos del valor *R* del aislamiento continuo de la Tabla C402.1.3. Las edificaciones comerciales o partes de edificaciones comerciales que encierran destinos *Grupo R* deben usar los valores *R* de la columna “*Grupo R*” de la Tabla C402.1.3. Las edificaciones comerciales o partes de las edificaciones comerciales que encierran destinos distintos del *Grupo R* deben usar los valores *R* de la columna “Todos los otros” de la Tabla C402.1.3

C402.1.4 Método basado en factor *U*, factor *C* o factor *F* de sistemas. Los sistemas opacos de la *envolvente térmica de la edificación* deben cumplir los requisitos de las Secciones C402.2 y C402.4 basados en la *Zona Climática* especificada en el Capítulo 3. Los sistemas opacos de la *envolvente térmica de la edificación* destinados a cumplir sobre la base de un factor *U*, *C* o *F* del sistema deben tener un factor *U*, *C* o *F* no mayor del especificado en la Tabla C402.1.4. Las edificaciones comerciales o partes de edificaciones comerciales que encierran destinos *Grupo R* deben usar el factor *U*, *C* o *F* de la columna “*Grupo R*” de la Tabla C402.1.4. Las edificaciones comerciales o partes de edificaciones comerciales que encierran destinos distintos del *Grupo R* deben usar el factor *U*, *C* o *F* de la columna “Todos los otros” de la Tabla C402.1.4

C402.1.4.1 Sistema de techo/cielorraso. El factor *U* máximo del sistema de techo/cielorraso no debe exceder el especificado en la Tabla C402.1.4 basado en los materiales de construcción usados en el sistema de techo/cielorraso.

C402.1.4.1.1 Aislamiento ahusado por encima de la cubierta basado en el espesor. Cuando se use como un componente del cálculo del factor *U* del sistema de techo/cielorraso, la contribución del valor *R* del aislamiento del techo inclinado a ese cálculo debe usar el espesor promedio en pulgadas (mm) junto con el valor *R* por pulgada (por mm) del

TABLA C402.1.3 REQUISITOS MÍNIMOS DEL COMPONENTE DE AISLAMIENTO TÉRMICO OPACO, MÉTODO DE VALOR R^a

ZONA CLIMÁTICA	0 Y 1		2		3		4 EXCEPTO MARINA		5 Y MARINA 4		6		7		8	
	Todos los otros		Grupo R		Todos los otros		Grupo R		Todos los otros		Grupo R		Todos los otros		Grupo R	
	Todos los otros		Grupo R		Todos los otros		Grupo R		Todos los otros		Grupo R		Todos los otros		Grupo R	
Techos																
Aislamiento completamente por encima de la cubierta del techo	R-20ac	R-25ac	R-25ac	R-25ac	R-25ac	R-25ac	R-30ac	R-30ac	R-30ac	R-30ac	R-30ac	R-30ac	R-35ac	R-35ac	R-35ac	R-35ac
Edificaciones metálicas ^b	R-19 + R-11 LS	R-19 + R-11 LS	R-19 + R-11 LS	R-19 + R-11 LS	R-19 + R-11 LS	R-19 + R-11 LS	R-19 + R-11 LS	R-19 + R-11 LS	R-19 + R-11 LS	R-19 + R-11 LS	R-19 + R-11 LS	R-30 + R-11 LS	R-30 + R-11 LS	R-25 + R-11 + R-11 LS	R-25 + R-11 + R-11 LS	R-25 + R-11 + R-11 LS
Áticos y otros	R-38	R-38	R-38	R-38	R-38	R-38	R-49	R-49	R-49	R-49	R-49	R-60	R-60	R-60	R-60	R-60
Muros, por encima del nivel del terreno																
En masa ^f	R-5.7ac ^e	R-5.7ac ^e	R-5.7ac ^e	R-7.6ac	R-7.6ac	R-9.5ac	R-11.4ac	R-11.4ac	R-13.3ac	R-13.3ac	R-13.3ac	R-15.2ac	R-15.2ac	R-15.2ac	R-15.2ac	R-25ac
Edificación metálica	R-13 + R-6.5ac	R-13 + R-6.5ac	R-13 + R-6.5ac	R-13 + R-6.5ac	R-13 + R-6.5ac	R-13 + R-6.5ac	R-13 + R-14ac	R-13 + R-14ac	R-13 + R-14ac	R-13 + R-14ac	R-13 + R-14ac	R-13 + R-14ac	R-13 + R-17ac	R-13 + R-19.5ac	R-13 + R-19.5ac	R-13 + R-19.5ac
Entramado metálico	R-13 + R-5ac	R-13 + R-5ac	R-13 + R-5ac	R-13 + R-7.5ac	R-13 + R-7.5ac	R-13 + R-7.5ac	R-13 + R-7.5ac	R-13 + R-7.5ac	R-13 + R-10ac	R-13 + R-10ac	R-13 + R-10ac	R-13 + R-12.5ac	R-13 + R-12.5ac	R-13 + R-15.6ac	R-13 + R-15.6ac	R-13 + R-18.8ac
Entramado de madera y otros	R-13 + R-3.8ac o R-20	R-13 + R-3.8ac o R-20	R-13 + R-3.8ac o R-20	R-13 + R-3.8ac o R-20	R-13 + R-3.8ac o R-20	R-13 + R-3.8ac o R-20	R-13 + R-3.8ac o R-20	R-13 + R-3.8ac o R-20	R-13 + R-3.8ac	R-13 + R-3.8ac	R-13 + R-3.8ac	R-13 + R-3.8ac	R-13 + R-3.8ac	R-13 + R-3.8ac	R-13 + R-3.8ac	R-13 + R-3.8ac
Muros, por debajo del nivel del terreno																
Muro por debajo del nivel del terreno ^d	NR	NR	NR	NR	NR	NR	R-7.5ac	R-10ac	R-10ac	R-10ac	R-10ac	R-15ac	R-15ac	R-15ac	R-15ac	R-15ac
En masa ^e	NR	NR	R-6.3ac	R-8.3ac	R-10ac	R-10ac	R-14.6ac	R-16.7ac	R-14.6ac	R-16.7ac	R-16.7ac	R-16.7ac	R-20.9ac	R-20.9ac	R-20.9ac	R-23ac
Vigneta/entramado	R-13	R-13	R-30	R-30	R-30	R-30	R-30	R-30	R-30	R-30	R-30	R-38	R-38	R-38	R-38	R-38
Pisos																
Pisos de losas por encima del terreno																
Losas no calefaccionadas	NR	NR	NR	NR	NR	R-10 para 24" por debajo	R-15 para 24" por debajo	R-15 para 24" por debajo	R-15 para 24" por debajo	R-15 para 24" por debajo	R-15 para 24" por debajo	R-20 para 48" por debajo	R-20 para 48" por debajo	R-20 para 48" por debajo	R-20 para 48" por debajo	R-25 para 48" por debajo
Losas calefaccionadas ^e	R-7.5 para 12" por debajo+ R-5 losa completa	R-7.5 para 12" por debajo+ R-5 losa completa	R-7.5 para 12" por debajo+ R-5 losa completa	R-10 para 24" por debajo+ R-5 losa completa	R-10 para 24" por debajo+ R-5 losa completa	R-10 para 24" por debajo+ R-5 losa completa	R-15 para 24" por debajo+ R-5 losa completa	R-15 para 24" por debajo+ R-5 losa completa	R-15 para 24" por debajo+ R-5 losa completa	R-15 para 24" por debajo+ R-5 losa completa	R-15 para 24" por debajo+ R-5 losa completa	R-20 para 48" por debajo+ R-5 losa completa	R-20 para 48" por debajo+ R-5 losa completa	R-20 para 48" por debajo+ R-5 losa completa	R-20 para 48" por debajo+ R-5 losa completa	R-20 para 48" por debajo+ R-5 losa completa

Para SI: 1 pulgada = 25.4 mm, 1 libra por pie cuadrado = 4.88 kg/m², 1 libra por pie cúbico = 16 kg/m³.

- ac = Aislamiento Continuo, NR = Sin Requisitos, LS = Sistema de Revestimiento.
- a. Las descripciones del sistema se pueden encontrar en ANSI/ASHRAE/IESNA 90.1 Apéndice A.
- b. Cuando se usa el método de cumplimiento del valor R, se debe proveer un bloque térmico espaciador, de otra manera us el método de cumplimiento del factor U de la Tabla C402.1.4.
- c. Se permite sustituir R-5.7ac por muros de bloques de concreto que cumplan con ASTM C90, sin lechada o parcialmente rellenos de lechada a 3.2 pulgadas o menos entre centros verticalmente o 48 pulgadas o menos entre centros horizontalmente, con núcleos sin lechada rellenos con materiales que tengan una conductividad térmica máxima de 0.44 Btu-in/h·ft²·°F.
- d. Cuando las losas calefaccionadas están por debajo del nivel del terreno, los muros por debajo del nivel del terreno deben cumplir con los requisitos para aislamiento exterior de losas calefaccionadas.
- e. Los "pisos en masa" deben ser de acuerdo con la Sección C402.2.3.
- f. Los "muros en masa" deben ser de acuerdo con la Sección C402.2.2.
- g. El primer valor es para aislamiento perimetral y el segundo valor es para aislamiento bajo la losa completa. No se requiere que el aislamiento perimetral se extienda por debajo de la parte interior de la losa.

REQUISITOS MÁXIMOS DE SISTEMAS DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA OPACA, MÉTODO DEL FACTOR U^{a, b}

ZONA CLIMÁTICA	0 Y 1		2		3		4 EXCEPTO MARINA		5 Y MARINA 4		6		7		8	
	Todos los otros	Grupo R	Todos los otros	Grupo R	Todos los otros	Grupo R	Todos los otros	Grupo R	Todos los otros	Grupo R	Todos los otros	Grupo R	Todos los otros	Grupo R	Todos los otros	Grupo R
Techos																
Aislamiento completamente por encima de la cubierta	U-0.048	U-0.039	U-0.039	U-0.039	U-0.039	U-0.039	U-0.032	U-0.032	U-0.032	U-0.032	U-0.032	U-0.032	U-0.028	U-0.028	U-0.028	U-0.028
Edificaciones metálicas	U-0.035	U-0.035	U-0.035	U-0.035	U-0.035	U-0.035	U-0.035	U-0.035	U-0.035	U-0.035	U-0.035	U-0.029	U-0.029	U-0.029	U-0.026	U-0.026
Áticos y otros	U-0.027	U-0.027	U-0.027	U-0.027	U-0.027	U-0.027	U-0.021	U-0.021	U-0.021	U-0.021	U-0.021	U-0.021	U-0.017	U-0.017	U-0.017	U-0.017
Muros, por encima del nivel del terreno																
En masa ^f	U-0.151	U-0.151	U-0.123	U-0.104	U-0.123	U-0.104	U-0.090	U-0.090	U-0.080	U-0.080	U-0.071	U-0.071	U-0.071	U-0.071	U-0.037	U-0.037
Edificación metálica	U-0.079	U-0.079	U-0.079	U-0.052	U-0.079	U-0.052	U-0.050	U-0.050	U-0.050	U-0.050	U-0.050	U-0.050	U-0.044	U-0.039	U-0.039	U-0.039
Entramado metálico	U-0.077	U-0.077	U-0.064	U-0.064	U-0.064	U-0.064	U-0.064	U-0.055	U-0.055	U-0.055	U-0.049	U-0.049	U-0.042	U-0.037	U-0.037	U-0.037
Entramado de madera y otros ^e	U-0.064	U-0.064	U-0.064	U-0.064	U-0.064	U-0.064	U-0.064	U-0.051	U-0.051	U-0.051	U-0.051	U-0.051	U-0.051	U-0.051	U-0.032	U-0.032
Muros, por debajo del nivel del terreno																
Muros por debajo del terreno ^c	C-1.140°	C-1.140°	C-1.140°	C-1.140°	C-1.140°	C-1.140°	C-0.092	C-0.092	C-0.092	C-0.092	C-0.092	C-0.092	C-0.063	C-0.063	C-0.063	C-0.063
Pisos																
En masa ^f	U-0.322°	U-0.107	U-0.087	U-0.074	U-0.074	U-0.074	U-0.057	U-0.051	U-0.051	U-0.051	U-0.051	U-0.051	U-0.042	U-0.042	U-0.038	U-0.038
Vigneta/entramado	U-0.066°	U-0.066°	U-0.033	U-0.033	U-0.033	U-0.033	U-0.033	U-0.033	U-0.033	U-0.033	U-0.027	U-0.027	U-0.027	U-0.027	U-0.027	U-0.027
Pisos de losas por encima del nivel del terreno																
Losas no calefaccionadas	F-0.73°	F-0.73°	F-0.73°	F-0.54	F-0.73°	F-0.54	F-0.52	F-0.52	F-0.51	F-0.51	F-0.51	F-0.51	F-0.434	F-0.434	F-0.434	F-0.424
Losas calefaccionadas	F-0.69	F-0.69	F-0.69	F-0.66	F-0.66	F-0.66	F-0.62	F-0.62	F-0.62	F-0.62	F-0.62	F-0.62	F-0.602	F-0.602	F-0.602	F-0.602
Puertas opacas																
Puertas no pivotantes	U-0.31	U-0.31	U-0.31	U-0.31	U-0.31	U-0.31	U-0.31	U-0.31	U-0.31	U-0.31	U-0.31	U-0.31	U-0.31	U-0.31	U-0.31	U-0.31
Puertas pivotantes ^g	U-0.37	U-0.37	U-0.37	U-0.37	U-0.37	U-0.37	U-0.37	U-0.37	U-0.37	U-0.37	U-0.37	U-0.37	U-0.37	U-0.37	U-0.37	U-0.37
Puerta de garaje < 14% de vidrio ^h	U-0.31	U-0.31	U-0.31	U-0.31	U-0.31	U-0.31	U-0.31	U-0.31	U-0.31	U-0.31	U-0.31	U-0.31	U-0.31	U-0.31	U-0.31	U-0.31

Para SI: 1 libra por pie cuadrado = 4.88 kg/m², 1 libra por pie cúbico = 16 kg/m³.

ae = Aislamiento Continuo, NR = Sin Requisitos, LS = Sistema de Revestimiento.

- Cuando los factores U, factores C y factores F del sistema están establecidos en ANSI/ASHRAE/IESNA 90.1 Apéndice A, dichos sistemas opacos deben ser una alternativa de cumplimiento cuando esos valores cumplan con el criterio de esta tabla, y siempre que la construcción, excluyendo el sistema de revestimiento en muros, cumple con los detalles de construcción adecuados de ANSI/ASHRAE/ISNEA 90.1 Apéndice A.
- Cuando los factores U se han establecido al ensayar de acuerdo con ASTM C1363, dichos sistemas opacos deben ser una alternativa de cumplimiento cuando esos valores cumplen el criterio de esta tabla. Se debe permitir sumar o restar el valor R del aislamiento continuo al diseño original ensayado.
- Cuando las losas calefaccionadas están por debajo del nivel del terreno, los muros por debajo del nivel del terreno deben cumplir con los requisitos del factor U para muros en masa por encima del nivel del terreno.
- Los "pisos en masa" deben ser de acuerdo con la Sección C402.2.3.
- Estos factores C, F y U están basados en sistemas que no requieren contener aislamiento.
- Los "muros en pasa" deben ser de acuerdo con la Sección C402.2.2.
- Los factores U de las puertas giratorias deben determinarse de acuerdo con NFRC-100.
- Las puertas de garaje que tienen una sola línea de ventanaje debe tener un factor U del sistema menor o igual que 0.44 en Zonas Climáticas 0 hasta 6 y menor o igual que 0.36 en Zonas Climáticas 7 y 8, siempre que el área de ventanaje no sea menor al 14 por ciento y no mayor al 25 por ciento del área total de la puerta.

material únicamente para el cumplimiento del factor U como se prescribe en la Sección C402.1.4.

C402.1.4.1.2 Cielorraso suspendido. El aislamiento instalado sobre cielorraso suspendido que tiene tejas removibles de cielorraso no debe considerarse parte del factor U del sistema de la construcción de techo/cielorraso.

C402.1.4.1.3 Juntas escalonadas. Los tableros de aislamiento continuo deben instalarse en no menos de dos capas, y el borde de las juntas entre cada capa de aislamiento debe estar escalonado, excepto cuando el aislamiento se va estrechando hacia la cubierta del techo en el borde de canalón, desagüe de techo o imbornal.

C402.1.4.2 Resistencia térmica de muros de entramado de acero conformado en frío. Se debe permitir que los factores U de muros con montantes de acero conformado en frío se determinen de acuerdo con la Ecuación 4-1.

$$U = 1/[R_s + (ER)] \quad \text{(Ecuación 4-1)}$$

donde:

R_s = El valor R acumulado de los componentes del muro a lo largo del trayecto de transferencia de calor, excluyendo el *aislamiento de cavidad* y montantes de acero.

ER = El valor R efectivo del *aislamiento de cavidad* con montantes de acero como se especifica en la Tabla C402.1.4.2.

El *ventanaje* debe cumplir con los requisitos de SHGC aplicables de la Sección C402.4.3.

$$A + B + C + D + E \leq \text{Cero} \quad \text{(Ecuación 4-2)}$$

donde:

A = Suma de los valores (UA Dif) para cada tipo de sistema distinto de la *envolvente térmica de la edificación*, aparte de losas sobre el terreno y muros por debajo del nivel del terreno.

$$UA \text{ Dif} = UA \text{ Propuesto} - UA \text{ Tabla.}$$

$$UA \text{ Propuesto} = \text{Valor } U \text{ propuesto} \times \text{Área.}$$

$$UA \text{ Tabla} = (\text{factor } U \text{ de la Tabla C402.1.3, C402.1.4 o C402.4}) \times \text{Área.}$$

B = Suma de los valores (FL Dif) para cada condición distinta del perímetro de losa sobre el terreno de la *envolvente térmica de la edificación*.

$$FL \text{ Dif} = FL \text{ Propuesto} - FL \text{ Tabla.}$$

$$FL \text{ Propuesto} = \text{Valor } F \text{ propuesto} \times \text{Largo del perímetro.}$$

$$FL \text{ Tabla} = (\text{factor } F \text{ especificado en la Tabla C402.1.4}) \times \text{Largo del perímetro.}$$

C = Suma de los valores (CA Dif) para cada tipo de sistema distinto de *muro por debajo del nivel del terreno* de la *envolvente térmica de la edificación*.

$$CA \text{ Dif} = CA \text{ Propuesto} - CA \text{ Tabla.}$$

$$CA \text{ Propuesto} = \text{Valor } C \text{ propuesto} \times \text{Área.}$$

$$CA \text{ Tabla} = (\text{Factor } C \text{ máximo permisible especificado en la Tabla C402.1.4}) \times \text{Área.}$$

Cuando el área de vidriado vertical propuesta es menor o igual que el área de vidriado vertical máxima permitida por la Sección C402.4.1, el valor de D (Exceso de Valor de Vidriado Vertical) debe ser cero. De otra manera

$$D = (DA \times UV) - (DA \times U \text{ Muro}), \text{ pero no menos de cero.}$$

$$DA = (\text{Área de Vidriado Vertical Propuesta}) - (\text{Área de Vidriado Vertical permitida por la Sección C402.4.1}).$$

UA Muro = Suma de los valores (UA Propuesto) para cada sistema opaco del muro exterior

U Muro = Valor U promedio ponderado del área de todos los sistemas de muro por encima del nivel del terreno.

UAV = Suma de los valores (UA Propuestos) para cada sistema de vidriado vertical

$$UV = UAV/\text{total del área de vidriado vertical.}$$

Cuando el área propuesta de claraboya es menor o igual al área de claraboya permitida por la Sección C402.4.1, el valor de E (Exceso del Valor de Claraboya) debe ser cero. De otra manera:

TABLA C402.1.4.2
VALORES R EFECTIVOS PARA SISTEMAS DE MONTANTES DE MURO DE ACERO

PROFUNDIDAD NOMINAL DEL MONTANTE (pulgadas)	ESPACIADO DEL ENTRAMADO (pulgadas)	VALOR R DE CAVIDAD (aislamiento)	FACTOR DE CORRECCIÓN (F_c)	VALOR R EFECTIVO (ER) (Valor R de Cavidad $\times F_c$)
3 1/2	16	13	0.46	5.98
		15	0.43	6.45
3 1/2	24	13	0.55	7.15
		15	0.52	7.80
6	16	19	0.37	7.03
		21	0.35	7.35
6	24	19	0.45	8.55
		21	0.43	9.03
8	16	25	0.31	7.75
	24	25	0.38	9.50

Para SI: 1 pulgada = 25.4 mm.

C402.1.5 Alternativa de desempeño del componente.

Los valores de la envolvente de la edificación y áreas de ventanaje determinados de acuerdo con la Ecuación 4-2 deben ser una alternativa al cumplimiento con los factores U , F y C de las Tablas C402.1.4 y C402.4 y las áreas máximas de ventanaje permitidas en la Sección C402.4.1.

- E = $(EA \times US) - (EA \times U \text{ Techo})$, pero no menor que cero.
- EA = (Área de Claraboya propuesta) – (Área de Claraboya Permisible como se especificada en la Sección C402.4.1).
- U Techo = Valor U promedio ponderado del área de todos los sistemas de techo.
- UAS = Suma de los valores (UA Propuestos) para cada sistema de claraboya
- US = UAS/total del área de claraboya.

C402.2 Requisitos específicos del aislamiento de la envolvente térmica de la edificación. El aislamiento en los sistemas opacos de la *envolvente térmica de la edificación* debe cumplir con las Secciones C402.2.1 hasta C402.2.7 y Tabla C402.1.3.

C402.2.1 Sistemas de techo. La resistencia térmica mínima (valor R) del material aislante instalado ya sea entre el entramado de techo o en forma continua sobre el sistema de techo debe ser como se especifica en la Tabla C402.1.3, basada en los materiales de construcción usados en el sistema de techo.

C402.2.1.1 Aislamiento ahusado por encima de la cubierta basado en el espesor. Cuando se usa como un componente del cálculo del valor R del sistema de techo/cielorraso, la contribución del valor R del aislamiento del techo inclinado al cálculo debe usar el espesor promedio en pulgadas (mm) junto con el valor R por pulgada (por mm) del material únicamente para el cumplimiento del factor U como se prescribe en la Sección 402.1.3.

C402.2.1.2 Espesor mínimo, punto más bajo. El espesor mínimo del aislamiento de techo debajo de la cubierta en su punto más bajo, borde de canalón, desagüe de techo o imbornal no debe ser menor de 1 pulgada (25 mm).

C402.2.1.3 Cielorraso suspendido. El aislamiento instalado sobre cielorraso suspendido que tiene tejas removibles de cielorraso no debe considerarse parte de la resistencia térmica mínima (valor R) del aislamiento de techo en el sistema de la construcción de techo/cielorraso.

C402.2.1.4 Juntas escalonadas. Los tableros de aislamiento continuo deben instalarse en no menos de dos capas, y el borde de las juntas entre cada capa de aislamiento debe estar escalonado, excepto cuando el aislamiento se va estrechando hacia la cubierta del techo en el borde de canalón, desagüe de techo o imbornal.

C402.2.1.5 Bordillos para claraboyas. Se deben aislar los bordillos para claraboyas al nivel del techo con aislamiento completamente por encima de la cubierta o R- 5, el que sea menor.

Excepción: No debe requerirse que sean aislados los bordillos de las claraboyas unitarias incluidos como un componente de una claraboya listada y sellada de acuerdo con NFRC 100.

C402.2.2 Muros por encima del nivel de terreno. La resistencia térmica mínima (valor R) de los materiales instalados en la cavidad del muro entre los elementos de entramado y de forma continua en los muros debe ser como se especifica en la Tabla C402.1.3, según el tipo de entramado y materiales de construcción usados en el sistema de muro. El valor R del aislamiento integral instalado en unidades de mampostería de concreto no debe usarse para determinar el cumplimiento con la Tabla C402.1.3 excepto que se indique lo contrario en la tabla. Para determinar el cumplimiento con la Tabla C402.1.4, se debe permitir el uso del factor U de las unidades de mampostería de concreto con aislamiento integral.

Los “muros en masa” cuando se usen como un componente en la envolvente térmica de una edificación deben cumplir con uno de los siguientes:

1. Pesarse no menos de 35 libras por pie cuadrado (171 kg/m^2) de área de superficie de muro.
2. Pesarse no menos de 25 libras por pie cuadrado (122 kg/m^2) de área de superficie de muro cuando el peso del material no es más de 120 pcf (1900 kg/m^3).
3. Tener una capacidad calorífica superior a $7 \text{ Btu/pie}^2 \times ^\circ\text{F}$ ($144 \text{ kJ/m}^2 \times \text{K}$).
4. Tener una capacidad calorífica superior a $5 \text{ Btu/pie}^2 \times ^\circ\text{F}$ ($103 \text{ kJ/m}^2 \times \text{K}$), cuando el peso del material no es más de 120 pcf (1900 kg/m^3).

C402.2.3 Pisos. Las propiedades térmicas (valores R del elemento o factores U , C o F del sistema) de los sistemas de piso sobre espacios abiertos o no acondicionados deben ser como se especifican en la Tabla C402.1.3 o C402.1.4 según los materiales de construcción usados en el sistema de piso. El *aislamiento de cavidad* del entramado de piso o aislamiento de losa estructural debe instalarse para mantener contacto permanente con la parte inferior de la cubierta del entramado primario o losas estructurales.

Los “pisos en masa” cuando se usen elemento de la envolvente térmica de una edificación deben proveer uno de los siguientes pesos:

1. 35 libras por pie cuadrado (171 kg/m^2) de área de superficie de piso.
2. 25 libras por pie cuadrado (122 kg/m^2) de área de superficie de piso cuando el peso del material no es más de 120 libras por pie cúbico (1923 kg/m^3).

Excepciones:

1. Se debe permitir que el *aislamiento de cavidad* del entramado de piso o aislamiento de la losa estructural esté en contacto con la parte superior del entablado o aislamiento continuo instalado en el lado inferior de los sistemas de piso cuando se combine con aislamiento que cumple o excede el valor R mínimo en la Tabla C402.1.3 para los valores de “Entramado metálico” o “Entramado de madera y otros” de “Muros, por encima del nivel del terreno” y se extiende desde la parte inferior hasta la parte

superior de todo el perímetro del entramado de piso o miembros del sistema de piso.

2. Se debe permitir un espacio de aire de no más de 1 pulgada (25 mm) al aislamiento aplicado a la parte inferior de las losas de piso de concreto de piso donde gire hacia arriba y esté en contacto con el lado inferior del piso debajo de los muros asociados con la *envolvente térmica de la edificación*.

C402.2.4 Losas sobre el terreno. La resistencia térmica mínima (valor R) del aislamiento para pisos de losas sobre el terreno calefaccionadas o sin calefaccionar diseñadas de acuerdo con el método del valor R de la Sección C402.1.3 debe ser como se especifica en la Tabla C402.1.3.

C402.2.4.1 Instalación del aislamiento. Cuando se instale, el aislamiento perimetral debe colocarse en la parte exterior de la fundación o en la parte interior del muro de fundación. El aislamiento perimetral debe extenderse hacia abajo desde la parte superior de la losa por la distancia mínima mostrada en la tabla o hasta la parte superior de la zapata, la que sea menor, o hacia abajo hasta no menos de la parte inferior de la losa y luego horizontalmente hacia el interior o exterior por la distancia total mostrada en la tabla. El aislamiento que se extiende lejos de la edificación se debe proteger por pavimento o por no menos de 10 pulgadas (254 mm) de suelo. Cuando se instala aislamiento de losa completa debe ser continua debajo del toda el área del piso de losa sobre nivel del terreno, excepto en ubicaciones de columnas estructurales o penetraciones de servicio. No se debe requerir que el aislamiento requerido en el perímetro de la losa calentada se extienda debajo de la parte inferior de la losa calentada y debe ser continua con el aislamiento de losa completa.

Excepción: donde el piso de losa sobre el terreno es mayor de 24 pulgadas (61 mm) debajo del nivel de terreno acabado exterior, no se requiere aislamiento perimetral.

C402.2.5 Muros por debajo del nivel del terreno. El factor C para muros exteriores por debajo del nivel de terreno debe ser de acuerdo con la Tabla C402.1.4. El valor R del material aislante instalado de forma continua dentro o sobre muros exteriores por debajo del nivel de terreno de la envolvente de la edificación, debe ser de acuerdo con la Tabla C402.1.3. El factor C o valor R requerido debe extenderse hasta una profundidad de no menos de 10 pies (3048 mm) debajo del nivel de suelo exterior acabado o el nivel del piso más bajo del espacio acondicionado encerrado por el muro por debajo del nivel del terreno, el que sea menor.

C402.2.6 Aislamiento de sistemas de calefacción radiante. Los paneles del *sistema de calefacción radiante*, y sus componentes asociados que están instalados en sistemas interiores o exteriores deben aislarse a un

valor R de no menos de $R-3.5$ sobre todas las superficies que no están orientadas al espacio calentado. Los paneles del *sistema de calefacción radiante* que están instalados en la *envolvente térmica de la edificación* deben separarse del exterior de la edificación o espacios no acondicionados o exentos por no menos que el valor R de aislamiento instalado en el sistema opaco en el que están instalados o el sistema debe cumplir con la Sección C402.1.4.

Excepción: Las losas sobre el terreno calefaccionadas aisladas de acuerdo con la Sección C402.2.4.

C402.2.7 Espacios de aire. Donde el valor R de un espacio de aire es usado para el cumplimiento de acuerdo con la Sección C402.1, el espacio de aire debe encerrarse en una cavidad sin ventilación construida para minimizar el flujo de aire dentro y fuera del espacio de aire encerrado. Se debe considerar que el flujo de aire se redujo cuando el espacio de aire encerrado está ubicado en el lado interior de la barrera de aire continua y está limitado en todos sus lados por componentes de la edificación.

Excepción: La resistencia térmica de los espacios de aire ubicados en el lado exterior de la barrera de aire continua y adyacente y detrás del material de revestimiento del muro exterior debe determinarse de acuerdo con ASTM C1363 modificada con un flujo de aire que entra por la parte inferior y sale por la parte superior del espacio de aire a una tasa de circulación de aire de no menos de 70 mm/segundo.

C402.3 Reflectancia solar y emitancia térmica del techo. Los techos de baja pendiente directamente sobre los espacios acondicionados enfriados en las *Zonas Climáticas 0* hasta 3 deben cumplir con una o más de las opciones de la Tabla C402.3.

Excepciones: Los siguientes techos y partes de techos están exentos de los requisitos de la Tabla C402.3:

1. Partes del techo que incluyen o que están cubiertas por lo siguiente:
 - 1.1. Sistemas o componentes fotovoltaicos.
 - 1.2. Sistemas o componentes de calentamiento solar de agua o aire.
 - 1.3. Techos verdes o techos ajardinados.
 - 1.4. Cubiertas o pasarelas sobre el techo.
 - 1.5. Claraboyas.
 - 1.6. Sistemas y componentes HVAC y otros objetos opacos montados sobre el techo.
2. Partes del techo con sombra durante ángulo pico del sol en el solsticio de verano por características permanentes de la edificación o por características permanentes de las edificaciones adyacentes
3. Partes de los techos que están lastrados con lastre de piedra mínimo de 17 libras por pie cuadrado (74 kg/m^2) o 23 psf (117 kg/m^2) adoquines.
4. Techos donde no menos del 75 por ciento de área de techo cumple con una o más de las excepciones a esta sección.

**TABLA C402.3
OPCIONES MÍNIMAS DE REFLECTANCIA SOLAR Y
EMITANCIA TÉRMICA^a**

Índice de reflectancia solar ^b de edad de tres años de 55 y emitancia térmica ^c de 3 años de edad de 0.75
Índice de reflectancia solar ^d de edad de tres años de 64

- a. Se debe permitir el uso de promedios ponderados del área para cumplir con estos requisitos. A los materiales que no tienen valores ensayados de 3 años para reflectancia solar o emitancia térmica se les debe asignar una reflectancia solar de edad de tres años de acuerdo con la Sección C402.3.1 y una emitancia térmica de 3 años de 0.90
- b. Reflectancia solar envejecida ensayada de acuerdo con ASTM C1549, ASTM E903 o ASTM E1918 o CRRC-S100.
- c. Emitancia térmica envejecida ensayada de acuerdo con ASTM C1371 o ASTM E408 o CRRC-S100.
- d. El índice de reflectancia solar (SRI) debe determinarse de acuerdo con ASTM E1980 utilizando un coeficiente de convección de 2.1 Btu/h × pie² × °F (12 W/m² × K). El cálculo del SRI envejecido debe basarse en los valores ensayados de edad de reflectancia solar y emitancia térmica.

C402.3.1 Reflectancia solar envejecida del techo.

Cuando no está disponible la reflectancia solar envejecida requerida por la Sección C402.3, se debe determinar de acuerdo con la Ecuación 4-3.

$$R_{\text{envejecida}} = [0.2 + 0.7(R_{\text{inicial}} - 0.2)] \quad \text{(Ecuación 4-3)}$$

donde:

$R_{\text{envejecida}}$ = La reflectancia solar envejecida.

R_{inicial} = La reflectancia solar inicial determinada de acuerdo con CRRC-S100.

C402.4 Ventanaje. El ventanaje debe cumplir con las Secciones C402.4.1 hasta C402.4.5 y la Tabla C402.4. Los controles sensibles a la luz natural deben cumplir con esta sección y la Sección C405.2.4.

C402.4.1 Área máxima. El área de ventanaje vertical, sin incluir puertas opacas y panel de tímpano opaco, no debe ser mayor del 30 por ciento del área bruta del muro por

encima del nivel de terreno. El área de claraboya no debe ser mayor del 3 por ciento del área bruta del techo.

C402.4.1.1 Aumento del área de ventanaje vertical con controles sensibles a la luz natural. En las *Zonas Climáticas* 0 hasta 6, no más del 40 por ciento del área bruta del muro por encima del nivel de terreno debe ser ventanaje vertical, siempre que se cumplan todos los siguientes requisitos:

1. En edificaciones de no más de dos pisos por encima del nivel del terreno, no menos del 50 por ciento del área neta de piso está dentro de una *zona con luz de día*.
2. En edificaciones de tres o más pisos por encima del nivel del terreno, no menos del 25 por ciento del área neta de piso está dentro de una *zona con luz de día*.
3. *Controles sensibles a la luz natural* instalados en *zonas con luz de día*.
4. La transmitancia visible (VT) del ventanaje vertical no es menor que 1.1 veces el coeficiente de times coeficiente de ganancia de calor solar (SHGC).

Excepción: No se requiere que el ventanaje que está fuera del alcance de NFRC 200 cumpla con el Ítem 4.

C402.4.1.2 Aumento del área de claraboya con controles sensibles a la luz natural. El área de claraboya debe ser no mayor del 6 por ciento del área de techo siempre que los *controles sensibles a la luz natural* estén instalados en *zonas con luz de día iluminadas desde arriba*.

C402.4.2 Área de ventanaje mínima de claraboya. Se deben proveer claraboyas en espacios encerrados de más de 2,500 pies cuadrados (232 m²) de área de piso, directa-

**TABLA C402.4
REQUISITOS MÁXIMOS PARA EL FACTOR U Y SHGC DEL VENTANAJE DE LA ENVOLVENTE DE LA EDIFICACIÓN**

ZONA CLIMÁTICA	0 Y 1		2		3		4 EXCEPTO MARINA		5 Y MARINA 4		6		7		8	
Ventanaje vertical																
Factor U																
Ventanaje fijo	0.50		0.45		0.42		0.36		0.36		0.34		0.29		0.26	
Ventanaje operable	0.62		0.60		0.54		0.45		0.45		0.42		0.36		0.32	
Puertas de entrada	0.83		0.77		0.68		0.63		0.63		0.63		0.63		0.63	
SHGC																
	Fijo	Operable	Fijo	Operable	Fijo	Operable	Fijo	Operable	Fijo	Operable	Fijo	Operable	Fijo	Operable	Fijo	Operable
PF < 0.2	0.23	0.21	0.25	0.23	0.25	0.23	0.36	0.33	0.38	0.33	0.38	0.34	0.40	0.36	0.40	0.36
0.2 ? PF < 0.5	0.28	0.25	0.30	0.28	0.30	0.28	0.43	0.40	0.46	0.40	0.46	0.41	0.48	0.43	0.48	0.43
PF ? 0.5	0.37	0.34	0.40	0.37	0.40	0.37	0.58	0.53	0.61	0.53	0.61	0.54	0.64	0.58	0.64	0.58
Claraboyas																
Factor U	0.70		0.65		0.55		0.50		0.50		0.50		0.44		0.41	
SHGC	0.30		0.30		0.30		0.40		0.40		0.40		NR		NR	

NR = Sin Requisitos, PF = Factor de Proyección.