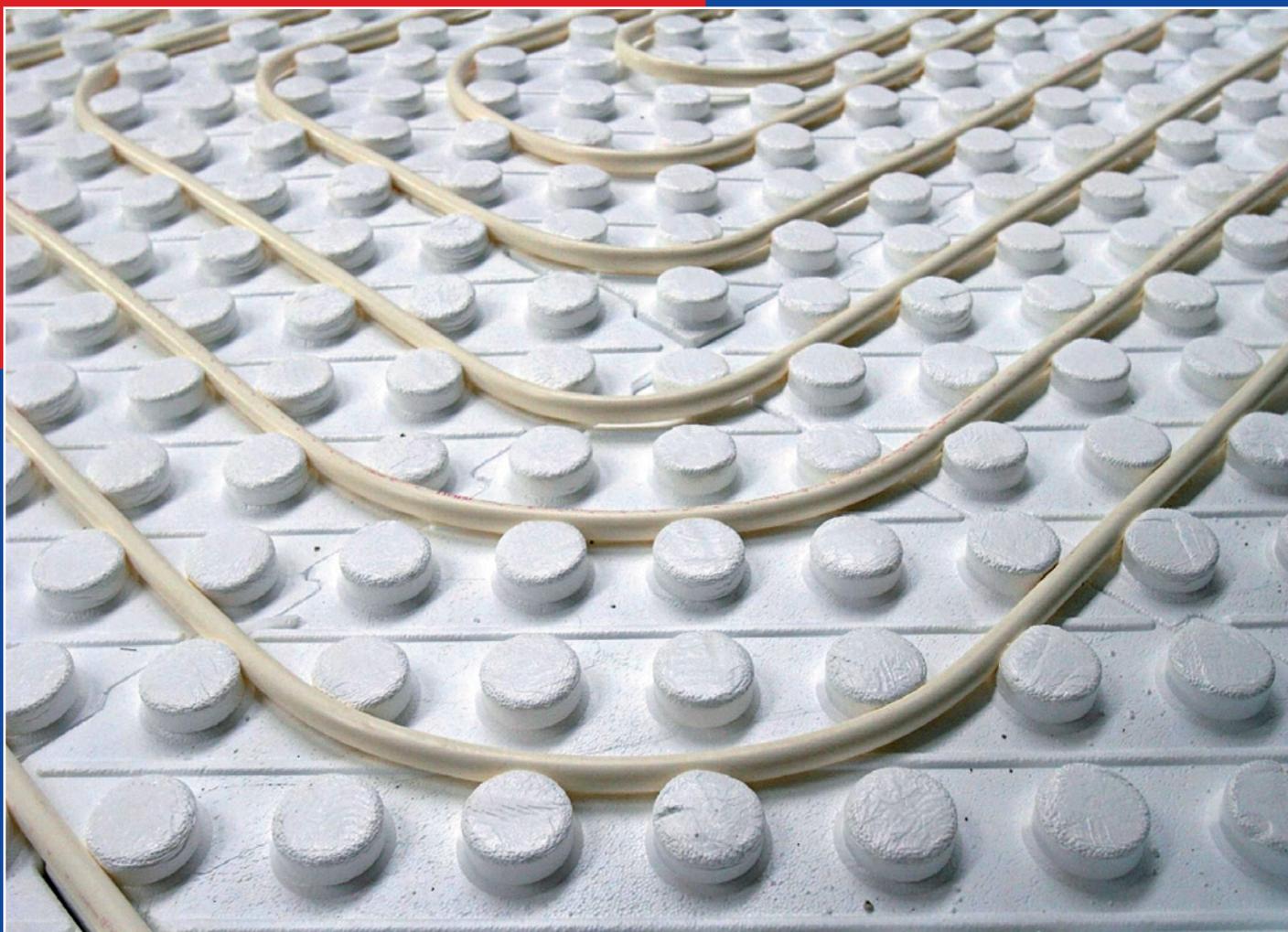


DOCUMENTOS TÉCNICOS DE
INSTALACIONES EN LA
EDIFICACIÓN DTIE



DTIE 9.04

SUELO RADIANTE Y TECHOS FRÍOS

PATROCINA



EDITA



DOCUMENTOS TÉCNICOS DE INSTALACIONES EN LA EDIFICACIÓN DTIE

DTIE 9.04 SISTEMA DE SUELO RADIANTE

Autores:

Francisco Javier Rey Martínez

Eloy Velasco Gómez

Profesores en la Universidad de Valladolid en el Departamento de Ingeniería Energética y Fluidomecánica, y miembros del Comité Técnico de Atecyr.

Colaboradores:

Antonio Maynar Beamonte.

M^a Fe Romero.

Fernando Varela Diez

Javier Sanza Pérez

Revisión:

Antonio Vegas Casado. Miembro del Comité Técnico de Atecyr.

RELACIÓN DE MIEMBROS DEL COMITÉ TÉCNICO DE ATECYR

Presidente: JOSÉ MANUEL PINAZO OJER

Vicepresidente: RICARDO GARCIA SAN JOSÉ

Vocales: SANTIAGO AROCA LASTRA
JOSÉ MARÍA CANO MARCOS
ALEJANDRO CABETAS HERNÁNDEZ
MARÍA CUBILLO SAGÜES
JOSÉ FERNÁNDEZ SEARA
ARCADIO GARCÍA LASTRA
FELIPE CEBRIAN QUESADA
AGUSTÍN MAILLO PÉREZ
ANTONIO PANIEGO GÓMEZ
PAULINO PASTOR PÉREZ
PEDRO J. POZO GÓMEZ
JUAN JOSÉ QUIXANO BURGOS
FRANCISCO JAVIER REY MARTÍNEZ
JOSÉ ANTONIO RODRÍGUEZ TARODO
ÁNGEL SÁNCHEZ DE VERA QUINTERO
VICTOR MANUEL SOTO FRANCÉS
RAFAEL ÚRCULO ARAMBURU
ALBERTO VITI CORSI
ANTONIO VEGAS
PEDRO G. VICENTE QUILES
ANTONIO GARCIA LAESPADA
SALVADOR SOLSONA
PEDRO TORRERO GRAS
JOSÉ B. PÉREZ-ALLUÉ
JUAN TRAVESÍ CABETAS
JOSE IGNACIO AJONA

© ATECYR

Edita: ATECYR

Navaleno, 9
28033 Madrid

Producción y realización:

ATECYR

Maquetación e impresión:

GRÁFICAS ELISA, S.L.

ISBN: 978-84-95010-23-0

Dep. Legal: M-18312-2008

* Queda prohibida la total o parcial reproducción del contenido de este documento salvo expresa autorización de Atecyr.

PRESENTACIÓN

La Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR), una entidad sin ánimo de lucro fundada en 1974, agrupa a más de 1.600 ingenieros y profesionales relacionados con los sectores de calefacción, refrigeración, ventilación y Aire Acondicionado.

Los Estatutos que rigen nuestra Asociación definen como sus fines:

- El estudio de la problemática y de la ordenación, reglamentación y protección de las técnicas de calefacción, refrigeración, ventilación y acondicionamiento de aire, frío industrial, fontanería, uso racional de la energía y aquellas otras actividades relacionadas o anexas con las mismas, considerando su particular circunstancia de especialidades en la ingeniería del medio ambiente.*
- La creación, recopilación y divulgación de información científica relacionada con estas tecnologías en España respecto a dichas técnicas, cuyo objeto es el entorno ambiental del hombre y el desarrollo de la misma.*
- Fomentar el interés por el diseño y equipamiento de este entorno, a fin de cumplir mejor su función social.*
- La investigación, realización de estudios y análisis relativos a esta temática, así como la recomendación de planes de actuación.*

Para la consecución de sus fines, ATECYR lleva a cabo una intensa actividad de colaboración con entes públicos y privados como AENOR, mediante la participación en grupos de trabajo para la elaboración de distintas normas; Ministerios de la Vivienda, Ministerio de Industria y Comercio, como miembro de pleno derecho en la Comisión Asesora de Certificación Energética y del RITE, así como asesor técnico en casos de tanta relevancia como la normativa sobre la prevención de la Legionelosis; un gran número de Comunidades Autónomas y Ayuntamientos, gracias a la incansable actividad de las Agrupaciones Provinciales con que contamos; otras asociaciones, como la Asociación de Fabricantes Españoles de Climatización (AFEC), con la que se ha desarrollado un Plan de Calidad para las instalaciones de climatización que pronto será elevado a norma y con la Asociación de Fabricantes de Equipos y Generadores de Calor (FEGECA), así como EUROVENT (.....) y el Consejo Superior de Colegios de Ingenieros Industriales (CCOII).

En el campo normativo es digno de resaltar la participación en la elaboración del Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE), publicado en 1998, así como la adjudicación del concurso restringido convocado por el IDAE para la revisión de este mismo reglamento, en diciembre de 2003 y que hoy esta pendiente de aprobación.

Desde el punto de vista internacional es miembro de REHVA, asociación europea que agrupa a las asociaciones de técnicos del sector, y ASHRAE, su homónima americana, con la participación destacada de algunos de sus socios en los órganos de gobierno de las mismas.

En este ámbito, lo más destacado, en los últimos tiempos, es haber promovido, el Congreso Mediterráneo de Climatización CLIMAMED, en el que participan las asociaciones de Portugal, Francia e Italia. La segunda edición tuvo lugar en España en el año 2005, coincidiendo con el certamen CLIMATIZACIÓN 2005, la tercera edición en Lyon, Francia, estando prevista la cuarta edición en Génova, Italia, en septiembre de 2007.

En sus más de treinta y tres años de vida, ATECYR no sólo ha participado en gran número de proyectos, sino que se ha convertido en un referente para todos los técnicos del sector de climatización y refrigeración.

Esto es, en gran parte, debido a la existencia de un grupo de socios comprometidos con los fines de la asociación, que han trabajado y trabajan de una forma desinteresada por mantener el nivel y el prestigio, de alguna forma heredado, evolucionando hacia las nuevas tendencias técnicas, tecnológicas y de mercado.

Una parte importante de este prestigio se debe a la labor del Comité Científico de ATECYR, ahora evolucionado hacia Comité Técnico, compuesto por un grupo de expertos muy respetados en nuestro sector y que, de alguna manera, han marcado las tendencias y la forma de hacer las cosas en los últimos años, ya sea desde ATECYR o desde el desarrollo de su actividad profesional.

Como no podía ser de otra manera, el Comité Técnico de ATECYR viene trabajando desde hace años, en la elaboración de una ingente documentación de divulgación científico-técnica sobre temas relacionados con el sector de climatización y refrigeración.

Entre esta documentación, se encuentran traducciones de libros y artículos considerados de interés y bibliografía propia.

Dentro de la bibliografía propia nace la colección de Documentos Técnicos de Instalaciones en la Edificación (DITE) como una respuesta a la necesidad detectada de agrupar y ordenar la información técnica sobre una serie de temas específicos mediante la elaboración de unas guías donde se reúna toda la información que el técnico precisa sobre ese tema para desarrollar su labor.

Se trata de ofrecer al técnico de una herramienta útil para la realización de su trabajo, sin tratar de condicionar su creatividad, incluyendo la última tecnología y tendencias, dejando a su interpretación las cuestiones normativas.

Por definición, el concepto de utilidad va unido inequívocamente a estos documentos, lo que nos ha hecho plantear algunos temas que, lejos de ser netamente técnicos, merecen la atención de nuestros expertos por la repercusión sobre la actividad de nuestros socios, los técnicos del sector. Me refiero a cuestiones de índole jurídico-técnico en los que nuestra actividad nos obliga a ponernos al día.

Como conclusión, esta colección de libros pretende constituirse como guías prácticas sobre temas de interés dentro del ámbito de la climatización y refrigeración, enfocadas a técnicos que trabajen o que tengan inquietudes en este ámbito.

Sólo queda agradecer su aportación a los patrocinadores de estas ediciones, sin cuya ayuda sería imposible completar este interesante proyecto.

Jaime R. Sordo González
Presidente

AGRADECIMIENTO

Queremos agradecer al Socio Protector, la empresa SAUNIER DUVAL DICOSA, S. A., por su valiosa colaboración prestada a la edición de este DTIE, pues conocedora del proyecto emprendido por ATECYR, para la elaboración de esta colección de Documentos Técnicos de Instalaciones en la Edificación, ha decidido subvencionar la presente edición

Serie ATECYR de DTIE - Documentos Técnicos de Instalaciones en la Edificación

SERIE 1: Instalaciones sanitarias

- *1.01 Preparación de agua caliente para usos sanitarios
- *1.02 Calentamiento de agua de piscinas
- 1.03 Cálculo de redes de distribución de agua sanitaria
- 1.04 Cálculo de redes de evacuación y ventilación

SERIE 2: Condiciones de diseño

- *2.01 Calidad del ambiente térmico
- *2.02 Calidad de aire interior
- *2.03 Acústica en instalaciones de aire

SERIE 3: Psicrometría

- *3.01 Psicrometría

SERIE 4: Tuberías

- *4.01 Cálculo de las pérdidas de presión y criterios de diseño. (Edición revisada)

SERIE 5: Conductos

- *5.01 Cálculo de conductos

SERIE 6: Combustible

- *6.01 Combustión
- 6.02 Diseño y cálculo de chimeneas
- 6.03 Redes de distribución de gas, diseño y cálculo

SERIE 7: Cálculo de carga, demanda y consumo

- *7.01 Cálculo de carga y demanda térmica
- 7.02 Cálculo de consumo de energía: simulación de sistema

SERIE 8: Fuentes de energía de libre disposición

- *8.01 Recuperación de energía en sistemas de climatización
- 8.02 Bomba de calor
- *8.03 Instalaciones Solares Térmicas para producción de Agua Caliente Sanitaria. Edición revisada.

SERIE 9: Sistemas de acondicionamientos de aire

- *9.01 Tipos de sistemas
- *9.02 Aplicaciones a diferentes tipos de edificios
- *9.03 Sistemas de climatización para viviendas, residencias y locales comerciales
- *9.04 Sistema de suelo radiante

SERIE 10: Sistemas de calefacción

- 10.01 Tipos de sistemas
- 10.02 Aplicaciones para edificios residenciales
- *10.03 Calderas individuales
- *10.04 Piscinas cubiertas climatizadas con aire exterior como único medio deshidratante

SERIE 11: Control

- 11.01 Esquemas de control

***SERIE 12: Aislamiento térmico**

SERIE 13: Difusión de aire

SERIE 14: Acumulación de energía térmica

SERIE 15: Salas de máquinas

SERIE 16: Puesta en marcha, recepción y mantenimiento

SERIE 17: Varios

- 17.01 Análisis económico de sistemas
- *17.02 Responsabilidad Civil del Ingeniero

* Editadas

INDICE

I.- Introducción a los sistemas radiantes.	9
Desarrollo histórico.	9
Transmisión de calor e intercambio radiante.	10
Confort Térmico. Temperatura operativa.	16
Superficies radiantes. Suelo, techo y paredes.	35
Aplicaciones idóneas de sistemas radiantes y refrescantes.	31
II.- Componentes básicos de un suelo radiante.	33
Tuberías.	33
Aislamientos.	35
Sistemas de fijación.	37
Banda perimetral.	38
El distribuidor.	38
Techos fríos.	39
Generadores de calor y frío.	41
III.- Método de dimensionado.	43
Carga térmica de los locales.	43
Normativa aplicable: parámetros de operación.	48
Dimensionado de la instalación.	53
Dimensionado de suelo radiante.	53
IV.- Configuración de sistemas radiantes.	63
Distribución del tubo radiante.	63
Suelo refrescante.	67
Techos fríos.	70
Ejecución de la obra, puesta en marcha y regulación de la instalación radiante.	74
V.- Ejemplo de cálculo de un instalación radiante / refrescante: Condiciones del proyecto.	84
Cálculo de suelo radiante.	85
Cálculo del suelo refrescante.	96
Otras consideraciones sobre el dimensionado. Programas informáticos.	97
VI.- Bibliografía.	99

I.- INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS RADIANTES.

Uno de los emisores más utilizados en la actualidad para el acondicionamiento térmico de los locales es el de superficie radiante. Los sistemas más usados son el suelo radiante para proporcionar calefacción, suelo radiante / refrescante que puede proporcionar calefacción en invierno y refrigeración en verano por disponer normalmente de un sistema con bomba de calor capaz de producir agua caliente o fría, y los techos fríos para refrigeración.

Las ventajas que presentan estos sistemas como no ocupar con los elementos emisores zonas del espacio utilizado para el desarrollo de la actividad humana, poder utilizar fluidos caloportadores con niveles térmicos bajos que pueden alcanzarse mediante sistemas de generación térmica más respetuosos con el medio ambiente o reducir el consumo energético de adecuación térmica de los locales, hacen que sean una de las alternativas técnicas más contempladas en la actualidad.

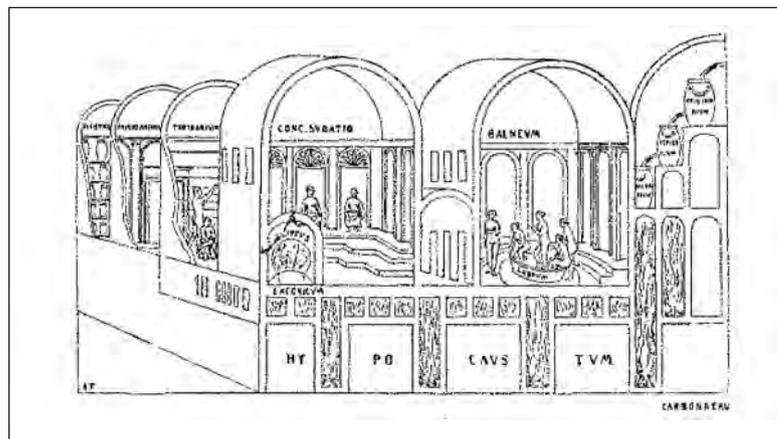
En la norma UNE-EN 1264 se define el suelo radiante como un “sistema de calefacción por el suelo, en el que los tubos, que transportan agua con o sin aditivos como fluido calefactor, están ocultos bajo dicho suelo”. En esta definición no está incluido el sistema de calefacción por hilo eléctrico como sistema de suelo radiante, por lo que no se desarrollará en este documento.

I.1.- DESARROLLO HISTÓRICO

Aunque los sistemas de calefacción radiante han tenido una mayor utilización en los últimos años, no quiere esto decir que el suelo radiante sea un sistema moderno. Este sistema radiante con aire caliente como emisor de calor ya se utilizaba por los romanos hace 3.000 años, especialmente en las termas, recibiendo el nombre de calefacción de Hypocausto, concepto que posteriormente fue utilizado por los musulmanes en sus baños.

Ya en la Edad Media se emplea en España, sobre todo en las iglesias, por lo que recibe el nombre de “Glorias”, un sistema similar a los Hypocaustos para calefactar locales, utilizando el aire caliente y humos procedentes de la combustión de paja y/o madera que circulaban por unos conductos distribuidos uniformemente por debajo del suelo.

Este sistema se ha utilizado en muchas viviendas rurales como sistema de calefacción hasta bien pasada la mitad del siglo XX. Todavía se puede encontrar alguna gloria en los pueblos de las zonas más frías de la península. El riesgo de salida de humos desde los conductos de distribución hasta los locales habitados, la normativa aplicable en cada momento, el inevitable y costoso mantenimiento periódico y las propias necesidades diarias de encendido, hacen que estos sistemas fueran desplazados por los de calefacción por radiadores y caldera donde la distribución se hace por agua.



En la actualidad existen diferentes alternativas para el calentamiento radiante de los espacios, intentando reducir el consumo energético que supone calentar aire como fluido intermedio entre los emisores de calor y los receptores del mismo, o aprovechando la disponibilidad de gran superficie de emisión, lo que disminuye los requerimientos en los niveles térmicos de los fluidos utilizados en la distribución, aumentando la eficacia energética en generación y la posibilidad de uso de otras alternativas energéticas más respetuosas con el medioambiente.



I.2.- TRANSMISIÓN DE CALOR E INTERCAMBIO RADIANTE

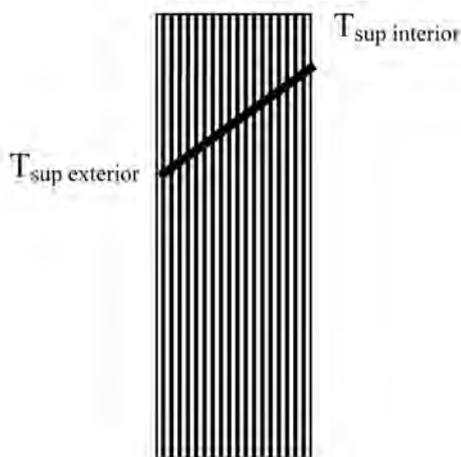
La transferencia de calor es el flujo de energía que se transmite entre medios materiales debido a una diferencia de temperatura.

Los mecanismos de la transferencia de calor conocidos son tres:

- Conducción para referirnos a la transferencia de calor que se producirá a través del medio, por el intercambio de energía interna debido al contacto entre las partículas de la materia.
- Convección se refiere a la transferencia de calor que ocurrirá entre una superficie y un fluido en movimiento cuando están a diferentes temperaturas.
- Radiación térmica. Todas las superficies con temperatura superior a cero Kelvin, según la ley de Prevost, emiten energía en forma de ondas electromagnéticas. Entre las superficies de dos cuerpos en el vacío, existirá una transferencia neta de calor por radiación cuando se encuentren a diferentes temperaturas.

a.- Conducción

Es posible cuantificar los procesos de transferencia de calor en términos de ecuaciones o modelos apropiados. Para la transmisión de calor por conducción, la ecuación o modelo se conoce como la ley de Fourier. Para la pared plana de un sólido unidimensional como se muestra en la figura, la ecuación es:



$$\frac{Q}{A} = -k \frac{dT}{dx}$$

La densidad de flujo de calor o transferencia de calor por unidad de área (Q/A [=] W/m^2) es la velocidad con que se transfiere el calor en la dirección x por unidad de área. Dicha densidad de flujo es perpendicular a las superficies isotermas y proporcional al gradiente de temperatura dT/dx en la dirección mencionada.

El parámetro k (W/mK), conocido como conductividad térmica, es una propiedad termofísica del material sólido y representa la capacidad que poseen los materiales a transmitir el calor, lo que depende de propiedades como su estructura, composición, homogeneidad del material, etc.

En la tabla siguiente se presentan diferentes propiedades de los materiales utilizadas en el análisis de la transmisión de calor por conducción en los mismos.

Tabla.- Conductividad térmica de algunos materiales utilizados en construcción.

MATERIAL	Densidad ρ	Conductividad térmica k	
	Kg./m ³	kcal/hm °C	W/m°C
Aire seco	1,223	0,21	0,24
Agua	1	1	1,16
Mortero de cemento	2.000	1,2	1,4
Elucido de yeso	800	0,26	0,30
Elucido de yeso/perlita	570	0,16	0,18
Hormigón armado	2.400	1,40	1,63
Hormigón con áridos ligeros	1.000	0,28	0,33
Ladrillo macizo	1.800	0,75	0,87
Ladrillo hueco	1.200	0,42	0,49
Ladrillo refractario	-	0,12	0,14
Granito	2.645	>1,5	>1,74
Mármol	2.700	1,31	1,52
Cerámica	-	1,04	1,2
Parquet	-	0,16	0,2
PVC	-	0,12	0,14
Moqueta, alfombra	1.000	0,04	0,05
Linóleo	1.200	0,05	0,058
Aluminio	2.670	175	204
Contrachapado	600	0,12	0,14
Tablero aglomerado de partículas	650	0,12	0,14
Madera de coníferas	600	0,12	0,14
Fibra de vidrio tipo I	10-18	0,038	0,044
Fibra de vidrio tipo II	19-30	0,032	0,037
Fibra de vidrio tipo III	31-45	0,029	0,034
Fibra de vidrio tipo IV	46-65	0,028	0,033
Fibra de vidrio tipo V	66-90	0,028	0,033
Fibra de vidrio tipo VI	91	0,031	0,036
Lona de roca tipo I	30-50	0,036	0,042
Lona de roca tipo II	51-70	0,034	0,040
Lona de roca tipo III	71-90	0,033	0,038
Lona de roca tipo IV	91-120	0,033	0,038
Lona de roca tipo V	121-150	0,033	0,038
Poliestireno expandido tipo I	10	0,049	0,057
Poliestireno expandido tipo II	12	0,038	0,044
Poliestireno expandido tipo III	15	0,032	0,037
Poliestireno expandido tipo IV	20	0,029	0,034
Poliestireno expandido tipo V	25	0,028	0,033
Poliuretano aplicado in situ tipo I	35	0,020	0,023
Poliuretano aplicado in situ tipo II	40	0,020	0,023

De la integración de la ecuación anterior resulta:

$$\frac{Q}{A} = -k \frac{(T_2 - T_1)}{L} = \frac{k(T_1 - T_2)}{L}$$