

Comprensión y Uso

# Aislante Reflectante, Barreras Radiantes Y Capas de Control De Radiación

Compilado por



ASOCIACIÓN INTERNACIONAL DE FABRICANTES DE  
AISLANTE REFLECTANTE

*Segunda Edición Derechos Reservados© Mayo 2002*

**Reflective Insulation Manufacturers Association International (RIMA-I)**

14005 W. 147<sup>th</sup> Street, Olathe, KS 66062

Phone: 800-279-4123 ● Fax 913-839-8882

La Asociación Internacional de Fabricantes de Aislantes Reflectantes (RIMA-I) por sus siglas en Inglés, sus miembros, sus agentes o ambos, no garantizan ni asumen responsabilidad por la corrección, suficiencia o complitud de la información contenida a continuación. La información a continuación proporcionada pretende ser una guía para comprender el concepto y las aplicaciones del aislante reflectante, las barreras radiantes y las capas de control de radiación interior.

# TABLA DE CONTENIDOS

<b>1. ACERCA DE RIMA INTERNACIONAL</b> .....	<b>1</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	<b>1</b>
<b>4. FUNDAMENTOS DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR</b> .....	<b>2</b>
4.1 Conducción.....	
4.2 Convección.....	
4.3 Radiación.....	
<b>5. LA NECESIDAD DEL AISLANTE</b> .....	<b>5</b>
<b>6. AISLANTE REFLECTANTE</b> .....	<b>6</b>
6.1 Concepto de Aislante Reflectante.....	6
6.2 Comprensión de un Sistema de Aislamiento Reflectante.....	7
6.3 Tipos de Materiales de Aislante Reflectante.....	8
6.4 Aplicaciones de Materiales de Aislamiento Reflectante.....	8
6.5 Instalación de Sistemas de Aislamiento Reflectante.....	9
<b>7. BARRERAS RADIANTES</b> .....	<b>10</b>
7.1 Física de las Barreras Radiantes.....	10
7.2 Sistemas de Barreras Radiantes (RBS).....	11
7.3 Tipos de Materiales de Barreras Radiantes.....	11
7.4 Instalación de Barreras Radiantes.....	11
7.4.1 Áticos.....	11
7.4.2 Paredes.....	13
7.4.3 Pisos.....	13
<b>8. CAPAS DE CONTROL DE RADIACIÓN INTERIOR (IRCC)</b> .....	<b>14</b>
8.1 Definición de una IRCC.....	14
8.2 Física de un IRCC.....	14
8.3 Definición de una Capa de Control de Radiación Interior (IRCC).....	14
8.4 Ventajas de una IRCC.....	14
8.5 Métodos de Instalación de una IRCC.....	14
8.6 Instalaciones Típicas de las Capas de Control de Radiación Interior (IRCC).....	15
8.6.1 <i>Debajo del Techo</i> .....	15
8.6.2 <i>Paredes Laterales Interiores</i> .....	15
8.6.3 <i>Paredes Laterales Exteriores</i> .....	15
8.6.4 <i>Otros Usos Posibles – Construcción</i> .....	15
8.7 Otros Usos Posibles de una IRCC.....	16
<b>9. GLOSARIO DE TÉRMINOS</b> .....	<b>16</b>
<b>10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>18</b>
10.1 Reseñas.....	18
10.2 Documentos Técnicos.....	18
10.3 Documentos.....	20
10.3.1 <i>Manual ASHRAE</i> .....	20
10.3.2 <i>Comisión de Comercio Federal</i> .....	20
10.3.3 <i>Conferencia Internacional de Oficiales de Construcción (ICBO)</i> .....	20
10.3.4 <i>Departamento de Energía de los Estados Unidos</i> .....	20
10.4 Estándares ASTM.....	20
<b>APÉNDICE – INTRODUCCIÓN EN LA ESTIMACIÓN DE RESISTENCIAS TÉRMICAS PARA SISTEMAS DE AISLAMIENTO REFLECTANTE</b> .....	<b>22</b>

---

## **1. ACERCA DE RIMA INTERNACIONAL**

La Asociación Internacional de Fabricantes de Aislante Reflectante (RIMA-I), es la única asociación comercial que representa las ramas del aislante reflectante, la barrera radiante y las capas de control de radiación. Las actividades de RIMA-I están guiadas por una activa junta de afiliados de las industrias que participan tanto a nivel local como nacional en organizaciones y agencias gubernamentales de codificación de la construcción.

El objetivo de RIMA-I es promover el concepto y la aceptación del aislante reflectante, las capas de control de la radiación y las barreras radiantes. En aras de lograrlo, los miembros de RIMA-I han colaborado con muchos artículos e información que han aparecido en revistas y boletines como:

*Builder, Journal of Light Construction, Popular Mechanics, Popular Science, Architecture, RSI, Energy Design Update, Contractor's Guide, Practical Homeowner, Rural Builder, Metal Magazine, Frame Builder NEWS, Metal Construction News, and Metal Architecture.*

RIMA-I también ha colaborado con informes técnicos en varias conferencias y talleres patrocinados por el Departamento de Energía, ASHRAE, TVA, ASTM, y el Laboratorio Nacional de Oak Ridge. Los miembros de RIMA-I se reúnen dos veces por año junto con las reuniones de Comité para discutir asuntos técnicos actuales y establecer estándares que promuevan el uso más adecuado de los productos de aislante reflectante, capas de control de radiación y las barreras radiantes. Los miembros de RIMA-I's vienen de una gran variedad de campos como ingenieros, científicos, fabricantes, comerciantes y académicos.

El Manual de RIMA-I tiene como propósito proporcionar una guía comprensiva, pero sencilla a la vez, que ahonda en los fundamentos de la transferencia del calor y el concepto del aislante reflectante, las barreras radiantes y las capas de control de radiación interior, conocida como IRCC, por sus siglas en Inglés.

## **2. INTRODUCCIÓN**

La clave para mantener una temperatura cómoda en un edificio es reducir la transferencia de calor hacia afuera del edificio en invierno y reducir la transferencia de calor hacia dentro del edificio en verano.

El calor se transmite a través de espacios de aire encerrado por medio de la radiación, la convección y la conducción. La meta es reducir las cargas de calentamiento y enfriamiento. El aislante reflectante, las capas de control de radiación y las barreras radiantes son productos que desempeñan su función reduciendo la transferencia de calor radiante, reduciendo así la demanda de calentamiento y enfriamiento.

## **3. OBJETIVOS**

- Tratar acerca de la transferencia de calor, poniendo énfasis en la transferencia de calor radiante.
- Explicar los principios subyacentes del aislante reflectante, las barreras radiantes y las capas de control de radiación interior.

- Aclarar las diferencias entre estas tres tecnologías reflectantes e ilustrar las mejores aplicaciones para cada una.
- Proporcionar un conocimiento acerca del uso eficiente de aislante reflectante, las barreras de radiación y las capas de control de radiación interna.

El manual no pretende ser una fuente definitiva, pero si abarcará información básica. Existe un gran número de publicaciones autorizadas sobre tecnologías y productos reflectantes. Estos se encuentran en la sección 10, apartado de Referencias Bibliográficas, y se recomiendan como información adicional y guía. Nuestro propósito en esta sección es informar, en un modo fácil de entender, las virtudes de los productos reflectantes representados por los miembros de RIMA-I.

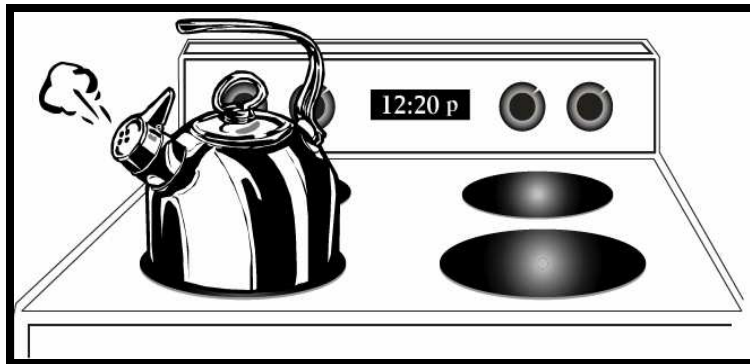
#### **4. FUNDAMENTOS DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR**

El calor fluye de un medio caliente o tibio a uno frío de tres maneras:

- Por la radiación de una superficie tibia a una mas fresca a través de un espacio de aire.
- Por conducción a través de materiales sólidos o líquidos.
- Por convección, que se refiere al movimiento físico del aire.

##### **4.1 Conducción**

La conducción es el flujo directo de calor a través de un material con el se tenga contacto físico. La transferencia de calor por conducción es causada por el movimiento molecular en el cual las moléculas transfieren su energía hacia moléculas adyacentes y aumentan su temperatura.



Un ejemplo típico de conducción sería el calor transferido de un café caliente hacia la mano que sostiene la taza. Otro ejemplo, como se muestra en la ilustración de arriba, el contenido de una tetera hierve por causa del calor transferido desde un quemador hasta la tetera. También un atizador se calienta al entrar en contacto con carbón caliente.

La transferencia de calor por conducción está regida por una ecuación fundamental conocida como la Ley de Fourier.

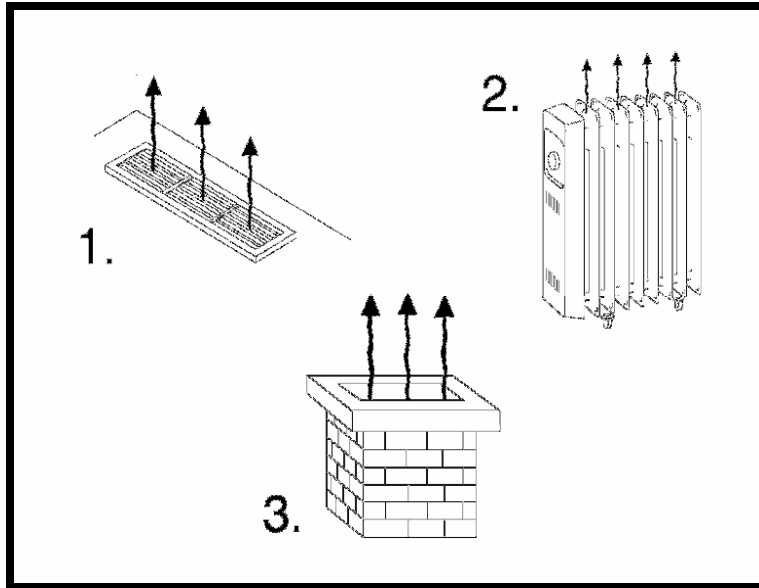
$$(\text{Densidad de Flujo de Calor}) = -k \times (\text{Área}) \times (\text{Gradiente de Temperatura})$$

El factor k se llama conductividad térmica o en el caso de muchos materiales aislantes “conductividad térmica aparente”. Esta propiedad es característica del material y varía con la temperatura, la densidad (grado de compactación), la composición. En la siguiente tabla se encuentran datos típicos, para fines comparativos, sobre la conductividad y la resistividad térmica.

Material	Valor k <sup>1,2</sup>	R/pulgada <sup>3</sup>
Aserrín	0.36	2.8
Virutas	0.41	2.4
<b> AISLANTE </b>		
Batería de Fibra de Vidrio Estándar	0.313	3.2
Batería de Fibra de Vidrio de Alto rendimiento	0.263	3.8
Fibra de Vidrio con relleno suelto	0.400	2.5
Lana de roca con relleno suelto	0.357	2.8
Celulosa con relleno suelto	0.270	3.7
Polistireno Expandido	0.263	3.8
Polistireno Extrudido	0.200	5.0
<b> GASES </b>		
Aire	0.181	5.5
Dióxido de Carbono	0.115	8.7
Helio	1.04	0.96
Metano	0.237	4.2
<b> LÍQUIDOS </b>		
Glicol Etileno	1.80	0.56
Gasolina	0.94	1.06
Agua	4.19	0.24
<b> METALES </b>		
Aluminio	1890	0.00053
Cobre	2760	0.00036
Hierro	555	0.0018
Plomo	240	0.0042
<b> MATERIALES DE CONSTRUCCION MISCELANEOS </b>		
Teja Acústica	0.40	2.5
Asfalto	5.2	0.19
Concreto (140 lb/ft <sup>3</sup> )	12.0	0.08
Algodón (6 lb/ft <sup>3</sup> )	0.30	3.3
Vidrio para Ventana	6.10	0.16
Tierra	4-20	0.25-0.05
Abeto	0.76	1.3
Roble	1.18	0.85
Pino Amarillo	1.04	0.96
Madera Contrachapada	0.83	1.2
<sup>(1)</sup> Los valores mostrados están a 75°F (aproximadamente 300K) <sup>(2)</sup> Valores nominales en Btu·in./pies <sup>2</sup> ·hr·°F <sup>(3)</sup> Resistividad térmica en pies <sup>2</sup> ·hr·°F/Btu·in.		

## 4.2 Convección

La convección en edificios es la transferencia de calor causada por el movimiento del aire calentado. En un espacio de un edificio, el aire tibio se levanta y el aire frío se asienta para crear un anillo de convección cuyo término es convección libre. La convección también puede ser causada mecánicamente cuyo término es convección forzada, por un abanico o por el viento.



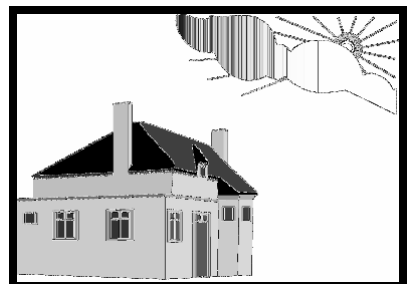
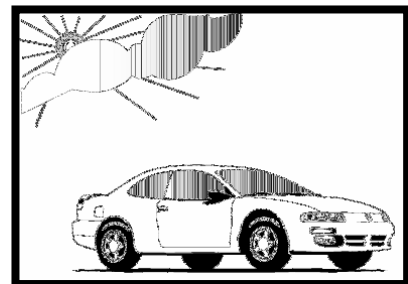
Ejemplos típicos de transferencia de calor por medio de la convección:

1. Aire tibio levantándose del registro. (convección forzada)
2. Aire tibio se levanta de todas las superficies del radiador, (después de que el aire que está en contacto con el radiador se ha calentado por conducción).
3. Aire tibio levantándose por la chimenea. (convección libre).

En el flujo de calor a través de un cuerpo sólido al aire, se observó que el paso de calor en el aire no se lograba solamente con la conducción. En vez de eso, éste ocurría parcialmente por radiación y parcialmente por convección libre. Existía una diferencia de temperatura entre el sólido caliente y la temperatura promedio del aire. En este caso, la resistencia a la transferencia de calor no se puede calcular usando la conductividad térmica de solo el aire. Más bien, la resistencia se tiene que determinar experimentalmente midiendo la temperatura de la superficie del sólido, la temperatura del aire, y el calor transferido del sólido al aire. La resistencia registrada es la resistencia combinada de la conducción, la convección libre, y la radiación. La resistencia, denotada por la letra "R", tiene las unidades de  $(\text{hr}\cdot\text{ft}^2\cdot\text{F}/\text{Btu})$  y se usa comúnmente para indicar las características térmicas de los materiales aislantes.

## 4.3 Radiación

La radiación es la transferencia de calor (energía radiante infrarroja) de una superficie caliente a una fría mediante aire o vacío. Todas las superficies incluyendo un radiador, una cocina, un cielorraso o techo y el aislante ordinario irradian a diferentes grados. El calor radiante es invisible y no tiene temperatura, solo energía. Cuando esta energía golpea contra otra superficie, se absorbe y aumenta la temperatura de esa superficie. Este concepto se puede entender con el siguiente ejemplo: en un día claro y soleado, el calor radiante de sol viaja a través de la ventana de un carro, golpea el volante y se absorbe, causando así un aumento en la temperatura.



La radiación del sol golpea las superficies externas de las paredes y los techos y se absorbe, lo que provoca que la superficie se caliente. Este calor fluye de una pared externa a una interna a través de la conducción que luego se irradia de nuevo, a través de los espacios de aire en el edificio, a otras superficies dentro del edificio.

Comúnmente se encuentran dos términos cuando se habla de la transferencia de calor radiante:

1. **Emitancia** (o emisividad), se refiere la habilidad que tiene la superficie de los materiales de emitir energía radiante. Todos los materiales tienen emisividades que van de grado cero a uno. Entre más bajo el grado de emisividad de un material, menor es el calor irradiado de esa superficie (energía radiante infrarroja). El papel aluminio tiene una emisividad muy baja, lo cual explica su uso en los aislantes reflectantes y en las barreras radiantes.
2. **Reflectancia** (o reflectividad) se refiere a la fracción de energía radiante entrante que se refleja de una superficie. La reflectividad y la emisividad están relacionadas y una emisividad baja es indicador de una superficie altamente reflectante. Por ejemplo, el aluminio que tiene una emisividad de 0.03 tiene una reflectividad de 0.97.

La siguiente tabla<sup>2</sup> muestra la emisividad de varias superficies.

Superficie del Material	Emisividad
Asfalto	0.90-0.98
Papel aluminio	0.03-0.05
Ladrillo	0.93
Concreto	0.85-0.95
Vidrio	0.95
Fibra de vidrio/Celulosa	0.8-0.90
Piedra caliza	0.36-0.90
Mármol	0.93
Pintura: laca blanca	0.80
Pintura: esmalte blanco	0.91
Pintura: laca negra	0.80
Pintura: esmalte negro	0.91
Papel	0.92
Yeso	0.91
Plata	0.02
Acero (suave)	0.12
Madera	0.90

## **5. LA NECESIDAD DEL AISLANTE**

El aislante reduce la transferencia del calor a través de la envoltura de un edificio, cuando se instala correctamente. Cuando hay diferencia en la temperatura, el calor fluye naturalmente de un espacio tibio a uno más fresco. Para mantener la comodidad en el invierno, se debe reemplazar el calor perdido con un sistema de calefacción; y en el verano, el calor ganado debe ser eliminado por un sistema de enfriamiento. Las estadísticas muestran que de un 50% a un 70% de la energía usada en una casa promedio en los Estados Unidos y Canadá es



---

para calefacción y enfriamiento. Tiene sentido entonces, usar aislante térmico para reducir ese consumo de energía al mismo tiempo que se aumenta la comodidad y se ahorra dinero. Naturalmente el menor consumo de combustibles fósiles y la energía que a partir de ellos se produce, alivia la carga que debe soportar el ecosistema.

Para resumir, aislar el sobre de un espacio acondicionado de un edificio proporcionan los siguientes beneficios considerados clave:

1. Proporciona una estructura mucho más cómoda, productiva y habitable. Además, en edificios con aislantes correctamente instalados se minimizan los efectos de la condensación por humedad así como por el movimiento del aire. Esto logra costos de mantenimiento reducidos y un aumento en la longevidad de la estructura del edificio.
2. Reduce la demanda de energía, por lo que baja la factura de electricidad.
3. Apoya metas económicas y medioambientales de conservación de energía. Esto se evidencia en numerosos estudios patrocinados por el Departamento de Energía.

El calor se mueve a través de cavidades en la pared como entre los techos y pisos de los áticos por radiación, conducción y convección. En algunos edificios, el método dominante de transferencia de calor es la radiación. Un aislante reflectante es una barrera efectiva contra la transferencia de calor radiante porque refleja casi toda la radiación infrarroja que golpea su superficie y emite muy poco del calor que se conduce a través de él. En virtud de su superficie impermeable, el aislante reflectante también reduce la transferencia de calor convectivo. El aislante en masa como la fibra de vidrio o una lámina de espuma baja la transferencia de calor conductivo, y en menor medida, la transferencia de calor convectivo. Sin embargo, el aislante en masa no es tan efectivo contra la radiación infrarroja, puesto que en realidad la absorbe en vez de reflejarla o bloquearla.

## **6. AISLANTE REFLECTANTE**

**Definición:** Es el aislante térmico que consiste en una o más superficies de baja emisividad, limitando uno o más espacios de aire encerrados.

### **6.1 Concepto de Aislante Reflectante**

Los tipos de aislantes estándar, como fibra de vidrio, espuma y celulosa reducen principalmente la transferencia de calor al atrapar el aire o algún tipo de gas. Por consiguiente, estos productos o tecnologías reducen la convección como método principal para la reducción de la transferencia de calor. Estas no son tan eficientes en reducir la transferencia de calor radiante, lo cual a menudo se considera el modo principal de transferencia de calor en la envoltura de un edificio, de hecho, estos productos, *como la mayoría de los materiales de edificios*, tienen tasas de transferencia radiante muy altas. En otras palabras, las superficies de tipos de aislantes estándar son buenos irradiadores de calor.

El aislante reflectante utiliza capas de aluminio, papel ó plástico, o ambos para atrapar el aire y de esa manera, reducir la transferencia de calor convectivo. El componente del aluminio sin embargo, es muy efectivo para reducir la transferencia de calor radiante. De hecho, los materiales metalizados o de aluminio comúnmente usados en aislantes reducen hasta en un 97% la transferencia de calor radiante.

---

El flujo de calor por la radiación ha sido llevado a la atención pública con ventanas de alta efectividad, que comúnmente usan el término “Bajo E” para promocionar los altos niveles de rendimiento. La “E” significa emisividad y los valores van del 0 al 1, en donde el 0 significa radiación nula y el 1 es la medida más alta de emisividad o radiación. La mayoría de los materiales de construcción que incluye fibra de vidrio, espuma y celulosa tienen valores de emisividades de superficie o valores “E” que exceden 0.70. Los aislantes reflectantes típicamente tienen valores “E” de 0.03 (de nuevo, entre más bajo, mejor). Por ende, el aislante reflectante es superior a otros tipos de materiales aislantes en reducir el calor radiante. El término reflectante, que conforma el aislante reflectante, es de alguna manera un término equivocado, porque el aluminio o sirve para reflejar calor (reflectancia de 0.97) o para *no irradiar calor* (emisividad de 0.03). Sea que se enuncie como reflectividad o emisividad, el desempeño en transferir calor es el mismo. Cuando se instala el aislante reflectante en las cavidades de un edificio, éste atrapa aire (como cualquier otro material aislante) y de esa manera reduce el flujo de calor por convección, y así toca los tres modos de transferencia de calor. En todos los casos, el material reflectante debe ser adyacente a un espacio con aire. El aluminio, cuando se compacta contra 2 piezas de madera contrachapada por ejemplo, conducirá calor en mayor medida.

Todos los productos aislantes, incluso los aislantes reflectantes se miden con valores “R”, según el cual la R significa resistencia al flujo de calor. Entre más alto sea el valor R, mayor será el desempeño del material en su capacidad de aislar y térmica.

El aislante reflectante no es un material tóxico, es seguro para el usuario así como para el propietario del inmueble y es un material de construcción seguro para el medio ambiente. Además, los productos son típicamente reciclables y por consiguiente, se puede considerar un Material de Construcción Verde.

Otro beneficio es que el aislante reflectante también puede servir como una barrera de alto desempeño y efectiva contra el vapor.

## **6.2 Comprensión del Sistema de Aislamiento Reflectante (RIS)**

Capas de aluminio o un material de baja emisividad y espacios de aire encerrados, que a su vez proporcionan alta reflectancia o baja emisividad a cavidades adyacentes a una región calentada, típicamente forman un sistema de aislante reflectante. Algunos sistemas de aislante reflectante también usan otras capas de materiales como papel o plástico para formar espacios cerrados de aire adicionales. El desempeño del sistema se determina por la emisividad de los materiales; entre más bajo, mejor y el tamaño de los espacios de aire encerrado. Entre más pequeño sea el espacio de aire encerrado, menor será la cantidad de calor que se va a transferir por convección. Por ende, para minimizar el flujo de calor por convección se posiciona un aislante reflectante, con sus múltiples capas de aluminio y espacio de aire encerrado en una cavidad de la construcción (pared con montantes o barrotes, pared de albañilería enrasada, vigueta de piso, vigueta de cielorraso, etc.) para dividir la cavidad más larga (3/4” enrasado, 2” x 4”, 2” x 6”, etc.) en espacios de aire más pequeños. Estos espacios de aire más pequeños atrapados reducen el flujo de calor convectivo.

El aislante reflectante difiere del aislante en masa convencional en lo siguiente:

1. El aislante reflectante tiene valores de emisividad muy bajos “valores E” (típicamente 0.03 comparado con 0.90 para la mayoría del aislante) por lo que reduce significativamente la transferencia de calor por radiación;

- 
2. Un aislante reflectante no tiene masa significativamente importante que absorber para retener calor;
  3. El aislante reflectante tiene menor transferencia de humedad y tasas de absorción en la mayoría de los casos;
  4. El aislante reflectante atrapa el aire con las capas de aluminio, papel, plástico o ambos a diferencia del aislante en masa que usa fibra de vidrio, partículas de espuma o papel molido;
  5. El aislante reflectante no irrita la piel, los ojos, ni la garganta y no contiene sustancias que se van a evaporar;
  6. El cambio en desempeño térmico debido a la compactación o a la absorción de humedad, lo cual es una preocupación común cuando se usa aislante en masa, no constituye un problema con el aislante reflectante.

### **6.3 Tipos de Materiales de Aislante Reflectante**

El aislante reflectante se ha usado de manera eficaz por décadas y está disponible en todo el mundo. Los siguientes son los principales tipos de aislante reflectante disponibles en la actualidad:

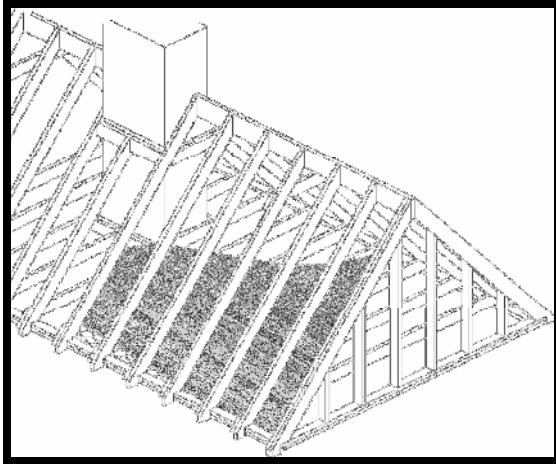
1. Una o varias capas de papel aluminio se separa con una o varias capas de burbujas de plástico o un material a base de espuma;
2. Múltiples capas de aluminio más papel de embalaje (popularmente conocido como kraft), o plástico con expansores internos o ambos con bordes en las orillas para una mayor instalación;
3. Una sola capa de papel aluminio laminado con papel de embalaje o un material plástico cuando se encapsula con un espacio de aire adyacente.

### **6.4 Aplicaciones para Materiales de Aislamiento Reflectante**

Los materiales aislantes reflectantes están diseñados para ser instalados en medio, encima, o debajo de marcos y como resultado de esto, se aplican a paredes, pisos y cielorrasos. Las aplicaciones del aislante reflectante se extienden a muchos usos comerciales, agrícolas e industriales como techos de madera panelizados, construcciones prefabricadas, bañadas de postes y otras estructuras con marcos. Seguidamente se presenta una lista de aplicaciones más representativas:

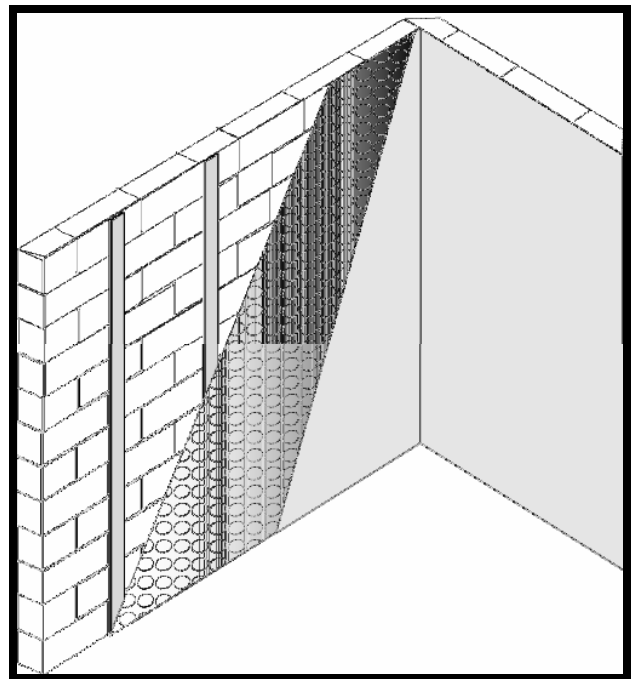
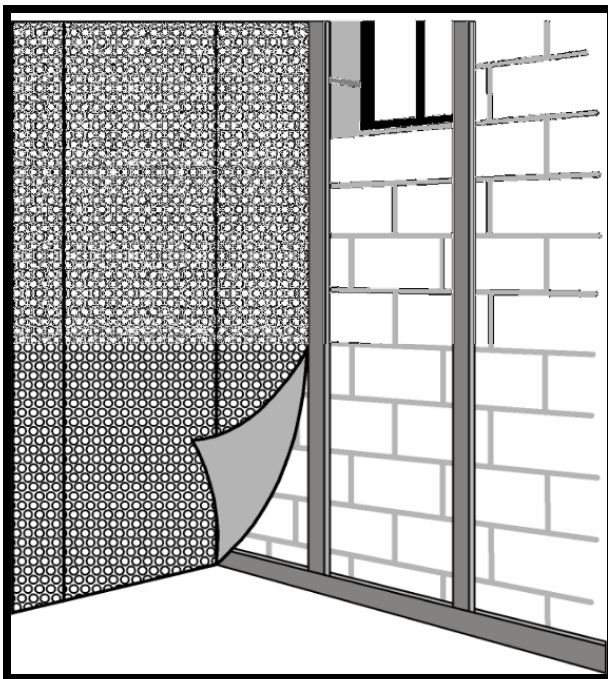
- **Construcciones Residenciales, Nuevas y Actualizadas**
  - Paredes, sótanos, pisos, cielorrasos, techos y espacios de ventilación.
- **Construcciones Comerciales, Nueva y Actualizadas**
  - Paredes, sótanos, pisos, cielorrasos, techos y espacios de ventilación.
- **Construcciones de Casas Prefabricadas, Nuevas y Actualizadas**
  - Paredes, pisos, techos y espacios de ventilación.
- **Otros usos, Nuevos y Actualizados**

Forros de calentadores de agua, unidades de almacenamiento en frío, productos avícolas, y construcciones para ganado, equipos para cobertizos, aislantes para tubería y vehículos recreativos.



**Instalación Típica del Aislante Reflectante para un Ático**

### Instalación del Aislante Reflectante en un Sótano



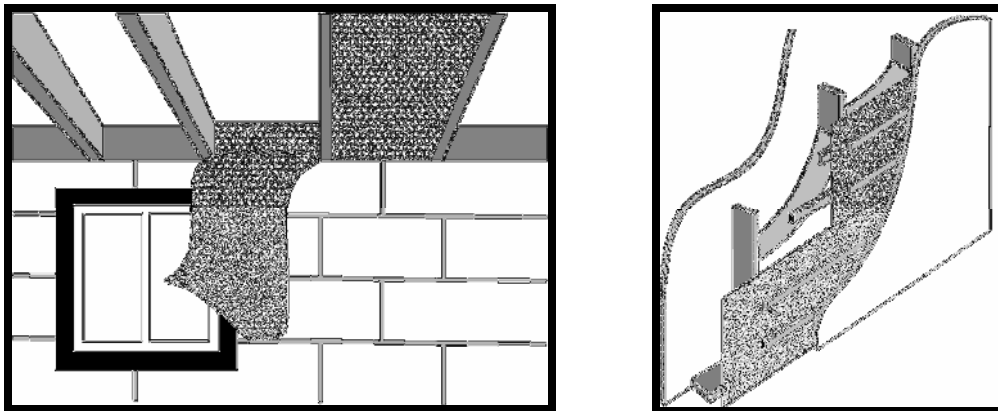
## 6.5 Instalación de Sistemas de Aislamiento Reflectante

Los productos de aislante reflectante incorporan espacios de aire atrapado como parte del sistema. Estos espacios de aire, que pueden ser puestos en capas o celdas cerradas, se pueden incluir en el sistema ya sea cuando el producto se está fabricando o cuando se está instalando. En cada caso, el rendimiento que se anuncia para el aislante requiere que estos espacios de aire estén presentes después de que el producto sea instalado. Los valores R en

la etiqueta no se lograrán si el producto no está instalado de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

El desempeño térmico del sistema reflectante varía con el tamaño y el número de los espacios reflectantes encerrados dentro de la cavidad de la construcción. La mayoría de los sistemas reflectantes rondan entre uno y cinco espacios de aire encerrados.

### **Espacios de Aire en el Típico Sistema de Aislamiento Reflectante**



Hay otras consideraciones beneficiosas al usar el aislante reflectante. Generalmente, estos productos tienen muy baja permeabilidad de agua, vapor y aire. Cuando se instala apropiadamente, con empates seguramente sellados, los materiales aislantes reflectantes son eficaces retardadores de vapor y una barrera efectiva al aire y al gas radón.

Dado que los materiales de aislante reflectante son efectivos retardadores de vapor, se debe tener cuidado de asegurarse que se están instalando correctamente dentro de la estructura. La instalación correcta depende de las condiciones climáticas y de las fuentes de humedad involucradas. Una instalación apropiada asegura que todas las uniones y grietas se junten entre si y queden selladas, o traslapadas y selladas. Esto reducirá la posibilidad de condensación de humedad dentro de la cavidad y mejorará el rendimiento.

## **7. BARRERAS RADIANTES**

**Definición:** La definición generalmente aceptada de un sistema radiante especifica que el material reflectante está al frente de un espacio de aire abierto. La idea es que una barrera radiante que está frente un espacio de aire cerrado es una “aislante reflectante” con un valor R medible.

### **7.1 La Física de las Barreras Radiantes**

Una “barrera radiante” es una superficie reflectante de baja emisividad como lo define el ASTM en donde la emisividad es 0.10 o menos en o cerca de un componente de construcción, que intercepta el flujo de energía radiante hacia el componente de construcción o desde éste.

Los escudos de láminas de aluminio se que insertan comúnmente detrás de los radiadores en casas antiguas comúnmente son barreras radiantes, que bloquean la transferencia de calor radiante del radiador a la pared exterior.

Debe quedar claro que aunque la barrera radiante reduce la pérdida de calor y gana a través de la envoltura de la construcción porque se instala en cavidades abiertas (como áticos), no es un material aislante en sí mismo y no tiene un valor R inherente.

## 7.2 Sistemas de Barrera Radiante (RBS)

Un “sistema de barrera radiante” (RBS) por sus siglas en Inglés, es una sección de la construcción que incluye una barrera radiante que está frente a un espacio de aire. Un ático con una barrera radiante encima de la masa aislante en el piso, o debajo del techo es un RBS. Una pared de piel ventilada con una barrera radiante que esta frente a un espacio abierto también es un RBS. (Ver diagrama en la página 14.)

La distinción entre una barrera radiante “material” y una sistémica no es meramente académica. En un ático, la eficacia de una barrera radiante se ve afectada significativamente por la cantidad de ventilación que tiene el ático. Un ático ventilado con una barrera radiante es un sistema muy distinto al de un ático no ventilado con la misma barrera radiante.

## 7.3 Tipos de Material de Barreras Radiantes

Hay varios tipos de materiales de barrera radiante disponibles. Aunque todos tienen propiedades de superficie similares (y en consecuencia un desempeño similar), las variaciones en los materiales y en la construcción terminan provocando diferencias significativas con respecto a la fuerza, durabilidad, flamabilidad y permeabilidad del vapor de agua.

La mayoría de los productos que están disponibles en los comercios caen dentro de tres categorías principales:

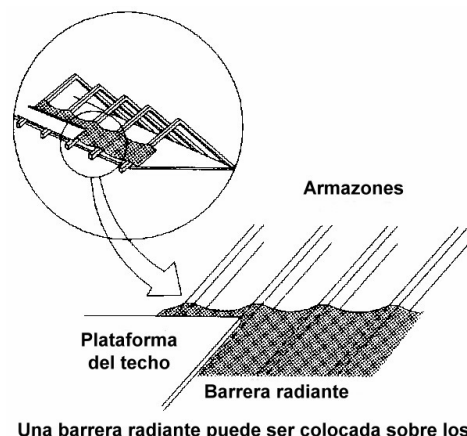
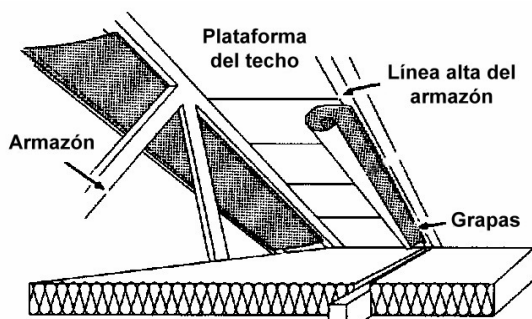
1. Laminados de Papel Aluminio – aluminio laminado al papel de embalaje, láminas de plástico, o al envoltorio de techo madera OSB/ madera contrachapada.
2. Cintas de Plástico Aluminizado - una capa delgada de partículas de aluminio depositado en una cinta mediante un proceso de vacío.

## 7.4 Instalación de Barreras Radiantes

### 7.4.1 Áticos

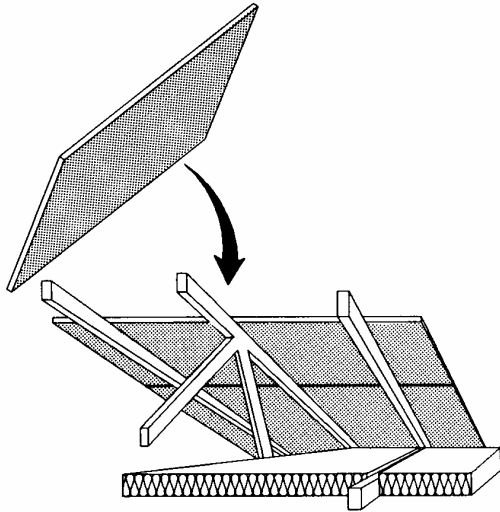
Los áticos son la ubicación más común para un sistema de barrera radiante. Se usan tres configuraciones básicas:

1. Instalación en cerchas/vigas

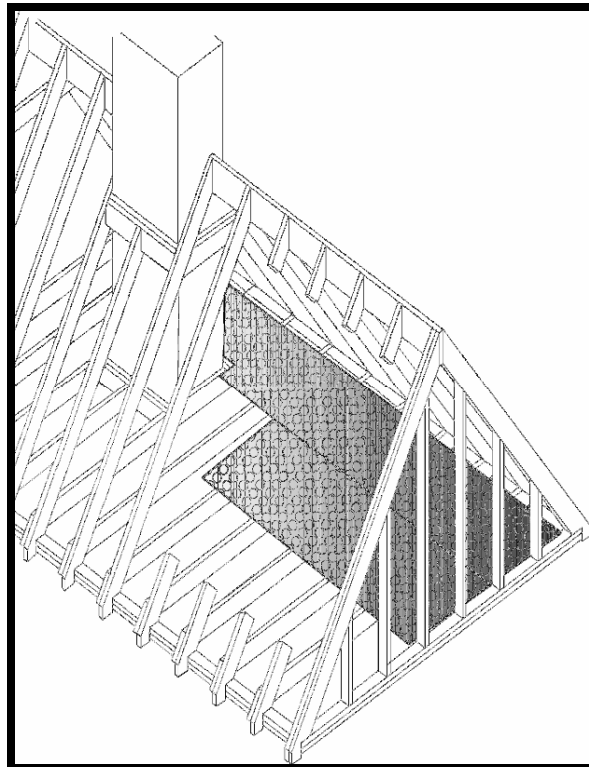


---

2. Debajo, o pre-laminado para plataforma del techo



3. Instalación horizontal (directamente sobre el cielorraso o al aislante del cielorraso).



Como se notó antes, un ático abierto con una barrera radiante es un sistema muy diferente a uno no ventilado con la misma barrera radiante. Los tipos comunes de ventilación en áticos son:

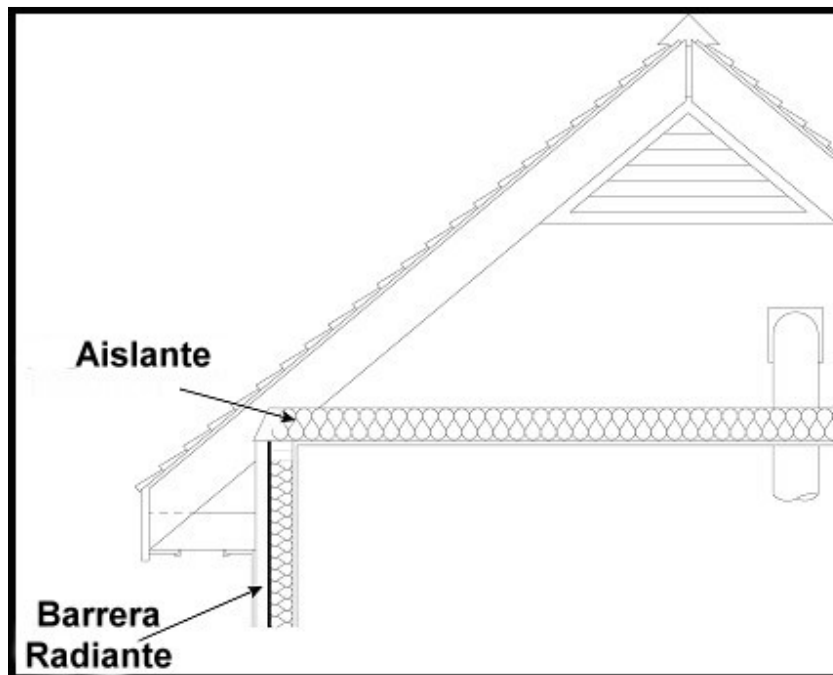
- Sofito a caballete
- Sofito a gablete o hastial
- Sofito a sofito
- Gablete/hastial a gablete/hastial

---

La mayoría de los códigos requieren al menos una tasa de ventilación de 1 a 300. Lo que significa esto es que para cada 300 pies cuadrados de espacio de piso, debe haber un pie cuadrado de área ventilada libre.

#### **7.4.2 Paredes**

Una técnica muy eficaz para las paredes es una pared con una capa de ventilación utilizando una barrera radiante. Los listones de enrasado son utilizados para separar la capa externa de la pared estructural interna. La pared esta envuelta con una barrera radiante orientada hacia el espacio de ventilación. Los respiraderos son usados en la parte superior e inferior para permitir que el aire caliente se eleve naturalmente al ático, donde es expulsado a través de los respiraderos del techo.



**NOTA TÉCNICA:** Barreras radiantes que no son perforadas son barreras de vapor. Deben de colocarse con cuidado.

#### **7.4.3 Pisos**

Barreras radiantes pueden también ser utilizadas en sistemas de pisos localizados sobre sótanos sin calefacción y zonas de ventilación de poca altura. La barrera radiante puede ser engrapada a la parte de abajo de la viga de los pisos, creando un espacio sencillo de aire reflectante o entre las vigas seguido por algún tipo de cobertor, creando dos espacios separados de aire reflectante tal y como se muestra abajo.

Las barreras radiantes son una opción ideal para esta aplicación ya que además de sus excelentes propiedades térmicas, también son barreras de vapor que previenen que la humedad del suelo se desplace a las áreas habitables de arriba.



---

## **8. CAPAS DE CONTROL DE RADIACIÓN INTERIOR (IRCC)**

### **8.1 Definición de una IRCC**

Tal y como es caracterizado por ASTM, una Capa de Control de Radiación Interior es una capa de baja emitancia que no depende del grosor. Cuando se aplica a materiales de construcción no porosos como madera contrachapada, madera OSB, láminas protectoras laterales de metal o paneles de yeso, de acuerdo con las instrucciones de instalación del fabricante, se disminuye la emitancia de la superficie normal de esos materiales a 0.24 o menor.

### **8.2 Física de una IRCC**

Una IRCC trabaja debido al cambio de emitancia de la superficie donde se aplica. Productos para la construcción tales como madera, ladrillo, superficies pintadas y paneles de yeso poseen alta emisividad (0.7 – 0.95). Cuando se calienta por encima de la temperatura de superficies adyacentes, estas irradian la mayoría de su energía de calor para enfriar las superficies. Una IRCC trabaja por disminución de la emitancia de la superficie a 0.24 o menor, reduciendo su habilidad para irradiar calor.

### **8.3 Definición de un Sistema de Control de Radiación Interior (IRCCS)**

La construcción de un edificio consiste de una superficie de baja emitancia (normalmente 0.25 o menos) limitada por un espacio de aire abierto. Un IRCCS por sus siglas en Inglés es usado con el único propósito de limitar la transferencia de calor por radiación y no específicamente con el propósito de reducir la transferencia de calor por convección ó conducción (ASTM C 132, sección 3.2.3)

De esta manera, un IRCCS es similar a un Sistema de Barrera Radiante (RBS) pero es un tanto menos eficiente debido a su alta emisividad y consta de una capa en una superficie de construcción, no de una lámina metálica o capa de producto.

### **8.4 Ventajas de una IRCC**

Una IRCC es normalmente aplicada usando un equipo de aerosol sin aire, siendo el costo de mano de obra muy bajo y reduciendo mucho los tiempos de instalación. Además un IRCC basado en agua puede ser instalado sin peligro en una estructura existente donde los costos de instalación de láminas metálicas o capas de producto pueden ser prohibidos o poco prácticos. Una IRCC puede también usarse en muchos productos manufacturados (tales como reflectores de calor infrarrojo de partes automotrices) donde es poco práctico adherir barreras radiantes de láminas metálicas o capas.

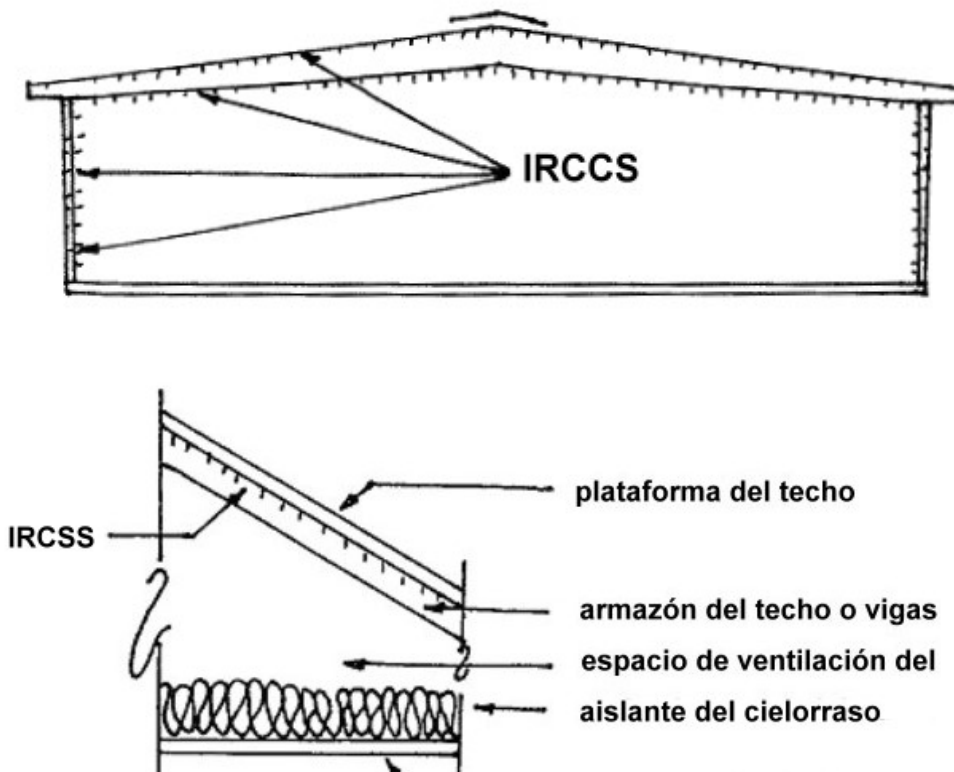
### **8.5 Métodos de Instalación para una IRCC**

Dado que la IRCC es un producto de pintura, la pintura en aerosol ya sea con un atomizador de aire o sin aire es el método más efectivo de instalación. Donde el pintar con aerosol no es práctico. Una IRCC puede ser aplicada usando un rodillo de lanilla. El pintar con brocha es usualmente poco práctico ya que estas capas son de una viscosidad muy baja y no esta hecho para aplicación con brocha.

La IRCC puede ser aplicada a la superficie de un edificio existente (tal como la parte de debajo de una plataforma de techo instalada o la parte de adentro de una pared) o se puede aplicar a un componente de construcción antes de que sea instalado (como es la plataforma del techo pintada cuando aun se encuentra en el suelo antes de ser levantada y puesta en su lugar). Sin importar cuando un componente de construcción es pintado con IRCC es imprescindible que después de la instalación la superficie pintada con IRCC de a un espacio de aire mínimo de 2 pulgadas.

## 8.6 Instalaciones Típicas de una IRCC

### 8.6.1 Debajo del Techo



### 8.6.2 Interior de Paredes Laterales

Materiales IRCC pueden ser instaladas en el interior de paredes laterales en los edificios.

### 8.6.3 Exterior de Paredes Laterales

Materiales IRCC pueden ser instalados en el exterior de las paredes laterales y ser cubierto con un revestimiento exterior.

### 8.6.4 Otros Usos Posibles - Construcción

Una IRCC es un producto de pintura, por consiguiente por ser usado en casi cualquier superficie sólida donde se puede aplicar pintura y donde la transferencia de calor radiante es

---

un problema. Un ejemplo podría ser la pintura dentro de un cuarto de calderas dado que para mantener el calor puede causar incomodidad a las áreas adyacentes. Aún al pintar la caldera como tal puede hacerla operar más eficientemente. Los escudos de calor sin apoyo en estaciones de soldadura o fundiciones pueden ser pintados con una IRCC. Las superficies de techo exterior pueden también ser pintadas con IRCC para repeler el calor del verano y disminuir la pérdida de radiación en el invierno.

## **8.7 Otros Usos Posibles de IRCC**

La tecnología de IRCC tiene muchas aplicaciones en manufactura e industria. Se usa en la industria automotriz para mantener partes sensibles a la temperatura e interiores automotrices frescos. Es usada en la industria de iluminación para hacer reflectores plásticos para lámparas de calor y dispositivos de radiación de calor. Se utiliza como una superficie reflectante en la industria de hornos. Se usa en procesos de cañerías de altas temperaturas y tanques de almacenamiento en plantas químicas para disminuir la pérdida de calor. Cualquier proceso o dispositivo que es sensible a la temperatura, a problemas de calor infrarrojo o usa calor reflejado en su operación puede ser candidato para la tecnología IRCC.

## **GLOSARIO DE TÉRMINOS**

**Conducción:** Conducción es el flujo directo de calor a través de un material como resultado del contacto físico. La transferencia de calor por conducción es causada por movimiento molecular, donde las moléculas transfieren su energía a las moléculas adyacentes aumentando su temperatura.

**Convección:** Convección es la transferencia de calor en un líquido o aire, causado por el movimiento del aire calentado o de el líquido como tal. En un espacio de construcción el aire tibio se levanta y el aire frío se asienta para crear un anillo de convección que se denomina convección libre. La convección puede ser causada también mecánicamente por un ventilador y se denomina convección forzada.

**Emitancia:** Emitancia se refiere a la habilidad de una superficie de emitir energía radiante. Los rangos de emisividad van de 0 a 1, y un valor bajo indica una superficie reflectante con un nivel de radiación bajo.

**Capa de Control de Radiación Interior:** Una capa de baja emitancia que no depende del grosor.

**Valor "R":** Propiedad de un material aislante utilizado para caracterizar la efectividad del aislamiento en la reducción de la transferencia del calor por conducción. Entre mas alto sea el valor "R" mejor va a ser la habilidad aisladora para reducir la transferencia de calor.

**Radiación:** Radiación es la transferencia de calor o energía desde una superficie caliente a una superficie fría a través de aire o vacío.

**Barrera Radiante:** Una barrera radiante es un material reflectante que posee una emitancia de superficie de 0.1 o menos utilizada con el único propósito de limitar la transferencia de calor por radiación.

---

**Sistema de Barrera Radiante:** La construcción de un edificio consiste de una superficie de baja emitancia (0.1 o menos, usualmente de aluminio) rodeada por un espacio de aire abierto.

**Reflectancia:** Reflectancia se refiere a la fracción de energía radiante que se recibe que es reflejada desde la superficie.

**Sistema de Aislamiento Reflectante:** Un Sistema de Aislamiento Reflectante esta formado por la combinación de superficies de baja emitancia y espacios de aire que proporcionan cavidades las cuales poseen niveles bajos de transmisión de energía radiante.

---

## **REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA**

La siguiente lista bibliográfica consultada es selecta más que exhaustiva. Documentos técnicos, reportes, secciones de libros y documentos importantes en conformidad han sido incluidos. Muchos de estos documentos y reporte contienen bibliografía que ampliaría la lista y proporciona una profundización adicional del desempeño del aislante reflecto y de las barreras radiantes.

### **Reseñas**

1. Gross; Miller, R.G. "Literature Review of Measurement and Predictions of Reflective Building Insulation System Performance: 1900-1989". ASHRAE Transactions 95 (2), 1989. 651-664 p.
2. Nisson, Ned. "Radiant Barriers, Principles, Practice, and Product Directory". Energy Design Update, Arlington, MA: Cutter Information Corporation, 1990.

### **Documentos Técnicos**

1. Ludwig, Adams, "Thermal Conductance of Air Spaces". ASHRAE Journal, March, 1976. 37-38 p.
2. Cook, D.W.; Yarbrough; Wilkes, K.E. "Contamination of Reflective Foils in Horizontal Applications and the Effect on Thermal Performance", ASHRAE Transactions 95 (1) 1989.
3. Desjarlais, Andre O.; Yarbrough, David W. "Prediction of the Thermal Performance of Single and Multi-Airspace Reflective Insulation Materials": Insulation Materials: Testing and Applications. Philadelphia: R.S. Graves and D.C. Wysocki, Editors, American Society for Testing and Materials, 1991. 2nd Volume, ASTM STP 1116.
4. Fairey. "Effect of Infrared Radiation Barriers on the Effective Thermal Resistance of Building Envelopes", Proceedings of the ASHRAE/DOE Conference on Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings II, ASHRAE Special Publication 38 (1983).
5. Fairey, Philip "The Measured, Side-by-Side Performance of Attic Radiant Barrier Systems in Hot-Humid Climates", Thermal Conductivity 19, David W. Yarbrough, Editor, Plenum Press, 1988. 481-496 p.
6. Hageman, Robert; Medera, Mark P. "Energy Savings and HVAC Capacity Implications of a Low-Emissivity Interior Surface for Roof Sheathing".
7. Joy. "Improving Attic Space Insulating Values", ASHRAE Transactions 64, 1959. 251.
8. Levins; Karnitz, M.A. "Cooling Energy Measurements of Unoccupied Single-Family Houses with Attics Containing Radiant Barriers", ORNL/CON-200, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN., 1986.
9. Levins and Karnitz, M.A. "Cooling Energy Measurements of Unoccupied Single-Family Houses with Attics Containing Radiant Barriers, ORNL/CON-213, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN., 1987.

- 
10. Levins and Karnitz, M.A. "Cooling Energy Measurements of Unoccupied Single-Family Houses with Attics Containing Radiant Barriers, ORNL/CON-226, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN., 1987.
  11. Levins and Karnitz, M.A. "Cooling Energy Measurements of Unoccupied Single-Family Houses with Attics Containing Radiant Barriers", ORNL/CON-239, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN., 1988.
  12. Levins; Karnitz, M.A.; Hall, J.A. "Moisture Measurements in Single-Family Houses Containing Radiant Barriers", ORNL/CON-255, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN., 1989.
  13. McQuiston; Der, S.L.; Sandoval, S.B. "Thermal Simulation of Attic and Ceiling Spaces", ASHRAE Transactions 90, 1984. 739-163.
  14. Pratt. "Heat Transmission in Buildings, John Wiley and Sons, Chapter 3, "The Thermal Resistance of Airspaces in Cavity Building Structures", (181 p) 66-98 p.
  15. Robinson; Powell, F.J. "The Thermal Insulating Value of Airspaces", Housing Research Paper No. 32, National Bureau of Standards Project NE-12, National Bureau of Standards, Washington, DC, 1954.
  16. Robinson; Cosgrove L.A.; Powell, F.J. "Thermal Resistance of Airspaces and Fibrous Insulation Bounded by Reflective Surfaces", Building Materials and Structures Report 151, National Bureau of Standards, Washington, DC, 1957.
  17. St. Regis. "Reflective Insulation and the Control of Thermal Environments", St. Regis-ACI, Diethelm & Co., LTD, Bangkok, Thailand, 1969.
  18. Wilkes. "Thermal Modeling of Residential Attics with Radiant Barriers: Comparison with Laboratory and Field Data", Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings IV, ASHRAE, 1989. 294-311 p.
  19. Wilkes. "Thermal Model of Attic Systems with Radiant Barriers", ORNL/CON-262. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN, 1991.
  20. Wilkes, Kenneth E. "Analysis of Annual Thermal and Moisture Performance of Radiant Barrier Systems", ORNL/CON-319, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN., 1991.
  21. Wu. "The Effect of Various Attic Venting Devices on the Performance of Radiant Barrier Systems in Hot Arid Climates", Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings IV, ASHRAE, 1989. 261-270. p.
  22. Yarbrough. "Assessments of Reflective Insulation for Residential and Commercial Applications", Oak Ridge National Laboratory Report ORNL/TM 8819, Oak Ridge, TN., 1983.
  23. Yarbrough. "Estimation of the Thermal Resistance of a Series of Reflective Air Spaces Bounded by Parallel Low Emittance Surfaces", Proceedings of the Conference on Fire Safety and Thermal Insulation, S.A. Siddiqui, Editor, 1990. 214-231 p.

- 
24. Yarbrough. "Thermal Resistance of Air Ducts with Bubblepack Reflective Insulation", Journal of Thermal Insulation 15 1991. 137-152.
25. Queer. "Importance of Radiation and Heat Transfer Through Air Spaces", American Society of Heating and Air Conditioning Engineers.

### **Documentos**

1993 ASHRAE Handbook Fundamentals - IP Edition, 1791 Tullie Circle, NE, Atlanta, GA., American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.,

- "Surface Conductances and Resistances for Air" Cuadro 1 - página 22.1
- "Thermal Resistances of Plane Air Spaces" Cuadro 2 - página 22.2
- "Emittance Values of Various Surfaces and Effective Emittances of Air Spaces" Cuadro 3 - página 22.3
- "Effective Thermal Resistance of Ventilated Attics" Cuadro 5 - página 22.11

Federal Trade Commission, Part 460, "Labeling and Advertising of Home Insulation"

- Para. 460.5 R-value Tests
- 2(b) Aluminum Foil systems
  - 2(c) Single sheet systems
  - 2(d) Foil facings

International Conference of Building Officials (ICBO), "Acceptance Criteria for Reflective Insulation," (1987, revised 1997).

U.S. Department of Energy, "Attic Radiant Barrier Fact Sheet," (1991).

### **Estándares ASTM**

- C 236-89 "Standard Test Method for Steady-State Thermal Performance of Building Assemblies by Means of a Guarded Hot Box." 1995 Annual Book of ASTM Standards Vol. 04.06 (1995) 52-62 p.
- C 727-01 "Standard Practice for Use and Installation of Reflective Insulation in Building Constructions." 1995 Annual Book of ASTM Standards Vol. 04.06 (1995) 339-341 p.
- C 976-90 "Standard Test Method for Thermal Performance of Building Assemblies by Means of a Calibrated Hot Box." 1995 Annual Book of ASTM Standards Vol. 04.06 (1995) 463-481 p.

- 
- C 1158-01 "Standard Practice for Use and Installation of Radiant Barrier Systems (RBS) in Building Construction." 1995 Annual Book of ASTM Standards Vol. 04.06 (1995) 655-657 p.
- C 1224-01 "Standard Specification for Reflective Insulation for Building Applications." 1995 Annual Book of ASTM Standards Vol. 04.06 (1995) 670-673 p.
- C 1313-00 "Standard Specification for Sheet Radiant Barriers for Building Construction Applications." 1996 Annual Book of ASTM Standards Vol. 04.06 (1996).
- C 1340-99 "Standard Practice for Estimation of Heat Gain or Loss Through Ceilings Under Attics Containing Radiant Barriers by Use of a Computer Program." 1997 Annual Book of ASTM Standards Vol. 04.06 (1997) to be published.
- C 1371-98 "Standard Test Method for Determination of Emittance of Materials Near Room Temperature Using Portable Emissometers." 1997 Annual Book of ASTM Standards Vol. 04.06 (1997) to be published.
- E 84-01 "Standard Test Method for Surface Burning Characteristics of Building Materials." 1995 Annual Book of ASTM Standards Vol. 04.07 (1995).
- E 96-00 "Standard Test Method for Water Vapor Transmission of Materials." 1995 Annual Book of ASTM Standards Vol. 04.06 (1995) 697-704 p.



---

## APÉNDICE A

### COMENTARIOS INTRODUCTORIOS EN RESISTENCIAS TÉRMICAS PARA SISTEMAS DE AISLAMIENTO REFLECTANTE

---

Los materiales de aislamiento reflectante (RIMs) por sus siglas en Inglés, están disponibles en una variedad de formas que incluyen una o más superficies de baja emitancia (emisividad). Las superficies de baja emitancia son generalmente proporcionadas por aluminio o superficies de aluminio depositado las cuales muestran una muy baja emitancia y altas reflectancias para una radiación de larga longitud de onda. Las láminas metálicas son sujetadas a otros materiales para fortaleza mecánica y apoyo. En algunos casos materiales de apoyo agregados a la resistencia térmica de los sistemas de aislamiento reflectante que es creado con la instalación de un aislante reflectante en un edificio o cavidad vehicular. La siguiente discusión de resistencias térmicas será limitada para flujos de calor unidimensional a través de espacios de aire reflectante.

Un sistema de aislamiento reflectante (RIS) por sus siglas en Inglés, está formado por un RIM posicionado para formar uno o más espacios de aire cerrados. Un buen diseño de RIS tendrá al menos uno de las principales superficies con baja emitancia delimitando cada espacio de aire. El propósito de superficies de baja emitancia y alta reflectancia es para reducir significativamente la transferencia de calor radiante a través de los espacios de aire cerrados. Los espacios de aire cerrados que componen un RIS no son ventilados. No debería de haber movimiento de aire de salida o entrada del espacio cerrado. Los espacios de aire reflectante (espacios encerrados) están posicionados de tal manera que las superficies principales sean perpendiculares a la dirección anticipada del flujo de calor. Cuando esto se ha hecho las resistencias térmicas de los espacios de aire en serie son sumables. Si el material de aislante reflectante tiene resistencia térmica, entonces dicha resistencia se agrega a la proporcionada por los espacios de aire reflectante.

La resistencia térmica para un flujo de calor unidimensional a través de una serie de espacios de aire reflectante n es:

$$R_{\text{TOTAL}} = R_{\text{ESPACIO DE AIRE UNO}} + R_{\text{ESPACIO DE AIRE DOS}} + \dots + R_{\text{ESPACIO DE AIRE "n"}} + R_{\text{MATERIAL REFLECTANTE}}$$

El calor es transferido a través de espacios de aire por conducción y convección así también como radiación. Transferencia de calor convectivo dentro del espacio de aire está relacionada con el movimiento del aire causado por las diferencias de temperatura. La densidad del aire a presión constante disminuye al aumentar la temperatura. Una diferencia de temperatura entre dos regiones resultará en la diferencias de densidad del aire lo cual resultará en las fuerzas boyantes y el movimiento del aire o convección natural. La magnitud de las fuerzas de empuje aumenta tal y como la temperatura aumenta y el movimiento inducido del aire depende de la magnitud de la fuerza boyante y a su dirección relacionada a la gravedad. Dado que el flujo de calor está en la dirección de disminuir la temperatura, la dirección de la fuerza boyante dependerá de la orientación y de las temperaturas de las superficies delimitadas. Como resultado la contribución convectiva a la transferencia de calor en general depende de la dirección del flujo de calor. El flujo de calor convectivo hacia arriba es mayor y el flujo de calor convectivo hacia abajo es menos y puede ser cero en un sistema idealizado con aire estancado.

Los estimados de la resistencia térmica de un único espacio de aire reflectante que tiene superficies delimitadas paralelas que son perpendiculares a la dirección del flujo de calor pueden hacerse usando las siguientes ecuaciones.

$$R = (E \cdot h_r + h_c)^{-1} = \frac{\Delta T}{Q} \quad (1)$$

$$E = \left( \frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1 \right)^{-1} \quad (2)$$

$$h_r = 0.00686 \left( \frac{(T_m + 459.7)}{100} \right)^3 \quad (3)$$

$$h_c = f(\ell, T_m, \Delta T, \text{dirección del flujo de calor}) \quad (4)$$

$\epsilon_i$	IR emitancia por superficie "i", i = 1 or 2
E	Emitancia efectiva para un espacio de aire
$h_c$	Coefficiente de transferencia de calor convectivo, Btu/ft <sup>2</sup> ·hr·°F
$h_r$	Coefficiente de transferencia de calor radiante, Btu/ft <sup>2</sup> ·hr·°F
$\ell$	Grosor del espacio de aire, pulgadas
Q	Flujo de calor, Btu/hr·ft <sup>2</sup>
R	Resistencia térmica, ft <sup>2</sup> ·hr·°F/Btu
$T_\mu$	Promedio de temperaturas de superficies calientes y frías, °F
$\Delta T$	Diferencia de temperaturas entre superficies calientes y frías, °F

La Ecuación (1) expresa matemáticamente el hecho que el valor R depende de la transferencia de calor por radiación,  $E \cdot h_r$ , y la transferencia de calor por conducción-convección,  $h_c$ . El factor multiplicativo E, se le llama con frecuencia emitancia efectiva y está entre los valores de 0 a 1. Este valor depende de las emitancias de las dos superficies principales delimitantes,  $\epsilon_1$  y  $\epsilon_2$ , tal y como se muestra en la Ecuación (2). El valor "E" para un espacio de aire un delimitante de aluminio de baja emitancia es muy bajo, normalmente en el rango de 0.03 a 0.05.

La ecuación (3) es el coeficiente de transferencia de calor por radiación,  $h_r$ , entre dos superficies paralelas. El  $h_r$  se multiplica por "E" para introducir el efecto de emitancias de superficies. La Ecuación (2) ha sido derivada para planos paralelos infinitos y discutida en la mayoría de textos relacionados con transferencia de calor radiante.

La ecuación para  $h_c$  es la complicación en el cálculo del valor R. La Ecuación (4) indica que  $h_c$  depende (esta en función de) cuatro variables para un flujo de calor unidimensional entre superficies paralelas. Los valores para  $h_c$  son obtenidos de datos experimentales para un flujo de calor total como el que se obtiene instalaciones de caja detectora de calor para pruebas térmicas como se conoce en Inglés hot-box tal como se describe en ASTM C 236. Los términos R, E, and  $h_r$  son obtenidos por la emitancia y medidas de la caja detectora de calor. Los valores para  $h_c$  son derivados de juegos de medidas de la caja detectora de calor realizadas para una dirección específica de flujo de calor. Robinson y Powell (ver referencia

bibliográfica) han probado  $h_c$  en forma gráfica y Yarbrough (ver referencia bibliográfica) han proporcionado  $h_c$  en una forma analítica.

El flujo de calor unidimensional y los valores de R entre superficies paralelas largas mantenidas a diferentes temperaturas y separadas por una distancia “ $\ell$ ” están establecidos por las ecuaciones mencionadas y que aparecen arriba. El procedimiento ha sido utilizado para generar las siguientes tres cuadros para un único espacio de aire los valores R para  $T_\mu = 50^\circ\text{F}$  y  $\Delta T = 30^\circ\text{F}$ . Estas temperaturas cumplen con los requerimientos de la regla del etiquetado de la Comisión de Comercio Federales (FTC) por sus siglas en Inglés para productos de “una lámina”.

Los cuadros 1, 2 o 3 pueden utilizarse para estimar el valor R para un RIS proporcionado que la diferencia de temperatura total a través de cada elemento en el RIS es desconocida. La diferencia de temperatura establecida y estabilizada ( $\Delta T$ ) a través de cada elemento esta relacionada a los valores R de los elementos del RIS,  $R_i$ , de la Ecuación (5).

$$\Delta T_i = R_i * \frac{\Delta T}{R} \quad (5)$$

$$\Delta T = \sum_i \Delta T_i \quad (6)$$

$$R = \sum_i R_i \quad (7)$$

Desafortunadamente, los valores R están relacionados a  $\Delta T_i$ . La única cantidad conocida en la Ecuación (5) es la diferencia de temperatura total  $\Delta T$ . Un acercamiento para resolver R es primeramente estimar los valores  $\Delta T_i$ . Estos deberían hacerse de tal manera que la Ecuación (6) se cumpla. Dado un conjunto de prueba de  $\Delta T_i$ , la temperatura promedio T en cada elemento puede ser calculada y  $R_i$  puede entonces estimarse basados en los cuadros 1, 2 y 3. Esto por supuesto, limita la exactitud dado que los cuadros son para  $50^\circ\text{F}$ . El R total se calcula con la sumatoria de  $R_i$  tal y como lo indica la Ecuación (7). Una vez que  $R_i$  esta calculada se usa para recalculer  $\Delta T_i$  por medio de la Ecuación (5). Este proceso reiterativo se continúa hasta que se obtengan valores constantes para  $\Delta T_i$  y  $R_i$ .

El procedimiento de calculo puede ser mejorado utilizando el procedimiento reiterativo y la Ecuación (1) para calcular los valores de  $R_i$ . El cuadro 4 ha sido preparado para facilitar el cálculo de un espacio de aire intermedio a una temperatura de  $75^\circ\text{F}$ .

Cuadro 1. Valores calculados para R para un Espacio de Aire Cerrado a  $50^\circ\text{F}$  y  $\Delta T = 30^\circ\text{F}$  – Flujo de Calor hacia Abajo

$\ell$	E/	0.030	0.050	0.100	0.150	0.250	0.500	0.750	0.820
0.50		2.63	2.51	2.25	2.04	1.72	1.24	0.97	0.91

0.75	3.72	3.48	3.01	2.64	2.13	1.44	1.08	1.01
1.00	4.69	4.32	3.61	3.10	2.42	1.56	1.15	1.07
1.25	5.57	5.06	4.11	3.46	2.63	1.65	1.20	1.11
1.50	6.36	5.70	4.53	3.75	2.80	1.71	1.23	1.14
1.75	7.03	6.23	4.86	3.98	2.92	1.76	1.25	1.16
2.00	7.60	6.68	5.12	4.15	3.01	1.79	1.27	1.18
2.25	8.08	7.04	5.34	4.29	3.09	1.81	1.28	1.19
2.50	8.49	7.36	5.51	4.41	3.15	1.83	1.29	1.20
3.00	9.15	7.84	5.78	4.58	3.23	1.86	1.31	1.21

Cuadro 2. Valores calculados para R para un Espacio de Aire Cerrado a 50°F  
y  $\Delta T = 30^\circ\text{F}$  – Flujo de Calor Horizontal

$l$	E/	0.030	0.050	0.100	0.150	0.250	0.500	0.750	0.820
0.50	2.41	2.31	2.09	1.91	1.63	1.19	0.93	0.88	
0.75	2.88	2.74	2.43	2.19	1.83	1.29	1.00	0.94	
1.00	2.76	2.63	2.35	2.12	1.78	1.27	0.98	0.93	
1.25	2.67	2.55	2.28	2.07	1.74	1.25	0.97	0.92	
1.50	2.62	2.50	2.25	2.04	1.72	1.24	0.97	0.91	
1.75	2.60	2.48	2.23	2.02	1.71	1.23	0.96	0.91	
2.00	2.59	2.47	2.22	2.02	1.70	1.23	0.96	0.90	
2.25	2.58	2.47	2.22	2.02	1.70	1.23	0.96	0.90	
2.50	2.59	2.47	2.22	2.02	1.71	1.23	0.96	0.91	
3.00	2.61	2.49	2.24	2.03	1.72	1.23	0.96	0.91	

Cuadro 3. Valores calculados para R para un Espacio de Aire Cerrado a 50°F  
y  $\Delta T = 30^\circ\text{F}$  – Flujo de Calor hacia Arriba

$l$	E/	0.030	0.050	0.100	0.150	0.250	0.500	0.750	0.820
0.50	1.61	1.56	1.46	1.37	1.22	0.95	0.78	0.75	
0.75	1.69	1.64	1.53	1.43	1.27	0.98	0.80	0.76	
1.00	1.76	1.70	1.58	1.47	1.30	1.00	0.82	0.78	
1.25	1.81	1.75	1.62	1.51	1.33	1.02	0.83	0.79	
1.50	1.85	1.79	1.66	1.54	1.35	1.03	0.84	0.79	
1.75	1.89	1.83	1.69	1.57	1.37	1.05	0.84	0.80	
2.00	1.92	1.86	1.71	1.59	1.39	1.06	0.85	0.81	
2.25	1.95	1.88	1.74	1.61	1.40	1.06	0.86	0.81	
2.50	1.98	1.91	1.76	1.63	1.42	1.07	0.86	0.82	
3.00	2.02	1.95	1.79	1.66	1.44	1.09	0.87	0.82	

Cuadro 4. Coeficientes de Conducción-Convección,  $h_c$ , para usarse en Ecuación (1)

Flujo de Calor hacia Abajo		Ancho del Espacio de Aire ( $\ell$ , in.)				
DT	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
5	0.359	0.184	0.126	0.097	0.080	0.068
10	0.361	0.187	0.129	0.100	0.082	0.072
15	0.363	0.189	0.131	0.101	0.085	0.075
20	0.364	0.190	0.132	0.103	0.087	0.078
25	0.365	0.191	0.133	0.105	0.090	0.081
30	0.366	0.192	0.134	0.106	0.092	0.082

Flujo de Aire Horizontal		Ancho del Espacio de Aire ( $\ell$ , in.)				
DT	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
5	0.360	0.204	0.169	0.179	0.185	0.189
10	0.366	0.267	0.223	0.233	0.238	0.241
15	0.373	0.247	0.261	0.271	0.275	0.276
20	0.380	0.270	0.292	0.301	0.303	0.303
25	0.387	0.296	0.317	0.325	0.327	0.326
30	0.394	0.319	0.339	0.347	0.347	0.345

Flujo de Aire hacia Arriba		Ancho del Espacio de Aire ( $\ell$ , in.)				
DT	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
5	0.381	0.312	0.295	0.284	0.275	0.268
10	0.429	0.381	0.360	0.346	0.336	0.328
15	0.472	0.428	0.405	0.389	0.377	0.368
20	0.511	0.465	0.440	0.423	0.410	0.400
25	0.545	0.496	0.469	0.451	0.437	0.426
30	0.574	0.523	0.494	0.475	0.460	0.449

Ejemplo 1. Cálculo de Resistencias Térmicas para un Único Espacio de Aire.

Especificaciones Superficie Uno:  $T = 70^{\circ}\text{F}$ ,  $\epsilon_1 = 0.03$   
 Superficie Dos:  $T = 80^{\circ}\text{F}$ ,  $\epsilon_2 = 0.80$   
 Espacio entre superficies,  $\ell$ , 2.0 pulgadas  
 Flujo de calor hacia abajo

Ecuación 2 para E  $E = (1/0.03 + 1/0.8 - 1)^{-1} = 0.0298$   
 $T_{\mu} = (70 + 80)/2 = 75$   
 $DT = 80 - 70 = 10$

$$\begin{aligned}
h_c \text{ del Cuadro 4} & \quad h_c = 0.100 \\
h_r \text{ de la Ecuación 3} & \quad h_r = 1.049 \\
R \text{ de la Ecuación 1} & \quad R = (0.0298 \times 1.049 + 0.100)^{-1} = 7.6 \text{ (ft}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{°F/Btu)}
\end{aligned}$$

Ejemplo 2. Estimación de Resistencia Térmica para Dos Espacios de Aire Reflectante de una pulgada en Serie.

Especificaciones:

Espacio de aire 1:	1.0 pulgada de ancho
Lado uno	$\epsilon_1 = 0.80$
Lado dos	$\epsilon_2 = 0.03$
Espacio de aire 2:	1.0 pulgada de ancho
Lado uno	$\epsilon_1 = 0.03$
Lado dos	$\epsilon_2 = 0.80$
Temperatura del lado frío	70°F
Temperatura del lado calido	80°F

Primera aproximación para DT

$$\begin{aligned}
\text{DT a través del espacio de aire 1:} & \quad DT_1 = 5^\circ\text{F} \\
\text{DT a través del espacio de aire 2:} & \quad DT_2 = 5^\circ\text{F}
\end{aligned}$$

Use  $h_c$  a la temperatura indicada 75°F como una aproximación.

$$\begin{aligned}
T_\mu \text{ para espacio de aire 1:} & \quad 72.5^\circ\text{F} \\
T_\mu \text{ para espacio de aire 2:} & \quad 77.5^\circ\text{F} \\
E_1 = E_2 = 0.0298 &
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Del Cuadro 4} & \quad hc_1 = 0.184 \\
& \quad hc_2 = 0.184
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{De la Ecuación 3} & \quad hr_1 = 1.034 \\
& \quad hr_2 = 1.064
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{De la Ecuación 1} & \quad R_1 = 4.66 \\
& \quad R_2 = 4.64 \\
& \quad R = R_1 + R_2 = 9.3
\end{aligned}$$

Aproximación revisada para DT

$$\begin{aligned}
DT_1 & = 10 \times 4.66/9.3 = 5.01 \\
DT_2 & = 10 \times 4.64/9.3 = 4.99
\end{aligned}$$

Estos valores DT coinciden con los valores asumidos. Si los resultados no son satisfactorios entonces el cálculo debe de repetirse usando los valores calculados para DT.

Ejemplos 1 y 2 muestran el acercamiento utilizado para calcular las resistencias térmicas para un sistema ideal. Un cálculo mas preciso puede ser el resultado de una expresión matemática para  $h_c$  en lugar de la del cuadro. En la mayoría de los casos, los valores de R que son medidos son menores que aquellos calculados por un sistema ideal.