

DTIE 7.05

CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS

PATROCINA



Saunier Duval

EDITA

 **Atecyr**

DOCUMENTOS TÉCNICOS DE INSTALACIONES EN LA EDIFICACIÓN DTIE

**DTIE 7.05:
Cálculo de Cargas Térmicas**

Autores:

José Manuel Pinazo Ojer.
Catedrático de la Universidad Politécnica de Valencia y Presidente del Comité Técnico de Atecyr.

Víctor Soto Francés.
Profesor titular de la Universidad Politécnica de Valencia y miembro del Comité Técnico de Atecyr.

Arcadio Garcia Lastra.
Ingeniero Industrial, Secretario Técnico de Atecyr y miembro del Comité Técnico de Atecyr.

Revisores:

Ramón Velázquez Villa.
José Manuel Cejudo López.
Eduardo A. Rodríguez Garcia.

RELACIÓN DE MIEMBROS DEL COMITÉ TÉCNICO DE ATECYR

Presidente: JOSÉ MANUEL PINAZO OJER

Vicepresidente: RICARDO GARCÍA SAN JOSÉ

Vocales: Agustín Maillo Pérez
Alberto Viti Corsi
Alejandro Cabetas Hernández
Antonio Garcia Laespada
Antonio Paniego Gomez
Antonio Vegas Casado
Arcadio Garcia Lastra
Iñaki Morcillo Irastorza
Francisco Javier Rey Martínez
Ignacio Leiva Pozo
José Antonio Rodríguez Tarodo
Jose Fernandez Seara
Jose Luis Esteban
Jose Manuel Cejudo
José María Cano Marcos
Juan Travesí Cabetas
Manuel Sanchez Marin
Miguel Ángel Navas Martín
Paulino Pastor Pérez
Pedro Torrero Gras
Pedro Vicente Quiles
Rafael Úrculo Aramburu
Ramón Velázquez Vila
Victor M. Soto Francés

© ATECYR

Edita: ATECYR
Navaleno, 9
28033 Madrid

Producción y realización:
ATECYR

Maquetación e impresión:
GRÁFICAS ELISA, S.L.

ISBN: 978-84-95010-42-1

Dep. Legal: M-34403-2011

* 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 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; con el Ministerio de la Vivienda, con el Ministerio de Industria, Turismo 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. Colabora con un gran número de Comunidades Autónomas y Ayuntamientos, gracias a la incansable actividad de las Agrupaciones Provinciales con que contamos; con 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); con EUROVENT CERTIFICATION COMPANY; con el Consejo Superior de Colegios de Ingenieros Industriales y el Consejo Superior de Colegios de Ingenieros Técnicos Industriales, AEDICI (Asociación Española de Ingenierías e Ingenieros consultores) y el ASHRAE Spain Chapter.

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 ha sido aprobado y publicado el 20 de julio de 2007, Real Decreto 1027/2007.

Desde el punto de vista internacional es miembro de REHVA, asociación europea que agrupa a las asociaciones de técnicos del sector, y de 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 España, Portugal, Francia e Italia. La primera edición tuvo lugar en Lisboa en el año 2004, la segunda edición en España en 2005, coincidiendo con el certamen CLIMATIZACIÓN 2005, la tercera edición en Lyon, Francia en abril de 2006, la cuarta edición en Génova, Italia, en septiembre de 2007 y la quinta ha tenido lugar en Lisboa, Portugal en abril de 2009. La siguiente edición se celebrará en Madrid, el 2 y 3 de Junio de 2011.

En sus más de treinta y seis 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.

ATECYR cuenta con 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.

La actividad de la asociación descansa en dos pilares fundamentales: Las Agrupaciones como grandes generadoras de la actividad y como instrumentos que permiten 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, marcan las tendencias y la forma de hacer las cosas. Dicho Comité es el gran dinamizador de toda nuestra actividad.

Uno de los cometidos del Comité Técnico de ATECYR, en el que viene trabajando desde hace años, es la elaboración de una extensa documentación técnica y la divulgación científico-técnica sobre temas relacionados con el sector de la climatización y la 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.

Se trata de ofrecer al técnico 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.

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 trabajen o que tengan inquietudes en este ámbito.

Sólo queda agradecer su aportación al patrocinador de este DTIE, sin cuya ayuda sería imposible completar este interesante proyecto.

D. Juan José Quixano Burgos
Presidente de ATECYR

Índice

1. Introducción.....	9
1.1. Método del Balance	13
1.2. Método de Series Temporales Radiantes.....	15
2. Condiciones Exteriores	25
2.1. Temperatura seca	26
2.2. Temperatura húmeda	33
2.3. Velocidad y dirección de viento.....	37
2.4. Radiación solar global sobre superficie.....	38
2.5. Posición del sol, respecto de una localización geográfica.....	40
2.6. Temperatura de cielo	42
2.7. Temperatura del terreno.....	43
3. Condiciones Interiores.....	45
4. Ganancia de calor y carga por conducción a través de un cerramiento opaco... 47	
4.1. Factores de respuesta	47
4.2. Propiedades térmicas de los materiales	49
4.2.1. Cámaras de aire	61
4.3. Propiedades de cerramientos.....	62
4.4. Coeficiente global de convección-radiación en el interior de recintos y temperatura equivalente interior a considerar	62
4.5. Coeficiente global de convección-radiación en el exterior de recintos y temperatura sol-aire (o equivalente para el ambiente exterior)	64
4.6. Determinación de la ganancia por conducción a través de un cerramiento que da al exterior.....	66
4.7. Determinación práctica de la carga térmica debida a un cerramiento exterior	67
4.8. Muros y suelos enterrados o a vacíos sanitarios	72
4.9. Muros, techos y suelos a otros locales no atemperados (calefactados).....	77
5. Ganancia de calor y carga a través de un cerramiento semitransparente (huecos).....	81
5.1. Ganancia por conducción-convección.....	81
5.1.1. Coeficientes de transmisión en huecos.....	82
5.1.2. Modificación del coeficiente de transmisión en huecos	85
5.2. Carga térmica de la ganancia de conducción-convección.	86
5.3. Ganancia por radiación solar	87
5.3.1. Factor solar	87
5.3.2. Uso de elementos adicionales.....	90
5.3.3. Efecto de los elementos de sombreadamiento u obstáculos. (Cálculo de sombras proyectadas).	92
5.3.4. Efecto del ángulo de incidencia de la radiación solar sobre su reflexión	97

5.3.5.	Ganancia debida a la radiación solar	99
5.3.6.	Carga térmica de la ganancia de la radiación solar para un vidrio ideal.....	100
5.4.	Carga térmica de la ganancia de la radiación solar para un vidrio real	102
6.	<i>Ganancia o carga a través de puentes térmicos</i>	103
7.	<i>Ganancia o carga por Ventilación</i>	115
8.	<i>Ganancia o carga por infiltración.....</i>	118
8.1	Infiltraciones o permeabilidad de los huecos al aire exterior	118
8.2	Caudal infiltrado.	120
9.	<i>Ganancia y carga debida a ocupantes.....</i>	122
10.	<i>Ganancia y carga por iluminación</i>	124
11.	<i>Ganancia y carga por el equipamiento.....</i>	127
12.	<i>Ganancia o carga por propia instalación</i>	131
13.	<i>Carga de mayoración</i>	132
14.	<i>Hoja de cargas para refrigeración</i>	132
15.	<i>Hoja de cargas para calefacción.....</i>	134
16.	<i>Elaboración de una hoja de cargas simplificada para casos simples.....</i>	136
16.1.	Refrigeración. Hora máxima demanda supuesta las 16h solares de julio, localidad Valencia	136
16.2.	Calefacción. Hora máxima demanda las 7h solares de enero. Gijón	141
17.	<i>Consideraciones para funcionamiento diferente a 24 horas</i>	144
18.	<i>Orden de magnitud</i>	145
19.	<i>APENDICE A. Radiación solar.....</i>	147
19.1.	Radiación solar extraterrestre. Constante solar.....	147
19.2.	Radiación solar fuera de la atmósfera	148
19.3.	Modificaciones de la radiación solar al atravesar la atmósfera	148
19.4.	Modelo de radiación solar propuesto	149
19.5.	Radiación directa	150
19.6.	Radiación difusa sobre superficie horizontal	150
19.7.	Radiación sobre una superficie con cualquier orientación	155
19.8.	Condiciones estándar para radiación solar máxima.	159
19.8.1.	Variación en función del espesor de agua precipitable ó humedad específica ó temperatura de rocío.....	159
19.8.2.	Variación en función de la altura localidad sobre el nivel del mar.	160
19.8.3.	Variación en función del coeficiente de reflexión de los alrededores.....	161
19.8.4.	Variación en función de la turbiedad del aire (β de Angström).....	162
20.	<i>APENDICE B. Factores de respuesta.....</i>	165
20.1.	Resolución de la transmisión de calor en un cerramiento unicapa mediante la función delta de Dirac en una cara.	166

20.1.1.	Cambio brusco de temperaturas en una de sus caras.....	167
20.1.2.	Función delta de temperaturas en una de sus caras.....	169
20.1.3.	Resolución general para una capa.....	169
20.2.	Resolución de la transmisión de calor en un cerramiento unicapa mediante transformada de Laplace.....	169
20.2.1.	Transformada de Laplace de la distribución de temperatura ante una excitación delta de Dirac.	170
20.2.2.	Resolución del problema mediante transformada de Laplace para un cerramiento con una sola capa con excitación en temperaturas en las dos caras.....	172
20.3.	Resolución del problema mediante transformada de Laplace para un cerramiento multicapa con excitación en temperaturas en las dos caras.....	175
20.4.	Factores de respuesta.....	177
20.4.1.	Propiedades de los factores de respuesta.-.....	184
20.4.2.	Factores de respuesta de algunas paredes consideradas tipo.....	186
20.5.	Factores periódicos de respuesta.....	191
21.	APENDICE C. Cálculo de condensaciones.....	193
21.1.	Relación entre temperatura seca y presión parcial de vapor en saturación para el agua	193
21.2.	Condiciones exteriores para el cálculo de condensaciones.....	193
21.3.	Condiciones interiores para el cálculo de condensaciones superficiales.....	197
21.4.	Comprobación de existencia de condensaciones.....	197
22.	APENDICE D. Zona Climática.....	203
23.	APENDICE E. Ejemplo sobre un espacio de oficina.....	205
24.	Referencias.....	219

Nota de los autores:

La forma como aconsejamos leer esta DTIE depende del interés del lector, así:

- Si se pretende un cálculo rápido de las cargas de un recinto, se sugiere leer directamente el capítulo 16 y apoyarse con la lectura de aquellos capítulos que le sean necesarios para su comprensión.
- Si el interés es un conocimiento completo del cálculo de cargas en las instalaciones de climatización se aconseja la lectura de todos los capítulos y el apéndice E. (No los demás apéndices)
- Si se quiere un dominio profundo de la transmisión de calor en el edificio con el objetivo de la determinación del cálculo de cargas térmicas, se aconseja la lectura completa del documento (con apéndices).

1. Introducción

El objetivo de las instalaciones de climatización es mantener unas condiciones de bienestar en la zona ocupada por las personas. En los sistemas convencionales por condiciones de bienestar se entienden unos valores de temperatura seca, humedad relativa, calidad de aire y nivel de ruido adecuado a las actividades que se realicen y a la cantidad de ropa que se utilice.

El cálculo convencional de cargas térmicas se ocupa de la temperatura seca y humedad interior. Pretende determinar los intercambios de energía intercambiada por unidad de tiempo (kW) y de vapor de agua (kg/s) máximos que se darán a diferentes escalas espaciales (edificio completo/zona/local), para así determinar la potencia de los equipos en cada nivel espacial destinados a mantener dichas condiciones de bienestar. Se sobreentiende que los sistemas de regulación adaptarán la potencia de nuestros equipos a demandas menores de potencia (o potencias parciales) que se darán a lo largo de un año.

Señalemos inicialmente que la carga térmica se refiere al calor o vapor de agua transferido al aire que tiende a modificar su temperatura seca y/o humedad relativa.

En el volumen de un local hay que distinguir entre intercambios de calor convectivos (que se transfieren al aire) y radiantes (que se transfieren directamente entre las diferentes superficies internas o inciden sobre ellas). Los intercambios radiantes no afectan directamente a la temperatura del aire y no provocan una reacción de los sensores ni de los equipos que tengan un control basado en este parámetro, (no entra por lo tanto en el concepto de carga térmica). Sólo el calor convectivo se considera carga térmica puesto que intenta modificar las condiciones del aire (temperatura seca y humedad interior) medida por los sensores (termostatos y humidostatos, en instalaciones convencionales) y sí provocan la reacción de los equipos. Otra forma de abordar el problema es en base a la temperatura operativa (que depende de la temperatura del aire y la de las paredes del recinto). Debería ser utilizada para sistemas que contemplen superficies activas (suelo radiante o techo refrescante); en estos casos se debería controlar el accionamiento del sistema con sensores especiales que detectaran cambios de esa temperatura operativa. (Los resultados de esta DTIE no son directamente aplicables al cálculo de las cargas en estos casos).

El intercambio de vapor de agua se considera que se transfiere directamente al aire, por lo tanto es convectivo y contribuye a la carga térmica.

En vez de utilizar la cantidad de vapor transferida al aire (kg/s), se usa la potencia térmica equivalente que es necesario suministrar a dicha cantidad de agua (m_{vapor}) para transformarla de agua líquida a 0°C (610,5 Pa) hasta vapor de agua a la temperatura que se encuentra (T_s °C), valor que es conocido como carga latente (kW).

$$Q_{\text{latente}} = m_{\text{vapor}} (2501 + 1,86 T_s) \quad [1]$$

Así la carga térmica se divide en; calor sensible (dedicado a aumentar la temperatura del aire seco y del vapor de agua en él disuelto), y calor latente (equivalente a producir el vapor aportado o eliminado). El calor total es la suma de ambos.

Señalemos que en el caso ideal (controlar y mantener la temperatura y humedad interna en sus valores de bienestar), nuestras instalaciones deberían compensar exactamente ambas cargas por separado (y no la suma de ambos).

El dimensionamiento completo de una instalación comporta la determinación de la carga térmica máxima en diferentes ámbitos espaciales que viene condicionada por el sistema de climatización adoptado. Así:

- La carga térmica en cada local; es usada para dimensionar los equipos terminales (fan-coils, difusores, suelo radiante, radiadores, etc...)
- La carga térmica en cada zona; entendida como aquella que se da en un conjunto de locales que llamamos zona. Un único equipo les proporciona un servicio de calor o frío y mantiene las condiciones de bienestar del aire de la zona. La carga deberá ser utilizada para dimensionar dicho equipo. Por ejemplo, para dimensionar el equipo en el caso de sistemas con conductos o en sistemas con caudal de refrigerante variable, así sería la UTA (Unidad de Tratamiento de Aire) o la unidad exterior respectivamente. Hay que destacar que el pico de carga de la zona, puede no corresponderse con el pico de carga de los locales que la componen, por eso esta carga de la zona es conocida también como carga simultánea. Es decir, la carga en la zona no suele corresponder con la suma de las cargas máximas en cada local (es inferior), por esto se denomina carga simultánea.
- La carga térmica en el edificio; entendida como aquella que se da en todo el edificio simultáneamente. Corresponde con la carga simultánea del conjunto de zonas que a su vez es originada por la carga simultánea de sus locales. Esta carga se usa para elegir la potencia de los generadores de frío o de calor. Como en el caso anterior la carga en el edificio no suele corresponder con la suma de las cargas máximas en cada zona (es inferior), por esto se denomina carga simultánea.

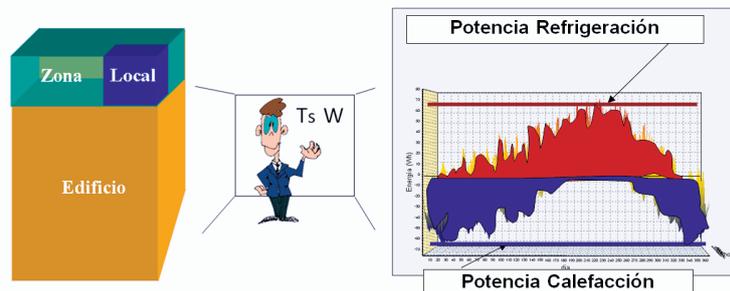


Imagen 1.1: Cargas térmicas en locales, zonas y edificio

En la figura 1 se observa la cantidad de energía necesaria (calor o frío) a lo largo del tiempo para mantener unas determinadas condiciones de confort. Se entiende como carga térmica la potencia máxima de dicha curva (de calor o frío), analizada en esta DTIE. Se entiende como demanda la integral a lo largo del año y por tanto se trata de la energía necesaria al año (analizada en programas como LIDER y CERMA). Y finalmente el consumo de energía será la integral a lo largo del año del cociente de la demanda instantánea dividido por el rendimiento de los sistemas en ese instante (analizada en programas como CALENER y CERMA).

Dependiendo del sistema de climatización adoptado serán necesarios un conjunto de cálculos de cargas diferentes, así por ejemplo en un sistema con caudal variable por expansión directa no será necesario estimar la carga total del edificio, y si la de las correspondientes zonas térmicas. En un sistema con equipos partidos únicamente sería necesario estimar la carga en los locales.

Las diferentes aportaciones se suelen clasificar en función de su procedencia (exterior/interior) y de su tipo. En función de esta clasificación se debe usar un método de cálculo diferente que contemple la acumulación de energía o no, y que conlleve

asociada carga latente o no, (en cualquier caso se asume que no existe acumulación de agua en el edificio, lo cual no es estrictamente cierto, pero sí muy aproximado). En la tabla 1.1 se recogen estos detalles. Finalmente comentar que en la estimación de la cantidad de calor transferida por puentes térmicos debía considerarse igualmente la acumulación de energía, aunque en muchas metodologías esto se obvie por la dificultad del cálculo.

Tabla 1.1: Tipos de cargas térmicas a considerar y su clasificación

Localización	Tipo de carga	Sensible	Latente	Inercia
Exteriores	Transmisión por cerramientos opacos	SI	NO	Necesaria
	Transmisión por cerramientos semitransparente	SI	NO	Necesaria
	Puentes térmicos	SI	NO	Conveniente
	Ventilación	SI	SI	NO
	Infiltración	SI	SI	NO
Interiores	Ocupantes	SI	SI	Posible
	Iluminación	SI	NO	Posible
	Máquinas y motores	SI	SI	Posible
	Propia instalación	SI	NO	NO

Podemos calificar a la carga de ventilación como singular. El servicio de ventilación tiene por objeto proporcionar aire sin olores y rico en oxígeno y no tiene como misión el mantener un bienestar térmico. Sin embargo es singular en cuanto que normalmente va ligada a la acción del sistema de climatización, e incluso se introduce en los locales una vez atemperado o en condiciones neutras (a la temperatura seca y humedad relativa interior de bienestar) incapaz de dar un servicio adicional de calefacción o refrigeración. Esto nos lleva normalmente a estimar separadamente dicha carga respecto a las demás y a tenerla en consideración o no en cada parte (Edificio / Zona / Local), dependiendo del tipo de sistema. Por ejemplo no se estimará carga de ventilación en locales cuando el aire exterior se hace pasar previamente a través de los equipos de la zona (que ya lo atemperan), o cuando existan equipos específicos (asociados exclusivamente al servicio de ventilación) que compensan su carga térmica asociada de forma independiente, pudiendo puntualmente ayudar a la climatización interactuando con los sistemas de servicio de frío/calor (enfriamiento gratuito o free-cooling al usar un aire de ventilación frío cuando hay necesidad de servicio de refrigeración). Este es el caso de los llamados sistemas de aire primario.

Evidentemente es necesario estimar las cargas tanto para el servicio de calefacción como para el de refrigeración de forma independiente. Es más, las suposiciones que realizamos en ambos casos sobre las condiciones exteriores e interiores y de uso de nuestras instalaciones son completamente contrapuestas, para que nos conduzcan a estimar sus máximos requerimientos.

En general las hipótesis que realizamos son:

- Calefacción
 - Se estimarán en el día que la temperatura exterior sea la más baja (con un determinado percentil que se verá mas adelante), con su correspondiente humedad y asumiendo que el día es muy nublado, y por lo tanto, sin aportes solares apreciables, (se trata en general de días de enero y a las horas de salida del sol).