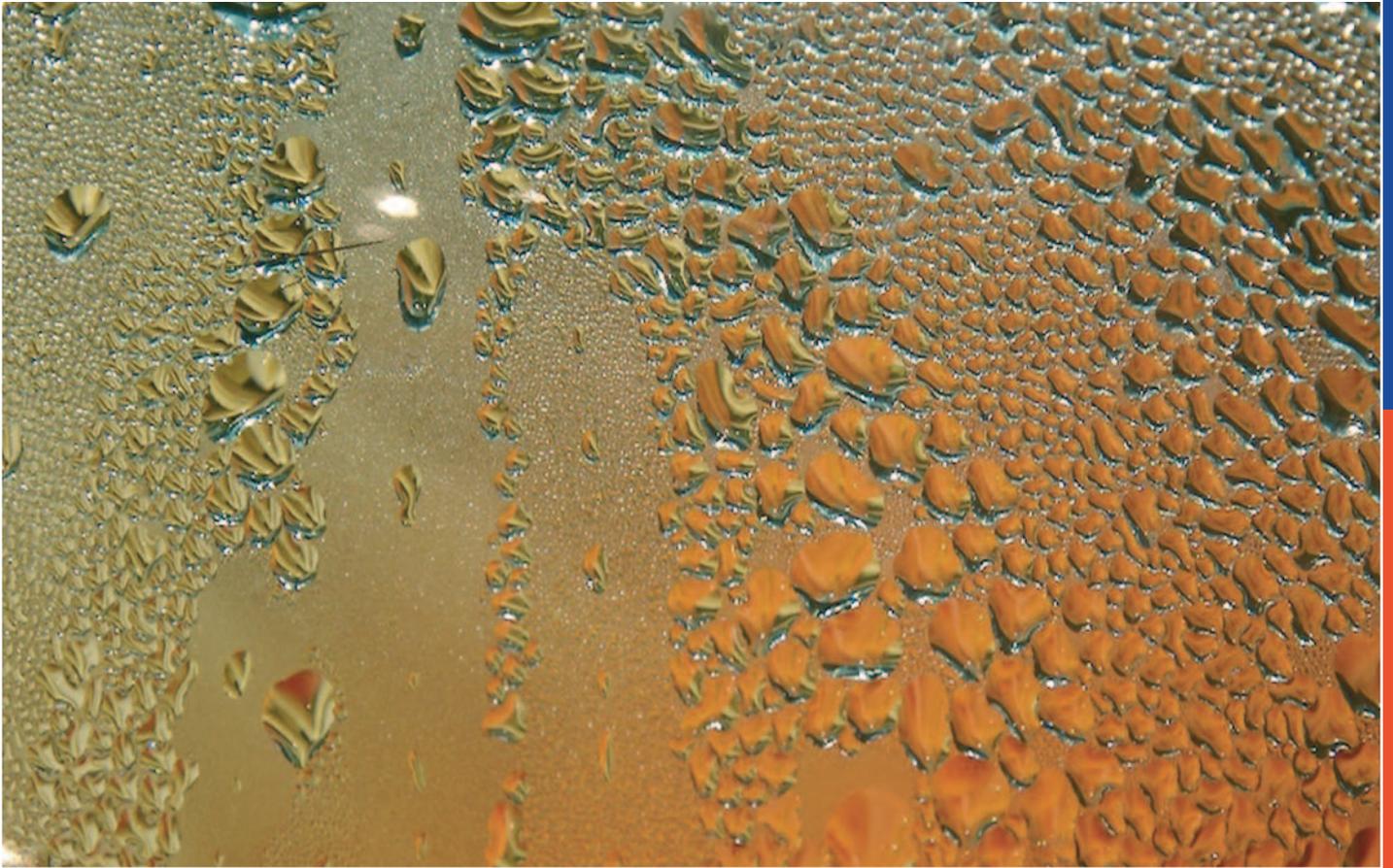


DOCUMENTOS TÉCNICOS DE  
INSTALACIONES EN LA  
EDIFICACIÓN DTIE



# DTIE 10.05

PRINCIPIOS BÁSICOS DE LAS CALDERAS  
DE CONDENSACIÓN

PATROCINA



EDITA



---

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

---

**DTIE 10.05: Principios básicos de las calderas de condensación**

Autor:

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

Dirigida por:

**Salvador Solsona Cortadellas.** Miembro del Comité Organizador de Atecyr (COA) y del Comité Técnico de Atecyr.

Revisada por:

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

**Ricardo García San José.** Ingeniero Industrial y Vicepresidente del Comité Técnico de Atecyr.

## **RELACIÓN DE MIEMBROS DEL COMITÉ TÉCNICO DE ATECYR**

**Presidente:** JOSÉ MANUEL PINAZO OJER

**Vicepresidente:** RICARDO GARCÍA 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 CASADO  
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:** 978-84-95010-30-8  
**Dep. Legal:** M-58629-2008

\* 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 1.700 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 CERTIFICATION COMPANY y el Consejo Superior de Colegios de Ingenieros Industriales (CCOII) y el Consejo General de Colegios Oficiales de Peritos e Ingenieros Técnicos Industriales (COGITI).

En el campo normativo es digno de resaltar la participación en la elaboración del Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE), RD 1027/2007 publicado en el BOE del 29 de agosto de 2007.

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, la cuarta edición en Génova, Italia, en septiembre de 2007 y la próxima edición tendrá lugar en Lisboa, Portugal en abril del año 2009.

En sus más de treinta 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.

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 Técnico de ATECYR 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 (DTIE) 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.

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.**

# 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

## **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
- \*7.03 Entrada de datos a los programas Lider y Calener VyP

## **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
- \*10.05 Principios básicos de las calderas de condensación

## **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

<b>1 INTRODUCCIÓN</b> .....	11
<b>2 CONOCIMIENTOS TEÓRICOS INICIALES</b> .....	12
2.1 Definición de calor.....	12
2.2 Unidades de medida del calor- Temperatura.....	12
2.3 Determinación del calor. Calor sensible y latente.....	14
2.4 Transmisión de calor (potencia calorífica).....	19
2.5 Transmisión de calor en una caldera de condensación.....	33
2.6 Presión parcial de vapor ( $P_v$ ), presión de vapor en saturación ( $P_{vs}$ ) y temperatura de rocío ( $T_r$ ).....	34
2.6.1 Punto de rocío húmedo.....	36
2.6.2 Punto de rocío ácido.....	37
<b>3 COMBUSTIÓN</b> .....	38
3.1 Introducción.....	38
3.2 Reacción química completa y estequiométrica.....	40
3.3 Combustibles.....	40
3.4 Poder calorífico de los combustibles.....	44
3.5 Comburente-Poder comburívoro y fumígeno.....	51
3.5.1 Emisiones de $CO_2$ .....	59
3.6 Inquemados.....	60
3.6.1 Hollines.....	60
3.6.2 Monóxido de carbono.....	61
3.7 Emisiones contaminantes.....	65
3.7.1 ÓXIDOS DE NITRÓGENO $NO$ y $NO_2$ ( $NO_x$ ).....	65
3.7.2 ÓXIDO DE AZUFRE ( $SO_2$ ).....	67
3.8 Temperatura de rocío del agua en los humos de combustión.....	69
3.8.1 Proceso real de la temperatura de rocío del agua en los humos de combustión.....	75
3.9 Relación de la llama en el proceso de combustión.....	78
<b>4 RENDIMIENTOS</b> .....	79
4.1 Tipología de calderas.....	79
4.2 Rendimiento útil nominal.....	80
4.2.1 Potencia nominal Útil.....	81
4.2.2 Potencia nominal (consumo nominal).....	82
4.2.3 Pérdidas por humos o en chimenea.....	82
4.2.4 Pérdidas superficiales o al ambiente.....	87
4.3 Rendimiento de combustión.....	90
4.4 Rendimiento estacional.....	92
4.4.1 Medido en un periodo de calefacción.....	92
4.4.2 Norma VDI 2067 y 3808.....	96
4.4.3 Norma UNE EN 15378:2007.....	97
4.5 Requisitos de rendimiento.....	101
4.5.1 Directiva 92/42/CEE.....	101
4.5.2 UNE EN 15378:2007.....	103
<b>5 JUSTIFICACIÓN DE LAS CALDERAS DE CONDENSACIÓN</b> .....	105
5.1 Cálculo de la temperatura superficial del conducto de humos.....	105
5.1.1 Efecto de las incrustaciones.....	109
5.2 Temperatura de impulsión baja.....	111
5.3 Curva de regulación de las emisiones de calor en función de las condiciones exteriores.....	114
5.4 Temperatura de impulsión $60^\circ C$ .....	116
5.5 Temperatura de impulsión de $80^\circ C$ .....	130
5.6 Temperatura de impulsión $90^\circ C$ .....	143
5.7 Conclusiones.....	156

<b>6 TIPOLOGÍA DE LAS CALDERAS DE CONDENSACIÓN</b> .....	158
6.1 Calderas con condensador-recuperador separado .....	158
6.2 Calderas con condensador integrado.....	161
<b>7 DISEÑO DE ELEMENTOS</b> .....	164
7.1 Elementos terminales para sistemas solo calefacción por agua.....	164
7.2 Circuito hidráulico.....	168
7.2.1 Circuito de calefacción.....	168
7.2.2 Circuito de agua caliente sanitaria .....	170
7.3 Condensados.....	171
7.3.1 Evacuación .....	172
7.3.2 Tratamiento de la acidez .....	173
7.4 Humos .....	175
7.5 Control.....	176
7.6 Regulación de la potencia de caldera.....	178
7.7 Seguridad.....	181
<b>8 ACTUALIDAD</b> .....	181
<b>9 ANEXOS</b> .....	186
9.1 Símbolos y unidades .....	186
9.2 Exigencias legislativas de algunos combustibles en España .....	187
9.2.1 Propano .....	187
9.2.2 Butano .....	188
9.2.3 Gasóleo C.....	189
9.2.4 Fuel óleo.....	190
9.3 Diagramas de combustión.....	191
9.4 Comportamiento fuera de las condiciones nominales de las calderas en los programas CALENER VyP y CALENER GT .....	198
9.5 Zonas climáticas españolas .....	202
9.6 Bibliografía.....	203

## ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 2-1: Equivalencias energéticas utilizadas en el documento.....	13
Tabla 2-2: Conversión de unidades de temperatura .....	13
Tabla 2-3: Calor específico de sólidos y líquidos.....	14
Tabla 2-4: Calor específico de gases ideales.....	15
Tabla 2-5 Calor específico de los humos secos de combustión de una caldera (J/kgK).....	16
Tabla 2-6: Conductividad térmica de materiales.....	20
Tabla 2-7. Conductividad térmica del agua.....	23
Tabla 2-8: Viscosidad cinemática del agua.....	24
Tabla 2-9: Emisividad de materiales en función de su naturaleza .....	29
Tabla 2-10 Emisividad de los materiales en función de su tratamiento superficial.....	30
Tabla 2-11: Absortividad de materiales en función de su naturaleza.....	30
Tabla 2-12 Absortividad en función del color.....	30
Tabla 3-1: Moléculas en 3D.....	41
Tabla 3-2 Componentes del Gas Natural.....	42
Tabla 3-3: Componentes del propano comercial.....	42
Tabla 3-4: Componentes del butano comercial.....	43
Tabla 3-5: Componentes del Gasóleo C.....	43
Tabla 3-6: Componentes del Fuel Oil BIA.....	43
Tabla 3-7: Entalpías de formación de los elementos básicos.....	45
Tabla 3-8 Poder calorífico de los componentes constituyentes de los combustibles.....	46
Tabla 3-9: Componentes del GN en % de Peso .....	47
Tabla 3-10: Poder Calorífico de los Combustibles.....	49
Tabla 3-11: Energía de condensación por kg de combustibles.....	50
Tabla 3-12: Poder Comburívoro del GN.....	52
Tabla 3-13 Consideración de la humedad del aire en el poder comburívoro.....	52
Tabla 3-14: Poder comburívoro de los combustibles.....	53
Tabla 3-15 Poder comburívoro por unidad de energía.....	53
Tabla 3-16 Poder fumígeno.....	55
Tabla 3-17 Poder fumígeno considerando la humedad del aire comburente .....	55
Tabla 3-18: Poder fumígeno por unidad de volumen de combustible .....	56
Tabla 3-19: Agua en los humos (estequiométrica).....	57
Tabla 3-20 Agua (estequimétrica) en los humos por unidad de energía .....	57
Tabla 3-21 Poder fumígeno seco .....	58
Tabla 3-22 Poder fumígeno por unidad de energía .....	58
Tabla 3-23: Emisiones de CO <sub>2</sub> en los combustibles.....	59
Tabla 3-24 Emisiones de dióxido de carbono por unidad de energía .....	60
Tabla 3-25 Concentraciones admisibles de CO en el aire respirable.....	61
Tabla 3-26 Concentración de CO en los humos.....	63
Tabla 3-27 Clase de NOx.....	66
Tabla 3-28 Cantidad de SO <sub>2</sub> en los humos .....	67
Tabla 3-29 Temperatura de rocío ácida (°C).....	68
Tabla 3-30: Contenido de azufre (S) de los combustibles.....	68
Tabla 3-31: Valores máximo de contaminantes para el 2010.....	69
Tabla 3-32: Temperatura de condensación en los humos.....	70
Tabla 3-33 Temperatura de rocío de los humos en combustión completa.....	72
Tabla 3-34 Temperatura de rocío para el Gas Natural en combustión completa.....	74
Tabla 3-35 Humedad de saturación de los humos en función de la temperatura.....	76
Tabla 4-1 Coeficiente de radiación para el cálculo de q <sub>rc</sub> (%).....	87
Tabla 4-2 Coeficientes para calcular q <sub>rc</sub> (%).....	88
Tabla 4-3 Ejemplo de cálculo .....	96

Tabla 4-4 Valores de $q_v(\%)$ .....	98
Tabla 4-5 Mínimos de rendimiento RD 275/1995.....	101
Tabla 4-6 Clasificación de calderas en estrellas (derogado).....	102
Tabla 4-7 Cálculo rendimiento estacional a partir del rendimiento parcial .....	104
Tabla 5-1 Temperatura de la caldera en el lado de los humos $T_{ch}$ .....	109
Tabla 5-2 Capitales de provincia estudiadas.....	116
Tabla 5-3: Temperatura de impulsión 60°C: Burgos .....	118
Tabla 5-4 Temperatura de impulsión 60°C: Vitoria.....	119
Tabla 5-5 Temperatura de impulsión 60°C: Zamora.....	120
Tabla 5-6 Temperatura de impulsión 60°C: Madrid .....	121
Tabla 5-7 Temperatura de impulsión 60°C: Bilbao .....	122
Tabla 5-8 Temperatura de impulsión 60°C: Barcelona.....	123
Tabla 5-9 Temperatura de impulsión 60°C: Granada .....	124
Tabla 5-10 Temperatura de impulsión 60°C: Toledo.....	125
Tabla 5-11 Temperatura de impulsión 60°C: Valencia .....	126
Tabla 5-12 Temperatura de impulsión 60°C: Sevilla.....	127
Tabla 5-13 Temperatura de impulsión 60°C: Cádiz.....	128
Tabla 5-14 Temperatura de impulsión 60°C: Almería .....	129
Tabla 5-15 Temperatura de impulsión 80°C: Burgos.....	131
Tabla 5-16 Temperatura de impulsión 80°C: Vitoria.....	132
Tabla 5-17 Temperatura de impulsión 80°C: Zamora.....	133
Tabla 5-18 Temperatura de impulsión 80°C: Madrid .....	134
Tabla 5-19 Temperatura de impulsión 80°C: Bilbao .....	135
Tabla 5-20 Temperatura de impulsión 80°C: Barcelona.....	136
Tabla 5-21 Temperatura de impulsión 80°C: Granada .....	137
Tabla 5-22 Temperatura de impulsión 80°C: Toledo.....	138
Tabla 5-23 Temperatura de impulsión 80°C: Valencia .....	139
Tabla 5-24 Temperatura de impulsión 80°C: Sevilla.....	140
Tabla 5-25 Temperatura de impulsión 80°C: Cádiz.....	141
Tabla 5-26 Temperatura de impulsión 80°C: Almería .....	142
Tabla 5-27 Temperatura de impulsión 90°C: Burgos.....	144
Tabla 5-28 Temperatura de impulsión 90°C: Vitoria.....	145
Tabla 5-29 Temperatura de impulsión 90°C: Zamora.....	146
Tabla 5-30 Temperatura de impulsión 90°C: Madrid.....	147
Tabla 5-31 Temperatura de impulsión 90°C: Bilbao .....	148
Tabla 5-32 Temperatura de impulsión 90°C: Barcelona.....	149
Tabla 5-33 Temperatura de impulsión 90°C: Granada .....	150
Tabla 5-34 Temperatura de impulsión 90°C: Toledo.....	151
Tabla 5-35 Temperatura de impulsión 90°C: Valencia .....	152
Tabla 5-36 Temperatura de impulsión 90°C: Sevilla.....	153
Tabla 5-37 Temperatura de impulsión 90°C: Cádiz.....	153
Tabla 5-38 Temperatura de impulsión 90°C: Almería .....	155
Tabla 9-1 Especificaciones del propano .....	187
Tabla 9-2 Especificaciones del butano.....	188
Tabla 9-3 Especificaciones del gasóleo C .....	189
Tabla 9-4 Especificaciones del fuel óleo .....	190

# 1 Introducción

Este documento pretende profundizar sobre el proceso físico de la condensación, bajo el prisma de las calderas de condensación, como mejora de la eficiencia energética de los generadores de calor, aplicados fundamentalmente a los sistemas de calefacción en los edificios tanto terciarios como domésticos.

Aunque es verdad que cada vez más, en los países del sur de Europa, somos más consumidores de frío en verano, la demanda de calefacción sigue siendo muy superior, al menos en una buena parte de nuestras zonas climáticas y, desde luego, es la característica dominante en el resto de Europa.

Aunque la caldera es un elemento clásico de los sistemas de climatización, y cabría pensar que estamos ante un producto muy maduro y totalmente desarrollado tecnológicamente no es así. Las legislaciones y reglamentaciones de cada país, aunadas en el conjunto de la Unión Europea, han ido evolucionando hacia mayores exigencias, primero en ámbitos de seguridad y luego en términos de conseguir un desarrollo más sostenible. Así en los años noventa aparecen las **Directiva 90/396/CEE** sobre Aparatos de Gas, **Directiva 92/42/CEE** sobre requisitos para las calderas nuevas y en los comienzos del siglo XXI aparecen las directivas sobre eficiencia energética en los edificios **Directiva 2002/91/CE**.

En este contexto la tecnología de las calderas ha conseguido los niveles de seguridad legislados en los 90 y sin duda hoy está alcanzando niveles tecnológicos altísimos en materia de eficiencia energética gracias a las calderas de condensación.

En primer lugar en el libro se tratan temas teóricos sobre transmisión de calor y cálculo de temperaturas de rocío, necesarios para comprender mejor el proceso de condensación y obtener el mejor provecho energético de las calderas.

Se analiza en profundidad la combustión de combustibles a partir de sus componentes básicos (emisiones de CO<sub>2</sub> producidas, poder comburívoro y fumígeno, etc), comparando los más habituales y analizando cuales son los que más aprovechan el fenómeno de condensación.

Se estudian procedimientos para el cálculo de rendimientos de calderas, tanto estacional como instantáneo, para discernir el mejor comportamiento energético de las calderas de condensación.

Un capítulo destacado en esta publicación es la justificación de las calderas de condensación. En ella, y para todas las zonas climáticas de España, y para sistemas diseñados para cuatro diferentes temperaturas de impulsión, se calcula el número de horas que una caldera de condensación entra en este régimen, con dos combustibles diferentes, gas natural y gasóleo-C.

Se cita también la particularidad en el diseño de las instalaciones con este tipo de calderas, por ejemplo como se deben tratar los condensados producidos, los humos de la chimenea, la regulación, el control, etc.

La publicación se complementa con una serie de anexos que aúnan toda la normativa y legislación relacionada con las calderas de condensación, así como la construcción de los diagramas de Ostwald y la representación de las curvas que simulan el comportamiento horario de las calderas en los programas oficiales de certificación energética de edificios de nueva construcción.

## 2 Conocimientos teóricos iniciales

### 2.1 Definición de calor

La **energía interna** es una forma de energía relacionada al movimiento de los átomos, moléculas y otras partículas que forman la materia. Esta puede ser generada por reacciones químicas (en la *combustión*), nucleares (la fusión nuclear de los átomos de hidrógeno que tienen lugar en el interior del sol), disipación electromagnética (como en los hornos de microondas), por disipación mecánica (fricción) y mediante efecto Joule (paso de corriente eléctrica por un conductor).

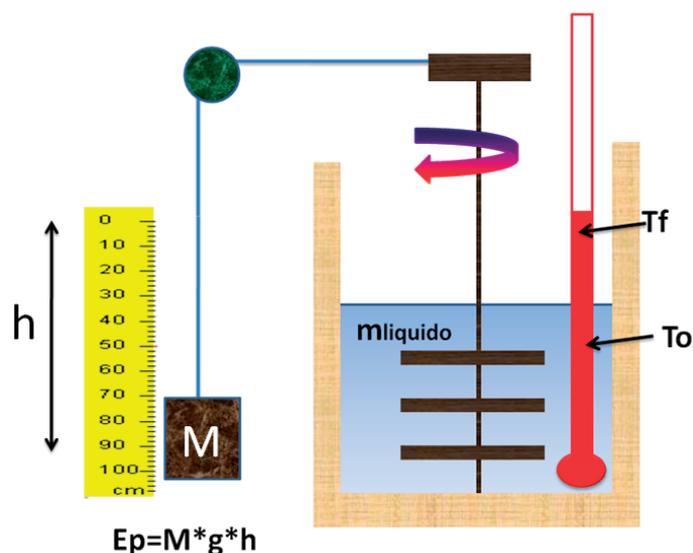
La energía que puede intercambiar un cuerpo con su entorno depende del tipo de transformación que se efectúe sobre ese cuerpo y por tanto depende del camino. Los cuerpos *no tienen calor*, sino **energía interna**. El **calor** es la transferencia de parte de dicha energía interna (energía térmica) de un sistema a otro, cuando están a diferente temperatura.

### 2.2 Unidades de medida del calor- Temperatura

Tradicionalmente, la cantidad de energía térmica intercambiada se mide en **calorías**, que es la cantidad de energía que hay que suministrar a **un gramo de agua** para elevar su temperatura de **14,5 a 15,5 grados Celsius**. El múltiplo más utilizado es la kilocaloría (kcal).

Joule determinó el equivalente mecánico del calor, es decir, la relación entre la unidad de energía, joule (julio) y la unidad de calor, caloría.

Joule, tras múltiples experimentaciones en las que el movimiento de unas palas, impulsadas por una masa, se movían en el interior de un recipiente con agua, estableció el **equivalente mecánico del calor**, determinando el incremento de temperatura que se producía en el fluido como consecuencia de los rozamientos producidos por la agitación de las palas.



Joule encontró que la disminución de energía potencial es proporcional al incremento de temperatura del agua. La constante de proporcionalidad (el calor específico de agua) es igual a 4,1858 J/ (g K). Por tanto, 4,1858 J de energía mecánica aumentan la temperatura de 1 g de agua en 1° C.

$$cte = C_{\text{especifico}} = \frac{E_p}{m_{\text{liquido}} * (T_f - T_o)} = 4,1858 \text{ J/g} * K$$

Se define la caloría como **4,1868 J** sin referencia a la sustancia que se está calentando (IUPAC-Unión Internacional de Química Pura y Aplicada).

El Julio<sup>1</sup> (J) es la unidad de energía en el Sistema Internacional de Unidades (S.I.).

**Tabla 2-1: Equivalencias energéticas utilizadas en el documento**

ENERGIA	J	cal	kJ	kcal	kWh
<b>J</b>	1	0,2389	0,001	0,000239	2,78E-07
<b>cal</b>	4,1868	1	0,0041868	0,001	1,16E-06
<b>kJ</b>	1.000	239	1	0,2389	0,000278
<b>kcal</b>	4.186,8	1.000	4,1868	1	0,001163
<b>kWh</b>	3.600.000	860.000	3.600	860	1

La **temperatura** es un parámetro termodinámico del estado de un sistema que caracteriza el calor o transferencia de energía.

Multitud de propiedades fisicoquímicas de los materiales o las sustancias varían en función de la temperatura a la que se encuentren, como por ejemplo su estado (gaseoso, líquido, sólido), la densidad, la solubilidad, la presión de vapor o el calor específico. Así mismo, la temperatura es uno de los factores que influyen en la velocidad a la que tienen lugar las reacciones químicas.

En el Sistema Internacional de Unidades, la unidad de temperatura es el kelvin<sup>2</sup>. Sin embargo, está muy generalizado el uso de otras escalas de temperatura, concretamente la escala Celsius (o centígrada), y, en los países anglosajones, la escala Fahrenheit. También existe la escala Rankine (°R) escala utilizada en el Sistema Inglés Absoluto.

Una diferencia de temperatura de un kelvin equivale a una diferencia de un grado centígrado, pero esto no sucede con los grados Fahrenheit.

**Tabla 2-2: Conversión de unidades de temperatura**

Transformación de	a	Fórmula
kelvin	Grados Celsius	°C = K - 273,15
Grados Celsius	kelvin	K = °C + 273,15
Grados Fahrenheit	Grados Celsius	°C = (°F - 32) / 1,8
Grados Fahrenheit	kelvin	K = (°F + 459,67) / 1,8
Grados Celsius	Grados Fahrenheit	°F = (°C × 1,8) + 32
Grados Rankine	Grados Celsius	°R = 9/5 * °C + 491,67

<sup>1</sup> Se define como el trabajo realizado por la fuerza de 1 Newton en un desplazamiento de 1 metro.

<sup>2</sup> Se representa con la letra "K", y nunca "°K". Además, su nombre no es el de "grado Kelvin" sino simplemente "kelvin"; no se dice "7 grados Kelvin" sino "7 kelvin" ó "7 K".