

DTIE 9.09

SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN RADIANTE

PATROCINA

uponor

EDITA

 **Atecyr**

**DOCUMENTOS TÉCNICOS
DE INSTALACIONES EN LA
EDIFICACIÓN:
DTIE**

DTIE 9.09

SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN RADIANTE

Autores:

Francisco Javier Rey Martínez: Catedrático de Universidad en el área de Máquinas y Motores Térmicos de la Universidad de Valladolid. Autor de varios libros y artículos relacionados con la energética edificatoria y las instalaciones de climatización. Es socio y miembro del comité técnico de ATECYR.

Eloy Velasco Gómez: Lcdo. en Químicas en la especialidad de Ingeniería Química y Doctor Ingeniero Industrial. Profesor Titular de Universidad en el Departamento de Ingeniería Energética y Fluidomecánica de la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid. Miembro de ATECYR.

Israel Ortega Cubero: Director de Formación y Servicio Técnico Iberia en Uponor. Ingeniero Industrial, Postgrado en Gestión de Proyectos de Climatización por la UPM. Gestor Energético Europeo – EUREM por Escan Consulting. Máster en Dirección de MK y Gestión Comercial por Eserp Business School. Miembro del claustro académico de Idesie Business School.

Ana Martín Duque: Ingeniero Técnico de Telecomunicaciones. Experto en Instalaciones de climatización, soluciones radiantes y eficiencia energética. Desarrollo de software de cálculo para dimensionamiento y diseño de instalaciones. Ingeniero de proyectos de Uponor

Revisor: Antonio Vegas Casado, miembro del Comité Técnico de Atecyr

RELACIÓN DE MIEMBROS DEL COMITÉ TÉCNICO DE ATECYR

Presidente: José Manuel Pinazo Ojer

Vicepresidente ejecutivo: Pedro G. Vicente Quiles

Vicepresidente: Ricardo García San José

Miembros honoríficos:

Alberto Viti

Alejandro Cabetas Hernández

Vocales:

José María Cano Marcos

José Antonio Rodríguez

Tarodo

Rafael Úrculo Aramburu

Antonio Vegas Casado

Ramón Velázquez Vila

Víctor Manuel Soto Francés

Francisco Javier Rey

Martínez

Adrián Gomila Vinent

Paulino Pastor Pérez

José Manuel Cejudo López

Juan Jose Quixano Burgos

José Fernández Seara

Enrique Torrella Alcaraz

Angel Barragán Cervera

Ramón Puente Varela

Jose Antonio Fernandez

Benítez

Juan Travesí Cabetas

José Luis Barrientos Moreno

Miguel Ángel Navas Martín

Manuel Sánchez Marín

Flores

Justo García Sanz-Calcedo

Ignacio Leiva Pozo

Nicolás Bermejo Presa

Vidal Díaz Martínez

Arcadio García Lastra

César Martín Gómez

Marta San Román

Paloma Virseda Chamorro

Ramón Cabello López

Pedro Romero Jiménez

Pedro Coya Alonso

Depósito Legal: M-3076-2019

ISBN: 978-84-95010-62-9

©ATECYR

Edita: ATECYR

Agastia 112 A - 28043 Madrid

Producción y Realización: ATECYR

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

PRESENTACIÓN DTIE

La Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR), entidad sin ánimo de lucro fundada en 1974, agrupa a más de 1.400 ingenieros y profesionales relacionados con los sectores de calefacción, refrigeración, ventilación y Aire Acondicionado.

ATECYR cumple al pie de la letra con su carácter asociativo y transforma, fielmente, los fines que figuran en sus estatutos en objetivos a cumplir y en forma de trabajar.

Los Estatutos que rigen nuestra Asociación definen como fines de ATECYR:

- El estudio, en todas sus vertientes y manifestaciones, de la problemática, la ordenación, la reglamentación, y la protección y desarrollo de las técnicas de climatización, en su más amplio sentido, comprendiendo en tales, y sin carácter limitativo, la calefacción refrigeración, ventilación y acondicionamiento de aire en cualquiera de sus manifestaciones técnicas, así como en todo lo relacionado con el frío industrial, fontanería, uso racional de la energía, gestión de la energía, eficiencia energética, energías renovables, y, en particular la energía solar, térmica, eólica y biomasa, cogeneración, ingeniería del medio ambiente, y de cualesquiera otras actividades directa o indirectamente relacionadas con las mismas.
- La creación, recopilación y divulgación de información científica relacionada con estas tecnologías en España respecto a estas técnicas, cuyo objeto es el entorno ambiental del hombre, la sostenibilidad y el desarrollo de la misma, así como el fomento y desarrollo del interés por el diseño y equipamiento de este entorno, a fin de mejor cumplir su función social.
- La investigación, realización de estudios y análisis relativos a esta temática, así como la recomendación de planes de actuación y Transferencia de Tecnología.
- La organización de Cursos, Seminarios, Simposios, Conferencias y, en general, de cuantas actividades vayan encaminadas a la formación y divulgación, en su más amplio sentido, en el ámbito material en el que la Asociación desarrolla su actividad, desde la propia Asociación o en colaboración con Entidades u Organismos públicos o privados nacionales o extranjeros de similares o complementarios campos de actuación.
- La certificación y acreditación de la capacitación de profesionales y de personal, en el ámbito de actuación material en el que la Asociación desarrolla su actividad.
- Potenciar la colaboración y realizar acuerdos con cualesquiera otras entidades de cualquier naturaleza, públicas o privadas, nacionales o extranjeras, en el desarrollo del ámbito material en el que la Asociación desarrolla su actividad.
- Colaborar con las Administraciones Central, Autonómicas o Locales así como con cualquier otro organismo o entidad pública o privada, asesorándolas o prestándolas la asistencia necesaria para la confección, desarrollo y/o interpretación de la normativa y reglamentación relativa al ámbito material en el que la Asociación desarrolla su actividad.

Para la consecución de sus fines, ATECYR lleva a cabo una intensa actividad de colaboración con entes públicos y privados, mediante la participación en grupos de trabajo para la elaboración de distintas normas con el Ministerio de Fomento. Con el Ministerio para la Transición Ecológica, 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 contabilización de consumos o las Auditorías

Energéticas. Colaboramos con el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo en la Subdirección General de Calidad y Seguridad Industrial en el desarrollo de la modificación del Reglamento de Seguridad de Instalaciones frigoríficas. Así mismo participamos con un gran número de Comunidades Autónomas y Ayuntamientos, gracias a la incansable actividad de las Agrupaciones Provinciales con que contamos.

En el campo normativo es digno de resaltar la adjudicación del concurso restringido convocado por el IDAE para la revisión del Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE), en diciembre de 2003 y que se aprobó y publicó el 20 de julio de 2007, Real Decreto 1027/2007 y la secretaría y coordinación de las 26 asociaciones representativas del sector, para proponer al ministerio la modificación de este reglamento que se ha publicado en el año 2013, RD 238/2013.

Destacamos el desarrollo de 3 cursos propios, que se imparten de manera semipresencial, desarrollados por el Comité Técnico de ATECYR y que cuentan con los más prestigiosos profesores del sector que son:

- El Curso de Experto en Climatización de 300 horas
- El Curso de Experto en Refrigeración de 168 horas.
- El Curso de Experto Auditor y Gestor Energético en la Edificación y la Industria de 256 horas.

Además, ATECYR ha organizado junto con la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid el Congreso de tecnologías de la Refrigeración Tecnofrío'16, Tecnofrío'17 y Tecnofrío'18 y junto con AFEC y FEDECAI ha organizado el I Congreso de Calidad de Aire Interior.

ATECYR es miembro y participa activamente en REHVA, Federación Europea de Asociaciones de Profesionales del Sector de Instalaciones Mecánicas, en FAIAR, Federación de Asociaciones Iberoamericanas de Aire Acondicionado y Refrigeración y en ASHRAE, asociación americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado. Además ha participado junto con REHVA y otras asociaciones en el Proyecto Europeo PROF TRAC.

En sus más de cuarenta y cuatro 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.

La actividad de la asociación descansa en dos pilares fundamentales: Las Agrupaciones como grandes generadoras de nuestra actividad y como instrumentos que nos permitan la cercanía y el servicio al socio, y el Comité Técnico, compuesto por un grupo de expertos muy respetados en nuestro sector, que, de alguna manera, han marcado las tendencias y la forma de hacer las cosas en los últimos años y que se constituye como el gran dinamizador de toda nuestra actividad.

El Comité Técnico de ATECYR viene trabajando desde hace años, en la elaboración de una valiosa 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.

La colección de Documentos Técnicos de Instalaciones en la Edificación (DTIE) nace 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 el tema en cuestión para desarrollar su labor.

Esta colección de documentos pretende constituirse como guías prácticas sobre temas de interés dentro del ámbito de la climatización y refrigeración, dirigidas a técnicos que trabajan o que tengan inquietudes en este ámbito y se han convertido en la documentación imprescindible en los cursos de formación de las Instalaciones en la Edificación.

www.calculaconatecyr.com es el portal a través del cual se distribuyen gratuitamente para todos los técnicos del sector 8 programas de cálculo y dimensionamiento de las instalaciones térmicas. ATECYR, a través de la Fundación ATECYR ha adquirido la licencia de distribución del Software desarrollado y adaptado a las necesidades del mercado y normativa vigentes por un grupo de profesores de la UPV del Grupo de Ingeniería Térmica del Departamento de Termodinámica Aplicada.

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

ATECYR es autor junto al IVE de CERMA que es Documento Reconocido para la certificación de eficiencia energética tanto de edificios nuevos como existentes, según lo dispuesto en el Real Decreto 235/2013, por el que se aprueba el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios.

Sólo queda agradecer su aportación al patrocinador de este DTIE, **UPONOR**, sin cuya ayuda sería imposible completar este interesante proyecto y presentar este nuevo DTIE 9.09 SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN RADIANTE

Miguel Ángel Llopis Gómez
Presidente de ATECYR

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
- *1.05 Prevención de la corrosión interior de las instalaciones de agua
- *1.06 Instalación de climatización en hospitales

SERIE 2: Condiciones de diseño

- *2.01 Calidad del ambiente térmico
- *2.02 Calidad de aire interior
- *2.03 Acústica en instalaciones de aire
- *2.04 Acústica en instalaciones de Climatización: Casos prácticos
- *2.05 Calidad del aire exterior: mapa ODAs de las principales capitales de provincias de España

SERIE 3: Psicrometría

- *3.01 Psicrometría

SERIE 4: Tuberías

- *4.01 Cálculo de las pérdidas de presión y criterios de diseño. (Edición revisada)
- *4.02 Circuitos hidráulicos y selección de bombas

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
- *7.03 Entrada de datos a los programas LIDER y CALENER VyP
- *7.04 Entrada de datos al programa CALENER GT
- *7.05 cálculo de cargas térmicas
- *7.06 Procedimientos simplificados para la certificación de viviendas de nueva construcción: Cerma, Ce2, CES
- *7.07 Metodología BIM en la Climatización

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
- *8.04 Energía Solar Térmica. Casos Prácticos

SERIE 9: Sistemas de acondicionamientos de aire

- *9.01 Tipos de sistemas
- *9.02 Relación entre el edificio y el sistema de climatización
- *9.03 Sistemas de climatización para viviendas, residencias y locales comerciales
- *9.04 Sistema de suelo radiante
- *9.05 Sistemas de climatización
- *9.06 Selección de equipos secundarios según el sistema
- *9.07 Cálculo y Selección de equipos primarios
- *9.08 Bombas de Calor a Gas
- *9.09 Sistemas de Climatización 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
- *10.05 Principios básicos de las calderas de condensación
- *10.06 Piscinas cubiertas. Sistemas de climatización deshumectación y ahorro de energía mediante bombas de calor

SERIE 11: Control

- 11.01 Esquemas de control
- *11.02 Regulación y control de instalaciones de climatización
- *11.03 Contaje de Energía de acuerdo al RITE en sistemas de agua para calefacción y ACS

SERIE 12: Aislamiento térmico

- *12.01 Cálculo del aislamiento térmico de conducciones y equipos
- *12.02 Aplicación de aislamientos en la edificación y las instalaciones. Casos prácticos

SERIE 13: Difusión de aire

SERIE 14: Acumulación de energía térmica

SERIE 15: Salas de máquinas

SERIE 16: Puesta en marcha, recepción y mantenimiento

- 16.01 Criterios de calidad en el montaje de las instalaciones de climatización y ACS

SERIE 17: Varios

- *17.01 Análisis económico de sistemas eficientes. Estudio de Casos
- *17.02 Responsabilidad Civil del Ingeniero
- *17.03 Contenidos de proyecto y memoria técnica
- *17.04 Instrumentación y Medición

SERIE 18: Rehabilitación Energética y Reforma

- *18.01 Rehabilitación Energética de la Envolvente Térmica de los Edificios.
- 18.02 Rehabilitación Energética de las Instalaciones Térmicas de los Edificios.

*18.03 Integración de Energías Renovables en la Rehabilitación Energética de los Edificios.

*18.04 Auditorías Energéticas. Casos Prácticos

SERIE 19: Edificios de Consumo de Energía Casi Nulo

19.01 Edificios de Consumo de Energía Casi Nulo. Parte teórica

*19.02 Edificios de Consumo de Energía Casi Nulo. Casos prácticos.

*Editadas

ÍNDICE

1	SISTEMAS RADIANTES DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN	12
1.1	INTRODUCCIÓN	12
1.2	TRANSMISIÓN DE CALOR E INTERCAMBIO RADIANTE	13
1.3	SUPERFICIES RADIANTES. SUELO, TECHO Y PAREDES	22
1.4	CONSIDERACIONES ADICIONALES SOBRE TABS	32
1.5	APLICACIONES DE USO DE SISTEMAS RADIANTES CALEFACTANTES Y REFRIGERANTES	33
2	CONDICIONES AMBIENTALES INTERIORES. CONFORT TÉRMICO	39
2.1	INDOOR ENVIRONMENTAL QUALITY, IEQ	39
2.2	CONFORT TÉRMICO	42
2.2.1	Condiciones básicas para el confort térmico	43
2.2.2	Regulación de la temperatura del cuerpo	44
2.2.3	Balance térmico	45
2.2.4	El metabolismo y el trabajo mecánico	46
2.2.5	La vestimenta	47
2.2.6	La superficie del cuerpo	47
2.2.7	Parámetros ambientales	47
2.2.8	Índices ambientales	48
2.2.9	Escalas de sensaciones térmicas (VPM y PPI)	51
2.3	MALESTAR TÉRMICO LOCAL	54
2.4	CONFORT TÉRMICO ADAPTATIVO	58
2.5	CONFORT TÉRMICO CON SUPERFICIES RADIANTES. TEMPERATURA RADIANTE Y OPERATIVA	61
3	FUNDAMENTOS DE SUPERFICIES RADIANTES DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN. CLASIFICACIÓN E INSTALACIÓN	65
3.1	CONFIGURACIÓN DE SISTEMAS RADIANTES	65
3.1.1	Suelos radiantes	65
3.1.2	Elementos fundamentales de los sistemas de suelo radiante	67
3.1.3	Distribución de los circuitos del tubo radiante	76
3.2	TECHOS RADIANTES FRÍOS	81
3.2.1	Control en sistemas de techos fríos	85
3.2.2	Ventajas y desventajas de los techos fríos	85
3.2.3	Aplicaciones reales de techos fríos radiantes	86
3.3	THERMAL ACTIVE BUILDING SYSTEMS, TABS	86
3.4	EJECUCIÓN, PUESTA EN MARCHA Y REGULACIÓN DE UNA INSTALACIÓN RADIANTE	90
3.4.1	Colocación de los distribuidores	91
3.4.2	Colocación de la banda lateral	92
3.4.3	Montaje de las planchas de aislamiento	92
3.4.4	Colocación del tubo	94
3.4.5	Limpieza, prueba de presión y protección contra heladas	95
3.4.6	Preparación y aplicación del mortero	96
3.4.7	Puesta en marcha controlada	97
3.4.8	Ajuste de circuitos	98
4	CÁLCULO Y DIMENSIONADO DE SUPERFICIES RADIANTES EN CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN	100
4.1	CARGA TÉRMICA DE LOS LOCALES	100
4.1.1	Método de cargas instantáneas	101
4.1.2	Método del balance térmico	102

4.1.3	Método de las funciones de transferencia y factores respuesta.....	103
4.2	NORMATIVA APLICABLE.....	106
4.3	DIMENSIONADO DE LA INSTALACIÓN RADIANTE.....	107
4.3.1	Conceptos generales.....	107
4.3.2	Características de diseño.....	109
4.3.3	Dimensionado de un suelo radiante.....	110
4.4	EJEMPLO DE DIMENSIONADO DE UN SUELO RADIANTE PARA CALEFACCIÓN.....	118
5	HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS DE CÁLCULO DE DIMENSIONADO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS RADIANTES.....	126
5.1	CARACTERÍSTICAS DEL SOFTWARE DE CÁLCULO DE DIMENSIONADO.....	126
5.1.1	Capacidad de diseño.....	126
5.1.2	Descripción de sistema radiante.....	127
5.1.3	Parámetros de cálculo para sistemas radiantes.....	129
5.1.4	Ejemplo de cálculo de suelo radiante refrigerante realizado con herramienta CYPE UPONOR.....	129
5.1.5	Ejemplo de cálculo de techo radiante refrigerante realizado con herramienta CYPE UPONOR.....	134
5.2	SOFTWARE DE SIMULACIONES DE SISTEMAS RADIANTES.....	137
5.2.1	Simulaciones estáticas.....	137
5.2.2	Simulaciones dinámicas.....	139
5.3	EFICIENCIA ENERGÉTICA. INTRODUCCIÓN DE SISTEMAS RADIANTES EN HERRAMIENTAS DE CALIFICACIÓN: HERRAMIENTA UNIFICADA LÍDER CALENER (HULC).....	140
5.3.1	Definición de sistemas radiantes en la herramienta unificada.....	141
5.3.2	Integración de soluciones radiantes como capacidades adicionales: uposoft.....	143
6	REGULACION Y CONTROL EN SISTEMAS RADIANTES PARA CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN.....	146
6.1	INTRODUCCIÓN.....	146
6.1.1	Descripción general y clasificación.....	146
6.2	REGULACIÓN Y CONTROL DE INSTALACIONES RADIANTES.....	147
6.2.1	Control de la producción.....	148
6.2.2	Control termostático.....	148
6.3	ESTRATEGIA DE CONTROL.....	149
6.3.1	Temperatura constante del agua con suministro constante.....	149
6.3.2	Temperatura variable en función de la temperatura interior.....	149
6.3.3	Ajuste de la temperatura del caudal circulante del agua en función de la temperatura exterior.....	150
6.3.4	Caudal variable con suministro de agua a temperatura constante.....	150
6.3.5	Temperatura constante del suelo.....	150
6.3.6	Estrategias combinadas y sensores necesarios.....	150
6.4	CONTROL DE LA INERCIA TÉRMICA.....	152
6.5	PARTICULARIDADES DE CONTROL SOBRE INSTALACIONES DE REFRIGERACIÓN.....	152
6.6	CONTROL DE TABS.....	154
6.6.1	Control de las horas de funcionamiento.....	155
6.6.2	Control de la temperatura del agua.....	156
6.6.3	Sensores.....	156

7 SOLUCIONES PRÁCTICAS DE INSTALACIONES RADIANTES DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN.....	158
7.1 SOLUCIONES PRÁCTICAS DE SUELO RADIANTE REFRIGERANTE.....	158
7.1.1 Residencial.....	158
7.1.2 Oficinas, edificios comerciales, hoteleros y de servicios.....	158
7.2 SOLUCIONES PRÁCTICAS DE TECHO RADIANTE.....	160
7.2.1 Residencial.....	160
7.2.2 Oficinas.....	160
7.2.3 Hoteles, edificios comerciales y de servicios.....	161
7.3 SOLUCIONES PRÁCTICAS DE REFORMA.....	163
7.4 SOLUCIONES DE FORJADOS ACTIVOS PARA EDIFICIOS TERCARIOS.....	164
8 BIBLIOGRAFÍA.....	167
9 TERMINOLOGÍA, SIMBOLOGÍA Y UNIDADES.....	169

1 SISTEMAS RADIANTES DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

Los sistemas radiantes cuando se utilizan para aportar calefacción utiliza fluido térmico a una temperatura superior a la del ambiente acondicionado, pero a baja temperatura. Cuando operan en modo refrigeración, la temperatura del fluido se encuentra a menos temperatura que el ambiente, pero a alta temperatura. Por este motivo se consideran sistemas bajo exergéticos o sistemas Low_Ex, normalmente asociados a rendimientos en los sistemas de generación térmica (producción de calor y/o frío) elevados. Por este motivo, los emisores radiantes son uno de los sistemas más utilizados en la actualidad para el acondicionamiento térmico de los locales, utilizando una superficie radiante.

Los sistemas más utilizados de radiación son el suelo radiante (proporcionar calefacción) y suelo radiante calefactante y refrigerante, cuando aporta 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 principales ventajas que presentan los sistemas radiantes en climatización son:

Consiguen un elevado confort térmico.

- Los elementos emisores radiantes **no ocupan espacio** en las zonas del edificio a climatizar.
- Permiten utilizar fluidos caloportadores con **niveles térmicos bajos** que se pueden alcanzar con sistemas de generación térmica más respetuosos con el medio ambiente, y mediante energías renovables.
- **El consumo energético es más reducido que el de otros sistemas de climatización** convencionales, por lo que hacen que sean una de las alternativas técnicas más contempladas en la actualidad.

Se puede definir el sistema de suelo radiante como un “sistema de calefacción/refrigeración por el suelo, en el que los tubos, que transportan agua con o sin aditivos como fluido calefactor, están ocultos bajo dicho suelo”.

Aunque los sistemas de calefacción radiante tienen mayor utilización en los últimos años, no quiere esto decir que el suelo radiante sea un sistema moderno.

El suelo como emisor de calor radiante 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 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, y todavía se puede encontrar alguna gloria en los pueblos de las zonas más frías de la península.

En la actualidad existen diferentes alternativas para el calentamiento o enfriamiento radiante de los espacios, intentando reducir los intercambios energéticos asociadas al acondicionamiento del aire al incrementar las diferencias de temperatura entre el interior y el exterior, o aprovechando la disponibilidad de gran superficie de emisión,

reduciendo 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.

1.2 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 aquella 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. La ley fundamental es la de Fourier.

Convección se refiere a la transferencia de calor que ocurrirá entre una superficie y un fluido en movimiento cuando están a diferentes temperaturas. La ley fundamental es la de enfriamiento de Newton.

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. La ley fundamental de radiación es la de Stefan-Boltzman.

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 1.1, la ecuación es:

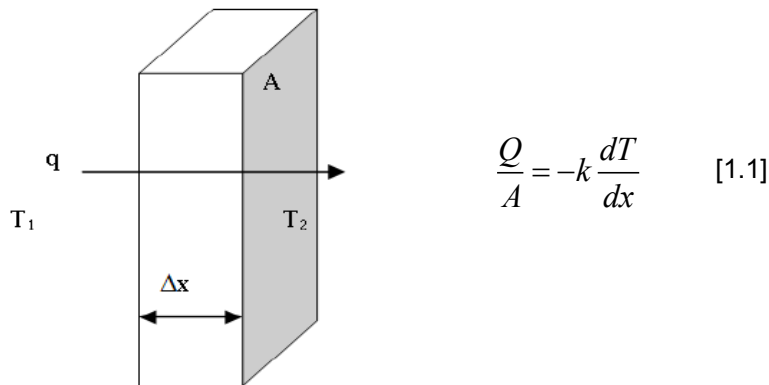


Figura 1.1. Perfil térmico de transmisión de calor por conducción unidireccional en un sólido.

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. La dirección del flujo es perpendicular a las superficies isotermas y proporcional al gradiente de temperatura, dT/dx en esta dirección.

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 varias propiedades como son su estructura, composición, homogeneidad del material, etc.

En la tabla 1.1 se presentan diferentes propiedades de los materiales, utilizadas en el análisis de la transmisión de calor por conducción en esos materiales.

Tabla 1.1. Conductividad térmica de algunos materiales utilizados en construcción.

MATERIAL	Densidad ρ	Conductividad térmica k	
	Kg/m ³	kcal/hmK	W/mK
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