



Universidad de León



Escuela Superior y Técnica
de Ingenieros de Minas

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA MINERA Y DE RECURSOS ENERGÉTICOS

TRABAJO FIN DE MÁSTER

CASOS PRÁCTICOS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN INSTALACIONES DE CALEFACCIÓN Y ACS

León, 27 de Junio de 2014

Autor: Laura de Sousa Díaz
Tutor: Alberto González Martínez

El presente proyecto ha sido realizado por Dña. Laura de Sousa Díaz, alumna de la Escuela Superior y Técnica de Ingenieros de Minas de la Universidad de León para la obtención del título de Máster en Ingeniería Minera y de Recursos Energéticos.

La tutoría de este proyecto ha sido llevada a cabo por D. Alberto González Martínez, profesor del Máster Universitario en Ingeniería Minera y de Recursos Energéticos.

Visto Bueno

Fdo.: Dña. Laura de Sousa Díaz

El autor del Trabajo Fin de Máster

Fdo.: D. Alberto González Martínez

El Tutor del Trabajo Fin de Máster

RESUMEN

En el mundo actual, la energía en forma de calor constituye un recurso ampliamente utilizado, sin embargo, esta forma de energía presenta elevados costes de obtención e importantes costes medioambientales por lo que su uso de forma responsable se hace totalmente necesario.

En relación con todo lo anteriormente expuesto surge el concepto de eficiencia energética, el cual, aglutina un conjunto de buenas prácticas que tienen como finalidad reducir el consumo de energía.

Por ello, será de vital importancia conseguir adaptar y diseñar los sistemas y tecnologías utilizados en las instalaciones de calefacción y ACS de acuerdo a los criterios de eficiencia energética.

El presente proyecto se trata de una revisión bibliográfica y de investigación del diseño de sistemas de calefacción y ACS eficientes, así como de la búsqueda de técnicas que permitan elevar el rendimiento de los mismos. Para ello, se desarrollará un análisis sobre los constituyentes y el funcionamiento de dichas instalaciones así como una serie de medidas para mejorar su eficiencia.

ABSTRACT

Nowadays, it is said that heating energy could be a resource which is extensively used, however, this way of energy could result in high energy generation costs and also in really important problems to the environment. Due to this situation is highly important that people use this resource in a responsible way.

In relation with this previous information appears the idea of energy efficiency, which includes a wide variety of good practices that are used to reduce the energy consumption.

Because of it, it is really important to get and design systems and technologies, which are used in heating systems and in Domestic Hot Water (DHW), according to the criterion of energy efficiency.

This project deals with a bibliographic and research revision about the design of efficient heating systems and Domestic Hot Water (DHW) facilities, just like the research of the techniques that allow then to increase the performance. Because of it, the project will expand on a research of the main parts and the running of these facilities and also on a group of measures to increase their efficiency.

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento a todas aquellas personas e instituciones que de una u otra forma me han ayudado a llegar aquí, y de forma muy especial:

A D.Alberto Martínez González, director de este trabajo, por todas sus ideas, consejos, comentarios y ayuda que me han permitido llevar a cabo este trabajo.

A mi madre, por su ayuda y paciencia en los momentos más duros, y porque sin ella no lo hubiera conseguido nunca.

A mi hermana y familia, por su apoyo moral, comprensión y paciencia durante la realización de este trabajo.

A Iván y Alba por todo su apoyo y ayuda en los momentos más duros, y por su constante paciencia en todo este proceso.

**A la memoria de mi padre
D. Carlos de Sousa Porras,
para que su luz brille siempre a mi lado**

ÍNDICE

1	TERMODINÁMICA Y TRANSMISIÓN DE CALOR.....	1
1.1	Conceptos básicos de la termodinámica	2
1.1.1	Unidades y conversión.....	2
1.1.2	Concepto de energía y calor	7
1.1.3	Escalas termométricas	9
1.1.4	Sistemas termodinámicos.....	11
1.1.5	Leyes de la termodinámica	13
1.2	Transmisión de calor.....	16
1.2.1	Mecanismos de transmisión de calor	16
1.2.2	Conducción. Ley de Fourier	20
2	COMBUSTIÓN Y COMBUSTIBLES	26
2.1	Combustión.....	26
2.1.1	Conceptos básicos de combustión	27
2.1.2	Parámetros relacionados con la combustión	28
2.1.3	Objetivos de la combustión	32
2.1.4	Tipos de combustión.....	35
2.1.5	Exceso de aire	39
2.1.6	Diagramas de combustión	41
2.2	Combustibles	46
2.2.1	Aplicaciones de los combustibles	47
2.2.2	Tipos de combustibles	52
3	INSTALACIONES DE CALEFACCIÓN Y PRODUCCIÓN DE ACS.....	65
3.1	Definiciones y clasificación de las instalaciones	69
3.1.1	Clasificación de las instalaciones	71
3.2	Partes y elementos constituyentes	77
3.3	Análisis funcional	81
3.4	Calderas: Funcionamiento y clasificación.....	82
3.4.1	Clasificación	83
3.5	Quemadores	90
3.5.1	Quemador de combustibles sólidos	91
3.5.2	Quemadores de combustibles líquidos	92
3.5.3	Quemadores de combustibles gaseosos	92
3.6	Acumuladores e interacumuladores de agua caliente sanitaria	93
3.6.1	Acumuladores	93
3.6.2	Interacumuladores.....	94
3.7	Depósitos de expansión	94
3.8	Chimeneas.....	96

4 REDES DE TRANSPORTE	98
4.1 Bombas. Tipos y características	99
4.1.1 Bombas de rotor húmedo.....	99
4.1.2 Bombas de rotor seco.....	101
4.1.3 Curvas de trabajo	102
4.2 Red de tuberías	104
4.2.1 Instalaciones monotubo	105
4.2.2 Instalación bitubo retorno directo	105
4.2.3 Instalaciones bitubo retorno invertido.....	106
4.2.4 Instalaciones mediante colectores	107
4.2.5 Aislamiento térmico de tuberías	109
4.2.6 Válvulas. Tipos y características.....	112
4.2.7 Tratamiento de agua.....	114
5 EQUIPOS TERMINALES DE CALEFACCIÓN	120
5.1 Radiadores	120
5.1.1 Clasificación: materiales y diferencial constructivo	121
5.1.2 Emisión de calor	124
5.2 Fancoils y aerotermos.....	124
5.2.1 Clasificación: materiales y diferencial constructivo	125
5.2.2 Emisión de calor	128
5.3 Suelo radiante	129
5.3.1 Principios de funcionamiento	129
5.3.2 Tipos de distribución.....	131
5.3.3 Elementos de aislamiento y sujeción	133
5.3.4 Tipos de tuberías.....	135
5.3.5 Armarios y colectores	137
5.3.6 Fluidificantes y hormigones especiales	139
6 REGULACIÓN Y CONTROL DE INSTALACIONES DE CALOR	140
6.1 Control de instalaciones de calefacción y ACS	140
6.1.1 Conceptos básicos de control	141
6.1.2 Tipos de controladores	142
6.2 Telegestión.....	148
7 DISEÑO EFICIENTE DE LAS INSTALACIONES DE CALEFACCIÓN Y ACS.....	149
7.1 Eficiencia en la generación de calor	151
7.2 Eficiencia en la distribución: redes de tuberías	154
7.3 Eficiencia en el control de las instalaciones	156
7.4 Contabilización de consumos	159
7.5 Limitaciones en la utilización de la energía convencional.....	163
7.6 Calidad térmica del ambiente.....	164

7.7 Calidad e higiene del aire interior.....	166
7.8 Calidad del ambiente acústico.....	167
8 CONTRIBUCIÓN SOLAR PARA AGUA CALIENTE SANITARIA Y PISCINAS	169
8.1 Condiciones generales	169
8.2 Porcentaje de contribución solar mínima	171
8.3 Pérdida límite por orientación, inclinación y sombras.....	175
8.4 Rendimiento mínimo anual	178
8.5 Condiciones aplicables a las conexiones de captadores solares.....	179
8.6 Condiciones de los acumuladores en aplicaciones de ACS	181
8.7 Potencia mínima de intercambiadores de calor independientes	185
8.8 Especificaciones en la colocación de tuberías.....	187
8.9 Caudales recomendados en el primario	190
8.10 Condiciones que deben cumplir los grupos de bombeo.....	192
8.11 Condiciones que deben cumplir los sistemas de purga	193
8.12 Sistemas auxiliares de apoyo mediante energía convencional.....	194
8.13 Condiciones que deben cumplir los sistemas de control.....	195
9 BIBLIOGRAFÍA.....	196

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Aplicación del Sistema Internacional.....	5
Figura 1.2: Comparativa entre escalas termométricas.....	11
Figura 1.3: Sistemas termodinámicos.....	12
Figura 1.4: Ejemplo del primer principio de la termodinámica.....	14
Figura 1.5: Ejemplo del primer principio de la termodinámica.....	14
Figura 1.6: Segunda ley de la termodinámica.....	15
Figura 1.7: Demostración de la aplicación de la segunda ley de la termodinámica mediante una máquina térmica.....	15
Figura 1.8: Conducción a través de una barra de metal.....	17
Figura 1.9: Convección a través de un radiador.....	18
Figura 1.10: Termografía de un perro.....	19
Figura 1.11: Conducción de calor a través de una pared plana de espesor Δx y área A	21
Figura 1.12 : Diseño de la ventana.....	23
Figura 2.1: Estufa de combustión.....	26
Figura 2.2: Triángulo del fuego.....	27
Figura 2.3: El proceso de combustión.....	28
Figura 2.4: Aplicaciones de la combustión.....	33
Figura 2.5: Aplicaciones de la combustión (fuegos artificiales).....	34
Figura 2.6: Lámpara relámpago de Xenón.....	35
Figura 2.7: Esquema de una combustión completa.....	36
Figura 2.8: Esquema de una combustión incompleta.....	36
Figura 2.9: Deflagración de una cerilla.....	38
Figura 2.10: Voladura de rocas con explosivos.....	39
Figura 2.11: Diagrama de Ostwald.....	42
Figura 2.12: Diagrama de Ostwald simplificado.....	44
Figura 2.13: Aplicación del diagrama de Ostwald.....	45
Figura 2.14: Diagrama de Keller.....	46
Figura 2.15: Gasolina para automoción.....	48
Figura 2.16: Pinturas obtenidas a través de disolventes asfálticos.....	48
Figura 2.17: Central térmica.....	49
Figura 2.18: Aplicación del coque en la industria.....	50
Figura 2.19: Estufa de pellets.....	51
Figura 2.20: Ciclos de obtención de biocombustibles.....	52
Figura 2.21: Tipos de carbones minerales.....	53
Figura 2.22: Residuos vegetales.....	53
Figura 2.23: Briquetas para calefacción.....	54
Figura 2.24: Instalación de calefacción de biomasa para vivienda unifamiliar.....	56

Figura 2.25: Clasificación de los tanques de gasóleo	59
Figura 2.26: Tanques de polietileno	60
Figura 2.27: Tanque de gasoil de chapa de acero	60
Figura 2.28: Depósito de superficie	63
Figura 2.29: Botella L-350	64
Figura 2.30: Botella de propano de 11 kg.....	64
Figura 3.1: Esquema general de una instalación de calefacción y ACS en un edificio de viviendas	66
Figura 3.2: Esquema simplificado de un sistema de calefacción y ACS.....	67
Figura 3.3: Caldera convencional de biomasa	72
Figura 3.4: Bomba de calor con motor de combustión a gas.....	73
Figura 3.5: Colectores solares para instalaciones de calefacción y ACS.....	74
Figura 3.6: Instalación de calefacción mediante convectores.....	75
Figura 3.7: Instalación de calefacción mediante fan-coils de techo.....	76
Figura 3.8: Instalación de calefacción mediante aerotermos	76
Figura 3.9: <i>Esquema de un radiador</i>	77
Figura 3.10: Esquema de un circuito de distribución de calor	78
Figura 3.11: Radiador con conexión bitubo con llave de corte (superior) y detentor de reglaje (inferior)	78
Figura 3.12: Termostato de una instalación de calefacción	79
Figura 3.13: Esquema de un circuito de calefacción)	79
Figura 3.14: <i>Intercambiador de placas</i>	80
Figura 3.15: Esquema de los elementos de una instalación de ACS	81
Figura 3.16: Conjunto generador de calor.....	81
Figura 3.17: Caldera de biomasa	84
Figura 3.18: Caldera de hierro fundido.....	85
Figura 3.19: Caldera de chapa de acero	86
Figura 3.20: Caldera de chapa atmosférica	87
Figura 3.21: Caldera estanca.....	87
Figura 3.22: Caldera estándar.....	88
Figura 3.23: Caldera de condensación.....	88
Figura 3.24: Caldera pirotubular horizontal/	89
Figura 3.25: Caldera acuatubular.....	90
Figura 3.26: Quemador de combustible	90
Figura 3.27: Intercambiador	94
Figura 3.28: Vaso de expansión cerrado.....	95
Figura 3.29: Vaso de expansión abierto	96
Figura 3.30: Chimenea de calefacción para evacuación de humos.....	97
Figura 4.1: Esquema de una red de distribución	98

Figura 4.2: Partes principales de una bomba de rotor húmedo.....	100
Figura 4.3: Esquema básico de instalación de una bomba de rotor húmedo.....	100
Figura 4.4: Principales partes de una bomba de rotor seco.....	101
Figura 4.5: Curva altura manométrica-caudal.....	102
Figura 4.6: Representación gráfica del punto de trabajo.....	103
Figura 4.7: Esquema de un sistema monotubo.....	105
Figura 4.8: Instalación bitubo retorno directo.....	106
Figura 4.9: Instalación bitubo retorno indirecto.....	107
Figura 4.10: Esquema de una instalación con colectores.....	108
Figura 4.11: Ejemplo de aislamiento en una tubería.....	110
Figura 4.12: Cañuelas de vidrio.....	111
Figura 4.13: Rollo aislante de fibra de vidrio con aluminio.....	111
Figura 4.14: Válvula de compuerta.....	112
Figura 4.15: Válvula de mariposa.....	113
Figura 4.16: Válvula de bola.....	113
Figura 4.17: Válvula de asiento.....	114
Figura 4.18: Reventón de una tubería de cobre por congelación del agua.....	116
Figura 4.19: Esquema de funcionamiento de un ablandador.....	117
Figura 4.20: Filtros de malla metálica.....	118
Figura 4.21: Equipo de desgasificación.....	118
Figura 5.1: Esquema de la circulación del aire en el interior de una vivienda.....	121
Figura 5.2: Radiador de hierro fundido para decoración.....	122
Figura 5.3: Radiador de acero.....	123
Figura 5.4: Radiador de aluminio.....	123
Figura 5.5: Esquema de emisión de calor en radiadores.....	124
Figura 5.6: Fancoil vertical de pie.....	126
Figura 5.7: Fancoil de pared tipo Slipt.....	127
Figura 5.8: Fancoil de tipo cassette.....	127
Figura 5.9: Esquema de emisión de calor en fancoils.....	128
Figura 5.10: Distribución de temperatura para distintos sistemas de calefacción.....	129
Figura 5.11: Esquema de calefacción por suelo radiante.....	130
Figura 5.12: Red de tuberías en serpentín.....	132
Figura 5.13: Red de tuberías en doble serpentín.....	132
Figura 5.14: Red de tuberías en espiral.....	133
Figura 5.15: Esquema de composición de un suelo radiante.....	134
Figura 5.16: Montaje de tubos con paneles rígidos moldeados.....	134
Figura 5.17: Instalación de tubos sobre panel en rollo.....	135
Figura 5.18: Tuberías de polietileno reticulado.....	136
Figura 5.19: Esquema constructivo de tuberías multicapa.....	136

Figura 5.20 : tubería de polibutileno	137
Figura 5.21: Colector modular	138
Figura 5.22: Colectores modulantes	138
Figura 6.1: Esquema de controladores	143
Figura 6.2: Sensor de temperatura	143
Figura 6.3: Válvula termostática de cuatro vías	145
Figura 6.4: Válvula termostática de tres vías.....	145
Figura 6.5: Válvula motorizadas.....	146
Figura 6.6: Variadores de frecuencia	147
Figura 7.1: Caldera de baja temperatura.....	151
Figura 7.2: Caldera de condensación.....	152
Figura 7.3: Comparativa de eficiencia	156
Figura 7.4: Sistema de regulación mediante válvula motorizada de tres vías	158
Figura 7.5: Instalación de un contador de gas.....	160
Figura 7.6: Instalación de un contador de gasóleo.....	161
Figura 7.7: Instalación de contador de agua	162
Figura 7.8: Instalación de contador de agua	162
Figura 8.1: Esquema de una instalación solar para ACS.....	169
Figura 8.2: Mapa zonas de climáticas de España.....	173
Figura 8.3: Detalle del mapa de zonas climáticas.....	174
Figura 8.4: Ejemplo de una instalación solar con superposición arquitectónica	176
Figura 8.5: Ejemplo de una instalación solar con integración arquitectónica	177
Figura 8.6: Ejemplo de una instalación solar general.....	177
Figura 8.7: Colectores solares tapados.....	179
Figura 8.8: Combinación de aplicaciones	179
Figura 8.9: Tipos de conexiones entre captadores solares	180
Figura 8.10: Esquema de una instalación con contribución solar	181
Figura 8.11: Acumulador de acero inoxidable.....	182
Figura 8.12: Acumulador de acero vitrificado	182
Figura 8.13: Conexión en paralelo	183
Figura 8.14: Conexión de depósitos horizontales en serie.....	184
Figura 8.15: Conexión de depósitos verticales esbeltos en serie.....	184
Figura 8.16: Esquema de una red de tuberías.....	188
Figura 8.17: Tubería de exterior con recubrimiento	189
Figura 8.18: Bomba para instalación de ACS	192
Figura 8.19: Purgador automática	193
Figura 8.20: Purgador manual	194
Figura 8.21: Instalación solar con apoyo de energía convencional.....	194

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Magnitudes básicas y sus unidades	3
Tabla 1.2: Magnitudes derivadas y sus unidades	3
Tabla 1.3: Prefijos en unidades del SI	4
Tabla 1.4: Factores de conversión entre unidades del SI y del USCS	6
Tabla 1.5: Factores de transferencia de calor entre unidades del SI y del USCS	6
Tabla 1.6: Factores de conversión de energía y potencia entre unidades del SI y del USCS	7
Tabla 2.1: Temperaturas de ignición	29
Tabla 2.2: Poderes caloríficos de los combustibles	30
Tabla 2.3: Poderes caloríficos de los combustibles	31
Tabla 2.4: Poder comburívoro de los combustibles	32
Tabla 2.5: Poder fuminígeno de los combustibles.....	32
Tabla 2.6: Comparativa entre análisis inmediato y elemental.....	47
Tabla 2.7: Comparativa densidad-poder calorífico.....	57
Tabla 7.1: Caudales de ventilación mínimos exigidos	167
Tabla 8.1: Porcentaje de contribución solar mínima con apoyo de fuentes combustibles (gasóleo, propano, gas natural...)	171
Tabla 8.2: Porcentaje de contribución solar mínima con apoyo eléctrico.....	172
Tabla 8.3: Porcentaje de contribución solar mínima para piscinas climatizadas.....	173
Tabla 8.4: Pérdidas límite	176

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.1	10
Ecuación 1.2	10
Ecuación 1.3	10
Ecuación 1.4	21
Ecuación 1.5	22
Ecuación 1.6	22
Ecuación 2.1	39
Ecuación 7.1	159
Ecuación 7.2	166
Ecuación 7.3	166
Ecuación 8.1	185
Ecuación 8.2	186

1 TERMODINÁMICA Y TRANSMISIÓN DE CALOR

La termodinámica y la transmisión de calor, son disciplinas derivadas de la física que se dedican al estudio de fenómenos de transferencia de calor como forma de energía.

Tanto la termodinámica como la transmisión de calor, son ramas de la física que en ambos casos se ocupan del estudio de la energía. Es por ello, que en algunos casos pueden llegar incluso a ser confundidas entre sí.

Sin embargo, ambos términos difieren entre sí puesto que la termodinámica se ocupa de la cantidad de calor transferido por un sistema mientras que la transmisión de calor hace referencia a la rapidez o la causa de dicho proceso.

EJEMPLO 1.1: Análisis de una olla con agua caliente.

Supongamos una olla que contiene agua caliente a 100 °C, la cual sufre un proceso de enfriamiento hasta 85 °C. El estudio de dicho proceso podría buscar dos tipos de resultados:

- 1) Si realizase el análisis con base en la termodinámica, se trataría de realizar un balance de energía que permitiera obtener respuestas a preguntas como: ¿Cuánta energía ha perdido la olla en el proceso? ¿Cuánta temperatura se ha elevado nuestra cocina?*
- 2) Por el contrario, si el análisis se realizara desde el punto de vista de la transmisión de calor, se estudiaría el tiempo que tarda en enfriarse la olla o se respondería a preguntas como ¿Cuánto tiene que aumentar el espesor con el que la olla está fabricada para que dicha olla tarde el doble de tiempo en enfriarse?*

En los siguientes puntos se realiza un desarrollo independiente de cada uno de dichos términos para permitir lograr un mayor conocimiento y diferenciación entre ambos.

1.1 Conceptos básicos de la termodinámica

El concepto de termodinámica, proviene de la unión de dos palabras griegas *therme* (calor) y *dynamis* (fuerza). Dicha rama se encarga fundamentalmente, del estudio del calor como forma de energía y de sus múltiples transformaciones.

EJEMPLO 1.2: Concepto de termodinámica

Por ejemplo, imaginemos un horno eléctrico instalado en una cocina convencional. El horno, es un dispositivo que consume energía eléctrica durante su funcionamiento, energía que se va a transformar en calor para conseguir calentar los alimentos.

A continuación se exponen una serie de conceptos básicos que permiten el análisis de la termodinámica.

1.1.1 Unidades y conversión

La termodinámica representa una ciencia donde a menudo se recurre a registrar y medir datos obtenidos, para lo cual es necesario recurrir al uso de múltiples unidades.

El planteamiento de medidas de magnitudes establece una medida de una dimensión física (longitud, masa, tiempo...). Para cuantificar estas dimensiones, se establecen una serie de unidades (metro, kilogramo, segundo...) que representan una medición si se multiplican por una magnitud, que es la cantidad de unidad de las que consta una determinada medida.

En cuanto a las dimensiones en sí, se distingue entre dimensiones básicas, como pueden ser la masa, la longitud, la temperatura y el tiempo, denominadas comúnmente como dimensiones primarias o fundamentales y las dimensiones secundarias o derivadas que son aquellas que se que expresa a partir de las primarias como son por ejemplo, la velocidad o la energía.

En la termodinámica se utilizan dos sistemas de unidades para relacionar las magnitudes básicas con otros términos, los cuales son: el Sistema Internacional (SI) o el sistema anglosajón United States Customary System (USCS). Aunque también se puede

recurrir al uso del sistema cegesimal de unidades (Sistema CGS), el cual, es un sistema de unidades que está basado en el centímetro, el gramo y el segundo, surgiendo el nombre del acrónimo de dichas unidades. En la actualidad, este Sistema CGS ha sido prácticamente reemplazado por el Sistema Internacional de Unidades.

Las unidades que se utilizan para las magnitudes básicas en dichos casos se reflejan en la tabla 1.1 que se muestra a continuación.

Tabla 1.1: Magnitudes básicas y sus unidades

<i>Dimensión</i>	<i>Unidad (SI)</i>	<i>Unidad (USCS)</i>	<i>Sistema CGS</i>
<i>Longitud</i>	metro (m)	pie (ft)	centímetro (cm)
<i>Masa</i>	kilogramo (kg)	libra-masa (lbm)	gramo (g)
<i>Tiempo</i>	segundo (s)	segundo (s)	segundo (s)
<i>Temperatura</i>	Kelvin (K)	Rankine (R)	-
<i>Corriente eléctrica</i>	Amperio (A)	Amperio (A)	-
<i>Cantidad luminosa</i>	candela (cd)	candela (cd)	-
<i>Cantidad de materia</i>	mol (mol)	mol (mol)	-

Las unidades básicas que se utilizan para las magnitudes derivadas en dichos casos se reflejan en la tabla 1.2.

Tabla 1.2: Magnitudes derivadas y sus unidades

<i>Dimensión</i>	<i>Unidad (SI)</i>
<i>Superficie</i>	Metro cuadrado (m ²)
<i>Aceleración</i>	Metro cuadrado por segundo (m ² /s)
<i>Fuerza</i>	Newton (N)
<i>Energía Trabajo Calor</i>	Julio (J)
<i>Potencia</i>	Vatio (W)

El Sistema Internacional, constituye un sistema sencillo y lógico con base en una relación entre las distintas unidades. Se trata de un sistema utilizado en la mayoría de las naciones industrializadas que cuenta con una serie de prefijos que permiten expresar múltiplos de las unidades, dichos prefijos se reflejan en la tabla 1.3.

Tabla 1.3: Prefijos en unidades del SI

10^n	Prefijo	Símbolo	Escala	Asignación
10^{24}	yotta	Y	Septillón	1991
10^{21}	zetta	Z	Sextillón	1991
10^{18}	exa	E	Quintillón	1975
10^{15}	peta	P	Cuatrillón	1975
10^{12}	tera	T	Trillón	1960
10^9	giga	G	Billón	1960
10^6	mega	M	Millón	1960
10^3	kilo	k	Mil	1795
10^2	hecto	h	Centena	1795
10^1	deca	da / D	Decena	1795
10^0	<i>ninguno</i>		Unidad	
10^{-1}	deci	d	Décimo	1795
10^{-2}	centi	c	Centésimo	1795
10^{-3}	mili	m	Milésimo	1795
10^{-6}	micro	μ	Millonésimo	1960
10^{-9}	nano	n	Billonésimo	1960
10^{-12}	pico	p	Trillonésimo	1960

10^{-15}	femto	f	Cuatrillonésimo	1964
10^{-18}	atto	a	Quintillonésimo	1964
10^{-21}	zepto	z	Sextillonésimo	1991
10^{-24}	yocto	y	Septillonésimo	1991

Por otro lado, el sistema USCS carece de una base numérica evidente, incluye la fuerza como una magnitud básica y ciertas unidades se relación entre sí de manera arbitraria (por ejemplo 12 pulgadas = 1 pie) lo que da lugar a que su aprendizaje sea relativamente difícil y que su uso este básicamente limitado a Estados Unidos.

En la actualidad, el uso del Sistema Internacional está mucho más implantado que el Sistema USCS debido a que se trata de un sistema más intuitivo, aquellas regiones (Birmania, Liberia y Estados Unidos). En la siguiente figura, se puede observar un mapa comparativo entre ambos sistemas de unidades:

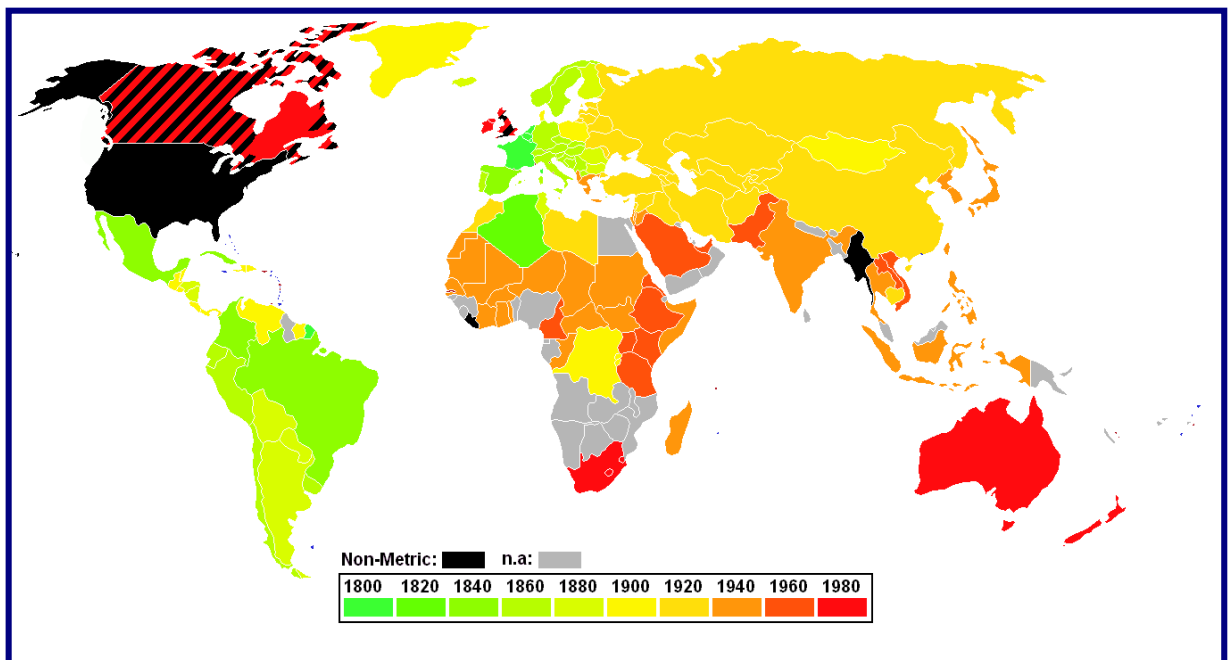


Figura 1.1: Aplicación del Sistema Internacional

Sin embargo, en aquellas industrias que participan en gran medida en un comercio internacional surge la necesidad de convertir ciertas medidas de un sistema al otro, lo que en muchas ocasiones supone un aumento en los costes de diseño e ingeniería.

Por todo ello, debido a la coexistencia de ambos sistemas, en ocasiones podrá ser necesario convertir unidades de un sistema a otro, por lo que para ello será de gran utilidad las siguientes tablas.

Tabla 1.4: Factores de conversión entre unidades del SI y del USCS
(C.Rolle)

<i>Unidad</i>	<i>Multiplicar por:</i>	<i>Para convertir a:</i>
metros (m)	3,2808	pies
pies	0,3048	m
kilogramo (kg)	2,2046	libras-masa (lbm)
lbm	0,45359	kg
newton (N)	0,2248	libras-fuerza (lbf)
lbf	4,4484	N
joule (J)	0,737	pies · lbf
pies · lbf	1,356	J

Tabla 1.5: Factores de transferencia de calor entre unidades del SI y del USCS

<i>Transferencia de calor</i>	
1 Btu/pulg/h·pie ² ·°R	0,1422 W/m·K
1 W/m·K	6,9348 Btu·pulg/h·pie ² ·°R
1 Btu·pulg/s·pie ² ·°R	519,22 W/m·K
1 Btu/ h·pie ² ·°R	1,73 W/m·K
1 W/m·K	0,5779 Btu/h·pie ² ·°R
1 kW/m·K	1,926Btu/pulg/s·pie ² ·°R
1 Btu/ h·pie ² ·°R	5,768 W/m ² ·K
1 W/m ² ·K	0,176 Btu/ h·pie ² ·°R

Tabla 1.6: Factores de conversión de energía y potencia entre unidades del SI y del USCS

Energía		Potencia	
1 Btu	1.054 J	1 hp	0,746 kW
1 pie·lbf	1,1356 J	1 kW	1,34 hp
1 cal	4,168 J	1 Btu/s	1,41 hp
1 J	0,2388 cal	1 hp	550 pie·lbf/s
1 Btu	252 cal	1 Btu/s	1,054 kW
1 kW·h	3.414 Btu	1 kW	3.414 Btu/h
1 hp·h	2.545 Btu	1 hp	2,545 Btu/h
1 kJ	0,9488 Btu	1 ton (refrigeración)	12.000 Btu/h
1 J	778 pies·lbf	1 ton (refrigeración)	3,515 kW
1kJ/kg	0,4299 Btu/lbm		
1 Btu/lbm	334,5 pie·lbf/lbm		

1.1.2 Concepto de energía y calor

El **concepto de energía** puede tener más de una acepción, puesto que la energía se puede definir como la capacidad inherente de un cuerpo para realizar un trabajo, o también como aquella capacidad que posee un cuerpo determinado para generar esfuerzos físicos externos a dicho cuerpo.

La energía puede coexistir en diversas formas como pueden ser la cinética, la potencial, la térmica, la magnética, la mecánica, la eléctrica, la química y la nuclear, constituyendo todas ellas la energía total que puede presentar un cuerpo.

La unidad energía según el Sistema Internacional es el julio (J), el cual se define como *la cantidad de trabajo realizado por una fuerza de un newton para desplazar una masa de un kilogramo un metro de longitud en la misma dirección de la fuerza.*

En cuanto al Sistema USCS, la unidad por la que se mide la energía es la unidad térmica británica (Btu) la cual, se define como *la energía necesaria para elevar en 1 °F la temperatura de 1 lbm de agua cuando se encuentra a una temperatura de 60 °F.*

En cuanto al **concepto de calor**, se define como la energía que puede intercambiar un sistema con su entorno. Dicha magnitud, se mide según el Sistema Internacional con julios (J), aunque es muy frecuente que se presente en calorías, que se define como *la cantidad de calor requerida para elevar 1 °C la temperatura de un gramo de agua, cuando el agua está a 4 °C*, mientras que el Sistema USCS utiliza como unidad de medida la unidad térmica británica (Btu).

EJEMPLO 1.3: Concepto de calor

Para analizar el en profundidad el concepto de calor, se pueden realizar preguntas tales como: ¿existe el frío? ¿Por qué cuando entramos en contacto con un objeto lo notamos frío?

Analizando el concepto de calor anteriormente explicado, se puede inferir que el frío como tal, no existe, sino que un cuerpo parece frío cuando las partículas del mismo presentan una energía térmica baja y al entrar en contacto con ellas, nuestro propio cuerpo le cede calor lo cual nos proporciona a nosotros dicha sensación de frío.

EJEMPLO 1.4: Energía y calor

Para demostrar, que se han comprendido los conceptos de energía y calor, se muestran a continuación una serie de cuestiones.

1) Supóngase dos cuerpos con agua, una taza y una bañera que se encuentran a igual temperatura que el ambiente:

- a) La bañera contiene más calor que la taza.*
- b) La bañera contiene más energía térmica que la taza.*

2) Supóngas un cuerpo que está cediendo calor a su entorno, por ello:

- a) La energía térmica del cuerpo disminuye*

b) Está absorbiendo frío de su entorno.

3) En cuanto al calor que presenta un cuerpo se dice que:

a) Coincide con su energía térmica

b) Se define como la variación de energía térmica que presenta dicho cuerpo.

(Solución: 1-b, 2-a, 3-b)

1.1.3 Escalas termométricas

La termometría, es la ciencia que se ocupa de llevar a cabo las distintas mediciones sobre la temperatura de un cuerpo o de un sistema. Para ello, utiliza como instrumento base el termómetro el cual realiza mediciones de temperatura a partir del cambio de las propiedades de la materia por acción del calor.

Las escalas de temperatura, permiten utilizar una base común para llevar a cabo distintas mediciones de temperatura. Todas ellas se establecen a partir de dos estados físicos, utilizados como referencia, que son los fenómenos de fusión o ebullición del agua.

Existen varias escalas de temperatura, las más utilizadas son las que se presentan a continuación:

- **Escala Celsius:** Esta escala, fue finalmente desarrollada por el astrónomo Anders Celsius y se utiliza de forma habitual en los países que utilizan el Sistema Internacional y se caracteriza porque coloca los cero grados para representar la fusión del agua y cien grados para la ebullición de la misma. A través de dicho baremo esta escala permite medir temperaturas, las cuales, se representan a través de los denominados grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$).

- **Escala Fahrenheit:** Esta escala debe su nombre al fabricante de instrumentación Gabriel Fahrenheit. En ella, se asignan los valores fijos de fusión a 32 grados y de ebullición a 212, pero en este caso se toma como referencia una disolución de cloruro amónico en agua. Su aplicación se encuentra ciertamente extendida en países anglosajones y en Japón. Para pasar de una escala a otra se basa uno en la siguiente ecuación 1.1:

$$T (^{\circ}\text{C}) = (5/9) \cdot [T (^{\circ}\text{F}) - 32]$$

Ecuación 1.1

• **Escala Kelvin:** En el ámbito de la termodinámica es de gran importancia disponer de una escala que sea independiente de las propiedades de cualquier sustancia. Esta escala, se denomina escala de temperatura termodinámica y fue desarrollada por Lord Kelvin, por lo que en el Sistema Internacional se la denomina como escala Kelvin. En esta escala, la temperatura se mide en grados Kelvin (K), correspondiéndose el cero absoluto con -273.15°C , el cual supone un límite inferior natural, lo cual da lugar a que dicha escala Kelvin no existan temperaturas negativas. Para poder convertir de unas escalas a otras, se utiliza con frecuencia las siguientes ecuaciones:

$$T (\text{K}) = T (^{\circ}\text{C}) + 273.15$$
$$T (\text{K}) = (5/9) \cdot [T (^{\circ}\text{F}) + 459.67]$$

Ecuación 1.2

• **Escala Rankine:** Esta escala, es la escala de temperatura termodinámica utilizada en el Sistema USCS y fue creada por William Rankine, por lo que su unidad fundamental es el Rankine (R). Esta escala, presenta su cero absoluto a -459.67°F . Esta escala termométrica es utilizada fundamentalmente en Estado Unidos, aunque también se utiliza en Inglaterra. Para llevar a cabo las conversiones entre escalas se utiliza las siguientes ecuaciones:

$$T (\text{R}) = T (^{\circ}\text{F}) + 459.67$$
$$T (\text{R}) = (9/5) \cdot [T (^{\circ}\text{C}) + 273.16]$$
$$T (\text{R}) = (9/5) \cdot T (\text{K})$$

Ecuación 1.3

En el siguiente gráfico se muestra de forma gráfica una comparativa entre dichas escalas termométricas en el que se puede ver con mayor facilidad las diferencias entre dichas escalas:

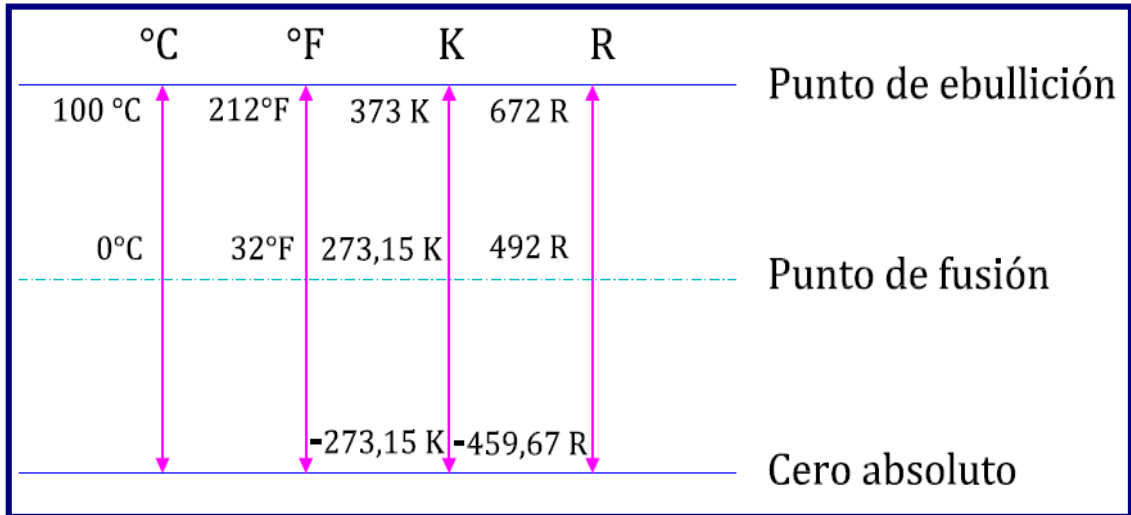


Figura 1.2: Comparativa entre escalas termométricas (elaboración propia)

1.1.4 Sistemas termodinámicos

Un sistema termodinámico se define como aquella parte del universo que se somete a estudio, o bien a un problema, o bien es el escenario en el que se produce una transmisión de energía. Toda parte excluida del sistema a analizar se denomina alrededores, siendo la frontera la línea o superficie que delimita el sistema y a través de la cual se producen los intercambios con el mismo. Se pueden distinguir tres tipos de sistemas:

- **Sistemas aislados:** Estos sistemas se caracterizan porque no intercambia materia ni energía con el entorno, y que por tanto están en equilibrio termodinámico. Estos sistemas, en general, no existen porque siempre se produce un pequeño intercambio, por lo que de forma genérica se consideran sistemas ideales.
- **Sistemas cerrados:** Estos sistemas intercambian energía con los alrededores pero no se produce intercambio de materia, como *por ejemplo un tanque cerrado con agua*.
- **Sistemas abiertos:** Son aquellos sistemas que puede intercambiar tanto materia como energía con los alrededores. Este tipo de sistemas son los que se encuentran con más frecuencia, como puede ser *un horno, un vehículo o incluso los propios seres vivos*.

A continuación se muestra de forma gráfica (figura 1.3) lo distintos sistemas termodinámicos mencionados:

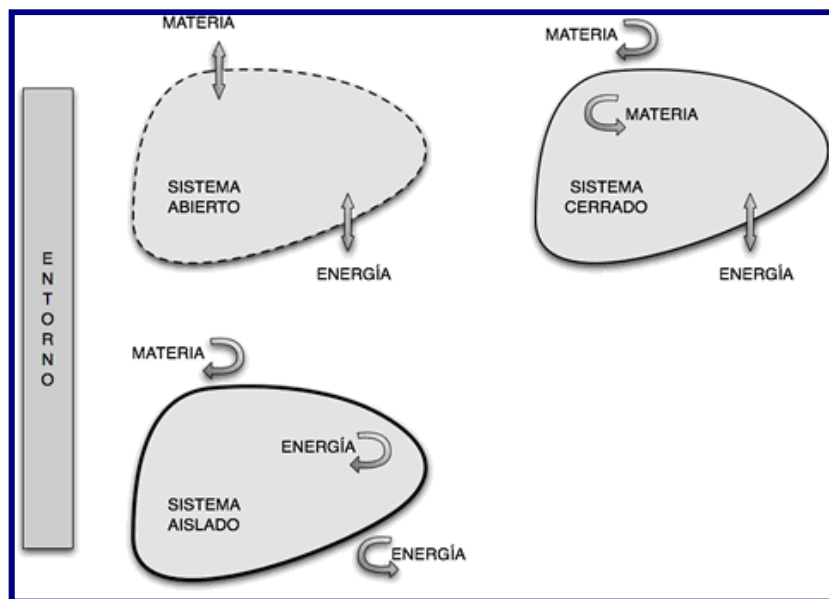


Figura 1.3: Sistemas termodinámicos (www.textoscientificos.com)

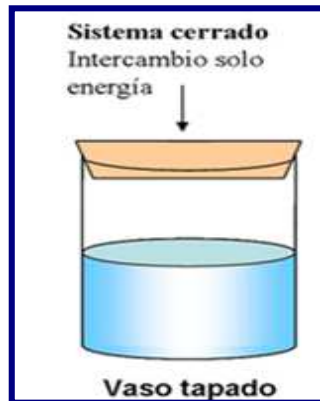
EJEMPLO 1.5: Tipos de sistemas

Como se ha explicado anteriormente, existen tres tipos de sistemas termodinámicos, los cuales se ilustran a continuación:

- 1) Un ejemplo de un sistema aislado, podría ser un termo. Analizando estrictamente el término de sistema aislado, un termo no cumpliría todos los criterios puesto que se intercambian cantidades mínimas de energía, sin embargo, si se desprecian dichas pérdidas se puede considerar que un termo sería un sistema aislado como se muestra en la siguiente figura:



- 2) Un ejemplo de sistema cerrado podría ser un vaso tapado de forma que tendríamos un sistema en el que está produciendo intercambio de energía pero no de materia, al permitir la evaporación del líquido contenido en su interior.



- 3) Por último, un ejemplo de sistema abierto sería un vaso abierto como el que se muestra en la figura a continuación, en el que se produce tanto un intercambio de materia como de energía con el entorno.



1.1.5 Leyes de la termodinámica

Como base de cualquiera de las consideraciones termodinámicas que llevemos a cabo, existen tres leyes principales sobre las cuales debemos fundamentarnos puesto que postulan como puede ser intercambiada la energía. Dichas leyes son:

- **Primera ley de la termodinámica:** Esta ley también recibe el nombre de principio de conservación de la energía, la cual dice *“la energía ni se crea, ni se destruye, solo se transforma de un tipo de energía a otro”*.

EJEMPLO 1.6: Primera ley de la termodinámica

Un ejemplo de la aplicación de la primera ley de la termodinámica, sería imaginar un patinador ubicado a una determinada altura, por lo que poseerá energía potencial, que se deja caer con una determinada velocidad para patinar, en dicho proceso, se ve como la energía potencial inicial se transforma en energía cinética. E igualmente se podría citar el ejemplo de una piedra en una ladera. Ambos ejemplos se ilustran a continuación en las siguientes figuras:

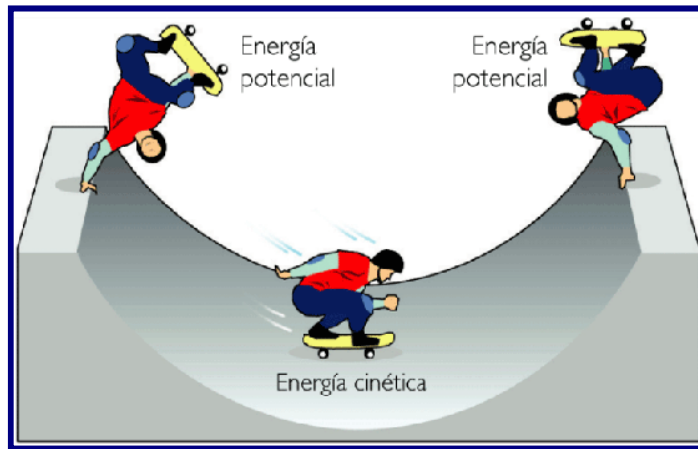


Figura 1.4: Ejemplo del primer principio de la termodinámica

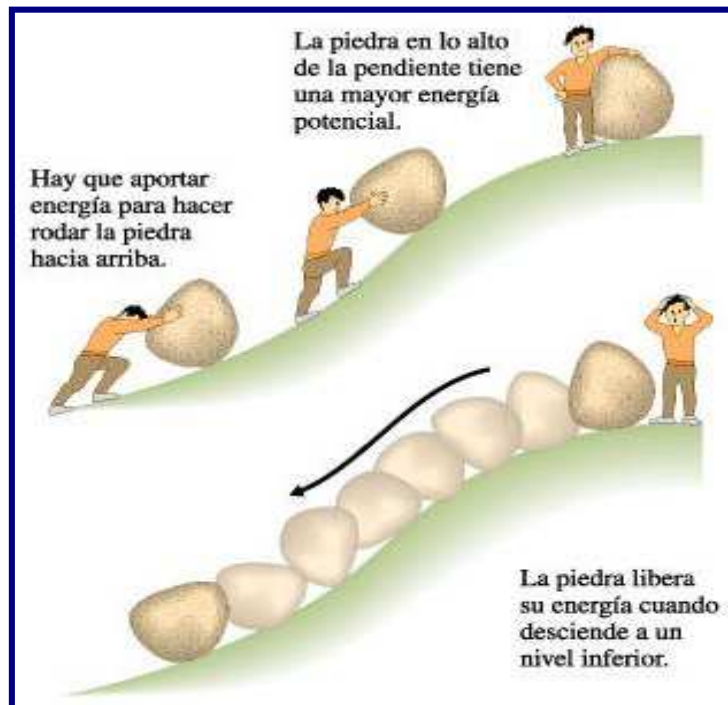


Figura 1.5: Ejemplo del primer principio de la termodinámica

- **Segunda ley de la termodinámica:** Esta ley, expone que para llevar a cabo un trabajo este solo se podrá ejecutar si la transferencia de calor se produce desde el cuerpo de mayor temperatura al de menor tal y como se refleja en la figura 1.6. Así como también da una definición de la propiedad denominada entropía, la cual, la define como aquella fracción de energía que posee un sistema y que no puede ser convertida en trabajo, así como expresa que la entropía de un sistema aislado no puede decrecer.

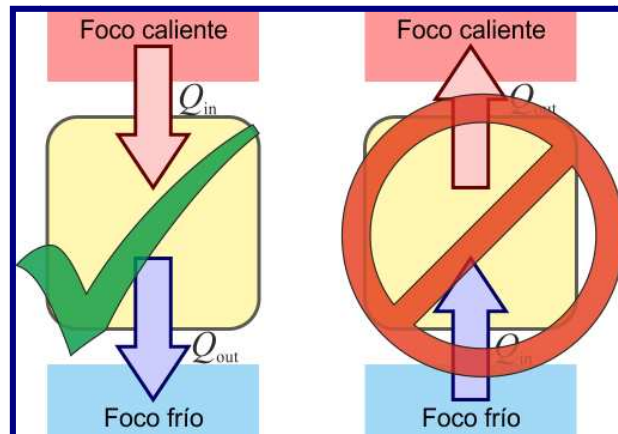


Figura 1.6: Segunda ley de la termodinámica (www.laplace.us.es/wiki/index.php)

EJEMPLO 1.7: Segunda ley de la termodinámica

Una de las principales aplicaciones de la segunda de la termodinámica son las máquinas térmicas. Dichas máquinas, son dispositivos que permiten generar un trabajo mecánico mediante la introducción de calor que será cedido a un foco frío, de modo que el diferencial entre ambos calores sea equivalente al trabajo mecánico que se ha obtenido, tal y como se refleja en la figura 1.7.

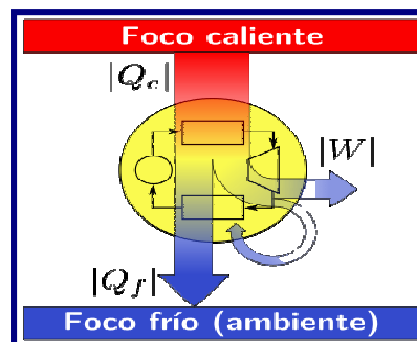


Figura 1.7: Demostración de la aplicación de la segunda ley de la termodinámica mediante una máquina térmica

- **Tercera ley de la termodinámica:** Esta ley, expresa que no se puede llegar a alcanzar la temperatura del cero absoluto a través de una sucesión finita de pasos consecutivos, si no que solamente es posible acercarse a dicho valor de forma infinitesimal.

1.2 Transmisión de calor

La transmisión de calor es una disciplina derivada de la física en la que se estudia la transferencia de calor entre cuerpos con diferente energía o entre un cuerpo y su entorno. Además trata de dar explicación a la velocidad con que se va a producir la transmisión según las condiciones en que se desarrolle.

Este paso o flujo de calor o energía térmica se produce entonces desde el cuerpo de mayor temperatura al cuerpo o al entorno con menor temperatura.

Dado que cualquier proceso en que tenga lugar transmisión de calor existe un transporte y conversión de energía, se puede inferir que dicho proceso obedece tanto a la primera como a la segunda ley de la termodinámica.

1.2.1 Mecanismos de transmisión de calor

En el proceso de transmisión de calor se suelen distinguir tres métodos de transmisión del calor: conducción, radiación y convección. Aunque si lo analizamos minuciosamente, tan solo la conducción y la radiación podrían considerarse mecanismos de transmisión puesto que solamente depender de la existencia de un desequilibrio térmico.

Por otro lado, en el caso de la convección, no satisface el concepto estrictamente porque dicho proceso también se ve influenciado por el transporte mecánico de la masa, sin embargo, como en el proceso se transmite energía entre regiones con distinta temperatura se acepta dentro de dichos mecanismos.

A continuación, se los principales métodos por los que se lleva a cabo la transmisión de calor:

- **Conducción:** La conducción tiene lugar cuando se produce transferencia de energía cinética entre partículas (átomos, moléculas o electrones) y se puede producir entre sólidos, líquidos o gases. El proceso de conducción de calor exige entonces que los cuerpos (o el cuerpo y su entorno) se encuentren en contacto físico, para que pueda producirse el intercambio de energía cinética entre sus partículas. Existen numerosas aplicaciones de conducción como son: *intercambiador de calor, una olla que se calienta sobre un fuego, una tubería por la que transporta un fluido caliente...*

EJEMPLO 1.8: Conducción

Supóngase una barra de metal, como la de la figura 1.8, sometiéndose uno de sus extremos a un calentamiento hasta alcanzar una temperatura de 80 °C. En el extremo contrario, sino tiene lugar ninguna otra influencia externa y se consigue mantener en el extremo caliente una temperatura de 80 °C se producirá una transmisión de calor por conducción desde el extremo más caliente hacia el extremo frío, el cual, irá incrementando poco a poco su temperatura.

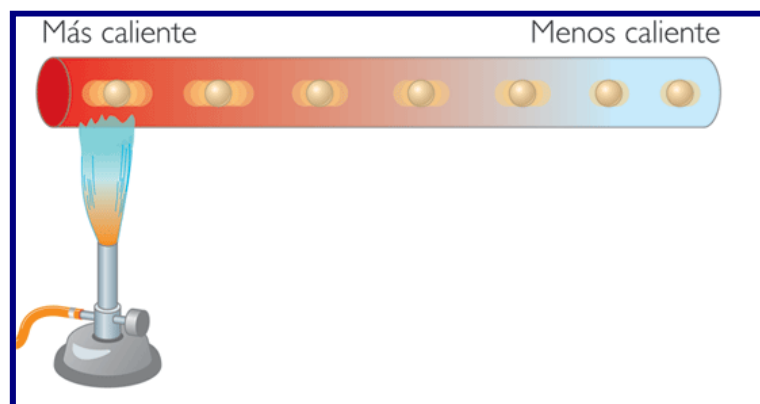


Figura 1.8: Conducción a través de una barra de metal (www.nergiza.com)

- **Convección:** El proceso de convección está basado en el desplazamiento de partículas en el seno de un fluido. Se trata entonces, de un proceso de transmisión de energía que se produce cuando entran en contacto una superficie sólida y un líquido o un gas, por tanto, este proceso solo tendrá lugar en presencia de un fluido. La transferencia de calor por medio de este mecanismo dependerá por tanto, de la viscosidad, velocidad y densidad del fluido. A su vez, este mecanismo, puede subdividirse en dos:

convección forzada cuando el fluido haya sufrido un movimiento forzado sobre la superficie a través de medios externos y **convección natural**, cuando el fluido en movimiento con la superficie sólida se ponga en movimiento debido un aumento o disminución de su densidad. Este mecanismo de transferencia de calor, es muy frecuente en el día a día y tiene numerosas aplicaciones: *Por ejemplo, es responsable de las corrientes marinas, debido a que hace que el agua caliente de las zonas ecuatoriales entre en contacto con la fría de las polares, así como de igual modo es también de las tormentas. Otros ejemplos también podrían ser el calentamiento del agua dentro de una olla, un radiador un fan-coil, el calentamiento de una habitación mediante corrientes convectivas de aire...*

EJEMPLO 1.9: Convección

Supóngase un radiador, como el de la figura 1.9, el cual se enciende para que se alcance en él una determinada temperatura. Este dispositivo funcionará de modo que el aire que se encuentre alrededor del mismo irá aumentando su temperatura con lo que disminuirá su densidad, de modo que al pesar menos dicho aire ascenderá dando paso a que otro aire frío repita el ciclo creándose un calentamiento de la estancia por corrientes convectivas.

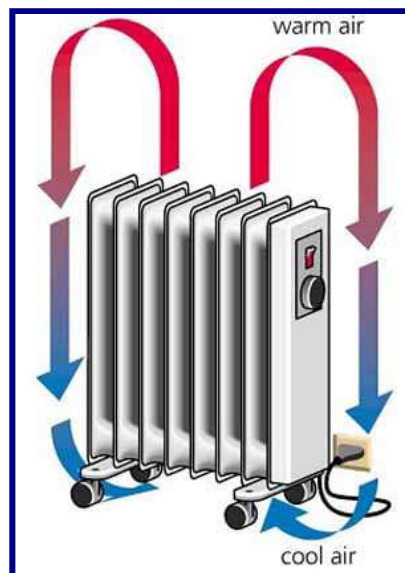


Figura 1.9: Convección a través de un radiador (www.nergiza.com)

- **Radiación**: Es la energía que una determinada cantidad de materia puede llegar a emitir en forma de ondas electromagnéticas debido a las variaciones que puedan suceder en las configuraciones electrónicas de sus átomos o moléculas. Dicha cantidad de energía, dependerá de la temperatura absoluta y de la naturaleza de la superficie.

Todos los cuerpos emiten energía en este modo, y no es necesaria la existencia de un medio de transmisión, además, este mecanismo de transmisión se caracteriza porque no sufre atenuación en el vacío. Además, la radiación se considera como un fenómeno volumétrico puesto que tanto sólidos, como líquidos y gases emiten, absorben o transmiten en cierta medida, aunque si bien en cierto modo en el caso de sólidos opacos este fenómeno solo se produce de manera superficial. *Ejemplos de radiación, sería: una bombilla, el sol, un emisor de calor por radiación, una placa solar, un microondas...*

EJEMPLO 1.10: Radiación

Supóngase una cámara de visión nocturna, las cuales son un dispositivo que permite ver cuerpos en la oscuridad. El funcionamiento de este dispositivo se caracteriza porque permite ver cuerpos en la oscuridad mediante la detección de la energía radiante emitida por dichos cuerpos, tal y como se observa en la figura siguiente:

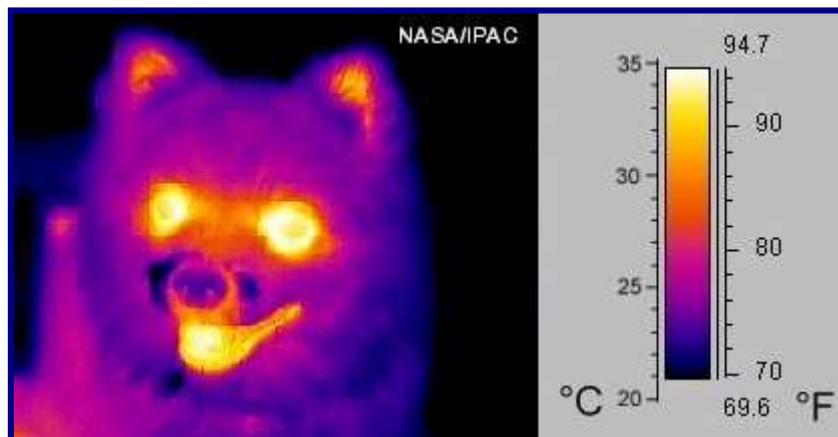


Figura 1.10: Termografía de un perro (www.educa2.madrid.org/educamadrid)

1.2.2 Conducción. Ley de Fourier

Como ya se ha explicado anteriormente, la conducción, consiste en el proceso de transmisión de energía cinética debido a la interacción que se produce electrones, átomos o moléculas.

La conducción se puede producir tanto en sólidos, como en líquidos o gases. Aunque dicho proceso varía de unos a otros, puesto que en el caso de los líquidos y gases se produce por colisión entre sus moléculas debido a su movimiento aleatorio. Mientras que en el caso de los sólidos, tiene lugar debido a la vibración de las mismas.

La velocidad con la que dicho mecanismo de conducción tenga lugar dependerá de la configuración de los materiales es decir, de sus espesores y del gradiente de temperaturas que presenten.

Este mecanismo de transmisión de calor obedece a la Ley de Fourier, en honor al matemático y físico francés J. Fourier. Dicha ley, expone que *la razón de la conducción de calor a través de una capa plana es proporcional a la diferencia de temperatura a través de ésta y al área de transferencia de calor e inversamente proporcional al espesor de esa capa.*

A continuación se muestra la demostración de dicha ley: Considérese una conducción de estado estacionario de calor a través de una pared plana grande de espesor $\Delta x = L$ y área A , como se muestra en la figura 1.11 siendo la diferencia de temperatura de uno a otro lado de la pared es $\Delta T = T_2 - T_1$. Los experimentos han demostrado que la razón de transferencia de calor, Q , a través de la pared se duplica cuando se duplica la diferencia de temperatura ΔT de uno a otro lado de ella, o bien, se duplica el área A perpendicular a la dirección de transferencia de calor; pero se reduce a la mitad cuando se duplica el espesor L de la pared. Es decir:

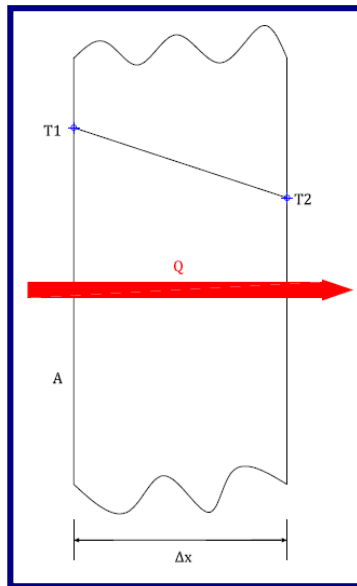


Figura 1.11: Conducción de calor a través de una pared plana de espesor Δx y área A

$$\text{Razón de conducción del calor} = \alpha \frac{(\text{Área})(\text{diferencia de temperatura})}{\text{Espesor}}$$

$$Q = kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -kA \cdot \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} \quad (W)$$

Ecuación 1.4

Donde la constante de proporcionalidad k es la conductividad térmica del material, la cual, es una medida de la capacidad de un material para conducir calor y el signo negativo es debido a la segunda ley de la termodinámica.

Según unidades del sistema internacional, el área se expresará en metros cuadrados (m^2), la temperatura en grados kelvin (K) y la conductividad térmica en vatios por metro cuadrado por grado kelvin (W/mK).

Esta expresión, es de enorme aplicación práctica a la hora de calcular la envolvente térmica de un edificio, por lo que esta fórmula se considera fundamental en el análisis y la mejora de la eficiencia energética, por lo que su estudio es fundamental.

Otro concepto a tener en cuenta es la transmitancia térmica, la cual se define como *la cantidad de energía que atraviesa, en la unidad de tiempo, una unidad de superficie de un elemento constructivo de caras plano paralelas cuando entre dichas caras hay un gradiente térmico unidad*, cuya expresión es:

$$U = \frac{K}{\Delta x} = \frac{W/mK}{m} \quad (W/m^2K)$$

Ecuación 1.5

Donde:

U = Transmitancia térmica (W·m²/K)

K = Conductividad térmica (W·m/K)

Δx = Espesor (m)

Este concepto de transmitancia se utiliza para realizar el cálculo de los aislamientos y pérdidas energéticas. Igualmente, también se utiliza este concepto para los diseños de calefacción puesto que en ello se busca también suministrar una determinada cantidad de energía a un determinado espacio.

De modo que si se combinan las ecuaciones 1.4 y 1.5, se obtiene que la razón de transferencia de calor queda definida por:

$$Q = U \cdot A (T_1 - T_2) = \quad (W)$$

Ecuación 1.6

EJEMPLO 1.11: Calcular las pérdidas de energía de la ventana que se muestra en la figura 1.12, con las siguientes condiciones:

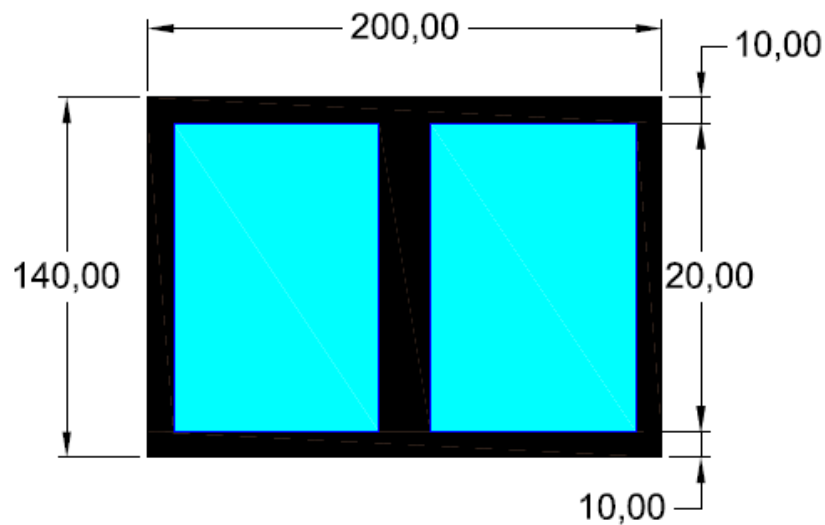


Figura 1.12 : Diseño de la ventana

- a) Cuando se dispone de un cristal y una carpintería metálica, ambos, con una transmitancia térmica de $5,7 \text{ (W/m}^2\text{K)}$. Considérese una temperatura exterior de 0°C y una temperatura interior de 20°C .

Para llevar a cabo el cálculo de las pérdidas de calor, será necesaria la aplicación de la fórmula de la razón de conducción:

$$Q = U \cdot A (T_1 - T_2)$$

En dicha fórmula, se observa que tanto el área de la carpintería como la del vidrio son desconocidas, por lo que será necesario realizar su cálculo:

$$A_{\text{vidrio}} = 1,20 \text{ m} \cdot 0,80 \text{ m} = 0,96 \text{ m}^2 \quad \rightarrow \quad A_{\text{total de vidrio}} = 2 \cdot 0,96 \text{ m} = 1,92 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{carpintería}} = A_{\text{total}} - A_{\text{total de vidrio}} = (2,00 \text{ m} \cdot 1,40 \text{ m}) - (1,92) \quad \rightarrow \quad A_{\text{carpintería}} = 0,88 \text{ m}^2$$

Una vez que disponemos de todos los datos, aplicamos la fórmula para conocer las pérdidas:

$$Q_{\text{vidrio}} = U_{\text{vidrio}} \cdot A_{\text{vidrio}} (T_{\text{ext}} - T_{\text{int}}) = 5,7 \text{ W/m}^2\text{K} \cdot 1,92 \text{ m}^2 \cdot (20-0)^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{vidrio}} = 218,88 \text{ W}$$

$$Q_{\text{carpintería}} = U_{\text{carpintería}} \cdot A_{\text{carpintería}} (T_{\text{ext}} - T_{\text{int}}) = 5,7 \text{ W/m}^2\text{K} \cdot 0,88 \text{ m}^2 \cdot (20-0) ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{carpintería}} = 100,32 \text{ W}$$

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{carpintería}} + Q_{\text{vidrio}}$$

$$Q_{\text{total}} = 218,88 \text{ W} + 100,32 \text{ W}$$

$$Q_{\text{total}} = 319,20 \text{ W}$$

b) Cuando se dispone de un vidrio 4-12-6 de baja emisividad con una transmitancia térmica de 1,7 (W/m²K) y una carpintería de dos cámaras de PVC con una transmitancia térmica de 2,2 (W/m²K) y las condiciones de temperatura no varían.

El cálculo en este caso se realiza análogamente que en el caso anterior, puesto que la única variación que tiene lugar es que se mejoran las características de los materiales que constituyen la ventana.

$$A_{\text{vidrio}} = 1,20 \text{ m} \cdot 0,80 \text{ m} = 0,96 \text{ m}^2 \quad \rightarrow \quad A_{\text{total de vidrio}} = 2 \cdot 0,96 \text{ m}^2 = 1,92 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{carpintería}} = A_{\text{total}} - A_{\text{total de vidrio}} = (2,00 \text{ m} \cdot 1,40 \text{ m}) - (1,92) \quad \rightarrow \quad A_{\text{carpintería}} = 0,88 \text{ m}^2$$

Una vez que disponemos de todos los datos, aplicamos la fórmula para conocer las pérdidas:

$$Q_{\text{vidrio}} = U_{\text{vidrio}} \cdot A_{\text{vidrio}} (T_{\text{ext}} - T_{\text{int}}) = 1,7 \text{ W/m}^2\text{K} \cdot 1,92 \text{ m}^2 \cdot (20-0) ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{vidrio}} = 65,28 \text{ W}$$

$$Q_{\text{carpintería}} = U_{\text{carpintería}} \cdot A_{\text{carpintería}} (T_{\text{ext}} - T_{\text{int}}) = 2,2 \text{ W/m}^2\text{K} \cdot 0,88 \text{ m}^2 \cdot (20-0) ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{carpintería}} = 38,72 \text{ W}$$

$$Q_{total} = Q_{carpintería} + Q_{vidrio}$$

$$Q_{total} = 65,28 \text{ W} + 38,72 \text{ W}$$

$$Q_{total} = 98 \text{ W}$$

Si analizamos entonces los resultados que se han obtenido tanto en el apartado a) como en el b), se observa que cuando se realiza una mejora tanto en el vidrio como en la carpintería se reduce considerablemente la transmitancia térmica, lo cual, permite llevar a cabo una gran reducción de las pérdidas de energía térmica que tienen lugar en la ventana. Con ello se observa, que una mejora en la ventana, o en cualquier otra parte de la envolvente de un edificio llevará consigo un aumento considerable en la eficiencia energética del edificio.

2 COMBUSTIÓN Y COMBUSTIBLES

Este capítulo, tiene como objetivo principal definir las principales características y parámetros asociados a la producción de calor en instalaciones de calefacción y ACS.

Para ello, se analizaras las características principales de aquellos combustibles que se están empleando con mayor frecuencia en las instalaciones de calefacción de los edificios destacando de ellos sus principales características.

2.1 Combustión

El mundo actual es claramente un mundo movido por la energía, la cual, es imprescindible para la gran mayoría de aplicaciones industriales, domésticas o de transporte. Sin embargo, lo que es un concepto más desconocido es que todo ello a su vez depende del proceso de combustión, puesto que a través de dicho proceso podemos transformar los combustibles sólidos, líquidos y gaseosos en energía, tal y como se observa en la siguiente figura:



Figura 2.1: Estufa de combustión

2.1.1 Conceptos básicos de combustión

El término de combustión, agrupa al conjunto de reacciones de oxidación en las que tiene lugar un desprendimiento de calor entre dos elementos: un elemento combustible bien sea sólido (madera, pellets, carbón...), líquido (gasóleo) o gaseoso (gas natural, propano...) y un elemento comburente, principalmente el oxígeno. Dicha reacción, tiene como principal característica la posibilidad de mantener una llama de forma estable.

Este concepto de combustión, queda reflejado a través de lo que se denomina comúnmente el “triángulo del fuego”, el cual se representa en la siguiente figura:



Figura 2.2: Triángulo del fuego

En líneas generales, se podría decir que el proceso de combustión presenta cuatro puntos característicos, los cuales son:

- Es una reacción exotérmica a través de la cual se produce una liberación de calor.
- La velocidad de la reacción está relacionada con la temperatura y el carácter exotérmico de ésta.
- Está constituida por tres fases principales: iniciación, propagación y extinción. Es decir, inicialmente en la fase de iniciación se deberá agregar una fuente de calor externa a la mezcla de forma que se inicia la reacción, la cual a continuación pasará por

una fase de propagación en la cual se irá consumiendo comburente y combustible hasta que finalmente se llegue a la extinción de la misma cuando no exista comburente o combustible disponible. Estas tres fases se pueden observar en la figura siguiente:

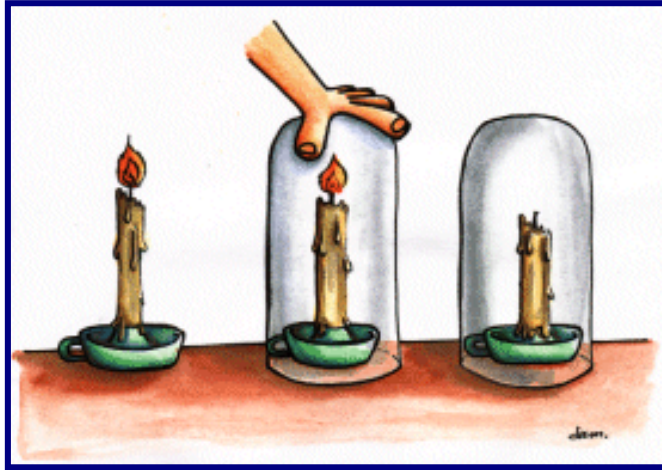


Figura 2.3: El proceso de combustión

- Se encuentra condicionada por los fenómenos físicos del entorno en el que se desarrolla.

2.1.2 Parámetros relacionados con la combustión

Para poder analizar el concepto de combustión, se deberán analizar los parámetros que se muestran a continuación:

- **Combustible:** Aquella sustancia que durante su proceso de oxidación desprende energía.
- **Comburente:** Toda aquella sustancia que cuando se combina con un combustible bajo unas determinadas condiciones da lugar a un proceso de oxidación del combustible o combustión. El comburente principal es el oxígeno generalmente extraído del aire (21% oxígeno y 79 % de nitrógeno).
- **Temperatura de llama:** Se define como el valor pico que alcanza la temperatura durante el proceso de combustión.

- **Aire teórico:** Se define como la cantidad de aire contenida en el oxígeno teórico, el cual, hace referencia a los moles necesario para llevar a cabo el proceso de combustión.

- **Temperatura de ignición:** Se entiende por temperatura de ignición o de inflamación, la temperatura mínima que se necesita para que una determinada cantidad de materia empiece a arder y la llama se mantenga sin que sea necesario introducir calor de una fuente externa. Esta temperatura, varía en función del tipo del material tal y como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 2.1: Temperaturas de ignición

Combustible	Temperatura (°C)
<i>Gas natural de alto contenido en metano</i>	482 - 632
<i>Butano (comercial)</i>	482 - 538
<i>Etanol</i>	363
<i>Gasolina</i>	456
<i>Madera blanda</i>	320 - 350
<i>Madera dura</i>	313 - 393

- **Punto de ignición:** Se entiende por punto de ignición o de inflamación de una determinada cantidad de materia al conjunto de condiciones de presión y temperatura que se necesitan para que se inicie y se mantenga el proceso de combustión.

- **Poder calorífico:** Se entiende por poder calorífico de un combustible la cantidad de energía en forma de calor que se puede llegar a obtener mediante la oxidación completa a presión atmosférica de una determinada cantidad de combustible. Se pueden distinguir dos tipos de poder calorífico:

- **Poder calorífico superior (PCS):** Es el calor que puede llegar a ser obtenido mediante la combustión completa de la unidad de combustible, sin tener en consideración el calor necesario para evaporar el agua existente en el combustible.

- **Poder calorífico inferior (PCI):** Corresponde con el calor útil o aprovechado que tiene un combustible, ya que se sustrae del poder calorífico superior la energía gastada necesariamente en evaporar el agua correspondiente a la humedad del combustible. A esta energía se la denomina calor latente de evaporatcioón. Con las temperaturas que presentan los humos, el agua en estado vapor se suele evacuar con ellos por lo que comúnmente se utiliza más el poder calorífico inferior que el superior.

Tabla 2.2: Poderes caloríficos de los combustibles

Combustible	Poder calorífico	
	Inferior (PCI)	Superior (PCS)
Carbón	9,08 kWh/kg	9,43 kWh/kg
Gasóleo	10,28 kWh/l	10,89 kWh/l
Gas butano	13,79 kWh/kg	13,79 kWh/kg
Gas propano	12,86 kWh/kg	13,97 kWh/kg
Gas natural	10,83 kWh/Nm ³	11,98 kWh/Nm ³
Leñas y ramas		
Coníferas	4.950 kcal/kg	3.590 kcal/kg
Fronosas	4.600 kcal/kg	3.331 kcal/kg
Serrines y virutas		
Coníferas	4.880 kcal/kg	3.790 kcal/kg
Fronosas autóctonas	4.630 kcal/kg	3.580 kcal/kg
Fronosas tropicales	4.870 kcal/kg	3.780 kcal/kg
Corteza		
Coníferas	5.030 kcal/kg	3.650 kcal/kg
Fronosas	4.670 kcal/kg	3.370 kcal/kg
Vid		

Sarmientos	4.560 kcal/kg	3.280 kcal/kg
Ramilla de uva	4.440 kcal/kg	2.950 kcal/kg
Orujo de uva	4.820 kcal/kg	3.240 kcal/kg

Tabla 2.3: Poderes caloríficos de los combustibles

Combustible	Poder calorífico	
	Inferior (PCI)	Superior (PCS)
Aceite		
Hueso	4.960 kcal/kg	3.860 kcal/kg
Orujillo	4.870 kcal/kg	3.780 kcal/kg
Cáscaras frutos secos		
Almendra	4.760 kcal/kg	3.940 kcal/kg
Avellana	4.500 kcal/kg	3.710 kcal/kg
Piñón	4.930 kcal/kg	4.060 kcal/kg
Cacahuete	4.250 kcal/kg	3.480 kcal/kg
Cascarilla de arroz	4.130 kcal/kg	3.337 kcal/kg
Girasol		
Residuo de campo	4.060 kcal/kg	3.310 kcal/kg

- **Poder comburívoro:** Se entiende por poder comburívoro el volumen mínimo de aire seco en condiciones normales (0°C y 1 atmósfera) necesario para llevar a cabo una combustión completa de una unidad de combustible.

Tabla 2.4: Poder comburívoro de los combustibles

<i>Combustible</i>	<i>Poder comburívoro Nm³(aire)/kWh (PCI)</i>
<i>Carbón</i>	0,94
<i>Gasóleo</i>	0,92
<i>Gas butano</i>	0,94
<i>Gas propano</i>	0,94
<i>Gas natural</i>	0,95

- **Poder fuminígeno:** Se entiende por poder fuminígeno el volumen de productos de combustión que se generan durante la combustión estequiométrica de una unidad determinada de combustible.

Tabla 2.5: Poder fuminígeno de los combustibles

<i>Combustible</i>	<i>Poder comburívoro Nm³(humos)/kWh (PCI)</i>
<i>Carbón</i>	0,98
<i>Gasóleo</i>	0,97
<i>Gas butano</i>	1,01
<i>Gas propano</i>	1,02
<i>Gas natural</i>	1,05

2.1.3 Objetivos de la combustión

La principal aplicación del fenómeno de la combustión es la producción energética. El principal parámetro que entra en juego en este proceso es el poder calorífico del combustible. La energía generada procedente de la combustión es una fuente de calor. Sin embargo, este calor puede ser aprovechado mediante su

transformación en otras fuentes de energía, por ejemplo energía mecánica y, posteriormente, energía eléctrica. De este modo, las principales aplicaciones de este fenómeno son:

- **Producir energía:** La energía extraída durante dicho proceso puede utilizarse fundamentalmente con dos fines: O bien se puede utilizar para obtener calor de forma directa o bien para generar movimiento o trabajo a partir del proceso de expansión que sufren los gases durante el desarrollo de dicha reacción. En el primer caso, esta energía obtenida en forma de calor suele utilizarse como aplicación directa en procesos de secado o calefacción. En cuanto a la generación de trabajo, se aplica fundamentalmente en equipos como compresores, bombas o en plantas de diésel para la generación de electricidad. En ambos, casos bien se trate de energía térmica o mecánica ésta podrá ser siempre a su vez transformada en otras formas de energía.

Todo este procedimiento se refleja a continuación de forma gráfica para que queden más claros los conceptos.

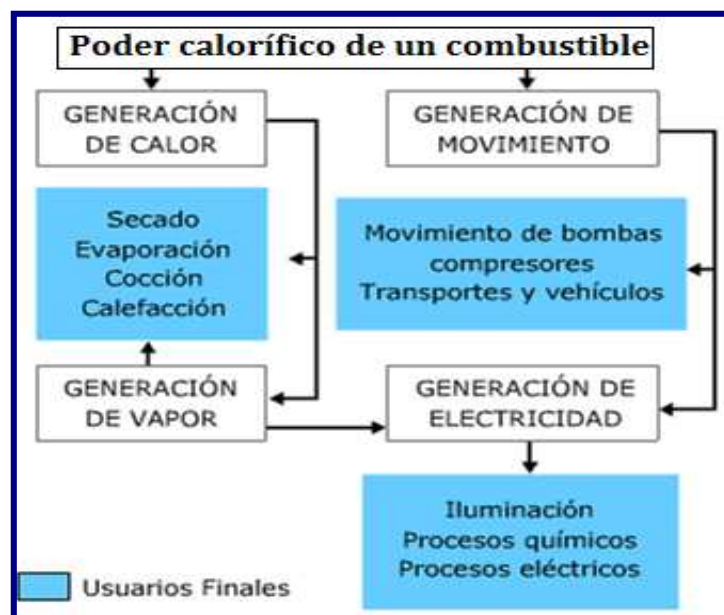


Figura 2.4: Aplicaciones de la combustión (www.si3ea.gov.co)

- **Síntesis de compuestos:** Se trata del proceso a través del cual podemos llegar a obtener nuevos compuestos mediante la combinación por combustión otros compuestos. Se trata de un procedimiento muy delicado y de elevada complejidad que se aplica fundamentalmente en la síntesis por combustión de materiales cerámicos.

- **Producción de luz y ruido:** La principal aplicación para la producción de luz y ruido mediante combustión es la pirotecnia. La pirotecnia, se define como la disciplina que se encarga de aquellas reacciones que tienen lugar por medio de la combustión sin explosión de determinados materiales, que producen luces, chispa o ruidos. Otra utilidad en la producción de luz, sería en aquellas ocasiones en las que la combustión se provoca sobre láminas o hilos dando lugar a luz, como sería en el caso de las lámparas de fotografía.

EJEMPLO 2.1: Aplicaciones de la producción de luz y ruido

Una de las aplicaciones más comunes de la producción de luz y ruido sería la pirotecnia como ya se ha explicado anteriormente. Dentro de la pirotecnia, se podría citar como ejemplos más visuales de producción de luz los denominados comúnmente como “fuegos artificiales” en los que por medio de una reacción de combustión se consigue proyectar un diseño de luces de colores, tal y como se observa en la figura siguiente:



Figura 2.5: Aplicaciones de la combustión (fuegos artificiales)

Otra aplicación de la pirotecnia, sería la de producción únicamente de ruido como podría ser en el caso de los petardos, en los cuales se lleva a cabo una reacción de combustión con el único objetivo de producir ruido.

Finalmente, otra aplicación de la combustión para producir luz sería por ejemplo las lámparas de fotografía, en las cuales se lleva a cabo la combustión de unos hilos o láminas de metal dentro de una ampolla de vidrio a la cual se le introduce oxígeno por medio de un encendido mecánico. Esta lámpara se conoce comúnmente con el nombre de lámparas relámpago, tal y como se muestra en la siguiente figura:



Figura 2.6: Lámpara relámpago de Xenón

2.1.4 Tipos de combustión

La combustión es un proceso complejo en el que entran en juego muchos parámetros y condicionantes por lo que la clasificación de dicho fenómeno en sus diferentes tipos debe atender a distintos criterios:

1) Atendiendo a la cantidad de comburente aportado en la combustión: En este caso se pueden diferenciar tres grandes grupos:

- **Combustión completa:** Se entiende por combustión completa aquella combustión en la que el contenido de oxígeno necesario para llevar a cabo el proceso de combustión es superior al necesario, es decir, existe un exceso de aire (este concepto se analizará en los apartados siguientes). Un resumen de este tipo de combustión, se muestra de forma gráfica en la siguiente figura:

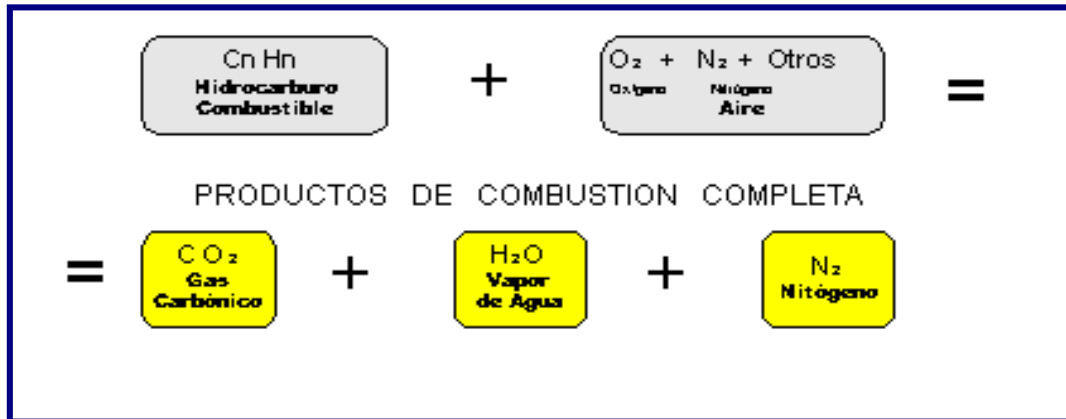


Figura 2.7: Esquema de una combustión completa

- Combustión incompleta:** Se entiende por combustión incompleta aquella combustión en la que el contenido de oxígeno necesario para llevar a cabo el proceso de combustión es inferior al necesario o bien en la que se produzca un problema de contacto entre el combustible y el comburente, en ambos casos, se favorece a la formación de un producto tóxico como es el monóxido de carbono (CO). Un resumen de este tipo de combustión, se muestra de forma gráfica en la siguiente figura:

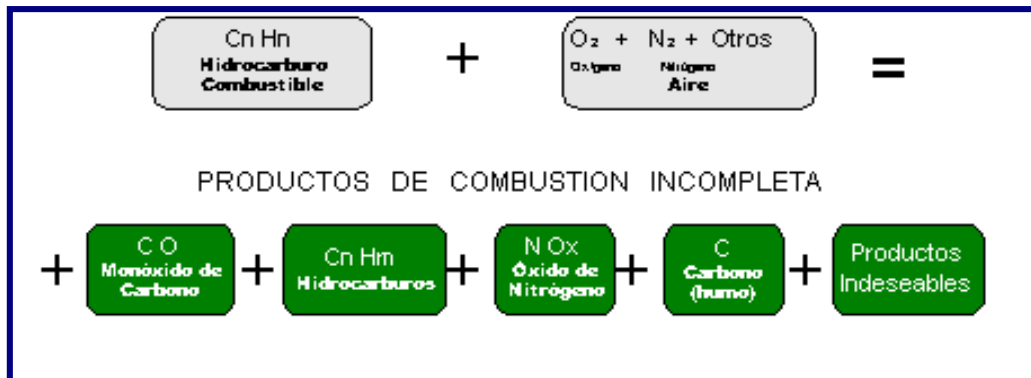


Figura 2.8: Esquema de una combustión incompleta

- Combustión estequiométrica:** Se trata de aquella combustión que se lleva a cabo con el contenido exacto de aire para que se queme todo el combustible disponible.

EJEMPLO 2.2: Combustión estequiométrica

Supongamos una molécula de octeno (C_8H_{16}) que será el combustible la cual se deberá hacer reaccionar con varias moléculas de oxígeno para obtener la siguiente reacción de combustión:



Es decir, en esta reacción por cada molécula de octeno (C_8H_{16}), se necesitan 12 moléculas de oxígeno (O_2) para obtener como resultado ocho moléculas de dióxido de carbono (CO_2) y otras ocho de agua (H_2O) además de la correspondiente generación de calor.

Por tanto, se observa que por cada dos moléculas de hidrógeno presentes en el combustible es necesaria la presencia de un átomo de oxígeno para generar una molécula de agua y a su vez, cada carbono requiere de dos átomos de oxígeno para que se genere dióxido de carbono.

Este tipo de configuración, se denomina combustión estequiométrica, puesto que el oxígeno presente es el necesario, no hay defecto ni exceso, para llevar a cabo la combustión total del combustible presente.

2) Según la velocidad de la reacción: En función de la velocidad con la que se desarrolle la reacción de combustión, podemos distinguir los siguientes tipos:

- **Combustión lenta u oxidación:** Se trata de aquel proceso en el que no se produce una emisión de luz y el calor desprendido en un determinado tiempo que es lo suficientemente pequeño como para que no se produzca elevación de temperatura.

- **Combustión rápida o fuego:** En este caso, la combustión se caracteriza por ir acompañada de una gran emisión de luz y calor por medio de llamas. Se considera combustión rápida cuando la velocidad de propagación es menor de 1 m/s.

3) Otras reacciones de combustión: Además de los tipos de combustión expuestos anteriormente, podemos distinguir otros dos tipos:

- **Combustión deflagrante o deflagración:** Se trata de un proceso que tiene lugar a muy alta velocidad (la velocidad de de propagación es superior a 1m/s pero inferior a la del sonido) en el cual se combinan un combustible y un comburente produciendo una llama que puede alcanzar elevadas temperaturas pero sin que se produzca una explosión. Ejemplos de combustión deflagrante pueden ser por fuegos artificiales o una cerilla como se ilustra en la siguiente figura:



Figura 2.9: Deflagración de una cerilla

- **Combustión detonante o detonación:** Esta combustión, se caracteriza porque tiene lugar una gran velocidad de propagación, del orden de la del sonido. Dicho proceso, tiene lugar en un intervalo muy corto de tiempo (décimas de segundo) y lleva asociada una onda de choque, la cual, tiene una presión muy elevada. Por todo ello, este tipo de combustión tiene pocas aplicaciones energéticas ocurriendo de forma excepcional en combustiones anormales en motores de encendido provocado. Su principal aplicación está en el uso de explosivos para demoliciones o para minería, tal y como se observa en la siguiente figura:



Figura 2.10: Voladura de rocas con explosivos

2.1.5 Exceso de aire

El aire en exceso se define como la cantidad de aire que supera la cantidad de aire teórico necesaria para llevar a cabo una combustión completa. Para poder determinar dicho exceso, existen varias fórmulas (ecuación 2.1):

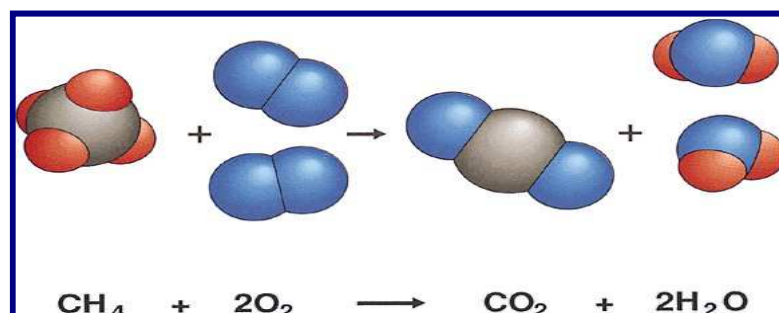
$$\% \text{ de exceso de aire} = (\text{O}_2 \text{ que entra al proceso} - \text{O}_2 \text{ requerido}) / \text{O}_2 \text{ requerido} \times 100$$

$$\% \text{ de exceso de aire} = (\text{O}_2 \text{ de entrada} - \text{O}_2 \text{ de exceso}) / \text{O}_2 \text{ de entrada} \times 100$$

Ecuación 2.1

EJEMPLO 2.3: Exceso de aire

Supóngase la reacción de combustión del metano, la cual se expone a continuación, y además, se dispone de 3 moles de oxígeno para llevar a cabo el proceso de combustión. Calcular el porcentaje de exceso de aire:



Tal y como se observa analizando la estequiometría de la reacción, partimos de un mol de metano por tanto para llevar a cabo la reacción de combustión del mismo serán necesario dos moles de oxígeno.

Una vez conocido el supuesto, se aplicarán las ecuaciones del apartado anterior para determinar el porcentaje de exceso de aire.

$$\% \text{ de exceso de aire} = (\text{O}_2 \text{ que entra al proceso} - \text{O}_2 \text{ requerido} / \text{O}_2 \text{ requerido}) \times 100$$

$$\% \text{ de exceso de aire} = \frac{3 \text{ moles de O}_2 - 2 \text{ moles de O}_2}{2 \text{ moles de O}_2} \times 100$$

$$\% \text{ de exceso de aire} = 50 \%$$

Si aplicamos la otra ecuación expuesta en el apartado 2.1, se puede observar que el resultado del exceso de aire no varía:

$$\% \text{ de exceso de aire} = (\text{O}_2 \text{ de exceso} / \text{O}_2 \text{ de entrada} - \text{O}_2 \text{ de exceso}) \times 100$$

$$\% \text{ de exceso de aire} = \frac{1 \text{ moles de O}_2}{3 \text{ moles de O}_2 - 2 \text{ moles de O}_2} \times 100$$

$$\% \text{ de exceso de aire} = 50 \%$$

Para llegar a alcanzar un buen rendimiento durante el proceso de combustión, se deberá conocer el punto óptimo de exceso de aire del cual se deberá disponer en el proceso de combustión, teniendo en cuenta que se optimice el proceso de combustión, pero que se maximice la energía generada en el mismo, no produciéndose inquemados.

Si se disminuye el exceso de aire se producirá un descenso del rendimiento debido a que no se produce una oxidación completa del combustible, lo cual, da lugar a la producción de monóxido de carbono en forma de inquemados.

En caso contrario si se sobredimensiona el exceso de aire necesario, el rendimiento también descenderá puesto que una parte de la energía que estamos

produciendo se estará destinando a calentar dicho excedente de aire, incluso a transformar el vapor de agua disuelto en el aire introducido.

Por todo ello, se puede exponer que a mayor sea el exceso de aire menor será la posibilidad de que se produzca una combustión incompleta. Sin embargo, en este caso, si se dispone de un exceso se producirá una disminución de la temperatura alcanzada en la reacción y en la eficiencia térmica. Es decir, se deberá buscar siempre un punto de equilibrio que permita llevar a cabo una correcta combustión.

2.1.6 Diagramas de combustión

Para poder llevar a cabo de forma relativamente sencilla y rápida cálculos de combustión, existen una serie de diagramas. Para poder operar en estos diagramas, se parte de los datos del análisis de los productos de combustión y nos permiten determinar el exceso de aire y en ocasiones la composición de otros productos en equilibrio. Sin embargo, estos diagramas presentan el inconveniente de que solo son válidos para un combustible en cuestión y dependen en gran medida de las condiciones para las cuales han sido diseñados.

Existen diferentes diagramas de combustión, a continuación se desarrollan los tres principales:

- **Diagrama de Ostwald:** Se trata de una representación gráfica de la combustión y composición de humos, realizada a partir de unos ejes ortogonales que representan en abscisas el porcentaje de oxígeno y en ordenadas el de dióxido de carbono. Además, existe un diagrama para cada tipo de combustible y se trata de un diagrama que es válido para combustiones incompletas, con inquemados formados solamente por CO y da buen resultado para índices de exceso de aire elevados.

La representación se ubica un único cuadrante, el primero, puesto que sería ilógico hablar de valores negativos en este diagrama. Para que este diagrama sea de aplicación, la combustión deberá cumplir las siguientes tres condiciones:

- 1) Que todo el carbono presente en el combustible se convierta en monóxido o dióxido de carbono, es decir, que no exista carbono libre.

2) Que en los productos de combustión no exista hidrógeno libre, por tanto, que todo el hidrógeno que esté presente en el combustible se convierta en agua.

3) Que el azufre que esté presente en el combustible sufra un proceso de combustión completa a dióxido de azufre.

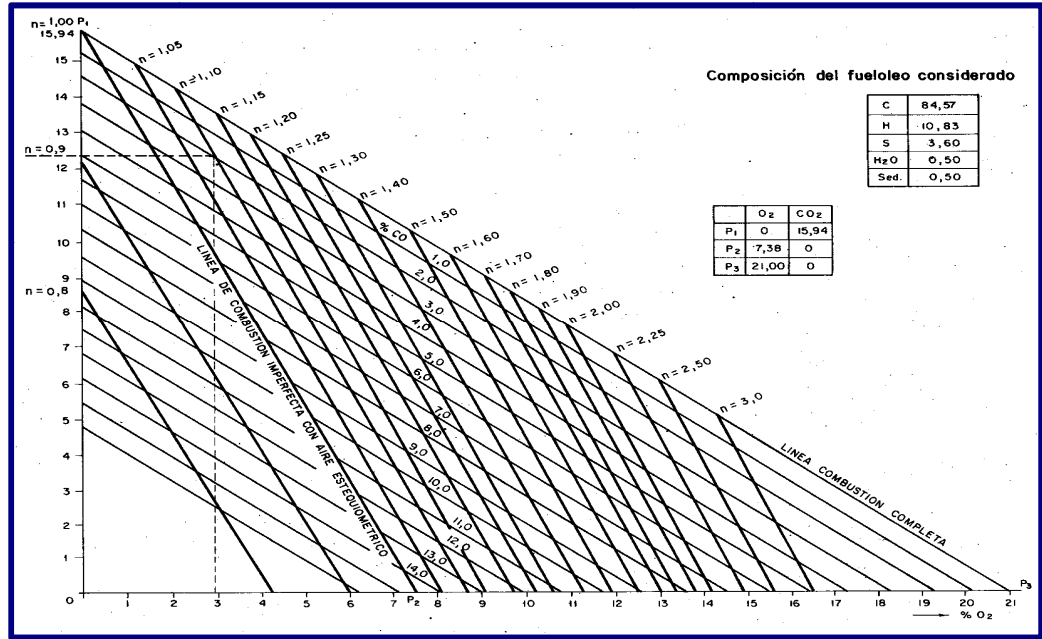


Figura 2.11: Diagrama de Ostwald

Dentro de este diagrama, existen dos parámetros fundamentales que definen al mismo:

n: Representa el aire presente en el combustible y toma valores entre cero y uno. Cuando n=1 disponemos del aire estequiométrico necesario, ubicándonos en caso de defecto cuando $n < 1$ y en caso de exceso cuando $n > 1$.

λ : Representa el parámetro de imperfecciones, definiéndose la combustión perfecta cuando $\lambda=0$

EJEMPLO 2.4: Análisis del diagrama Ostwald

Dentro de este ejemplo, se realiza un análisis de los puntos y rectas fundamentales del diagrama de Ostwald para facilitar su comprensión:

- El **punto P_1** , se corresponde con el máximo % de CO_{2max} , en este caso 15,94%, es decir a combustión completa y estequiométrica en la que $n = 1$ y el % de O_2 en los gases es cero.

- El **punto P_2** , se corresponde con un % $CO_2 = 0$, debido a que todo el carbono del combustible se ha transformado solamente a CO. Se puede ver que en ese punto, correspondiente a $n = 1$, existe un contenido de $O_2 = 7,38$ % debido a que no se ha producido la transformación de CO en CO_2 .

- El **punto P_3** , se corresponde con los siguientes valores: $CO_2 = 0$; $CO = 0$ y $O_2 = 21$ %. Con dichos valores, se puede obtener que como único producto en los humos se obtiene aire en igual condiciones que a la entrada, por lo que se infiere que la combustión no se ha llevado a cabo.

- La **recta $P_1 P_3$** se corresponde con aquellas combustiones completas, es decir, aquellas en la que no se produce formación de CO.

- La **recta $P_1 P_2$** se corresponde con las combustiones incompletas que se caracterizan por presentar un índice de exceso de aire $n = 1$, en las que hay una mezcla de CO y CO_2 .

- La **recta $P_2 P_3$** se corresponde igual que la recta anterior con combustiones incompletas, pero en este caso, no aparece CO_2 .

- La zona delimitada por el **triángulo $P_1 P_2 P_3$** se corresponde con aquellas combustiones incompletas con exceso de aire (excepto la recta $P_1 P_3$ que representa combustión completa).

- La zona delimitada por el **triángulo $P_1 O P_2$** se corresponde con combustiones incompletas con defecto de aire.

- Las **líneas paralelas a $P_1 P_3$** son de % CO constante.

- Las **líneas aparentemente paralelas a $P_1 P_2$** corresponden a n constante.

EJEMPLO 2.5: Esquema del diagrama de Ostwald

A continuación se expone un diagrama de Ostwald simplificado en el cual se representan las cuatro zonas fundamentales para la comprensión del mismo:

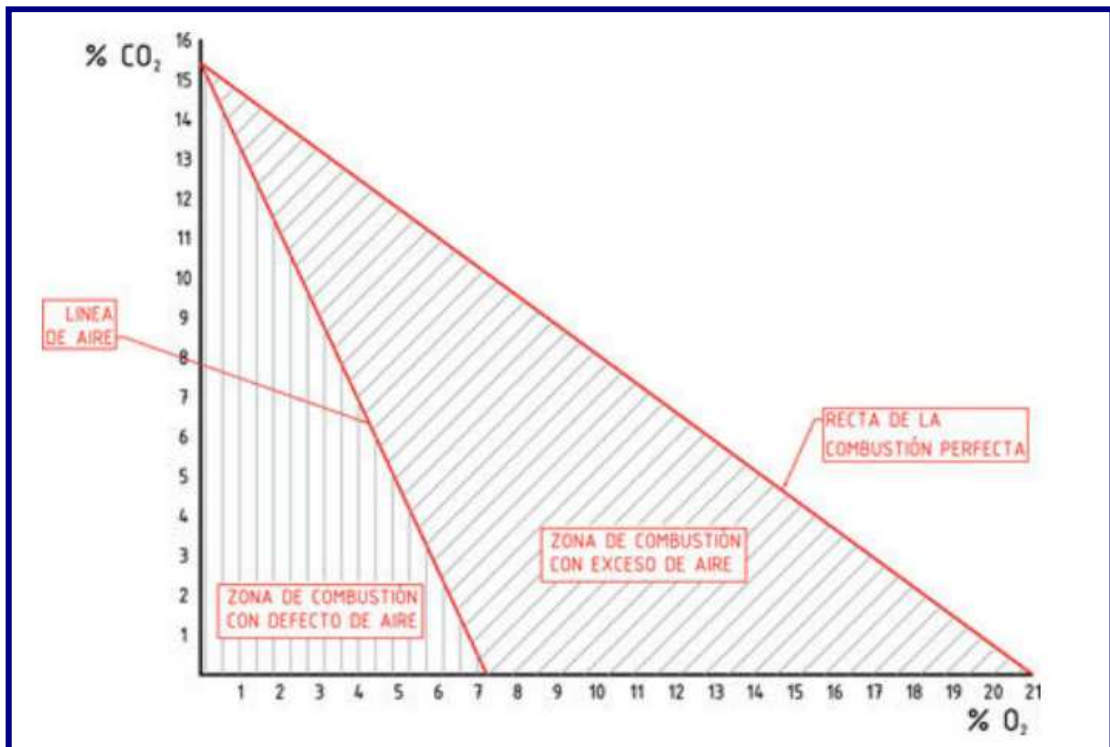


Figura 2.12: Diagrama de Ostwald simplificado (Grau)

En este gráfico se observan que dichas zonas características dentro del diagrama son las siguientes:

- 1) Recta de combustión perfecta.
- 2) Línea de aire.
- 3) Zona de combustión con exceso de aire.
- 4) Zona de combustión con defecto de aire.

EJEMPLO 2.6: Ejercicio de aplicación del diagrama de Ostwald

Supóngase los siguientes valores conocidos: $\text{CO}_2 = 12,4\%$ y $\text{O}_2 = 2,9\%$. Determinar el punto de corte en el que se encuentra el CO y el valor de n .

Para llevar a cabo este ejercicio, se parte en primer lugar de representar los datos de partida en el diagrama de Ostwald. En primer lugar, se busca en el eje de ordenadas el valor correspondiente a 12,4 de porcentaje de CO_2 , tras ello se coloca en el eje de abscisas el valor de oxígeno (2,9 %) de forma que se obtiene un corte entre dos rectas tal y como se puede observar en la siguiente figura:

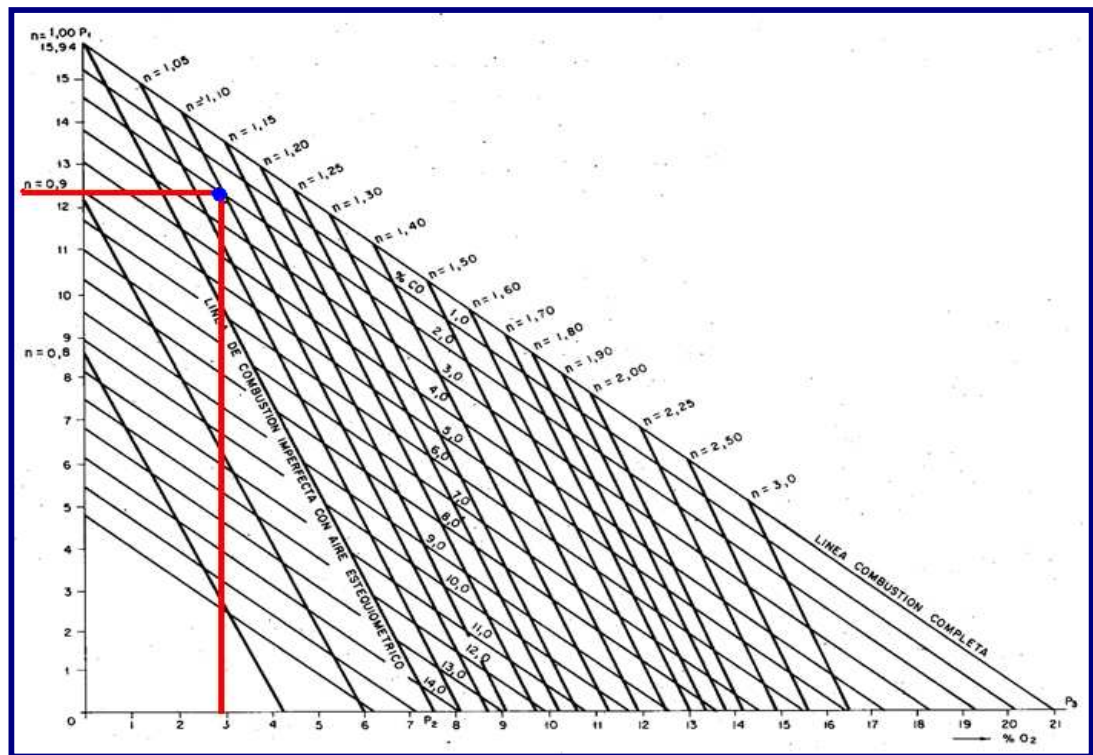


Figura 2.13: Aplicación del diagrama de Ostwald

De forma que se puede observar que del cruce de las líneas de color rojo de la figura 2.12 se obtiene un porcentaje de CO del 2% y un valor de n del 1,1.

- **Diagrama de Keller:** Es un diagrama válido para combustiones incompletas, así como para aquellas combustiones que presenten un alto contenido de hidrógeno y una relación carbono-hidrógeno baja. Este diagrama se emplea comúnmente en el cálculo de combustibles con elevado contenido de hidrógeno y el exceso de aire es bajo. En este

diagrama el proceso de cálculo es similar al del diagrama de Ostwald y su representación gráfica sería la siguiente:

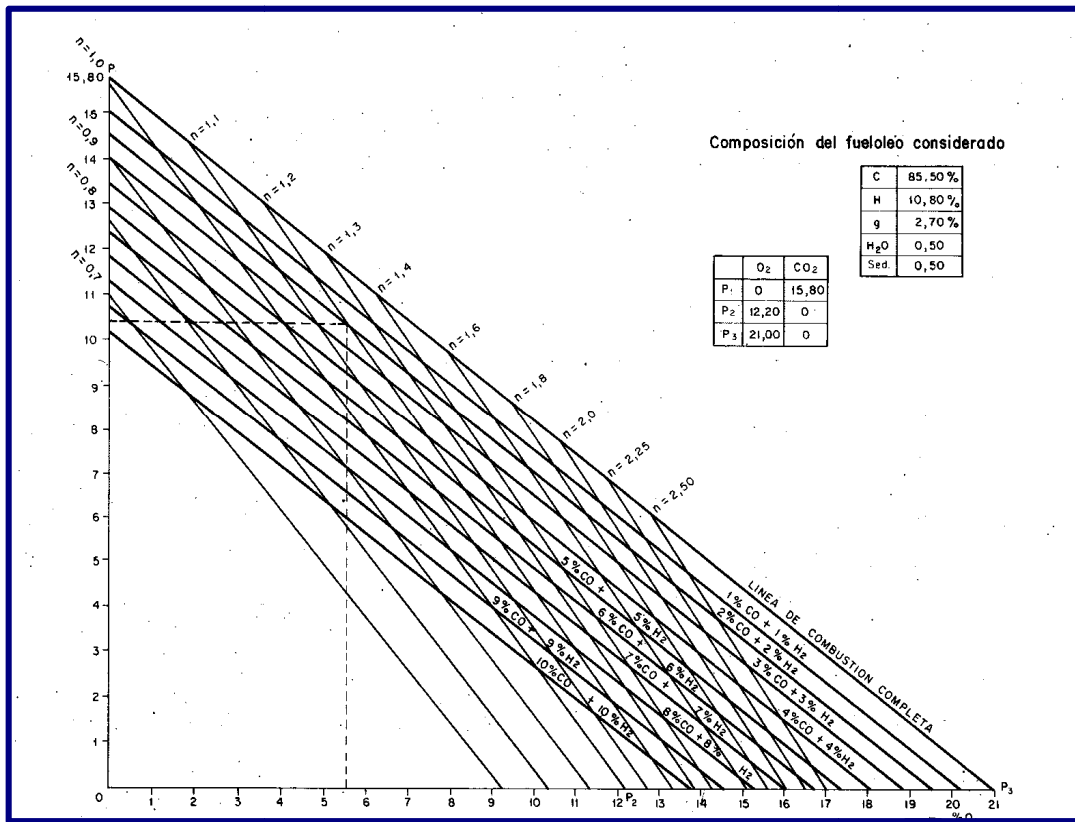


Figura 2.14: Diagrama de Keller

2.2 Combustibles

Los combustibles se definen como aquellas sustancias en estado sólido, líquido o gaseoso que pueden llegar a comenzar a arder o a entrar en combustión total o parcialmente. Cuando estas sustancias entran en contacto con un comburente, comúnmente oxígeno presente en el aire atmosférico, se inicia el proceso de combustión mediante, generalmente, la generación de una chispa que aporta la energía necesaria para iniciar la ignición.

A grandes rasgos, se puede exponer, que la mayoría de los combustibles se encuentran constituidos a partir de carbono e hidrógeno y es por ello que comúnmente se les denomine también como hidrocarburos. En función del combustible en cuestión, estarán presentes otros compuestos como son: oxígeno, azufre, agua, nitrógeno y material inerte.

El análisis de los combustibles, se puede llevar a cabo por medio de dos metodologías analíticas:

- **Análisis próximo o inmediato:** Representa el contenido de cenizas, carbono fijo, humedad y materia volátil en el caso de combustibles sólidos y humedad y cenizas en el caso de combustibles líquidos.
- **Análisis elemental o último:** Representa el porcentaje en peso de carbono, azufre, nitrógeno, hidrógeno y oxígeno. Se aplica principalmente para combustibles sólidos y líquidos, puesto que para combustibles gaseosos, generalmente se evalúa la composición de cada componente en volumen.

En la siguiente figura, se observa una comparativa entre el análisis elemental y el inmediato en caso de un residuo sólido urbano emplazado como combustible (expresados ambos valores en % en masa):

Tabla 2.6: Comparativa entre análisis inmediato y elemental

(www.scielo.sld.cu/scielo.php)

Parámetro	Norma Analítica	Recibida	Seca
Análisis inmediato			
Humedad	ISO-589-1981	7,05	0,0
Cenizas	ISO-1171-1976	4,23	4,5
Volátiles	ISO-5623-1974	71,67	77,
Carbono Fijo	Por diferencia	17,05	18,
Análisis elemental			
Carbono (%)	Carlo Erba-1108	42,85	46,
Hidrógeno*(%)	Carlo Erba-1108	5,90	5,5
Nitrógeno (%)	Carlo Erba-1108	1,62	1,7
Azufre (%)	Carlo Erba-1108	0,05	0,0
Oxígeno (%)	Por diferencia	49,58	46,

2.2.1 Aplicaciones de los combustibles

Los combustibles, son sustancias cuyo uso es fundamental para el desarrollo de la vida cotidiana por lo tanto están presentes en numerosas aplicaciones. A continuación, se enumeran los principales combustibles utilizados y sus posibles aplicaciones:

1) **Petróleo**: La principal aplicación del petróleo es mediante el uso de sus múltiples derivados, los cuales se pueden utilizar como:

- **Gasolina para motores**: Su principal uso está en los vehículos que disponen de motores de combustión interna.



Figura 2.15: Gasolina para automoción

- **Gasolina de aviación**: Se trata de un tipo de gasolina que se utiliza para los motores de los aviones.

- **Disolventes asfálticos**: Se usa para obtener aceites, adhesivos, pinturas o pegante, para elaborar productos de limpieza, ceras, betunes...



Figura 2.16: Pinturas obtenidas a través de disolventes asfálticos

- **Gas propano o GLP**: Se trata de un tipo de combustible con aplicación doméstica o industrial para la producción de energía, fundamentalmente, térmica.

- **Gasóleo**: Se trata de un hidrocarburo líquido compuesto principalmente por parafinas y cuya aplicación principal es como combustibles en motores diesel o en calefacción.

- **Asfalto:** Se utilizan para producir el material sellante denominado asfalto en la industria de la construcción y en obra civil.
- **Alquilbencenos:** Se usan en la industria química para llevar a cabo la elaboración de detergentes y plaguicidas.

2) **Carbón:** El carbón es un combustible sólido que puede presentar el siguiente grupo de aplicaciones:

- **Generación de energía eléctrica:** Esta aplicación se desarrollo por medio de las centrales térmicas, en la cuales, partiendo de carbón pulverizado se obtiene energía eléctrica.



Figura 2.17: Central térmica

- **Industrias varias:** Se utiliza fundamentalmente como fuente de energía para procesos con altos consumos de la misma como pueden ser fábricas cementeras.
- **Usos domésticos:** Su aplicación fundamental es para conseguir obtener energía térmica que realice labores de calefactado, al llevar a cabo la combustión del mismo permite liberar una gran cantidad de calor que puede ser aprovechado de diversas formas en una vivienda: para calefacción, para agua caliente sanitaria, para cocinar...
- **Coque:** Se trata de un producto que se obtiene al llevar a cabo un proceso de combustión incompleta del carbón, en condiciones de ausencia de oxígeno. Su principal aplicación es como combustible y reductor en la industria, fundamentalmente se utiliza en los altos hornos de la industria siderúrgica.



Figura 2.18: Aplicación del coque en la industria

3) **Gas natural:** En cuanto a las aplicaciones del gas natural, podemos destacar las siguientes:

- **Sector industrial:** Se utiliza principalmente para obtener vapor que se puede utilizar para operaciones de secado, para producción de energía eléctrica, para sistemas de calefacción...

- **Calefacción:** Se trata de uno de los principales combustibles utilizados en los sistemas de calefacción y ACS.

- **Energía:** Tanto para generar energía como en las centrales térmicas.

- **Automoción:** Se utiliza en vehículos destinados al transporte de pasajeros como pueden ser los taxis o autobuses.

4) **Biomasa:** La biomasa es un combustible de origen natural cuyas aplicaciones han sido recientemente descubiertas y que se encuentran en constante desarrollo. Su principal característica es que el combustible es carbono formado por la fotosíntesis en las plantas actuales, lo que garantiza que su combustión no agota recursos energéticos de forma insostenible. Dentro del campo de la biomasa se pueden distinguir por tanto las siguientes aplicaciones:

- **Doméstica:** Se utiliza principalmente en estufas, hogares y calefacciones para la obtención de energía térmica.



Figura 2.19: Estufa de pellets

- **Industrial:** En la actualidad, la energía obtenida a través de la combustión de la biomasa, se está utilizando en hornos cerámicos, en calderas y también en secaderos.
- **Obtención de energía eléctrica:** El procedimiento es similar a la obtención de energía mediante otros combustibles, es decir, se lleva a cabo un proceso de combustión de la biomasa para obtener así energía eléctrica.
- **Transporte:** En la actualidad, una aplicación importante de la biomasa es la obtención de biocombustibles como son el bioetanol y biodiesel los cuales pueden ser aplicados para la automoción. A continuación, se muestran los ciclos para la obtención de dichos biocombustibles:



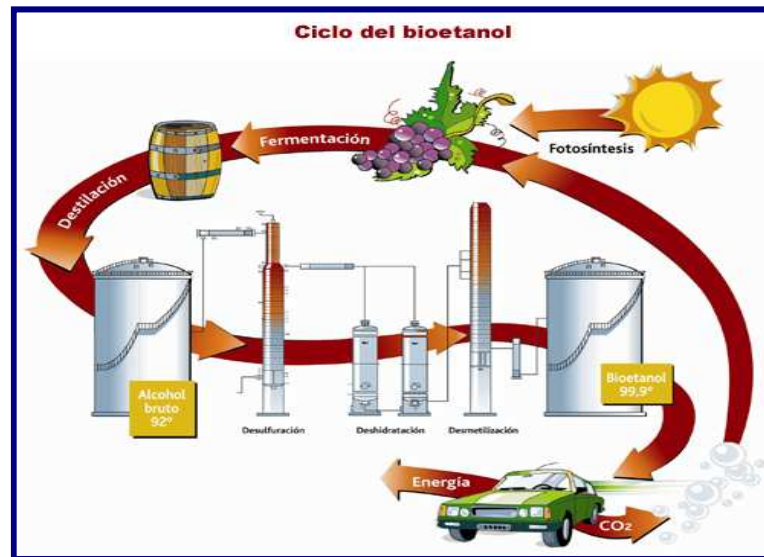


Figura 2.20: Ciclos de obtención de biocombustibles

2.2.2 Tipos de combustibles

Atendiendo al origen, estado físico en el que se encuentran los combustibles, podemos distinguir tres grandes grupos: sólidos, líquido y gaseosos. En los siguientes apartados, se desarrollará cada uno de dichos tipos y dentro de cada grupo, se realizará un estudio más exhaustivo de aquellos combustibles más utilizados para las instalaciones de calefacción y ACS.

2.2.2.1 Combustibles sólidos

Los combustibles sólidos, son aquellos combustibles que se caracterizan por presentar en su composición carbono, hidrógeno, agua, oxígeno y azufre entre otros elementos. Una característica muy particular que presenta este tipo, es que durante el proceso de combustión siempre originan cenizas y probablemente generen inquemados debido a que se hace más difícil el contacto entre el combustible y el comburente.

Para que el proceso de combustión de este tipo de combustibles se desarrolle de manera correcta se requiere de una distribución uniforme de los mismos para facilitar el acceso de aire así como de otros factores en menor medida como son la humedad, temperatura de ignición, velocidad de propagación...

Dentro de los combustibles sólidos, de acuerdo con el estado en que se encuentra la materia podemos distinguir:

- **Carbones:** Turba, lignito, hulla y antracita



Figura 2.21: Tipos de carbones minerales (www.areaciencias.com)

- **Residuos vegetales:** Como los procedente de limpiezas forestales



Figura 2.22: Residuos vegetales (www.energias-renovables.com)

- Carbón vegetal
- Cualquier elemento susceptible de arder

- Briquetas y aglomerados



Figura 2.23: Briquetas para calefacción (www.paletspladurgell.cat)

Existe una gran variedad de productos combustibles sólidos, enumerados anteriormente. Sin embargo, las instalaciones de combustión por biomasa son las que mayor relación tienen con el objeto del presente proyecto, de calefacción y agua caliente sanitaria (ACS) en edificios aunque residualmente se conserven instalaciones de carbón para calefacción y ACS en edificios.

2.2.2.1.1 Tipos de instalaciones: biomasa

A pesar de la existencia de multitud de combustibles sólidos, en este apartado se analizará la biomasa y las instalaciones relacionadas con este combustible, debido a su interés y proyección en las instalaciones de calefacción y ACS en edificios.

Se considera como “biomasa” al conjunto de materiales de origen orgánico, quedando excluidos aquellos definidos como minerales como el carbón y el petróleo. De forma genérica, se puede llegar a considerar que biomasa es toda aquella materia orgánica proveniente de árboles, plantas y desechos de animales que puedan ser aprovechados energéticamente.

Por otro lado, el término biomasa también abarca a aquellas materias o materiales biomásicos que provienen de la agricultura (residuos de maíz, café, arroz...), del

aserradero (podas, ramas, cortezas...) y de los residuos urbanos (aguas negras, basura orgánica y otros).

Las aplicaciones fundamentales de este tipo de combustible son aplicaciones térmicas para producir calor y agua caliente sanitaria, aunque también puede utilizarse para la producción de energía eléctrica. Para llevar a cabo esta producción de existen numerosas instalaciones:

1) Instalaciones de tratamiento y producción de biocombustibles sólidos: En la actualidad, existen sistemas modernos que permiten llevar a cabo un mejor rendimiento de este tipo de combustibles. Dichos sistemas, para lograr alcanzar dicho rendimiento, necesitan disponer de biocombustibles que satisfagan unas determinadas características físicas y químicas, lo cual supone, que dichos combustibles deben ser pretratados en este tipo de instalaciones. En ellas, se desarrollan proceso de extracción y compactación de residuos leñosos, fabricación de pelets...

2) Calefacción en viviendas unifamiliares o comunidades de vecinos: Este tipo de instalaciones han evolucionado desde el aprovechamiento directo de leña hasta modernos equipos con altas prestaciones que permiten obtener un aumento de rendimiento.

En la actualidad, la mayoría de estas instalaciones utilizan como combustible principal los pellets, debido a que se trata de un combustible con un óptimo poder calorífico y un alto grado de compactación que permite disponer de calderas más eficientes y compactas.

Este tipo de instalaciones, precisan de los siguientes equipos o sistemas:

- Un almacén de combustible, bien sea en forma de silo o de tolva.
- Un sistema de alimentación de combustible a través de un tornillo sinfín, de gravedad o neumático.
- Una caldera, la cual, constará de; una cámara para la combustión de la biomasa, una zona de intercambio y un receptáculo para cenizas y para humos.

- Una chimenea de diámetro superior al convencional debido al mayor volumen de humos y forma de vapor agua producidos.
- Un sistema o red de distribución de calor de características semejantes a las de una red convencional.
- Un sistema de regulación y control.

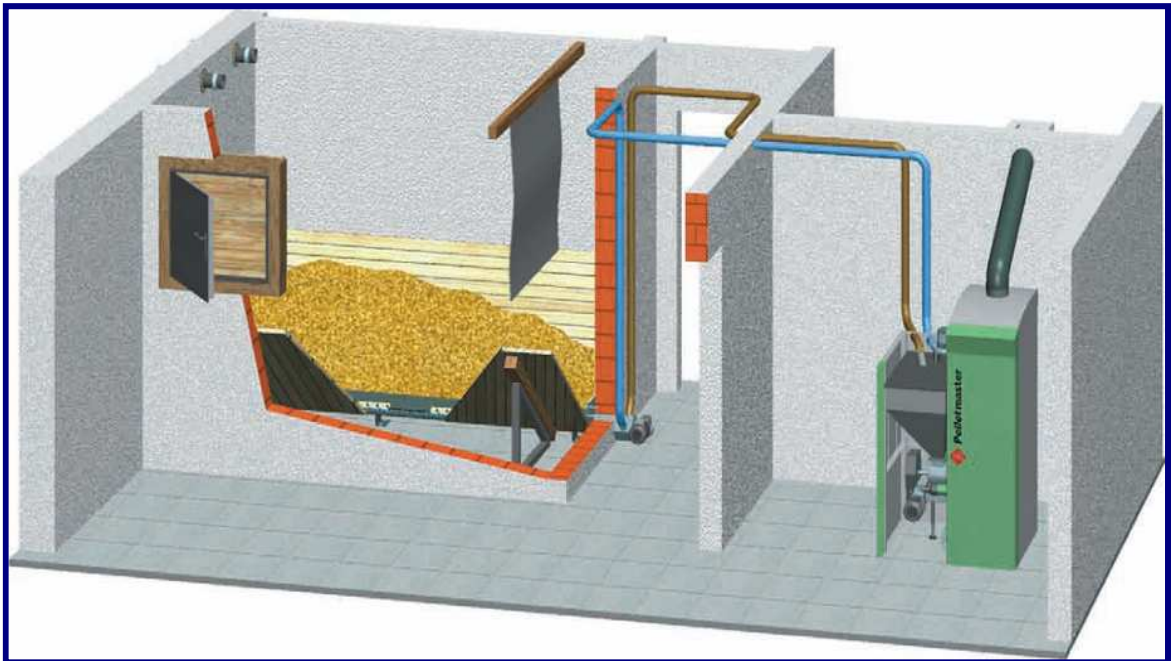


Figura 2.24: Instalación de calefacción de biomasa para vivienda unifamiliar

3) Instalaciones industriales alimentadas con biomasa: Este tipo de instalaciones se basan en llevar a cabo un proceso a través del cual utilizan los residuos que se hayan generado durante su actividad. Esta nueva aplicación que se lleva a cabo a través de los residuos permite un importante aumento de la rentabilidad del proceso productivo, que se está aplicando fundamentalmente en el campo de industria agroalimentaria así como en la forestal. Por otro lado, cabe destacar que se trata de un campo que se encuentra atravesando procesos de mejora, tanto a nivel de eficiencia como en sistemas y equipos de control.

Otra parte muy importante dentro de este tipo de instalaciones son las de cogeneración, es decir, aquellas instalaciones en la que se utiliza la biomasa para la producción de energía eléctrica y además se aprovecha el calor residual generado en el proceso.

2.2.2.2 Combustibles líquidos. Tipos de instalaciones: gasóleo

Los combustibles líquidos se definen como el grupo de combustibles derivados del petróleo o alquitrán de hulla y los biocombustibles, que puede ser utilizados para la obtención de energía y que se caracterizan por poseer un elevado grado de volatilidad.

Estos combustibles líquidos, atendiendo a su procedencia se pueden clasificar en tres grupos:

- **Derivados del petróleo.**
- **Alcoholes.**
- **Combustibles residuales.**
- **Biocombustibles.**

Este tipo de combustibles, presenta una serie de ventajas entre las cuales cabe destacar las siguientes:

- Un combustible líquido pesa en torno a un 30% menos que un combustible sólido, presentando ambos combustibles el mismo calor de combustión. En la tabla 2.7, se muestra una comparativa entre densidad y poder calorífico en combustibles sólidos y líquidos.

Tabla 2.7: Comparativa densidad-poder calorífico

Combustible	Densidad (kg/m³)	Poder calorífico (kJ/kg)	
		PCI	PCS
Turba	360	21.300	22.500
Lignito	1050	28.400	29.600
Gasolina	850	42.275	43.115
Queroseno	780	43.400	46.500

- Permiten un transporte fácil mediante el uso de tuberías y sus características se mantienen constantes durante el almacenamiento.

-No presentan limitaciones de forma para los recipientes de contención.

- Las combustiones realizadas a partir de dichos combustibles son relativamente fáciles de controlar.

Por todo ello, debido a que los combustibles derivados del petróleo son los combustibles líquidos más utilizados en instalaciones de calefacción y ACS en edificios en el siguiente apartado se desarrollará por el gasóleo y sus instalaciones.

2.2.2.2.1 Tipos de instalaciones: Gasóleo

El gasóleo o gasoil, es un combustible líquido derivado del petróleo, compuesto principalmente por parafinas. Este combustible, se presenta en forma de líquido viscoso de color amarillento con olor fuerte. Sus aplicaciones principales son dos: como combustibles para motores diésel o como combustible de calefacción que serán los que se van a tratar en este apartado.

El gasóleo, se puede clasificar en los siguientes tres grupos:

- **Gasóleo A:** Se trata del grupo de hidrocarburos utilizados para la automoción.
- **Gasóleo B:** Este grupo se utiliza fundamentalmente para usos agrícolas.
- **Gasóleo C:** Es el combustible utilizado en las instalaciones de calefacción.

Las instalaciones de este tipo de combustible están constituidas por un conjunto de elementos convencional, es decir, una caldera con sistema de humos, una línea de alimentación de combustible y dispositivo de almacenamiento del mismo. El funcionamiento de esta instalación se basa en llevar a cabo la combustión del gasóleo en la caldera, lo cual, permite calentar el agua que se distribuye creando el sistema de calefacción. Debido a que el elemento más específico de este tipo de instalaciones es el almacenamiento, será donde se profundizará a continuación.

Para llevar a cabo el almacenamiento de este tipo de combustibles se recurre al uso de un dispositivo específico. Existen diversos tipos de tanques en función del tipo de instalación, los cuales, se muestran en la figura 2.25 y se explican a continuación.

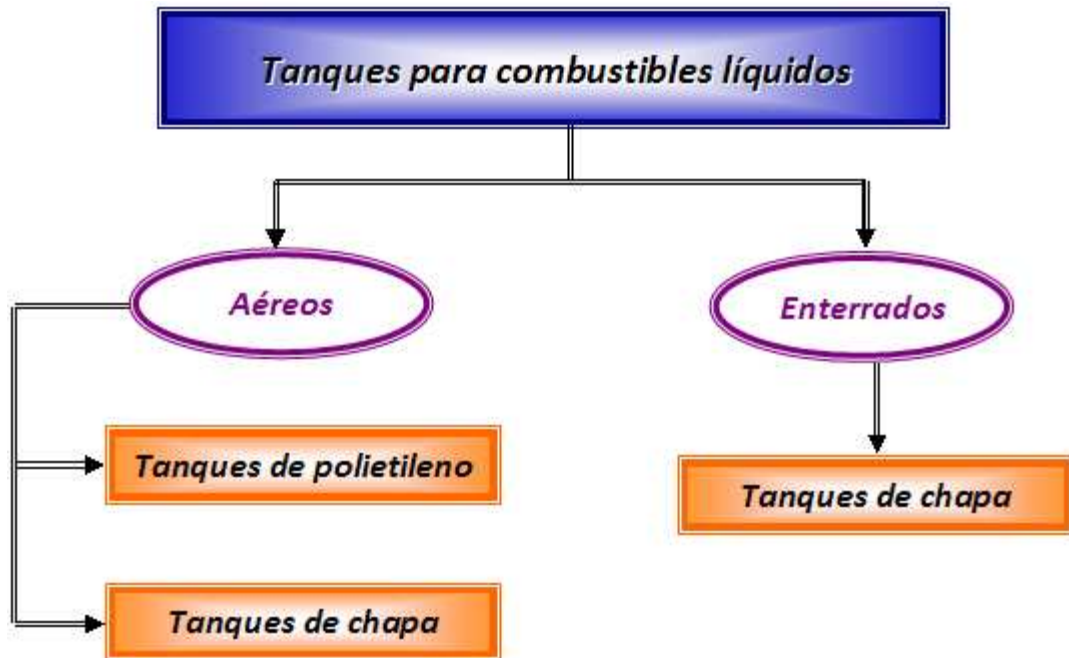


Figura 2.25: Clasificación de los tanques de gasóleo (*elaboración propia*)

Los tanques de almacenamiento se pueden ubicar tanto en el interior como en el exterior, en función de la disponibilidad de espacio existente, y en ambos casos podrán ser tanto aéreos como enterrados. El dimensionado de este tipo de tanques, se llevará a cabo en función del consumo que se estime en el mes más desfavorable.

Actualmente, en las instalaciones de gasóleo podemos encontrar los dos siguientes tipos de tanques:

1) Tanques de polietileno: Este tipo de instalaciones se utilizan en instalaciones de calefacción de tamaño reducido, aunque si se lleva a cabo una disposición en batería de los mismos se puede llegar a aplicar en instalaciones de mayor tamaño.

Este tipo de tanques, están fabricados a partir de polietileno, generalmente presentan forma rectangular y permiten almacenar un máximo de 2 000 litros, valor que se podría aumentar disponiendo de sucesivos tanques en batería.



Figura 2.26: Tanques de polietileno (catálogo SGC servicios)

Los tanques de polietileno cuentan con un recubrimiento que permite proteger contra la corrosión y deberán estar ubicados en cuartos altamente ventilados.

2) Tanques de chapa de acero: Este tipo de instalaciones se utilizan en instalaciones de calefacción medianas y grandes.

Se trata de tanques de forma cilíndrica, que en caso de ser aéreos requerirán de un recubrimiento con pinturas especializadas y presentan tanques con capacidades comprendidas entre 1 000 y 10 000 litros (figura 2.27).



Figura 2.27: Tanque de gasoil de chapa de acero

Debido a las dimensiones que presentan este tipo de tanques, será necesario que dispongan de una boca denominada boca *de hombre*, que consistirá en un orificio que permita llevar a cabo inspecciones del mismo, la salida, carga y medida del gasóleo y la ventilación del mismo.

2.2.2.3 Combustibles gaseosos

Se define como combustibles gaseosos al conjunto de gases que pueden ser utilizados para la obtención de energía mediante un proceso de combustión. Estos gases, pueden ser o bien productos obtenidos de forma natural o bien subproductos de diversos procesos que permiten ser aplicados como combustible.

Los combustibles gaseosos se pueden clasificar de la siguiente manera:

- **Gas natural**
- **Combustibles artificiales**
- **Gases licuados de petróleo**
- **Biogás**

Este tipo de combustibles se caracterizan porque no dejan cenizas durante el proceso de combustión y necesitar ser sometidos a procesos de compresión para facilitar su utilización lo que da lugar a que su uso sea más peligroso que en el caso de los combustibles sólidos o líquidos.

2.2.2.3.1 Tipos de instalaciones: gas natural y propano

De los diferentes tipos de combustibles gaseosos, los más representativos como empleados en instalaciones de calefacción y ACS son el gas natural y los GNL (gases licuados de petróleo), los cuales se desarrollan a continuación:

- **GAS NATURAL**

Se trata de un combustible constituido a partir de una mezcla de hidrocarburos gaseoso, siendo el principal constituyente el metano. Este tipo de gas se encuentra bajo la superficie terrestre y deberá ser extraído mediante la aplicación de técnicas mineras. En

numerosas ocasiones, este gas, se obtiene como elemento asociado a los yacimientos de petróleo. Una vez que este gas se ha obtenido, se transporta por medio de gaseoductos hasta las instalaciones de distribución y consumo.

Según el *manual de Gas Natural*, los tramos de las instalaciones receptoras se encuentran clasificados en función de la presión disponible en dichos tramos. Dicha clasificación sería:

- **Alta presión:** Presión superior a 4 bar efectivos (o relativos). Las instalaciones que se encuentran alimentadas en alta presión son aquellas instalaciones industriales, generalmente de gran capacidad. Este tipo de instalaciones, no son objeto de estudio en este documento.
- **Media presión B:** Presión comprendida entre 0,4 y 4 bar efectivos(o relativos).
- **Media presión A:** Presión comprendida entre 0,05 y 0,4 bar efectivos(o relativos).
- **Baja presión:** Presión inferior o igual a 0,05 bar efectivos(o relativos).

Además en este tipo de instalaciones cuentan con un conjunto de regulación, el cual, consiste en un regulador de presión y otros elementos accesorios. Este regular, permite realizar una reducción de la presión aguas abajo a un valor inferior.

Además, este tipo de instalaciones cuenta también con dispositivos de corte de suministro y limitadores de caudal.

- PROPANO

El propano es un combustible comúnmente denominado como GLP (gases licuados de petróleo) cuyas instalaciones de propano están constituidas por una red de tuberías de alimentación y de distribución y una caldera de calefacción y ACS donde se efectúa la combustión y un almacenamiento de combustible.

En cuanto a dichas instalaciones, la parte diferencial en este tipo de combustibles, será el almacenamiento para el combustible. Dicho almacenamiento se podrá llevar a cabo a través de:

- **Depósitos de superficie o enterrados:** Los depósitos de superficie se denominan comúnmente como depósitos aéreos debido a que se encuentran ubicados al aire libre (figura 2.28). Para poder recurrir a este tipo de almacenamientos, la ubicación deberá disponer de una serie de requerimientos de seguridad. Estos almacenamientos deberán cumplir el RD 919/2006 de 28 de Julio.



Figura 2.28: Depósito de superficie

En cuanto a los depósitos enterrados, se definen como aquellos que se encuentran ubicados por debajo del nivel del suelo, quedando por tanto su generatriz superior a una distancia de entre 30 cm y 50 cm de dicho nivel. Dentro de este subgrupo, podemos distinguir los semienterrados, que son aquellos depósitos que a raíz de una serie de circunstancias específicas no cumplen con la profundidad determinada para ser considerados enterrados.

- **Depósitos móviles de más de 15 kg:** Estos depósitos permiten contener hasta 35 kg de propano en dispositivos de forma, dimensiones y composición característicos que se suelen denominar bajo el término “botellas I-350” (figura 2.29). Estos dispositivos se suelen ubicar en casetas específicas ubicadas en el exterior de los edificios, donde dispondrán de una caseta específica para su uso. Este tipo de dispositivos se caracterizan por un montaje en dos baterías, disponiendo una para su uso y dejando la otra en reserva, de esta forma, se consigue mantener una garantía de suministro

constante. Para llevar a cabo el cambio de la batería de servicio a la de reserva se utiliza una válvula específica que presenta 3 vías, la cual, se denomina inversor.



Figura 2.29: Botella L-350 (catálogo Repsol)

- **Botellas de contenido inferior a 15 kg:** Se caracterizan principalmente por su uso doméstico constituida en forma de botellas de propano, tal y como se muestra en la siguiente figura:



Figura 2.30: Botella de propano de 11 kg (catálogo Repsol)

3 INSTALACIONES DE CALEFACCIÓN Y PRODUCCIÓN DE ACS

Habitualmente la temperatura media del ambiente exterior de un edificio, en la mayor parte de las zonas de España, es claramente inferior a la temperatura de confort en la vivienda. Esta circunstancia hace necesario un aporte de calor extra que da lugar a la instalación, de forma particularmente imprescindible de un sistema de calefacción.

La forma más económica y eficiente de un sistema de calefacción, consiste habitualmente en el aprovechamiento del poder calorífico de un combustible.

No obstante, un sistema de generación de ACS, además de proporcionar un mayor nivel de confort produce una mayor eficiencia en las tareas de lavado, ya que disminuye el consumo de agua. Incluso son cada vez más los electrodomésticos de lavado que incluyen una toma de ACS, que aumenta de forma importante la eficiencia del electrodoméstico, porque no tiene que calentar agua fría con energía eléctrica para obtener la temperatura de objeto de trabajo.

De este modo, cualquier sistema que aproveche la combustión como medio de generación de calor puede entenderse como sistema de calefacción. Por lo tanto, podrán considerarse las estufas, chimeneas como generadores de calor, pero con el inconveniente de que produce la combustión en la misma estancia donde se precisa el calor.

Un sistema de calefacción formado por generador de calor, en la sala de calderas, sistema de distribución y emisores del calor, en las estancias o locales a calefactar, como el que se describe en el presente capítulo tiene como principal ventaja que aleja la combustión de los lugares ocupados por las personas.

De forma general, un sistema de calefacción y ACS como el de la figura 3.1 está constituido por los siguientes elementos:

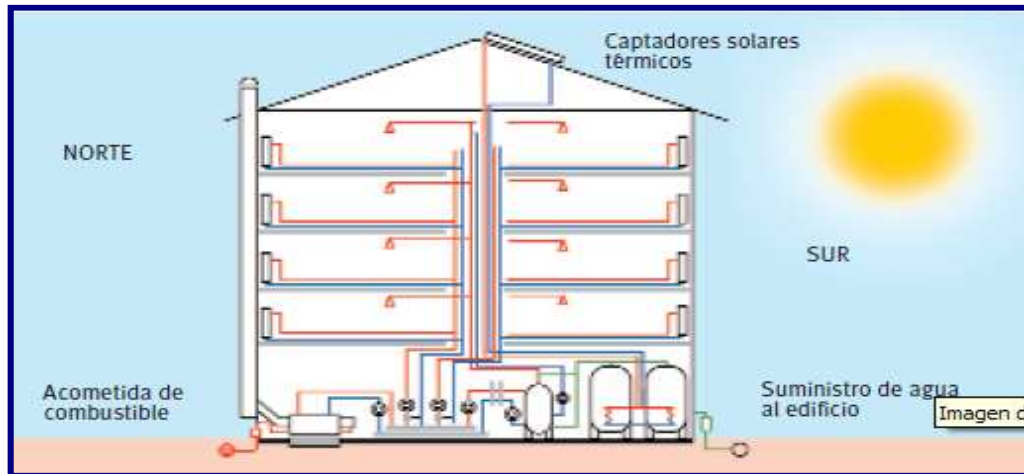


Figura 3.1: Esquema general de una instalación de calefacción y ACS en un edificio de viviendas (www.idae.es)

- **Conjunto generador de calor:** El calor que se requiere para las instalaciones de calefacción y ACS se produce mediante el conjunto quemador-caldera-chimenea. En líneas generales, el proceso se inicia en el quemador donde se lleva a cabo la combustión del combustible, a continuación los gases a alta temperatura que se generan transmiten su calor al fluido caloportador en la caldera y finalmente los gases a baja temperatura son expulsados por la chimenea.

- **Sistema de distribución:** Se trata del conjunto de elementos que se encargan de transportar el fluido caloportador desde el conjunto generador hasta los emisores de calor encargados de calefactar la estancia y de llevar a cabo la distribución del agua caliente sanitaria.

- **Sistema de emisores:** Se trata de aquellos dispositivos que se encargan de distribuir el calor del conjunto generador a la estancia para alcanzar así una temperatura de confort. Estos dispositivos pueden ser de varios tipos como: radiadores, fan-coils, aerotermos etc.

- **Acumuladores:** Se trata de aquellos dispositivos destinados a conjugar producción y consumo. De modo que se trata de dispositivos donde se realiza una acumulación de ACS a una temperatura de 70°C, para su posterior consumo.

En la siguiente figura, se muestra un esquema muy simplificado de los que sería un sistema de calefacción y ACS, que posteriormente se desarrollará en este capítulo:

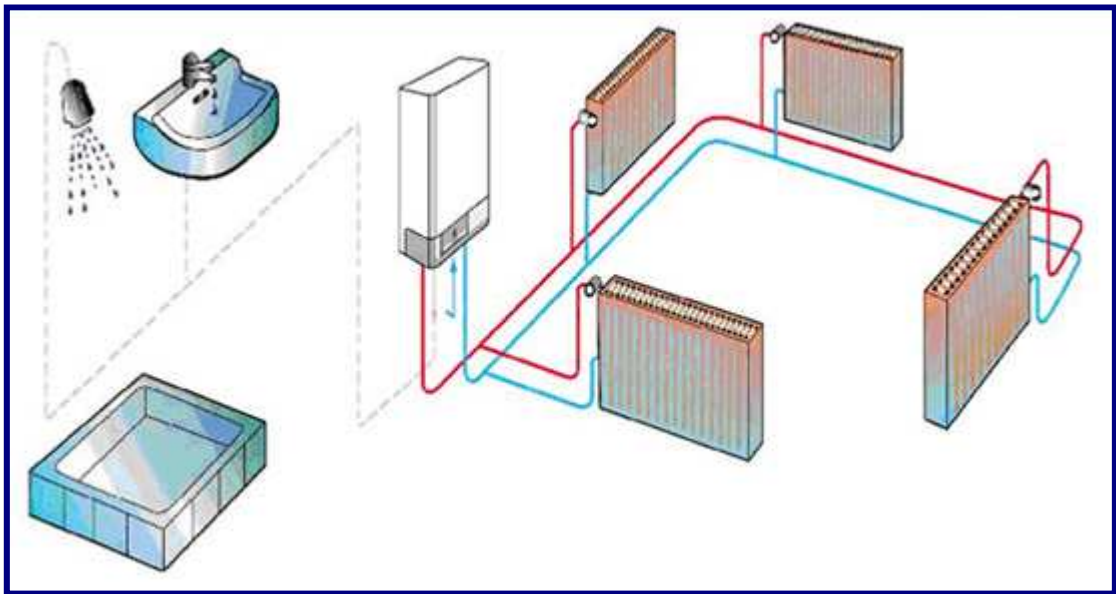


Figura 3.2: Esquema simplificado de un sistema de calefacción y ACS (www.generbio.es)

Como se ha indicado anteriormente de producción centralizada de ACS suelen compartir elementos comunes e integrarse en el sistema de calefacción de los edificios. La generación de calor que en la caldera es aprovechada para todos los servicios térmicos del edificio. La caldera o calderas, de este modo, se conecta con los colectores desde los que parten los diferentes servicios de calefacción y el circuito primario del ACS.

El agua de consumo se lleva desde la instalación para suministro de agua del edificio hasta la sala con una derivación exclusiva para este uso.

Debido a que el agua de calderas no es apta para el consumo humano, siempre deben existir intercambiadores en cuyo interior se transfiera el calor de las calderas (primario) al ACS (secundario) sin que exista mezcla entre ambos circuitos.

Una vez calentada el agua se distribuye por todo el edificio hasta los puntos de consumo, mediante una red de tuberías exclusivas para este servicio.

Como las distancias que normalmente existen entre los puntos de producción y los de consumo son largas, si no se adoptasen medidas para ello, los usuarios deberían

esperar un tiempo excesivo para recibir el ACS, lo que implicaría consumos innecesarios de agua, además de la correspondiente falta de confort. Para evitarlo, las instalaciones centrales cuentan con los circuitos de recirculación, que consisten en una red de tuberías que retornan el agua desde los puntos de consumo más alejados, hasta el lugar de producción, mediante bombas de recirculación, que la mueven continuamente por toda la instalación, manteniendo las tuberías a la temperatura adecuada para el uso, de manera que salga de forma prácticamente inmediata por los grifos.

Por la forma de producción del ACS se distinguen dos tipos de instalaciones, con o sin acumulación; respecto a las distribuciones todas las instalaciones son similares.

- **Producción instantánea:** La característica más destacable de los sistemas de producción instantánea es que el diseño de los intercambiadores está condicionado al momento de máxima demanda de la instalación, pues en ellos el agua de calderas calienta el agua de consumo al mismo tiempo que se demanda.

Como elementos auxiliares estos sistemas requieren de bombas en el circuito primario, encargadas de hacer circular el agua de los colectores de calderas a los intercambiadores.

- **Producción con acumulación:** Para reducir la potencia necesaria en producción y al mismo tiempo obtener funcionamientos más homogéneos de la instalación se utilizan los sistemas con acumulación en depósitos en los que se mantiene el agua caliente hasta el momento de su uso, de manera que en las puntas de demanda del edificio se utiliza el agua acumulada, solicitándose una potencia inferior a la del sistema de producción.

Además, deberá tenerse en cuenta que la legionelosis es una grave consecuencia de la existencia de agua acumulada a temperaturas próximas a las del cuerpo humano. En la producción de ACS se establecen unas condiciones de funcionamiento específicas, que habitualmente serán:

- El agua se debe acumular a una temperatura de al menos 60 °C.
- Se deben asegurar que el agua no baja de los 50 °C en los puntos más alejados.

- La instalación permitirá que el agua alcance los 70 °C en ocasiones puntuales.

Cuando se utilice un sistema de aprovechamiento térmico en el que se disponga de un acumulador conteniendo agua que va a ser consumida y en el que no se asegure de forma continua una temperatura próxima a 60 °C, se garantizará posteriormente que se alcance una temperatura de 60 °C en otro acumulador final antes de su distribución hacia el consumo.

La temperatura del agua fría se debe mantener lo más baja posible procurando, donde las condiciones climáticas lo permitan, una temperatura inferior a los 20 °C. Para ésto, las tuberías estarán suficientemente alejadas de las de agua caliente, o en su defecto, aisladas térmicamente.

Disponer en el agua de aporte de sistemas de filtración según la norma UNE-EN 13.443 parte 1, filtros mecánicos de partículas, de dimensiones comprendidas entre 80µm y 150µm.

Facilitar la accesibilidad a los equipos para su inspección, limpieza, desinfección y toma de muestras.

Disponer de un sistema de válvulas de retención según la norma UNE-EN 1.717, que evite retornos de agua por pérdida de presión o disminución del caudal suministrado y, en especial, cuando sea necesario, para evitar mezclas de agua de diferentes circuitos.

3.1 Definiciones y clasificación de las instalaciones

Una vez contextualizados el tipo de instalación que se aborda en este tema y para poder llevar a cabo un correcto análisis de dichas instalaciones, se deberán poseer una serie de conocimientos que permitan asimilar la información sobre dicho tema, para lo cual, será necesario definir un conjunto de conceptos. A continuación, se exponen un conjunto de conceptos relacionados con instalaciones de calefacción y ACS:

1) De forma general: Cuando se analizan instalaciones de estas características se deberán conocer los siguientes conceptos:

- **Calefacción:** Proceso por el que se controla solamente la temperatura del aire de los espacios con carga negativa.

- **Climatización:** Acción y efecto de climatizar, es decir de dar a un espacio cerrado las condiciones de temperatura, humedad relativa, calidad del aire y, a veces, también de presión, necesarias para el bienestar de las personas y/o la conservación de las cosas.

- **Calor Residual:** Calor que es necesario evacuar para asegurar el funcionamiento de cualquier proceso y que puede ser aprovechado total o parcialmente como calor útil; en especial el necesario evacuar para asegurar el funcionamiento del ciclo termodinámico de producción de energía eléctrica o mecánica, (en equipos de cogeneración), o de bombas de calor y que puede ser también aprovechado total o parcialmente como calor útil. Captador solar térmico: dispositivo diseñado para absorber la radiación solar y transmitir la energía térmica así producida a un fluido de trabajo que circula por su interior.

- **Energía residual:** Energía que se puede obtener como subproducto de un proceso principal.

2) Instalaciones: En este apartado se definen los conceptos relacionados con aquellos dispositivos que constituyen dichas instalaciones:

- **Caldera:** Equipo a presión en el que el calor procedente de cualquier fuente de energía se transfiere a los usos térmicos del edificio por medio de un circuito de agua cerrado. No se incluyen en esta definición aquellos equipos basados en motores de combustión interna o externa, los de cogeneración o bomba de calor.

- **Calentador de agua caliente sanitaria a gas:** Todo aparato dedicado exclusivamente a la producción de agua caliente sanitaria en el que el calor procedente de la combustión de combustibles gaseosos, es transferido directamente por medio de un circuito abierto al agua de consumo.

- **Equipo autónomo de generación de calor:** Es el equipo, compacto o no, que contiene todos los elementos necesarios para la producción de calor, dentro de un único cerramiento, preparado para instalar en el exterior del edificio y realizar el mantenimiento desde el exterior del mismo.

- **Equipo de energía de apoyo:** Generador que complementa el aporte solar y cuya potencia térmica es suficiente para que pueda proporcionar la energía suficiente para cubrir la demanda prevista.
- **Fluido portador:** Medio empleado para transportar energía térmica en las canalizaciones de una instalación de climatización.
- **Generador:** Equipo para la producción de calor o frío.

3.1.1 Clasificación de las instalaciones

En primer lugar, es importante analizar una comparativa entre lo que es un sistema de calefacción y un sistema de climatización.

Por un lado, el sistema de calefacción está constituido por una serie de dispositivos cuya misión es mantener en el local a calefactar una temperatura superior a la temperatura exterior al mismo. En contraposición, un sistema de climatización, es un conjunto de dispositivos que permiten obtener un ambiente de confort, para lo cual, incluyen además de los sistemas de calefacción otra serie de funciones como son la regulación de la temperatura <en épocas calurosas, el control de la humedad ambiental así como también de la limpieza y distribución del aire en el ambiente.

EJEMPLO 3.1: Concepto de calefacción

Supóngase una vivienda convencional siendo la temperatura exterior a ella de 4 °C, la calefacción de la misma será la encargada de mantener una temperatura superior a la exterior de por ejemplo 21°C.

EJEMPLO 3.2: Concepto de climatización

Supóngase una discoteca donde es necesaria la afluencia de público, que provoca una elevación excesiva de la temperatura. Un exceso de humedad y un ambiente cargado, en este caso hace necesario un sistema de climatización, que enfríe la estancia, elimine la humedad desagradable (seque el aire) y promueva un sistema de renovación de aire.

Existen multitud de criterios a través de los cuales se puede llevar a cabo la clasificación de estas instalaciones. A continuación se destacan los más importantes:

1) Según el alcance: Para poder llevar a cabo una definición sobre el alcance de las instalaciones de calefacción se debe recurrir a Normas UNE:

- **Instalación Unitaria:** Se trata de aquella instalación en la que la producción calor se produce de forma independiente como es el caso de estufas, acumuladores eléctricos, convectores, aparatos de ventana etc. Este tipo de instalaciones se considera en aquellas zonas donde, debido a su clima invernal, esta disposición reporta ventajas económicas a su usuario.

- **Instalación individual:** Se trata de aquella instalación en la que la producción calor es independiente para cada usuario.

- **Instalación colectiva:** Es una instalación centralizada en la que la producción de calor sirve a un conjunto de usuarios dentro de un mismo edificio.

2) Según la forma de obtener el calor: En este tipo de instalaciones, el calor se puede obtener de diferentes formas, y en función de dicho proceso se pueden distinguir:

- **De combustibles convencionales:** Consiste en el método más habitual para la obtención de calor. Dicho proceso (figura 3.3), radica en el uso de calderas en las que se lleva a cabo un proceso de combustión de un combustible (gasóleos, combustibles sólidos, biomasa...) el cual, genera calor que calienta el agua.

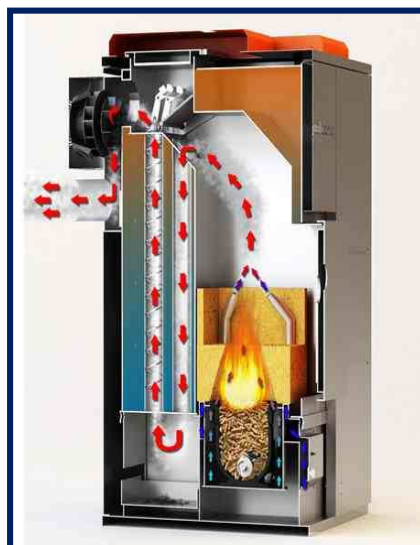


Figura 3.3: Caldera convencional de biomasa (www.biomass.cl)

En este ámbito, en cuanto a rendimientos, las instalaciones individuales presentan menor rendimiento que las centralizadas.

- **Termodinámicos:** Se trata de aquellos equipos, que son principalmente de frío en los cuales invirtiendo el proceso permiten generar calor consumiendo electricidad. En este punto, podemos destacar por ejemplo una bomba de calor, la cual, permite generar calor absorbiendo energía a baja temperatura. Este tipo de equipos se caracterizan por presentar un funcionamiento basado en un ciclo termodinámico de compresión, cuyos elementos se pueden observar en la figura 3.4.

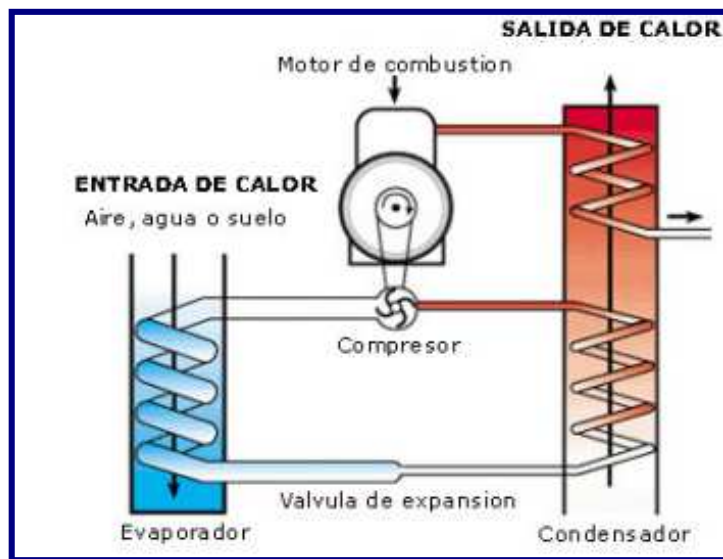


Figura 3.4: Bomba de calor con motor de combustión a gas (www.idae.es)

- **Instalaciones de calefacción eléctrica:** Este tipo de instalaciones se basan en la obtención de calor por aplicación del efecto Joule, es decir, se recurre al uso resistencias eléctricas.

- **Calefacción solar:** En estas instalaciones, se dispone de una serie de colectores térmicos o solares que captar la energía del sol y la transforman en energía calorífica que se transfiere al agua que se distribuye por la instalación. Conviene destacar que la mayor parte de las instalaciones de paneles solares térmicos tienen como finalidad la generación de ACS. Esto es debido a que una instalación de calor solar exige la instalación de elementos emisores a baja temperatura, como son el suelo radiante o radiadores de baja temperatura. A continuación, en la figura 3.5 se representa un ejemplo de instalación solar en un edificio.



Figura 3.5: Colectores solares para instalaciones de calefacción y ACS (www.idae.es)

- **Calefacción por aire caliente:** En este caso se consigue calentar el aire mediante el uso de un quemador, que posteriormente se envía al exterior mediante el uso de un ventilador.

3) En función del fluido caloportador utilizado: Este fluido va a ser el encargado de transportar el calor generado hasta los recintos donde se desea llevar a cabo el proceso de calefactado, por ello distinguimos:

- **Sistemas con agua:** En este caso, el agua que actúa como fluido caloportador se calienta mediante un proceso de combustión en el interior de una caldera a partir de donde se distribuye mediante una red de tuberías. Se recurre al uso de agua como fluido caloportador debido a que es un recurso barato y de fácil transporte. Sin embargo, este sistema requiere de un correcto diseño de la red de tuberías para evitar problemas de corrosión de las mismas.

- **Sistemas con aire:** Este sistema se basa en llevar a cabo un calentamiento del aire en un generador de aire caliente, para posteriormente distribuirlo por conductos hasta las rejillas de los espacios a calefactar. Se suele utilizar en instalaciones pequeñas o medianas.

- **Sistemas con vapor:** Este sistema tiene su aplicación en instalaciones de gran tamaño, donde a partir una determinada cantidad de agua se transforma en vapor, el cual, posteriormente se dirige por medio de tuberías a las unidades terminales.

- **Sistemas con aceite:** En este sistema el fluido caloportador es el aceite el cual presente óptimas características térmicas así como una elevada viscosidad, lo que permite reducir coste de bombeo en grandes instalaciones, que es donde se suele recurrir a este tipo de sistema.

4) En función del elemento terminal: Este tipo de elemento terminal puede ser de múltiples tipos, entre los cuales destacan:

- **Instalación mediante radiadores de agua:** Se trata del método convencional de calefacción de instalaciones, el cual, consiste en una serie de radiadores distribuidos por dichas zonas que emiten calor bien sea mediante radiación o mediante convección.

- **Instalación mediante convectores:** Se trata de dispositivos cuyo funcionamiento radica en llevar a cabo la transmisión de calor mediante convección. Para ello, estos equipos (figura 3.6), constan de un serpentín que transfiere calor al agua caliente mediante contacto.



Figura 3.6: Instalación de calefacción mediante convectores

- **Instalación mediante fan-coils:** Este tipo de dispositivos (figura 3.7) funcionan de forma similar a los convectores, sin embargo, están constituidos por un ventilador que lleva a cabo el proceso de propulsión del aire caliente con lo que se obtiene un rendimiento mayor en el serpentín. Este tipo de dispositivos presenta como característica relevante, que en caso de que el proceso se lleva a cabo utilizando agua fría en la alimentación pueden permitir un enfriamiento de la instalación.

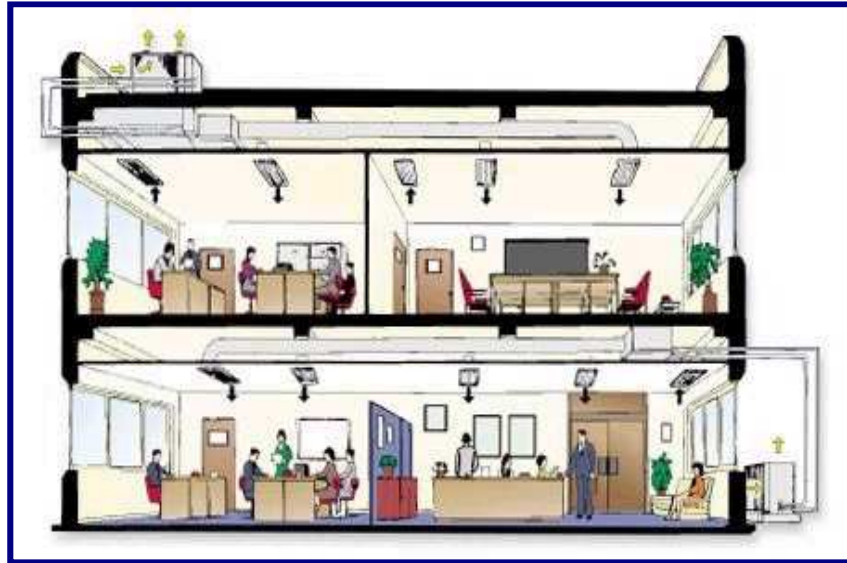


Figura 3.7: Instalación de calefacción mediante fan-coils de techo

(www.renovastore.com)

• **Instalaciones mediante aerotermos:** Se trata de elementos constituidos por una batería a través de la cual circula el agua caliente, detrás de la cual se encuentra ubicada un ventilador helicoidal que es el encargado de hacer que el aire circule a través de la batería, y dicho aire caliente es el que se evacúa a la zona a calefactar. Este mecanismo, se suele utilizar en zonas de gran tamaño. En la siguiente figura, se puede observar un ejemplo de una instalación mediante aerotermos:



Figura 3.8: Instalación de calefacción mediante aerotermos (www.jaga.info)

3.2 Partes y elementos constituyentes

Para llevar a cabo un correcto análisis de las instalaciones de calefacción y ACS, analizaremos las partes de cada una por separado, es decir, por un lazo se analizará los componentes que son indispensables para un sistema de calefacción y por el otro se analizarán los que se requieren en el caso de la generación de ACS.

1) Calefacción: Las instalaciones de calefacción se encuentran constituidas por los siguientes constituyentes principalmente:

- **Generador:** Se trata del elemento fundamental de la instalación puesto que este será el encargado de producir el calor que posteriormente se utilizará para calefactar una estancia determinada. El generador, se suele denominar al conjunto constituido por la caldera, el quemador y la chimenea. Es decir, se trata del conjunto en el cual se lleva a cabo un proceso de combustión entre un combustible y un comburente, y a partir del cual se produce el calor que posteriormente será transferido al fluido caloportador.

- **Emisores:** Los emisores o equipos terminales, son aquellos dispositivos que se encargan de ceder calor a las zonas a calefactar. A grandes rasgos, se podría definir como recipientes de paredes con baja resistencia al paso del calor a través de los cuales circula el fluido caloportador. Dentro de este grupo de emisores, lo más frecuentes son los conocidos comúnmente como radiadores (figura 3.9), bien sean de elementos o de panel. Otros emisores menos utilizados serían las superficies radiantes, los fan-coils y los aerotermos.

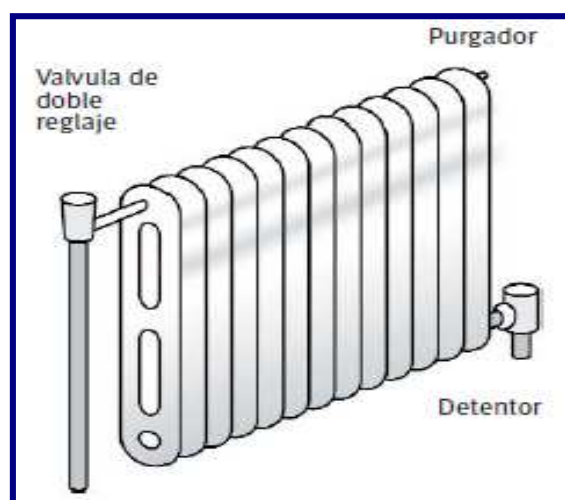


Figura 3.9: Esquema de un radiador (www.idae.es)

- **Circuito:** Se encuentra constituido por la red de tuberías (figura 3.10) debidamente aisladas a través de la cual circula el fluido caloportador desde el generador hasta los emisores permitiendo el calefactado de las estancias.

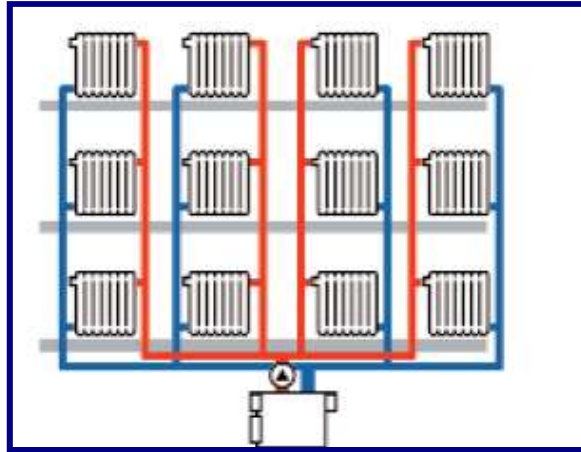


Figura 3.10: Esquema de un circuito de distribución de calor (www.idae.es)

- **Dispositivos de control:** En este punto, se engloban todos aquellos dispositivos que permiten llevar a cabo un control del proceso de calefactado, como son: válvulas de paso y coarte, llaves de radiador, detentores, purgadores...En la siguiente figura, se puede ver dos ejemplos de válvulas:



Figura 3.11: Radiador con conexión bitubo con llave de corte (superior) y detentor de reglaje (inferior) (www.idae.es)

- **Aparatos de regulación:** Estos aparatos permiten llevar a cabo la regulación de las instalaciones o de partes de ellas. Dentro de ellos destacan:

- *Termoestato*: Consiste en el dispositivo encargado de llevar a cabo el corte del circuito cuando se ha alcanzado una temperatura preestablecida, con lo que se consigue mantener el fluido a dicha temperatura, tal y como se muestra en la siguiente figura:



Figura 3.12: Termoestato de una instalación de calefacción (www.idae.es)

- *Termómetro*: Dispositivo encargado de analizar que la temperatura de funcionamiento de la caldera oscila entre valores óptimos.
- *Manómetro*: Dispositivo que permite llevar a cabo una regulación de la presión de la instalación de calefacción.

En la figura que se muestra a continuación, se representa un esquema de dichos elementos de una instalación de calefacción.

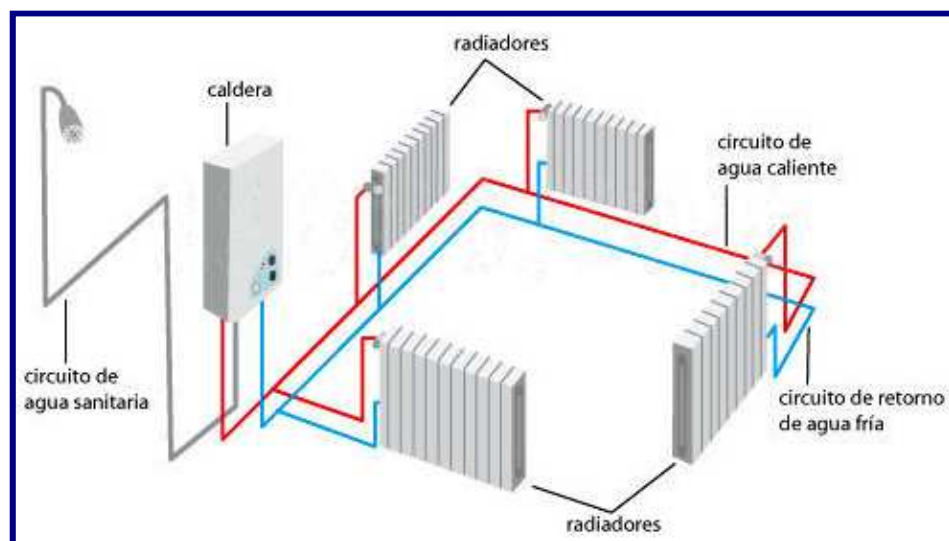


Figura 3.13: Esquema de un circuito de calefacción (www.veranoinstalaciones.com)

2) Instalación de ACS: Las instalaciones de calefacción cuentan con una parte fundamental destinada a la producción y almacenamiento de agua caliente sanitaria (ACS), es decir, agua destinada al uso doméstico. Los principales elementos que constituyen estas instalaciones son:

- **Intercambiador:** Estos dispositivos permiten mantener las características del agua en cuanto a sanidad se refiere, debido a que el agua de caldera se deberá separar siempre del agua de consumo. Los intercambiadores producen además la transferencia de calor al agua. Los intercambiadores pueden ser fundamentalmente de tres tipos: de placas, tubulares o de doble pared. En la figura que se muestra a continuación, se pueden observar las distintas partes que constituyen un intercambiador de placas.

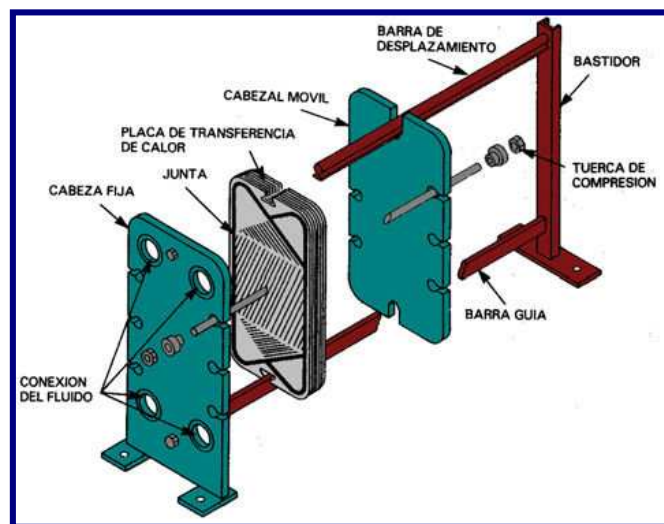


Figura 3.14: Intercambiador de placas (Grau)

- **Depósito:** Se trata de aquel dispositivo o recipiente en el cual se acumula agua. Por tanto, estos depósitos deberán estar tratados correctamente contra la oxidación al estar contruidos con aceros específicos para ello (inoxidables, con resinas, con esmaltes...).

- **Válvula de regulación:** Estas válvulas, permiten llevar a cabo la regulación de las instalaciones de ACS y pueden tanto termostáticas como monitorizadas.

- **Bomba de circulación:** Consiste en un dispositivo cuya misión es la de llevar a cabo la circulación de un fluido a través de una red de tuberías venciendo las pérdidas de carga que se oponen al movimiento del mismo.

A continuación, se muestra un esquema en donde se pueden identificar dichos elemento que constituyen una instalación de ACS:

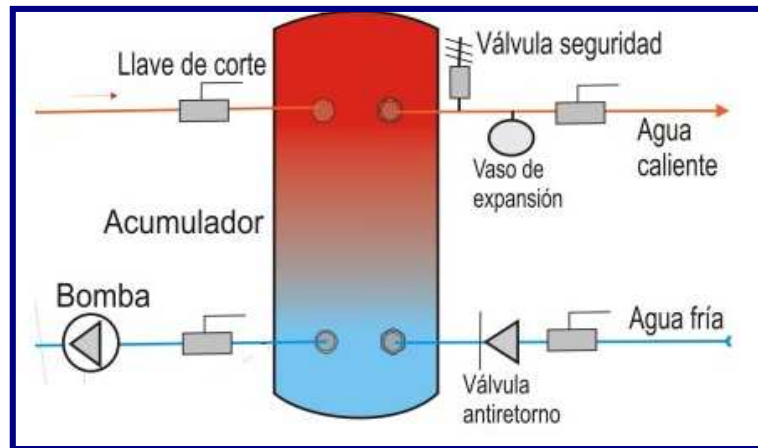


Figura 3.15: Esquema de los elementos de una instalación de ACS

3.3 Análisis funcional

Este tipo de instalaciones de calefacción y producción de ACS, permiten dotar a un edificio de la posibilidad de obtener agua caliente sanitaria y una zona calefactada.

El sistema de calefacción, se encuentra constituido por el conjunto generador (caldera, quemador y chimenea, reflejado en la figura 3.16) en donde se obtiene la energía necesaria para el proceso. En primer lugar se lleva a cabo en la caldera y quemador el proceso de combustión del combustible, siendo evacuados a través de la chimenea los humos obtenidos durante el proceso.

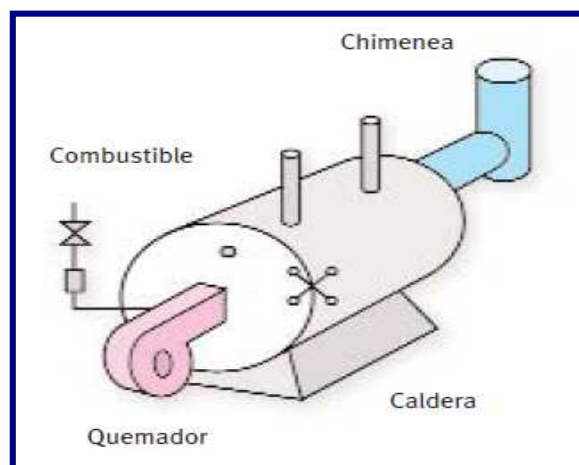


Figura 3.16: Conjunto generador de calor (www.idae.es)

Una vez que se ha obtenido la energía en el conjunto generador, ésta se transfiere al fluido caloportador de cada instalación, el cual es distribuido a través de una red de tuberías a los diversos receptores que constituyen la instalación, o bien se envía para la producción de ACS.

En cuanto a la producción de ACS, existen tres formas a través de las cuales se puede obtener:

- **De forma inmediata:** Es decir se produce en el instante en el que se está produciendo la demanda. Para que este proceso pueda tener lugar, es necesario disponer de un intercambiador térmico.
- **A través de acumulación:** Es decir, se dispone de elementos acumuladores en donde concentra una determinada cantidad de agua a una temperatura específica.
- **A través de semiacumulación:** Se trata de combinar las dos posibilidades anteriores, para conseguir un sistema mixto.

3.4 Calderas: Funcionamiento y clasificación

Se denomina caldera, a aquel dispositivo donde se lleva a cabo el proceso de transferencia del calor generado al fluido caloportador. Como ya se ha explicado anteriormente, este proceso está basado en la combustión de un combustible, la cual se lleva a cabo en una de las partes específicas de la caldera que se denomina cámara de combustión. Por tanto, el rendimiento de dicha transmisión de calor deberá tratar de ser lo más elevado posible.

Este sistema de calefacción basado en la caldera permite como se ha visto anteriormente llevar a cabo tanto el proceso de calefactado como el de producción de agua caliente sanitaria.

El procedimiento que tiene lugar en la caldera comienza con la entrada del combustible en la denominada cámara de combustión, a la cual se hace reaccionar con una determinada cantidad de comburente (oxígeno) y se pone en contacto con una llama, dando lugar todo ello a la combustión del combustible en cuestión. Tras haber iniciado el proceso de combustión se genera una llama, la cual, se va a encargar de realizar el

proceso de transmisión de calor al fluido, el cual se encuentra ubicada dentro de un depósito denominado serpentín, el cual a su vez se encuentra interconectado con la red de tuberías del fluido caloportador, permitiendo así la distribución del mismo hasta los elementos emisores encargados de llevar a cabo el proceso de calefacción.

En el caso de que se requiera producción de ACS, el proceso será muy similar al anteriormente descrito, exceptuando que el agua no es calentada directamente sino que se utiliza un fluido térmico que no entra en contacto con el agua, quedando garantizadas de esta forma las características sanitarias del agua de consumo.

3.4.1 Clasificación

En la actualidad el mercado de las calderas es un mercado muy extenso, por lo tanto, existen multitud de equipos diferentes. Por todo ello, las calderas se pueden clasificar de diferentes formas, entre las cuales destacan:

1) Según el fluido caloportador: La mayoría de las calderas utilizan como fluido caloportador agua, la cual, se puede presentar en distintos estados que permiten llevar a cabo la siguiente clasificación.

- **Calderas de agua caliente:** Se trata de aquellas calderas que utilizan como fluido caloportador agua, la cual, se mantendrá por debajo del punto de ebullición de la misma. Generalmente trabajan a una temperatura de 95 °C, siendo este tipo de calderas la más utilizadas en instalaciones domésticas.

- **Calderas de agua sobrecalentada:** En este caso se utiliza igualmente como fluido caloportador agua calentada a temperatura superior a 100 °C hasta un límite superior entorno a 200 °C. Este fluido caloportador se mantiene siempre en fase líquida, para lo cual, será necesario aumentar la presión de servicio. Estas instalaciones, generalmente se diseñan para el caso de espacios industriales.

- **Calderas de vapor:** Este tipo de calderas utilizan agua en fase líquida en la alimentación, la cual al ser sometida a un calentamiento a más de 200 °C se transforma en fase vapor. Este tipo de calderas presenta numerosas aplicaciones, tanto en vivienda como en industria.

- **Caleras de aceite:** Este tipo de calderas utiliza aceite como fluido térmico, el cual presenta una elevada temperatura de vaporización lo que permite almacenar el calor durante un periodo de tiempo superior que en el caso del agua.

2) **Según el tipo de combustible:** Según los diferentes tipos y estados de los combustibles actuales, podemos hacer la siguiente clasificación:

- **Calderas que utilizan combustibles sólidos:** Se trata de aquellas calderas que utilizan como combustible carbón, leña o pellets de residuos leñosos y otros subproductos de origen natural. Estas calderas constan de unas parrillas en las cuales se lleva a cabo el proceso de combustión y una chimenea para la evacuación de humos. El principal inconveniente de este tipo de calderas es que durante el proceso de combustión generan cenizas que deben ser limpiadas. En la siguiente figura, se muestra un ejemplo de este tipo de calderas:

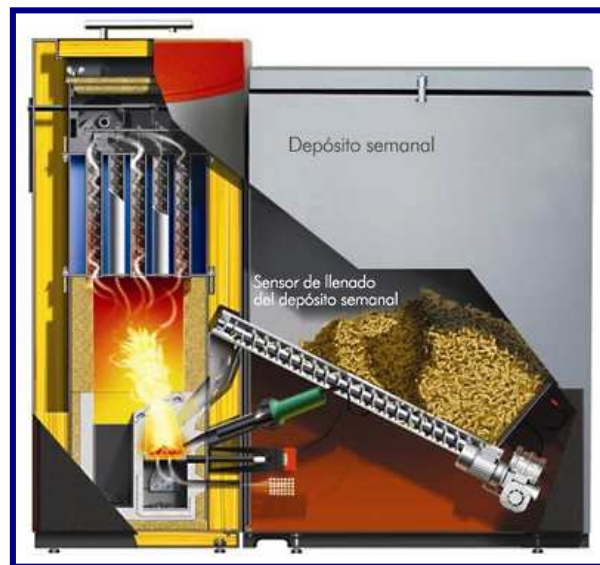


Figura 3.17: Caldera de biomasa (www.solliclima.com)

- **Calderas que utilizan combustibles líquidos:** Este tipo de calderas utilizan combustibles líquidos para generar calor, siendo el más utilizado el gasóleo. Este tipo de instalaciones son más limpias que la de combustibles sólidos al no generar residuos pero requieren del uso de quemadores mecánicos para poder llevar a cabo el proceso de combustión.

- **Calderas que utilizan combustibles gaseosos:** Este tipo de calderas se encuentran representadas de forma mayoritaria en las instalaciones individuales. Además, presentan elevados y requieren del uso de un quemador mecánico. El principal problema que presentan son los riesgos derivados de la elevada inflamabilidad de los mismos en los procesos de transporte, distribución y almacenamiento.

3) Según el material empleado para su construcción: Las calderas son dispositivos amortizados a largo plazo por lo que deberán ser resistentes al paso del tiempo. Por todo ello se busca utilizar un material resistente y rentable económicamente, basándonos en dicho criterio distinguiremos:

- **Calderas de hierro fundido:** Estas calderas (figura 3.18) se caracterizan porque sus componentes se encuentran formados a partir de hierro fundido y unidos entre sí a través de manguitos. Este modelo de construcción permite la ventaja de que al estar creado elementos independientes es fácilmente reparable o mejorable. Este tipo de calderas se aplican con elevada frecuencia en instalaciones domésticas y ya que presentan una gran resistencia a la corrosión.



Figura 3.18: Caldera de hierro fundido (www.alternativasenergeticasmaga.com)

- **Calderas de chapa de acero:** Estas calderas (figura 3.19) están construidas a partir de acero al carbono y constituyen la gran mayoría de las instalaciones de calefacción debido a que son compatibles con cualquier tipo de combustible, presión y temperatura. Este tipo de calderas se caracterizan porque presentan materiales más elásticos y resistentes que otras calderas, así como también presenta un peso

comparativamente menor en relación con la calderas de hierro fundido, lo cual, convierte su instalación en un proceso más cómodo. Este tipo de calderas presentan un rendimiento superior al de las calderas de hierro fundido, sin embargo su vida útil es menor.



Figura 3.19: Caldera de chapa de acero (www.alternativasenergeticasmaga.com)

- **Calderas de materiales especiales:** Este tipo de calderas utilizan para su construcción materiales distintos a los anteriormente explicados, como pueden ser el cobre el aluminio o aceros aleados con alta resistencia a la corrosión. En líneas generales, se recurre a este tipo de instalaciones o bien por cuestiones de diseño o bien por se busca una apariencia estética.

4) Según el funcionamiento de la cámara de combustión: Para que se lleve a cabo cualquier proceso de combustión es necesario incorporar el comburente al proceso. Este comburente suele ser oxígeno, y en función de cómo éste se incorpore al proceso distinguimos:

- **Calderas en sobrepresión:** Es el caso contrario a las calderas en depresión es decir, se busca que la presión sea superior a la atmosférica.

- **Calderas en depresión:** En este caso, el proceso de combustión se lleva a cabo con una presión inferior a la presión atmosférica. Además, cuentan con un ventilador que permite garantizar que los humos se evacúan fuera del recinto.

- **Calderas atmosféricas:** En este tipo de calderas (figura 3.20) se toma el aire directamente desde el exterior, el cual circula por el interior de la caldera debido a las diferencias de presión.

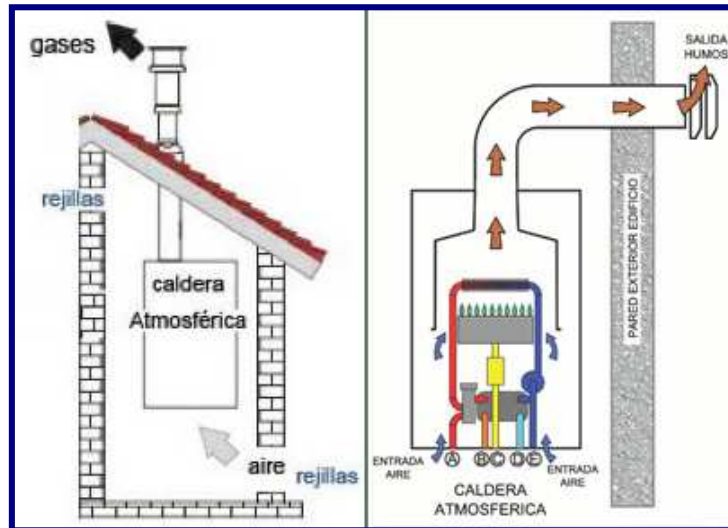


Figura 3.20: Caldera de chapa atmosférica (www.calderaszaragoza.com)

- **Calderas estancas:** Este tipo de calderas (figura 3.21) se caracterizan por una disposición base a partir de un ventilador y de un doble conducto, uno para introducir el aire y otro para evacuar los gases.

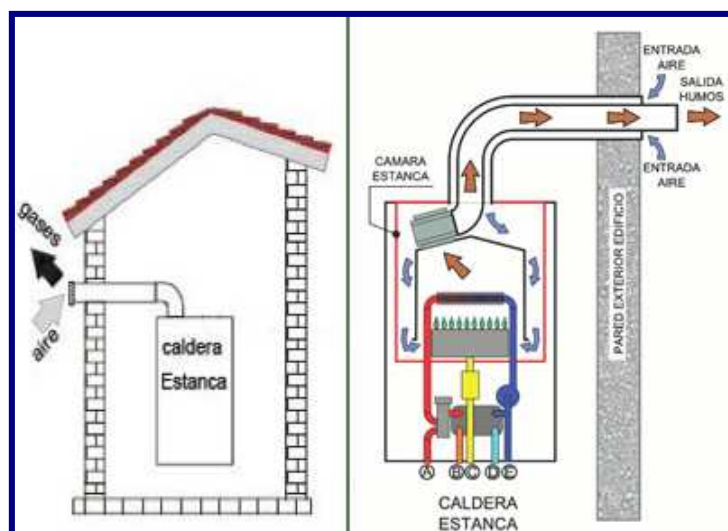


Figura 3.21: Caldera estanca (www.calderaszaragoza.com)

5) Según la temperatura de escape de los gases: En función de estas temperaturas podemos distinguir los siguientes tipos:

- **Calderas estándar:** Se trata de aquellas calderas (figura 3.22) en las que no puede tener lugar condensaciones. Por es importante que su diseño se base en que la temperatura de retorno sea superior a las de rocío de los humos.

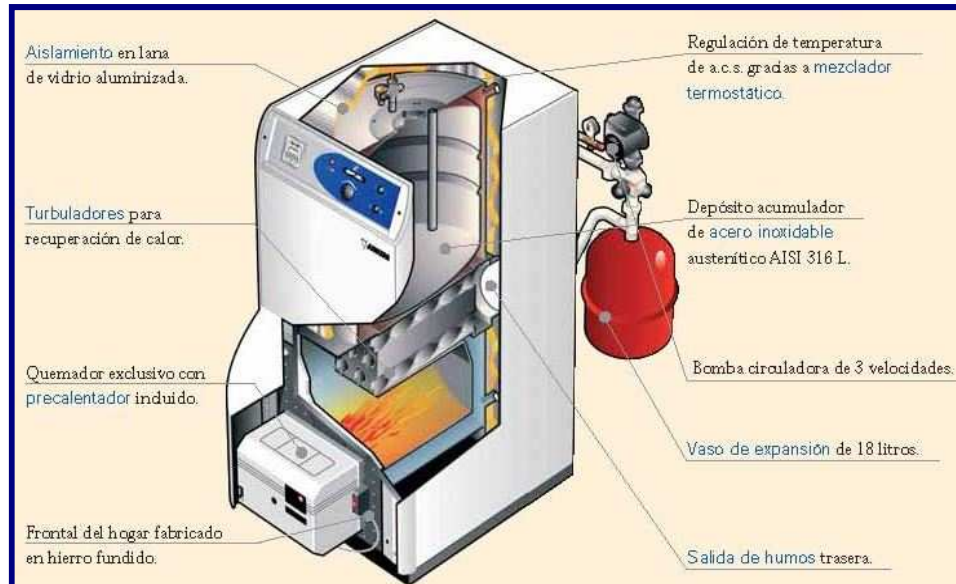


Figura 3.22: Caldera estándar (Catálogo Junkers)

- **Calderas de condensación:** En este caso, estas calderas (figura 3.23) si soportan condensaciones en su interior, por tanto, utilizan temperaturas de retorno lo más bajas posibles consiguiendo así aprovechar el calor latente que se produce en los humos. Este tipo de calderas permiten conseguir rendimientos más altos que los de las calderas estándar.

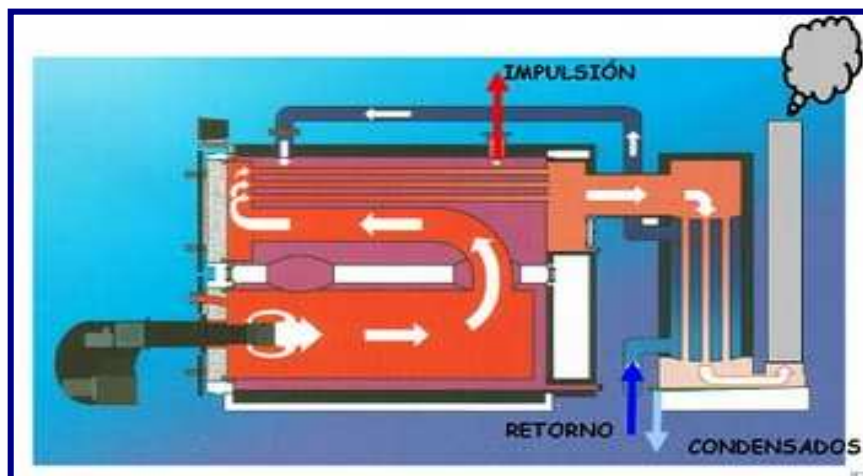


Figura 3.23: Caldera de condensación (Catálogo Junkers)

6) Según la disposición de los fluidos: En función de cómo se realice el paso del fluido caloportador a través de los tubos de intercambio calorífico podemos distinguir los dos siguientes grupos:

- **Calderas pirotubulares:** En estas calderas, los gases de combustión circulan por el interior de los tubos de intercambio, quedando estos bañados en un recipiente de fluido caloportador. De esta forma, los tubos trabajan de intercambiadores transmitiendo el calor al fluido. Estas calderas, permiten obtener rendimientos elevados cuando se utilizan combustibles gaseosos o líquidos. En la figura 3.24 se muestra en detalle una caldera pirotubular.



Figura 3.24: Caldera pirotubular horizontal (www.fenercom.com)

- **Calderas acuotubulares:** En este tipo de calderas, el fluido caloportador se mueve por el interior de los tubos de intercambio calorífico, mientras que por el exterior a ellos circulan los gases procedentes de la combustión. Este tipo de calderas se fabrica con los mismos materiales que las calderas pirotubulares, sin embargo, permite alcanzar mayores presiones y potencias por lo que tienen escasa aplicación para edificaciones. En la figura 3.25 se muestra en detalle una caldera acuotubular.

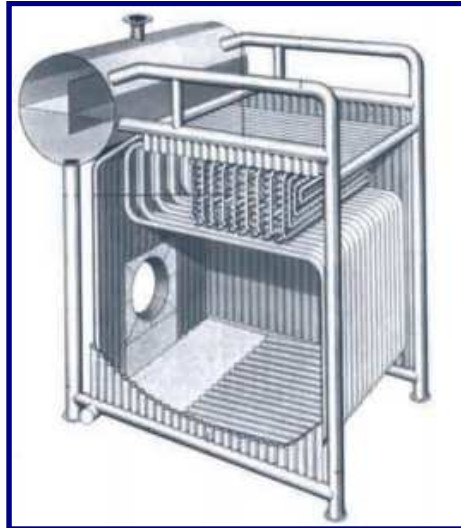


Figura 3.25.Caldera acuotubular (www.fenercom.com)

3.5 Quemadores

El quemador (figura 3.26) es un dispositivo que tiene como principal función poner en contacto el combustible con el comburente, todo ello en la cantidad, forma y condiciones que permitan que tenga lugar dicho proceso de combustión.



Figura 3.26: Quemador de combustible (www.desforsa.com)

Por tanto, el quemador deberá regular tanto la cantidad de combustible como la de comburente, para lo cual existen tres sistemas:

- **Sistema todo-nada:** En este caso el quemador funciona de manera constante a una potencia fija, llevándose a cabo el proceso de regulación mediante el arranque y el paro del quemador.
- **Sistema escalonado (todo-poco-nada):** En este sistema de regulación el quemador se encuentra trabajando en dos potencias en función de la alimentación.
- **Sistema modulante:** En este sistema el quemador puede funcionar en cualquier punto dentro de su rango de potencia. Se emplea principalmente en calderas de gran potencia.

3.5.1 Quemador de combustibles sólidos

En el caso de calderas de combustibles sólidos los quemadores se colocarán en base a las dimensiones de la misma y se utilizarán para paliar la gran alimentación de aire necesaria en este producto y para disminuir los subproductos sólidos que se generan en dicho proceso. En la actualidad, los más utilizados son:

- **Quemadores de parrillas:** En este tipo de dispositivos la combustión tiene lugar de forma masiva por medio de parrillas introduciendo el aire por la parte inferior. Este tipo de quemadores tienen su campo de aplicación en calderas domésticas o de reducido tamaño.
- **Quemadores de parrillas móviles:** Este sistema se encuentra compuesto por una cinta transportadora sobre la cual tiene lugar el vertido del combustible. Esta cinta, transporta el combustible desde la alimentación hasta la zona donde se lleva a cabo el proceso de combustión con lo que se consigue que el combustible esté en constante movimiento durante su estancia en el hogar. Además, al intervenir en la velocidad de la cinta se pueden regular tanto la cantidad de aire como la altura a la que se encuentra el combustible. Por otro lado, otra función de esta cinta transportadora, será la de extraer las cenizas generadas como subproducto de la combustión. Por todo ello este tipo de quemadores suele estar restringido a usos industriales.
- **Quemadores con alimentación inferior:** Se trata de un sistema en el cual el combustible se introduce a través de un pistón de forma que cuando se alcanza la parte

superior del quemador se lleva a cabo el vertido del combustible. Dichos combustibles, se reparte sobre una superficie con orificios para el aire de combustión.

3.5.2 Quemadores de combustibles líquidos

Los combustibles con los que se emplea fundamentalmente los quemadores son el gasóleo C y el fuel oil. Este tipo de quemadores permite garantizar que la proporción entre combustible y comburente se mantiene constante y en contacto, así como también que se dispone en todo momento de la cantidad suficiente de aire de proceso.

En este tipo de quemadores, es adecuado pulverizar el combustible para asegurar la efectividad de la mezcla. Por tanto, se pueden emplear los siguientes métodos de pulverización:

- **Por rotación:** Se basa en una caja que se encuentra dotada de giro, de modo que a través de dicho movimiento el combustible se fractura en gotas, las cuales, se ven arrastradas por la corriente de aire.
- **Por presión:** En este caso se dispone de una tobera conectada con la cámara de combustión a través de la cual circula el combustible a presión.
- **Por inyección:** En este caso, se recurre al uso de un inyector que será el encargado de atomizar el combustible.

El proceso que tiene lugar en el interior de los quemadores comienza con una fase de barrido para limpiar las impurezas de combustiones que se han desarrollado con anterioridad. De forma paralela, comienza a entrar el funcionamiento la bomba del combustible y a continuación se producen las chispas que inician el proceso cuando el combustible entra en la cámara. De forma genérica, constan de una fotocélula para controlar el proceso de encendido.

3.5.3 Quemadores de combustibles gaseosos

Este tipo de quemadores presentan una configuración más sencilla debido a las características intrínsecas de los gases, que facilitan la mezcla con el comburente. En

función de las características de presurización de la caldera, podemos distinguir los siguientes tipos de quemadores para combustibles gaseosos.

- **Quemadores atmosféricos:** Estos quemadores, se aplican con frecuencia en las calderas de disposición mural. El funcionamiento tiene su base en efecto Venturi, el cual se utiliza para llevar a cabo la mezcla de gases. Este tipo de quemadores tiene una disposición y diseño sencillos y se regulan por medio de la presión del gas en la alimentación.

- **Quemadores presurizados:** Este tipo de quemadores funcionan análogamente a los de los combustibles líquidos, controlando el suministro de gas a través de una llama.

3.6 Acumuladores e interacumuladores de agua caliente sanitaria

Estos sistemas de acumulación de agua presentan como principal característica, la posibilidad de acumular agua con independencia que se esté produciendo o no consumo de la misma, es decir, existe una determinada cantidad de agua preparada para ser utilizada.

Este tipo de sistemas de producción y acumulación de ACS, presentan mayor eficiencia energéticamente hablando, puesto que la caldera cuenta con una potencia más ajustada lo que permite un funcionamiento más prolongado.

Podemos distinguir fundamentalmente dos tipos de acumuladores en función de que dispongan o no de intercambiador en su interior:

3.6.1 Acumuladores

Se trata de dispositivos de almacenamiento de ACS, que ha sido calentada en otra parte de la instalación. Este tipo de dispositivos se apoyan en intercambiadores externos y en una bomba que hace que el agua se ponga en movimiento para ser calentada.

Se trata generalmente de depósitos contruidos en acero galvanizado con orificios de entrada, salida y regulación que generalmente se colocan en posición vertical, aunque

por condiciones de diseño se pueden colocar en horizontalmente ligeramente inclinados. En caso de que se requiriesen más de un depósito, éstos se colocaran el paralelo.

3.6.2 Interacumuladores

Los interacumuladores (figura 3.27) son dispositivos que se encuentran constituidos por la combinación de acumulador y un intercambiador, siendo éste el encargado de calentar el agua de consumo.



Figura 3.27: Intercambiador (www.idae.es)

Estos dispositivos se van a construir en función del tipo de intercambiador que se desee colocar, puesto que por ejemplo, un intercambiador de envolvente exigirá disponer de un depósito de doble pared

Este tipo de dispositivos deberán conectarse en paralelo, debido a que así se evita la presencia de valores descompensados de temperaturas, así como también una reducción de la potencia, la cual, ocurriría si se recurriese a un conectado en serie.

3.7 Depósitos de expansión

En este tipo de instalaciones se cuenta con un dispositivo el cual se encarga de mantener la presión en el interior de las mismas y de absorber las variaciones de volumen

que tiene lugar en todo el proceso. Dicho dispositivo se denomina comúnmente como depósito o vaso de expansión, los cuales, pueden ser de dos tipos fundamentalmente:

- **Vasos de expansión cerrados:** Se trata de un depósito cerrado (figura 3.28) en cuyo interior está encerrado una parte del fluido y una parte de gas. De tal forma que el gas se expande y se comprime en función del agua presente en la instalación con lo que se consigue evitar que el valor de la presión ascienda a valores muy elevados, así como también se consiguen evitar las pérdidas de evaporación o descarga del fluido.



Figura 3.28: Vaso de expansión cerrado (Grau)

- **Vasos de expansión abiertos:** Se trata de un dispositivo que tiene como función almacenar el nivel de agua dilatado o comprimido. Generalmente se trata de depósitos fabricados con chapa de acero que se deben colocar en la parte más elevada de la instalación evitando que estén sometidos a condiciones meteorológicas adversas para que no se produzca procesos de congelación. En la actualidad, según la normativa vigente, no se pueden utilizar este tipo de instalaciones. La figura 3.29 se muestra un esquema de cómo sería una instalación de este tipo.

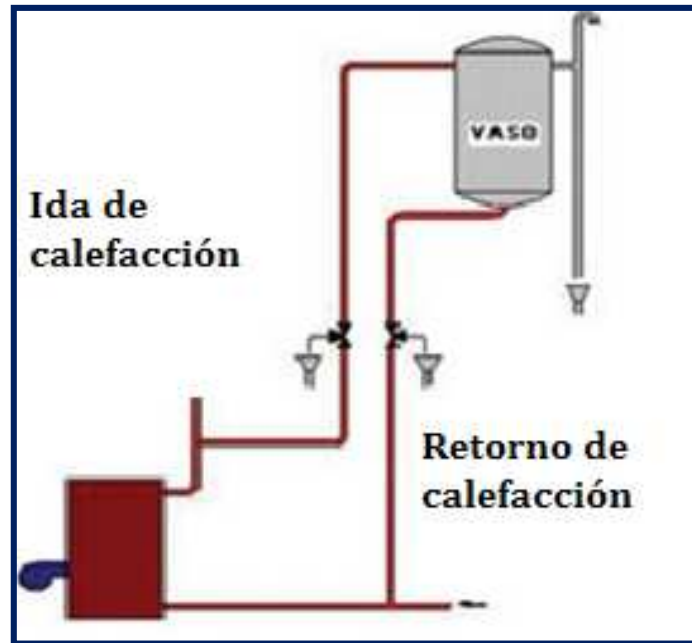


Figura 3.29: Vaso de expansión abierto (Grau)

3.8 Chimeneas

La chimenea (figura 3.30) se define como aquel dispositivo utilizado para llevar a cabo el proceso de evacuación de los gases generados como subproductos en el proceso de combustión.

Las chimeneas pueden tener tiro normal o forzado en función de cómo se lleve a cabo el proceso de depresión de los gases. Además, cuando en una misma instalación existan varias calderas es recomendable que cada una de ellas cuenta con su propia chimenea para alargar la vida útil de estas y facilitar así el proceso de recambio.

Todas las chimeneas deberán estar fabricadas con productos resistentes a la corrosión generada por los gases de combustión a evacuar.

A continuación en la figura 3.30 se muestra una instalación de una chimenea para una instalación de calefacción.



Figura 3.30: Chimenea de calefacción para evacuación de humos

4 REDES DE TRANSPORTE

Como ya se ha indicado en el capítulo tres una de las características principales de un sistema de calefacción es que la combustión, es decir, la generación primaria de calor, y su uso, es decir los cuartos o estancias que deber ser calefactados, no corresponden con el mismo espacio físico.

Teniendo en cuenta esta característica básica, se hace comprensible que, tan importante como es generar el calor en la sala de calderas, es de vital importancia distribuir dicho calor a las estancias o locales a calefactar.

El funcionamiento básico de este transporte y distribución de calor (figura 4.1) consiste en la distribución de un fluido caliente: fluido caloportador. En la gran mayoría de las ocasiones este fluido es agua. Dicho fluido está sometido a una determinada presión y se desplaza mediante bombas a través de tuberías en un circuito cerrado.

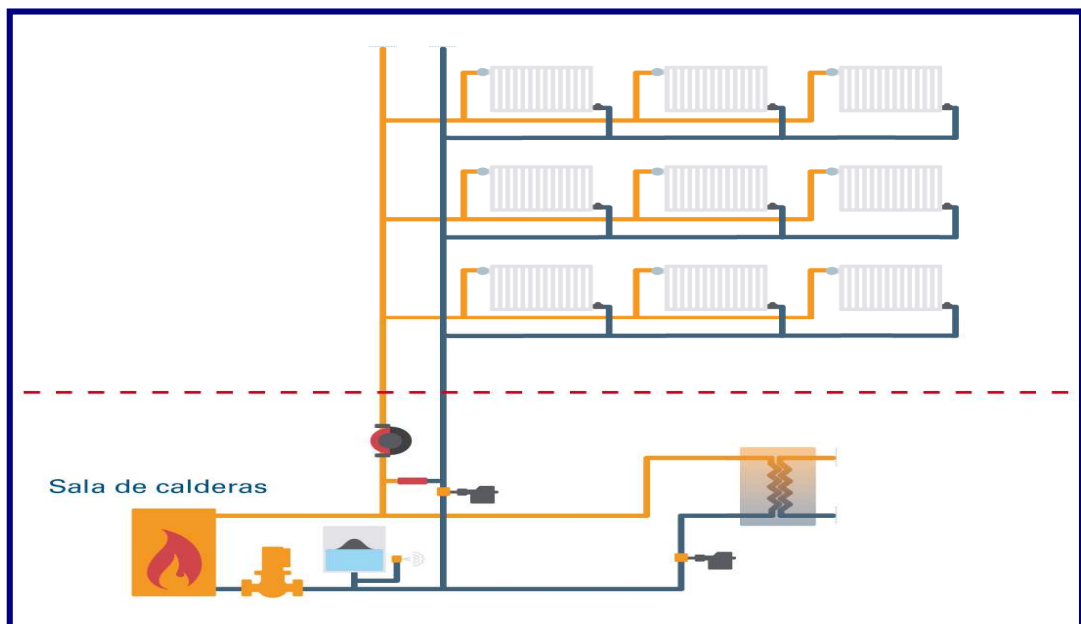


Figura 4.1: Esquema de una red de distribución (www.guiagas.com)

De este modo, el agua aumentará de temperatura en la caldera (absorberá calor) y cederá calor en los elementos disipadores o emisores de calor (radiadores, suelo radiante...).

Por último, conviene destacar que la principal ventaja de un sistema de distribución y transporte de calor es que permite calefactar diversos locales, a veces a una distancia elevada, con un solo generador. El empleo de un menor número de calderas o generadores de calor más grande reduce sus pérdidas dando lugar a un sistema de calefacción más eficiente. Para optimizar el rendimiento de un sistema de calefacción las bombas y tuberías deben estar aisladas, calorifugadas, ya que el calor debe desprenderse en los elementos emisores de calor y no en las tuberías distribuidoras del mismo.

4.1 Bombas. Tipos y características

Las bombas son dispositivos que tiene como misión principal captar la energía mecánica proporcionada por un motor eléctrico y transferírsela a un fluido de forma que se consigue aumentar la velocidad y presión de éste, lo que da como resultado que el fluido pueda disponer de movilidad a través de la red de tuberías al vencer las pérdidas de carga.

En función de su principio básico de funcionamiento se distinguen dos tipos principales de bombas, volumétricas y centrífugas. Las bombas volumétricas debido a su diseño y funcionamiento se emplean cuando se necesitan presiones de trabajo con valores elevados y caudales de valores relativamente bajos. Por otro lado, las bombas centrífugas, se caracterizan por presentar un campo de aplicación más amplio y por tanto, se utilizan en numerosas aplicaciones. Por todo ello, este tipo de bombas será el que se estudie en este apartado, distinguiendo entre los dos grandes tipos de bombas centrífugas: de rotor húmedo o de rotor seco.

4.1.1 Bombas de rotor húmedo

Las bombas de rotor húmedo se caracterizan porque el fluido circula por dentro de la carcasa, de modo, que éste y el rotor se mantiene en contacto. Con esta disposición, se consigue que en la tubería de impulsión o de retorno se incremente la circulación del agua.

Por todo ello, este tipo de dispositivos permiten que se reduzca la sección transversal de las tuberías y por tanto que se produzca una disminución del coste del

sistema de calefacción. Además, en este tipo de disposiciones, la cantidad de agua empleada se reduce considerablemente. Esta reducción hace que la caldera trabaje con un caudal de agua inferior con lo que se consigue que ésta pueda reaccionar de forma más rápida ante la existencia de posibles variaciones en el consumo o en la instalación.

Las partes principales (figura 4.2) que se pueden distinguir dentro de una bomba de estas características así como un esquema básico de instalación (figura 4.3), se muestran a continuación:

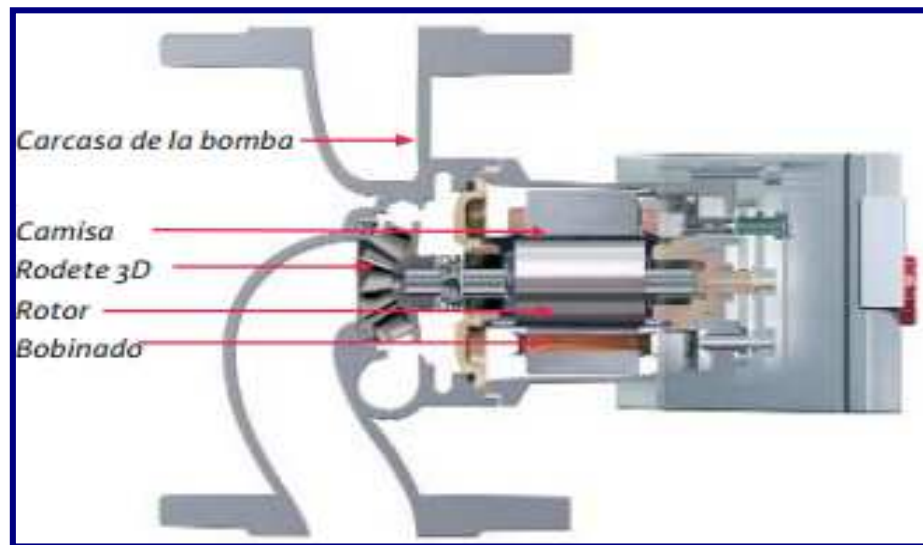


Figura 4.2: Partes principales de una bomba de rotor húmedo (www.wilo.es)

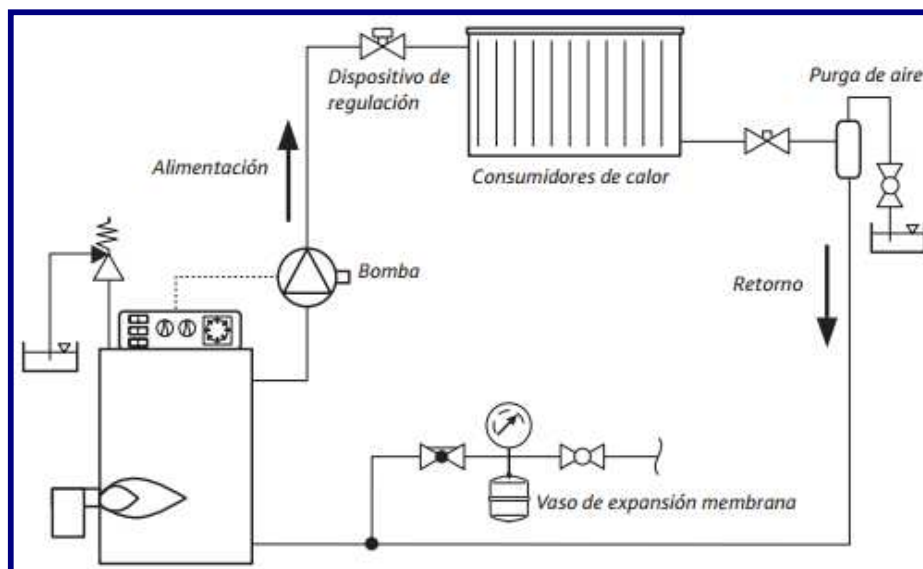


Figura 4.3: Esquema básico de instalación de una bomba de rotor húmedo
(www.wilo.es)

4.1.2 Bombas de rotor seco

Este tipo de bombas se denominan de rotor seco debido a que el fluido a bombear no está en contacto con el rotor en ningún momento. Este grupo de bombas tienen su campo de aplicación en casos con caudales volumétricos altos y permiten obtener un rendimiento mayor que las bombas de rotor húmedo. Las principales partes que constituyen una bomba de rotor seco son las que están reflejadas en la figura 4.4.

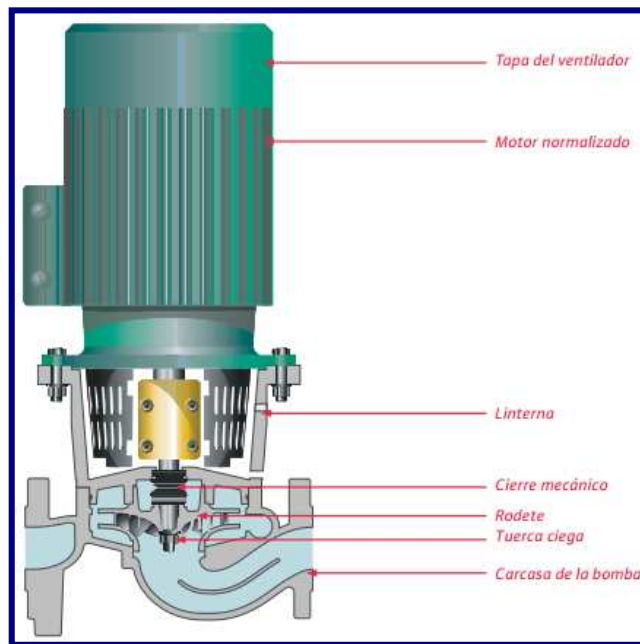


Figura 4.4: Principales partes de una bomba de rotor seco (www.wilo.es)

Este tipo de bombas se pueden clasificar de acuerdo a tres grupos en función de sus características constructivas:

- **Bombas en línea:** Se denominan bombas en línea cuando la bomba de aspiración y la de impulsión están colocadas en un mismo eje y cuentan con diámetros nominales coincidentes. Estas bombas se suelen instalar en aquellos edificios que cuentan con numerosas plantas y que por tanto requiere unas elevadas presiones.
- **Bombas monobloque:** Se trata de bombas de una sola etapa y baja presión que se construyen en bloque y con un motor con refrigeración aérea. Además, presentan tanto una boca de aspiración axial como una boca de impulsión radial, ambas contenidas en una caja espiral.

- **Bombas estandarizadas:** Este tipo de bombas se caracterizan por un diseño en el que la entrada del fluido se produce de forma axial y tanto la bomba como el acoplamiento y el motor se encuentra montado en una base común. Además, el cierre de este tipo de bombas quedará definido por el tipo de fluido que sea necesario bombear y generalmente presentan mayor diámetro en la aspiración que en la impulsión.

4.1.3 Curvas de trabajo

Las bombas, como ya se ha explicado antes, son dispositivos que permiten el movimiento del fluido entre dos puntos mediante la aplicación de presión. Todas estas bombas llevan asociadas una serie de curvas, siendo las más importantes aquellas en las que se relaciona la altura manométrica o presión, el rendimiento o la potencia con el caudal. Dichas curvas son las que se representan a continuación.

- **Curva altura manométrica-caudal:** Estas curvas reciben el nombre común de curvas de trabajo de la bomba. En ellas se expresa las diversas alturas que puede llegar a proporcionar una bomba en función del caudal en la misma. Por altura manométrica, se entiende la representación de la energía que puede llegar a proporcionar la bomba. A continuación en la figura se muestra un ejemplo de este tipo de curvas.

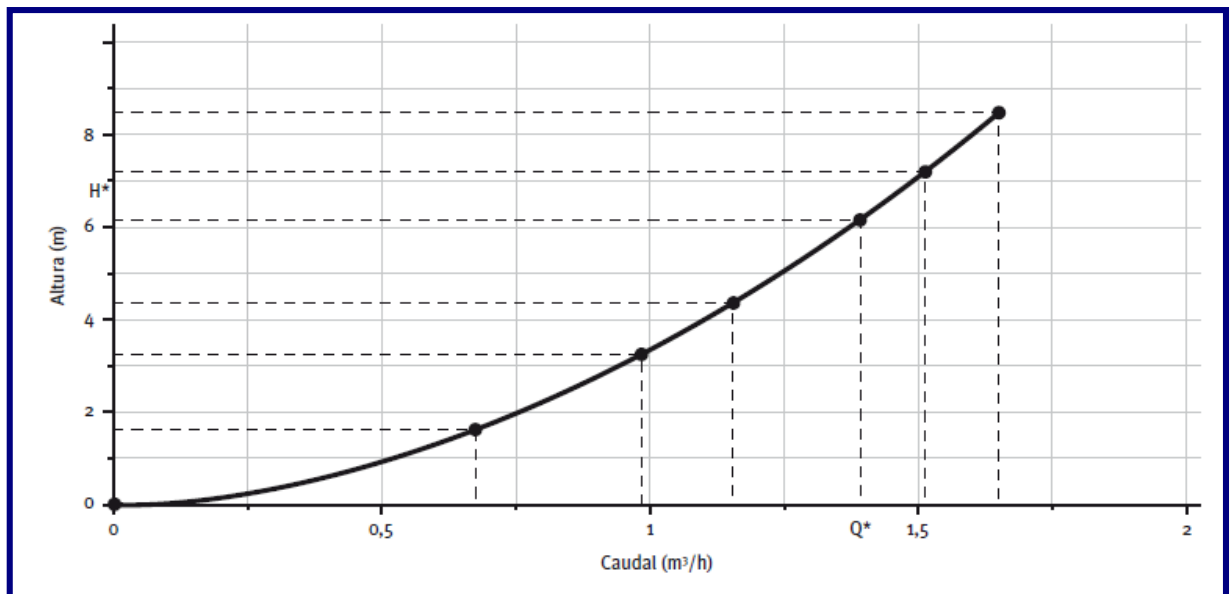


Figura 4.5: Curva altura manométrica-caudal (www.idae.es)

- **Curva rendimiento-caudal:** En este tipo de curvas se obtiene el rendimiento de la bomba, el cual es de vital importancia para que se pueda seleccionar la bomba más adecuada a cada instalación.
- **Curva potencia-caudal:** Estas curvas expresan la potencia que se deberá aplicar a la bomba.
- **Punto de funcionamiento o punto de trabajo:** Una vez que se han definido las condiciones de funcionamiento de la bomba, se deberá tener en cuenta el funcionamiento de la misma en la instalación a diseñar, debido a que las instalaciones, presentan también su propia curva de trabajo puesto que las redes constituidas por tuberías sufren una serie de pérdidas debido a la distancia a recorrer, a la presencia de elementos como tuberías o válvulas, la viscosidad del fluido... todo ello genera una gran influencia sobre la presión de la bomba puesto que deberá vencer esta resistencia para bombear el fluido al punto deseado. Una vez que se han definido también la curva de la instalación, se puede determinar el punto de funcionamiento, el cual, se obtiene de forma gráfica en el punto de intersección de las curvas de trabajo de la bomba y de la instalación. En la siguiente figura 4.6 se muestra un ejemplo de cómo obtener un punto de funcionamiento.

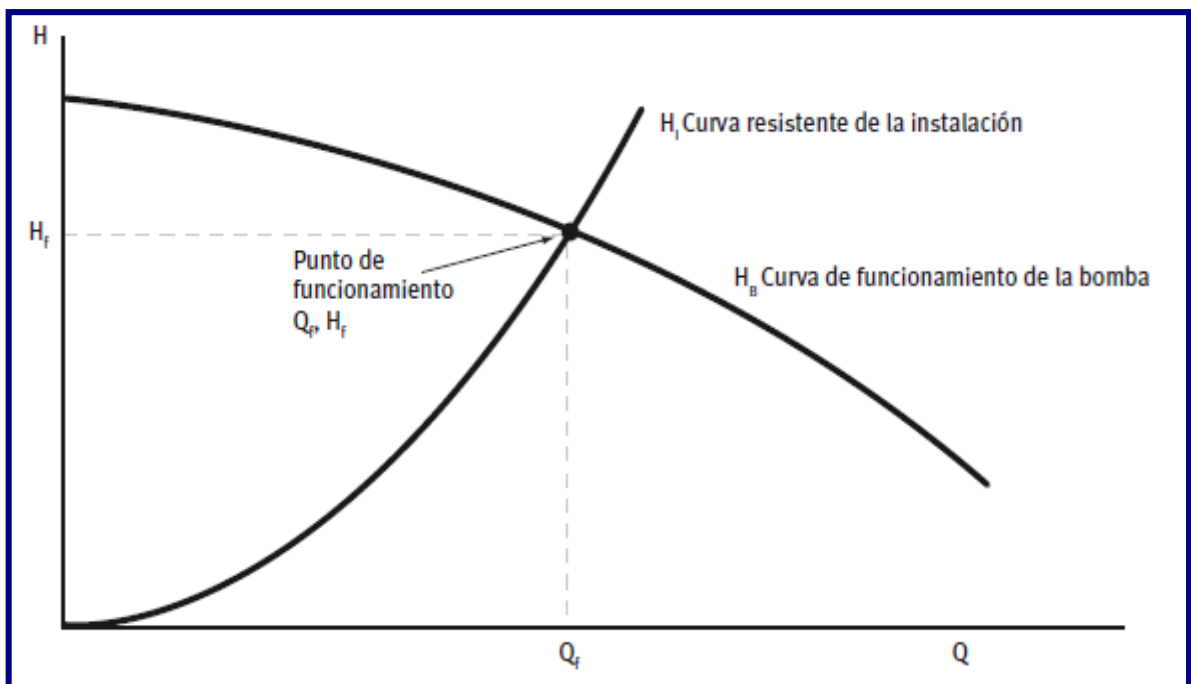


Figura 4.6: Representación gráfica del punto de trabajo (www.idae.es)

La representación del punto de trabajo quiere decir que la bomba se encontrará trabajando a la presión a la cual puede vencer la resistencia que se está produciendo dentro de la instalación. Además este punto define el caudal mínimo al que deberá trabajar la bomba en la instalación.

4.2 Red de tuberías

En estas instalaciones el punto de generación y el punto de consumo no son coincidentes, por lo tanto es necesario que exista una red de tuberías que permita la distribución del fluido calorportador hasta los emisores de calor, y otra red de tuberías para la distribución del agua caliente sanitaria.

De este modo se puede observar que las redes de distribución en este tipo de instalaciones de calefacción y ACS, poseen gran importancia y constituyen por tanto uno de los elementos principales de las mismas. Un aspecto de gran relevancia en las redes de distribución son los materiales con los cuales están fabricadas, los cuales, se suelen escoger en función de las condiciones de uso (presión, caudal...), del tipo de terreno donde se vaya a ubicar la instalación y de otros factores externos que puedan afectar a la instalación. En función de todo ello, en la actualidad destacan los siguientes materiales:

- **Policloruro de vinilo (PVC):** El policloruro de vinilo es un material de composición sintética que se obtiene mediante un proceso de polimerización de gas acetileno mezclado con vapor de ácido clorhídrico. Este tipo de material se caracteriza por ser un material termoplástico con buena resistencia a los ácidos, poseer uniones con elevada resistencia mecánica y permitir fabricar tuberías de múltiples diámetros nominales. Sin embargo este material presenta el inconveniente de que es sensible a temperaturas inferiores a cero y que su resistencia se ve afectada por el envejecimiento de la red.

- **Polietileno (PE):** El polietileno es un material de composición sintética termoplástica que se obtiene mediante la polimerización del etileno. Las tuberías fabricadas en polietileno se caracterizan por ser atacadas por aceites y gasolinas siendo además combustibles. Además su resistencia ante la presión del agua disminuye a lo largo de su vida útil por lo que las tuberías de mayor espesor ofrecen mejores resultados.

4.2.1 Instalaciones monotubo

Se trata de un sistema en el cual, los diversos emisores de calor se encuentran dispuestos en serie. Esta disposición en serie implica que el fluido en retorno del primer radiador alimenta al segundo y así sucesivamente hasta que retorna a la caldera. Esta disposición se puede ver en la figura 4.7.

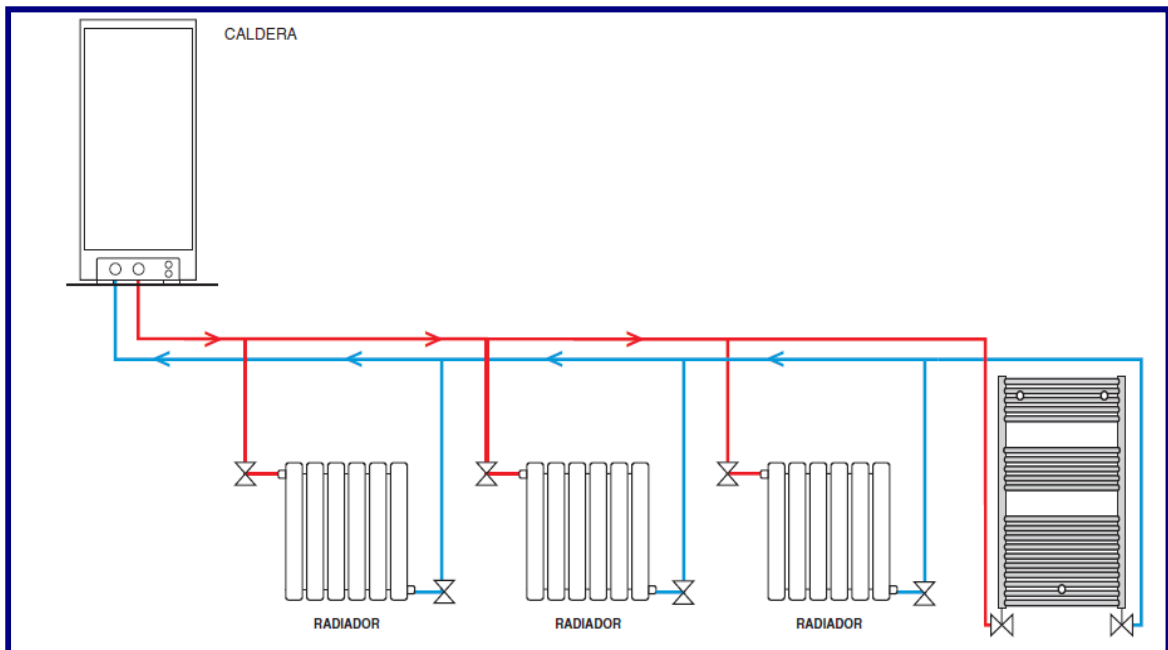


Figura 4.7: Esquema de un sistema monotubo (www.salvadorescoda.com)

En este tipo de instalaciones, la temperatura no es constante en todos los emisores de calor, por ello, para poder contrarrestar este descenso se sobredimensionan ligeramente los últimos emisores.

4.2.2 Instalación bitubo retorno directo

En este caso, los radiadores se montan en paralelo con ello el fluido calorportador llega a cada emisor y retorna directamente a la caldera, con lo que se consigue que la temperatura se mantenga constante en todos los emisores de la instalación.

La característica constructiva principal es que existen dos tuberías principales, una tubería de ida que se deriva hasta distintos emisores y una tubería de retorno desde los emisores hasta la caldera.

En este caso, se denominan de retorno directo debido a que el tubo de retorno del fluido caloportador comienza en el emisor de calor más lejano y va recolectando el fluido de los radiadores para llevarlo a la caldera. En todo este proceso, se observa que las pérdidas de carga son mayores en aquellos emisores que se ubican más lejos de la caldera luego será de vital importancia realizar una regulación precisa del caudal del fluido.

Este tipo de instalaciones se utilizan en aquellas viviendas donde la distancia de la instalación es reducida. A continuación, en la figura 4.8 se muestra un esquema de cómo sería una instalación de estas características:

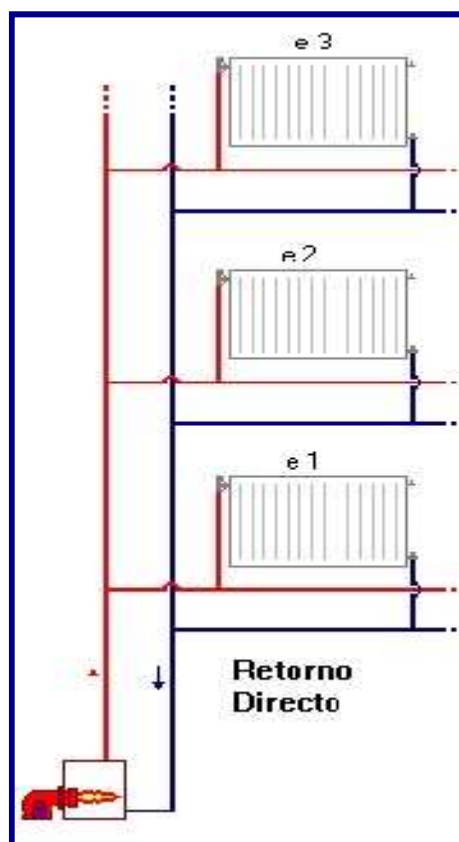


Figura 4.8: Instalación bitubo retorno directo (www.girosacme.com)

4.2.3 Instalaciones bitubo retorno invertido

Este tipo de instalaciones se utilizan en aquellos edificios de gran tamaño donde se desea llevar a cabo un control elevado de las instalaciones. Debido a que estas instalaciones permiten variar el caudal de alimentación de los emisores de calor en

función del número de los mismos, con lo que se consigue una distribución del calor más uniforme.

En este tipo de instalación, el tubo que se encarga de llevar a cabo el retorno del fluido caloportador parte del emisor ubicado en la posición más cercana a la caldera y continuando su recorrido coincidiendo con el sentido que sigue la alimentación hasta llegar a la caldera. Con ello se consigue que la distancia a cada radiador sea prácticamente igual por lo que la regulación del caudal casi no es necesaria, ya que las pérdidas de carga en la red de tuberías es aproximadamente igual para todos los radiadores.

A continuación, en la figura 4.9 se muestra un esquema de cómo sería una instalación de estas características:

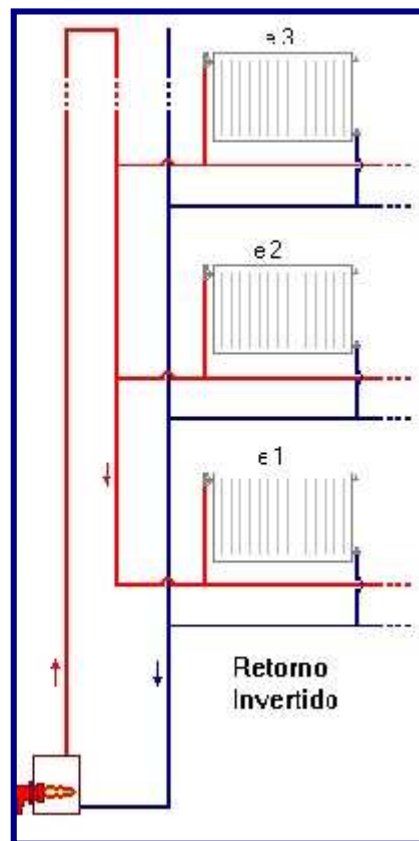


Figura 4.9: Instalación bitubo retorno indirecto (www.girosacme.com)

4.2.4 Instalaciones mediante colectores

Este tipo de instalaciones surgen como una mejora del sistema monotubo al llevar a cabo una división en circuitos. Para llevar a cabo este proceso, este tipo de instalaciones

incorporan un colector a través del cual se va a realizar la alimentación de los emisores. Para poder comprender cuál es el funcionamiento de este tipo de instalaciones, a continuación se ilustra un esquema de las mismas:

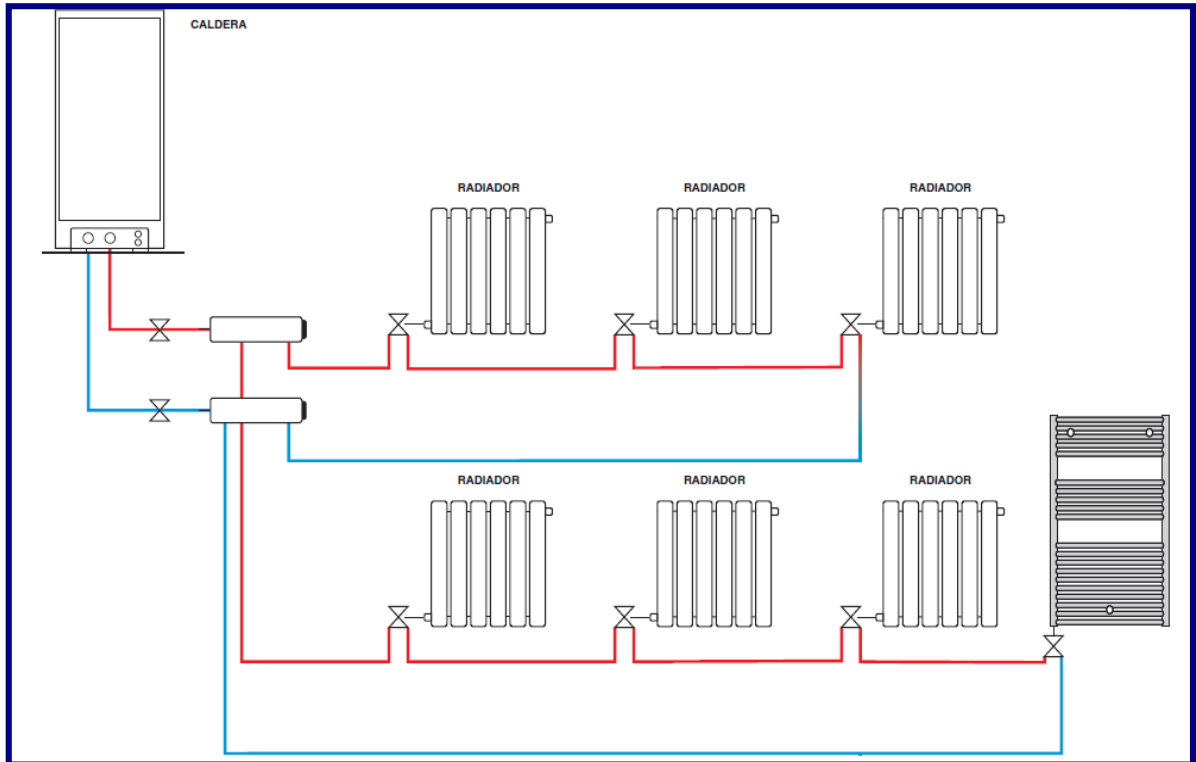


Figura 4.10: Esquema de una instalación con colectores (www.salvadorescodas.com)

El funcionamiento de la instalación comienza en los dos colectores de la misma, de modo que uno de ellos recibe el agua procedente de la caldera y lo distribuye hacia los emisores, mientras que el otro colector será el encargado de recibir el agua de retorno y enviarla de nuevo hacia la caldera. Como consecuencia de este proceso, se consigue que la distribución de temperaturas en los emisores se mantenga constante.

En este tipo de instalaciones se suele utilizar agua como fluido caloportador agua, por lo tanto, es necesario disponer de una bomba hidráulica para poder llevar a cabo la distribución de dicho fluido.

Además, al recurrir a esta modalidad se consigue disponer de una instalación sencilla, en la cual se minimizan las pérdidas de carga, se reducen los accesorios de la instalación y se mejoran la presión y la temperatura.

4.2.5 Aislamiento térmico de tuberías

La parte más externa de un sistema de calefacción es su red de distribución, sobre todo en grandes sistemas de calefacción, y más aún en “district heating”: sistemas donde una única central térmica (caldera, grupo de calderas, generadores de calor en general...) alimenta a más de un edificio, una calle, barrio o urbanización completa.

De este modo, y como se ha indicado en el capítulo anterior, la existencia de una gran caldera implica mejores rendimientos que el empleo de muchas calderas individuales. Generalmente las calderas grandes tienen mejores rendimientos, ya que se reducen las pérdidas por radiación y las pérdidas por humos calientes por la chimenea.

El empleo de una caldera grande (calefacción central) en lugar de varias calefacciones pequeñas (individuales) solamente queda empañado por la necesidad de un sistema de distribución del calor más grande, ya que hay que llevar la energía térmica desde un único punto (la calefacción central) a todos y cada uno de los elementos emisores de calor, que están en todas y cada una de las estancias calefactadas.

De este modo, y para garantizar una mejora completa del rendimiento en el sistema de calefacción, se hace imprescindible reducir las pérdidas de energía en la red de distribución. La red de distribución además de ser extensa, puede pasar por zonas que no necesitan ser calefactadas por lo que esta energía es absolutamente inútil.

De este modo, la misión de la red de distribución es hacer llegar la mayor parte de la energía generada en la caldera a los elementos emisores de calor en las zonas calefactadas.

Por todo lo anterior, el aislamiento de las tuberías que forman la red de distribución es un componente fundamental de la misma que reduce las pérdidas, maximizando el calor que llega a los emisores haciendo el sistema de calefacción más eficiente.

Estas, pérdidas de calor tienen lugar a través de los mecanismos de transmisión de calor analizados en el apartado 1.2.1. Es decir, mediante conducción se producen

pérdidas cuando el fluido caliente entra en contacto con la tubería fría, por convección cuando la tubería entra en contacto con una masa de aire fría externa y por radiación cuando el calor se pierde al producirse una emisión radiante.

Otro punto por el cual es de vital importancia aislar las tuberías es para reducir las vibraciones, corrosiones y condensaciones de las tuberías que dan lugar a una disminución de las características físicas de las mismas, ocasionando pérdidas de calor.

Por todo ello, es necesario llevar a cabo un aislamiento térmico de las tuberías además de para proteger a las personas puesto que por las tuberías está permitido según el RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios) que el fluido caloportador circule hasta una temperatura de 60 °C.

Los principales sistemas de aislamiento de tuberías que se están empleando en la actualidad son los siguientes:

- **Aislantes para tuberías:** Consiste en realizar el proceso de aislamiento de la tubería (figura 4.11) mediante la aplicación de un elastómero sintético celular, el cual presenta gran resistencia al desgarro y una elevada flexibilidad.



Figura 4.11: Ejemplo de aislamiento en una tubería

- **Cintas acrílicas:** Se trata de unas cintas que permiten adaptarse a la superficie de las tuberías reduciendo en gran medida las pérdidas.

- **Cintas de aluminio:** Se utilizan para encintar las uniones y las juntas.
- **Fibra de vidrio en rollos:** Este sistema se caracteriza por emplear fibra de vidrio, la cual es un buen aislante térmico que pueden llegar a soportar hasta unos 200 °C.
- **Cañuelas de fibra de vidrio:** Se trata de un sistema de aislamiento (figura 4.12) constituido de una sola pieza endurecido con resina y de gran densidad que permite llevar a cabo un gran aislamiento de las tuberías.



Figura 4.12: Cañuelas de vidrio (www.dcdistritec.com)

- **Placas y rollos aislantes:** Son aislantes (figura 4.13) creados a partir de elastómeros con gran flexibilidad por lo que se adapta perfectamente a la forma de la tubería impidiendo que se produzcan pérdidas.

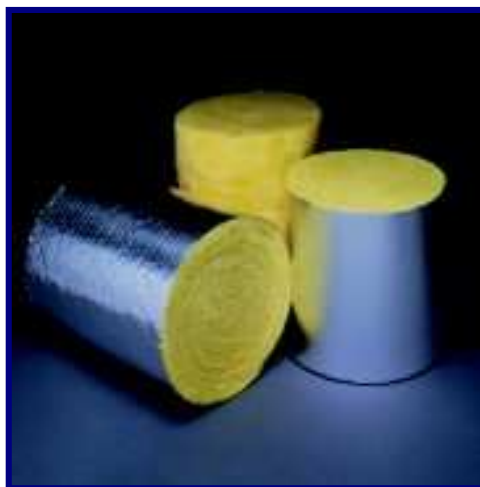


Figura 4.13: Rollo aislante de fibra de vidrio con aluminio (www.epsacv.com)

De todos estos sistemas de aislamiento, el comúnmente utilizado es la fibra de vidrio debido a que presenta un rango de temperaturas muy amplio. Además de ser un material ligero, anticorrosivo, incombustible y de bajo mantenimiento.

4.2.6 Válvulas. Tipos y características

Las válvulas son dispositivos que se ocupan de interrumpir total o parcialmente el fluido que atraviesa la tubería. Con ello se consigue un elevado control de las presiones y los caudales de los fluidos evitando sobrepresiones y depresiones que disminuyen la vida útil de las instalaciones.

Además las válvulas permiten aislar una parte de un circuito, para poder actuar sobre ellos en caso de ser necesarias labores de mantenimiento o reparación de algún elemento.

Existen diferentes tipos de válvulas, siendo las más utilizadas en instalaciones de calefacción y ACS las que se citan a continuación:

- **Válvulas de compuerta**: Se trata de una válvula de cierre todo o nada accionada por medio de un volante. Este tipo de válvulas solo se pueden utilizar en la función de cierre nunca en la función de regulación de caudales, puesto que es dicha función estarían sometidos a mucha erosión. Por otro lado, este tipo de válvulas permite conseguir una pérdida de carga baja en posición abierta y una estanqueidad en posición cerrada. En la figura 4.14 se observa un ejemplo de estas válvulas.



Figura 4.14: Válvula de compuerta (www.cexco.es)

- **Válvulas de mariposa:** Se trata de una válvula de cierre todo-nada, aunque en ocasiones puede desempeñar funciones de regulación. El diseño de este tipo de válvulas, se base en un disco en forma de mariposa que es el encargado de llevar a cabo la apertura o el cierre al estar unido a una palanca. Este tipo de válvulas se caracterizan por ser rápidas de accionar, ocupar poco espacio y generar poca pérdida de carga en posición abierta. En la figura 4.15 se puede observar un ejemplo de este tipo de válvulas.



Figura 4.15: Válvula de mariposa (www.cexco.es)

- **Válvulas de bola:** Se trata de una válvula de cierre todo-nada, que no permite llevar a cabo regulación de caudales debido a la erosión que sufriría en dicho proceso. En su diseño se caracteriza por presentar una bola taladrada que se encuentra acoplada a una palanca. Estas válvulas, son de acción rápida, de baja estanqueidad en posición abierta y permiten determinar la posición en la que se encuentra mediante contacto visual. En la figura 4.16 se puede observar un ejemplo de este tipo de válvulas.



Figura 4.16: Válvula de bola (www.cexco.es)

- **Válvulas de asiento:** Este tipo de válvulas (figura 4.17) se utilizan comúnmente para llevar a cabo el proceso de regulación de caudales, puesto que su diseño evita erosiones en posiciones intermedias. Este tipo de válvulas pueden ser de asiento recto, en las que se produce un cambio repentino o de asiento inclinado donde el movimiento del agua se lleva a cabo aerodinámicamente.



Figura 4.17: Válvula de asiento (www.cexco.es)

4.2.7 Tratamiento de agua

El agua, es el fluido caloportador por excelencia en la mayoría de las instalaciones de calefacción, debido a que presenta unas buenas características y a que tiene bajo coste. En dichas instalaciones, tal y como se ha explicado anteriormente, el agua es la encargada de transportar el calor generado en la caldera o en el generador, a través de la red de distribución, a los emisores de calor que serán encargados de llevar a cabo el proceso de calefactado.

Sin embargo cabe destacar el agua presenta también otro uso muy importante, debido a la necesidad de disponer de de agua caliente sanitaria (ACS) para el desarrollo de la vida cotidiana. Por agua caliente sanitaria, como ya se ha explicado anteriormente, se entiende agua que ha sido calentada y que se destina a usos sanitarios ó a otros usos como podría ser la limpieza.

Las instalaciones destinadas a la producción de ACS, suelen integrarse en la mayoría de los casos en las propias instalaciones de calefacción de los edificios, por lo que se deberá conectar con la caldera encargada de generar el calor el circuito de ACS.

Para llevar a cabo el proceso de producción de ACS, cabe destacar que el agua de las propias calderas no es apta para el consumo, por lo tanto se deberá recurrir a un suministro exclusivo para este uso, así como también al uso de intercambiadores. El procedimiento que se sigue para la obtención de ACS se inicia con la obtención de calor en la caldera, el cual es transferido al interior de los intercambiadores que a su vez lo transmiten al agua apta para el consumo sin que tenga lugar una mezcla entre ambos circuitos.

A continuación una vez que se ha calentado el agua es distribuida mediante una red de tuberías específica para ACS, hasta los puntos donde se lleva a cabo su consumo, o bien hasta depósitos donde se almacena para poder adaptar producción y consumo. Mientras que en el caso de consumo instantáneo, el agua se calienta unos 25 °C por encima del valor de la de alimentación (5 °C- 18 °C), oscilando por tanto la temperatura final entre 30 °C y 43 °C. En el caso de la acumulación la temperatura del agua oscila entre 60 °C y 70 °C para prevenir la legionelosis.

Una vez que se ha analizado el papel fundamental del agua dentro de las instalaciones, será de vital importancia analizar cuáles son sus principales características para poder llevar a cabo un correcto tratamiento del agua que permita una instalación segura y con una vida útil prolongada.

El agua, es un fluido cuyas características deben ser tenidas en cuenta para que pueda ser utilizada como fluido caloportador. Cuando el agua se calienta por encima de 100 °C, ésta entra en ebullición de modo que aunque se aporte calor no se consigue aumentar la temperatura de la misma, sino que se produce el paso a otro estado físico denominado vapor de agua.

Otra característica que se debe tener en cuenta, es que el comportamiento del agua a una temperatura inferior a 0 °C pasa de estado líquido a estado sólido en forma de

hielo lo que ocasiona un aumento volumen que en el caso de las redes de tuberías genera fracturas a través de las cuales se pueden producir importantes pérdidas. Para evitar esta situación se suele recurrir incluir aditivos tales como anticongelantes que disminuyen el punto de fusión evitando que el agua se convierta a hielo y genere fracturas de las mismas (figura 4.18)



Figura 4.18: Reventón de una tubería de cobre por congelación del agua
(www.idealgroupuk.co.uk)

Otro punto importante dentro del tratamiento del agua, como ya se ha explicado anteriormente, es que aquellas instalaciones de ACS en la que recurra a la modalidad de producción más acumulación, es de vital importancia disponer de un depósito en el que la temperatura esté siempre por encima de 60 °C y nunca estar a menos de 50 °C, debido a que la legionela es una bacteria que se presenta en aguas almacenadas de forma estanca a entre 20 °C y 45 °C. El Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, establece los criterios que deberá tener toda aquella agua cuyo uso sea para consumo.

En cuanto al agua referente a las instalaciones de calefacción, cabe destacar que como principal inconveniente la posibilidad de que existan impurezas que generen la corrosión de las redes de distribución. Por todo ello será de vital importancia que se controle que los parámetros de dióxido de carbono, oxígeno, cobre... estén dentro de los

baremos indicados por los fabricantes de tuberías para conseguir alargar la vida útil de la instalación.

Para garantizar que el agua de estas instalaciones cumple con dichos parámetros establecidos por el fabricante, en la actualidad, se están utilizando los siguientes equipos:

- **Ablandadores**: Se trata de dispositivos (figura 4.20) que buscan eliminar la dureza del agua para prevenir de las incrustaciones que se pueden generar debido a la presencia de iones calcio o magnesio. Estos equipos se caracterizan porque en ellos tienen lugar un intercambio iónico que sustituye dicho iones perjudiciales por iones de sodio que no generan incrustaciones.



Figura 4.19: Esquema de funcionamiento de un ablandador (www.acqualive.com.ar)

- **Filtros**: Los circuitos de dichas instalaciones deberán contar con dispositivos de filtración (figura 4.19) tanto a en la entrada del agua de alimentación como en las tomas de recirculación, para eliminar las posibles partículas en suspensión del agua.

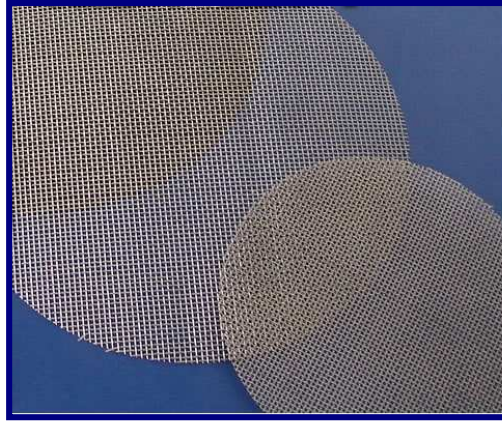


Figura 4.20: Filtros de malla metálica (www.filter-wiremesh.com)

- **Desgasificador**: Se trata de un dispositivo (figura 4.21), que tiene como misión principal llevar a cabo la eliminación de los gases contenidos en el agua como son el dióxido de carbono o el oxígeno, que pueden dar lugar a problemas de corrosión, incrustaciones, formación de lodos o crecimientos inorgánicos. Por tanto, con la eliminación de dichos gases contenidos en el interior del agua, se conseguirá mejorar el funcionamiento de la caldera y un funcionamiento más eficiente de las redes de distribución.



Figura 4.21: Equipo de desgasificación (www.directindustry.es)

El desgasificador basa su funcionamiento en aprovechar la solubilidad inversa de los gases, es decir, que su solubilidad desciende cuando aumenta la temperatura del agua. Por ello, en dicho dispositivo se lleva a cabo un proceso de precalentamiento del agua que hace que la solubilidad de dichos gases descienda. A continuación, se envía el agua a una torre de desgasificación donde mediante proceso de atomización se consigue liberar los gases disueltos en ella. Otra ventaja añadida que proporciona este sistema, es que precalienta el agua antes de la entrada en la caldera con lo que la energía necesaria para el calentamiento de la misma es menor y con ello se consigue obtener un mejor rendimiento de dicho equipo.

5 EQUIPOS TERMINALES DE CALEFACCIÓN

Los últimos equipos de un sistema de calefacción, que aprovechan la energía térmica útil en el fluido caloportador y lo transmiten al ambiente de la zona a calefactar, se denominan equipos emisores de calor.

El calor generado en la caldera eleva la temperatura del fluido caloportador, que se distribuye a las zonas calefactadas, a una temperatura superior a la estancia. De este modo, el emisor de calor deber permitir la transmisión de calor con la mayor facilidad posible a la estancia, disminuyendo la temperatura del fluido caloportador, que debe ser elevada de nuevo en la caldera.

Los emisores o equipos terminales de calefacción son aquellos dispositivos en los que se lleva a cabo un proceso de cesión de energía térmica a aquellos espacios donde se busca alcanzar una temperatura determinada. El diseño de estos elementos tiene su base en un recipiente de paredes con baja resistencia a la transmisión del calor contenido en el fluido caloportador que circula por el interior de los mismos.

Estos dispositivos se deberán dimensionar y distribuir con precisión para garantizar que la estancia alcanza la temperatura deseada y que no se produzcan desequilibrios de temperatura entre diferentes estancias. Convencionalmente, dichos dispositivos se sitúan próximos a aquellos elementos que pueden suponer una pérdida de calor como ventanas o muros exteriores, para contrarrestar dicha pérdida de calor.

Los emisores pueden ser de diversos tipos, a continuación se desarrollarán los tipos de emisores más utilizados en la actualidad.

5.1 Radiadores

Los radiadores son el grupo de emisores que se emplean con más frecuencia en las instalaciones de calefacción. Se trata de un dispositivo en cuyo interior circula el fluido caloportador y contrariamente a lo que se podría deducir del nombre de dicho dispositivo emiten calor a la estancia por medio de convección fundamentalmente.

Recordando el mecanismo de transmisión por conducción, producirá una circulación de aire elevándose a medida que discurre por el radiador y desplazándose por toda la estancia. De este modo, el diseño del radiador deber favorecer la circulación de aire en su interior, tal y como se muestra en la siguiente figura:

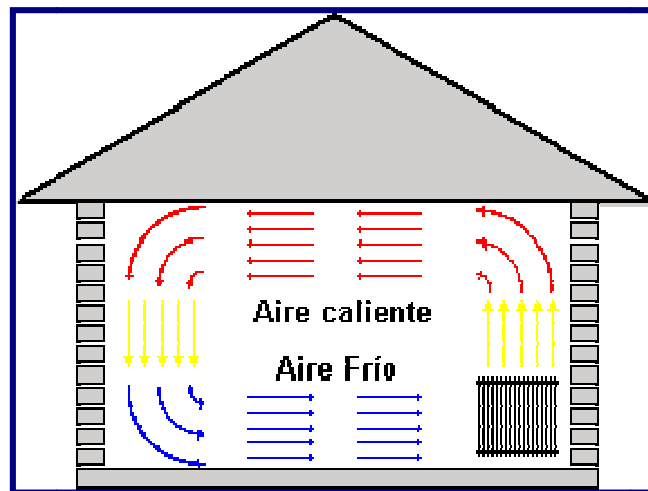


Figura 5.1: Esquema de la circulación del aire en el interior de una vivienda

(www.laplace.us.es)

Para conseguir alcanzar un elevado grado de eficiencia de estos dispositivos se recomienda que su superficie emisora no se tapone con cubrerradiadores, cortinas o tejidos reduciéndose el intercambio de calor por convección.

Además, para obtener los rendimientos adecuados de energía emitida, la temperatura a la que debe estar el fluido caloportador debe ser elevada. Esta temperatura suele ser del orden de 70 °C a 90 °C. Actualmente existen radiadores de baja temperatura, pero su funcionamiento es menos eficaz.

5.1.1 Clasificación: materiales y diferencial constructivo

Los elementos terminales de calefacción se caracterizan porque su diseño tiene como base un material que presente un elevado grado de conductividad del calor, y en función del material que se emplee en el proceso de fabricación, podemos distinguir los siguientes tipos:

- **Radiadores de hierro fundido:** Este tipo de emisores fueron los primeros en instalarse en los primeros sistemas de calefacción. Se caracterizan porque presentan una elevada resistencia a la corrosión, por lo que su vida útil es prolongada y están fabricados de un material que presenta unas características conductivas óptimas. Además, el emisor tarda en alcanzar temperatura pero luego la retiene durante un periodo de tiempo mayor. El principal inconveniente de este grupo es el elevado peso de dichos dispositivos lo que dificulta el montaje y hace que sea necesario paredes de elevada capacidad portante para su sujeción o ser soportados sobre el suelo. En la actualidad se suelen utilizar destinados a la decoración. Un ejemplo de este tipo de radiador, se muestra en la figura siguiente:



Figura 5.2: Radiador de hierro fundido para decoración_(www.es.hudsonreed.com)

- **Radiadores de acero:** El funcionamiento de este tipo de dispositivos es similar al proceso que tiene lugar en los de fundición salvo que su peso es menor. El inconveniente de este tipo de dispositivos es que son menos resistentes a la corrosión por lo que su vida útil se reduce considerablemente. Una variedad de estos radiadores son los paneles de acero radiante, es decir, se disminuye los grosores para que el emisor para que sobresalga menos. A continuación en la figura 5.3, se puede observar un ejemplo de este tipo de emisores de calor fabricados en acero.

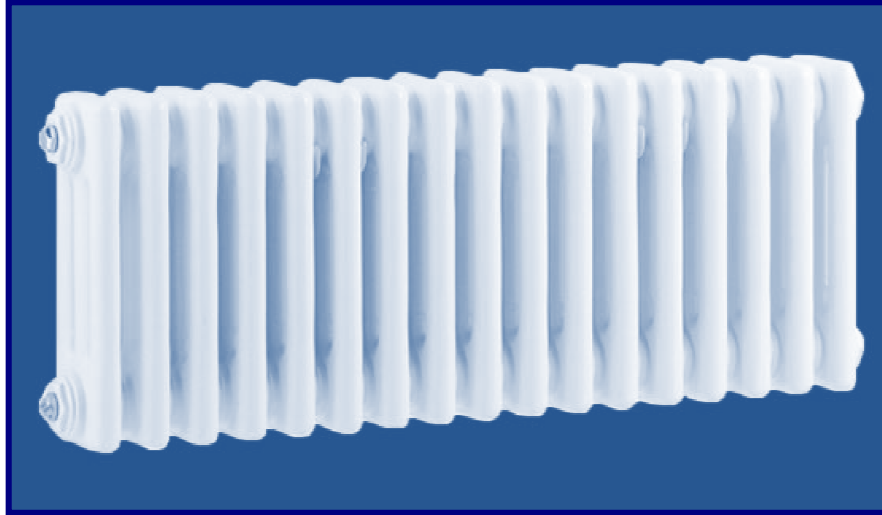


Figura 5.3: Radiador de acero (www.es.hudsonreed.com)

- **Radiadores de aluminio:** En la actualidad estos emisores son los más empleados debido a que presentan una gran relación peso-transmisión de calor. Además este tipo de radiadores presentan un peso bajo, una gran emisividad de calor y además su fabricación se lleva a cabo por elementos independientes lo que permite adecuar las dimensiones de los mismos a la demanda de cada estancia. Su principal inconveniente es que su baja inercia térmica reduce el confort en la zona a calefactar. A continuación en la figura 5.4, se puede observar un ejemplo de este tipo de emisores.



Figura 5.4: Radiador de aluminio (www.es.hudsonreed.com)

5.1.2 Emisión de calor

La emisión de calor a través de los radiadores se puede llevar a cabo mediante dos mecanismos de transmisión de calor combinados como son la convección y la radiación, en menor medida.

El proceso que tiene lugar se inicia con la cesión de calor desde el fluido caloportador hasta los emisores, los cuales, irradian dicha energía térmica hacia la estancia a calefactar. Además, también tiene lugar un proceso de convección entre los emisores y el aire frío de la estancia, que la entrar en contacto con el emisor se calienta y se distribuye por el recinto. Dicho proceso de emisión de calor en radiadores, queda reflejado en la siguiente figura:

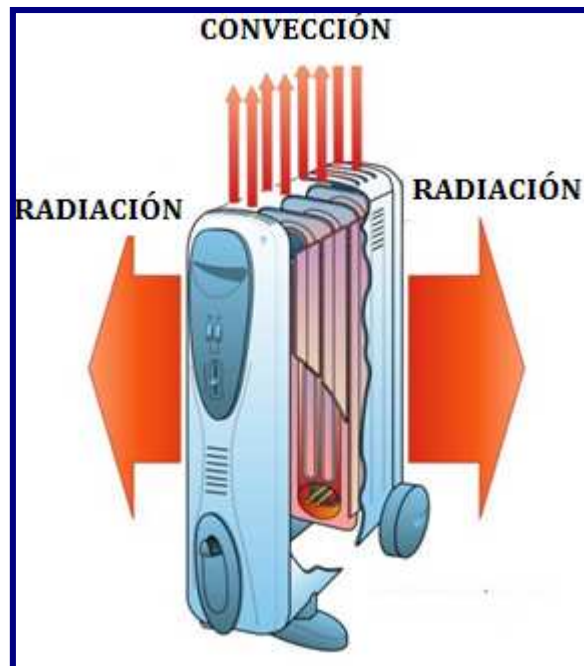


Figura 5.5: Esquema de emisión de calor en radiadores (www.adndesign.es)

5.2 Fancoils y aerotermos

Los fancoils, son dispositivos que están constituidos por un ventilador que lleva a cabo el proceso de propulsión del aire caliente con lo que se obtiene un rendimiento elevado en el serpentín. Este tipo de dispositivos presenta como característica relevante, que en caso de que el proceso se lleva a cabo utilizando agua fría en la alimentación pueden permitir un enfriamiento de la instalación.

Por otro lado, los aerotermos, son elementos constituidos por una batería a través de la cual circula el agua caliente, detrás de ella se encuentra ubicada un ventilador helicoidal que es el encargado de hacer que el aire circule a través de la batería, y dicho aire caliente es el que se evacúa a la zona a calefactar. Este mecanismo, se suele utilizar en zonas de gran tamaño.

En ambos casos, la capacidad de emisión de calor es mucho mayor que en los radiadores ya que el ventilador provoca la circulación forzada y el fluido caloportador se enfría más rápidamente, cediendo a gran velocidad el calor al entorno. Es precisamente la circulación forzada de aire la principal desventaja de este sistema ya que el ruido emitido puede ser molesto. Además, está demostrado que el confort en una estancia es menor cuanto mayor sea la velocidad del aire en la misma.

5.2.1 Clasificación: materiales y diferencial constructivo

Un fancoil, como ya se ha definido anteriormente, es un dispositivo emisor de calor que se encuentra compuesto por:

- Una carcasa de acero que sostiene al resto de elementos.
- Una cubierta fabricada en chapa pintada plástico que impide la visión del resto de los componentes. Esta cubierta dispone de una rejilla para que el aire sea expulsado.
- Una batería enfriadora fabricada en cobre que consta de una serie de aletas de aluminio.
- Un ventilador centrífugo.
- Una batería de recogida de los condensados.
- Un filtro de aire que estará ubicado a la entrada.
- Una caja de conexiones y una válvula de tres vías, que permite cortar el agua en movimiento en la batería.

Una vez que se han identificado las principales partes que constituyen un fancoil, se puede llevar a cabo una clasificación de los mismos. Los fancoils, se pueden clasificar de la forma que se expone a continuación.

1) **Los fancoils tradicionales**, se pueden clasificar en:

- ***Con cubierta o sin cubierta***: Para forrar con maderas o para empotrar.
- ***Verticales de pie u horizontales de pared o techo***: Los fancoils horizontales, ocupan menos espacio lo que supone una ventaja con respecto a los verticales (figura 5.6). Los verticales se suelen ubicar bajo las ventanas o en los huecos destinados a radiadores. Cuando las temperaturas son muy bajas se suele recurrir a colocarlos verticales en contacto con la pared externa.



Figura 5.6: Fancoil vertical de pie (www.ahi-carrier.com.au)

- ***Vistos o de empotrar***: Deben disponer de tuberías o conductos para el aire.

2) **Fancoils modernos**: En la actualidad existen otros tipos de fancoils, más modernos, estéticos y de funcionamiento superior. Entre ellos, cabe destacar los siguientes:

- ***Fancoils de pared tipo Split*** (figura 5.7)



Figura 5.7: Fancoil de pared tipo Slipt (www.ahi-carrier.com.au)

- **Fancoils de empotrar de una o dos vías**
- **Fancoils de cassette:** Se emplean para colocar de forma empotrada en techos y permiten distribuir el calor en cuatro direcciones, lo que permite llevar a cabo una mejor distribución del calor. Un ejemplo de este tipo de dispositivos se muestra en la figura siguiente.



Figura 5.8: Fancoil de tipo cassette (www.ahi-carrier.com.au)

En cuanto a los materiales constructivos utilizados tanto para fancoils como aerotermos, se recurre a materiales ligeros, resistentes a la corrosión, robustos y flexibles como pueden ser los aceros galvanizados.

En cuanto a su disposición, ambos dispositivos podrán montarse de formas distintas pero siempre se deberán prestar especial cuidado a que la instalación de los mismos se realice de forma correcta para que tanto la entrada como la salida del aire tengan lugar de forma correcta.

5.2.2 Emisión de calor

La emisión de calor tanto en fancoils como en aerotermos se lleva a cabo por combinación de dos fluidos. Es decir, se en estos dispositivos tiene lugar un intercambio agua-aire combinado con un electro-ventilador.

El proceso (figura 5.9) consiste en que el aire de la habitación a calefactar es captado por estos dispositivos que lo obligan a cruzar el intercambiador agua-aire, de forma que al entrar el aire en contacto con el serpentín caliente se produce un cesión de energía al aire el cual es impulsado a continuación a la estancia a calefactar. El proceso de funcionamiento es muy similar al que se lleva a cabo en un radiador, pero con una mayor potencia de disipación.

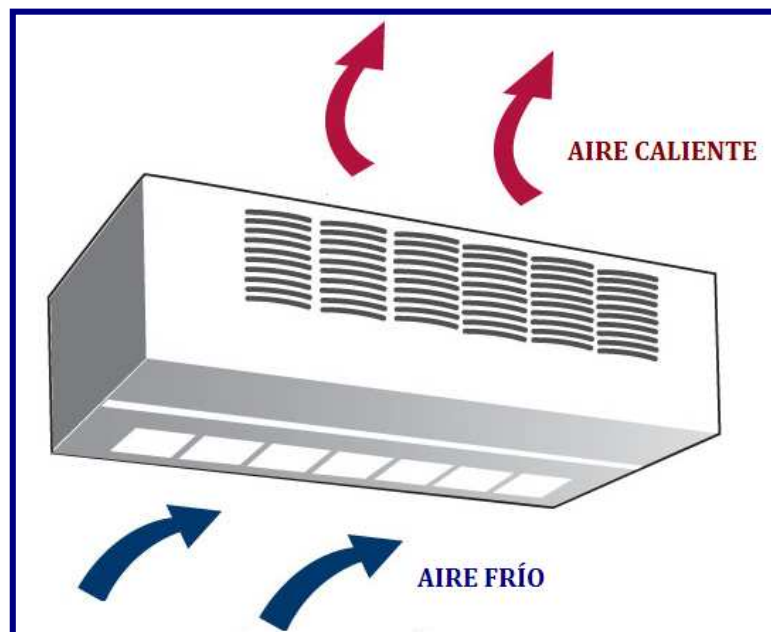


Figura 5.9: Esquema de emisión de calor en fancoils

5.3 Suelo radiante

El suelo radiante, es un mecanismo de calefacción que se caracteriza por ubicarse bajo la superficie de las viviendas a calefactar.

En la actualidad, se trata de una modalidad de emisión de calor que está siendo de gran aplicación debido a que presenta una serie de ventajas con respecto a los emisores tradicionales que se expondrán a lo largo de éste apartado.

A continuación, se van a desarrollar los apartados claves, que se debería tener en cuenta a la hora de utilizar un sistema de calefacción por suelo radiante.

5.3.1 Principios de funcionamiento

El suelo radiante, es un mecanismo de calefacción que se basa en introducir una tubería por debajo de la superficie del suelo. A través de dicha tubería se hace circular agua caliente a baja temperatura (35°C - 45°C), la cual suele proceder de forma general de la caldera, de modo que se produzca una cesión de calor a la tubería y de ésta al suelo de la instalación a calefactar. La temperatura del suelo no deberá superar en ningún caso 29°C , en la figura 5.10, se muestra la distribución ideal de temperaturas para suelo radiante y su comparativa con otros tipos de calefacción.

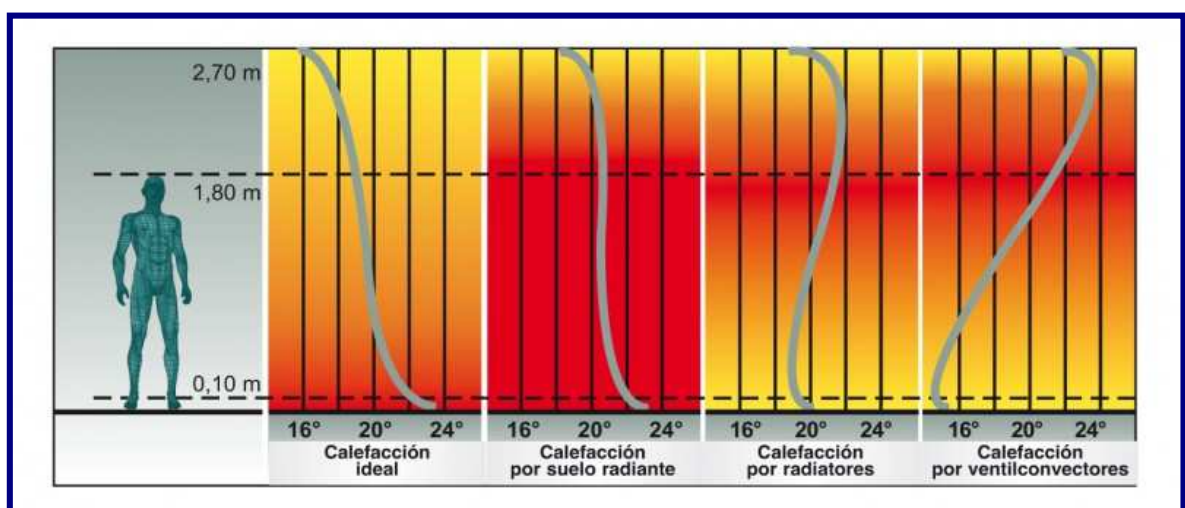


Figura 5.10: Distribución de temperatura para distintos sistemas de calefacción

(www.tiemme.com)

La limitación de la temperatura del suelo a 29 °C para evitar dilataciones que prorrogan daños estructurales en el edificio hace necesario el aumento de la superficie de radiación. Es por esto que aumenta la superficie de radiación al 100 % de la superficie de la estancia.

Sin embargo, este aparente inconveniente supone una oportunidad de combinación con otros generadores de calor, puede ser instalaciones solares térmicas o instalaciones basadas en bombas de calor (como pueda ser la geotermia o la aerotermia) que no tiene buenos rendimientos con temperaturas de funcionamiento altas (como las de rango de 70 °C a 90 °C típico de los radiadores). Esta conjunción aumenta la proyección de suelo radiante.

Además el suelo radiante permite ser utilizado como refrigerador, si a su través se introduce un líquido a baja temperatura (que no debe ser inferior a 10 °C) pasando a ser suelo refrescante.

En la figura 5.11, se muestra un esquema de la distribución de calefacción por suelo radiante:

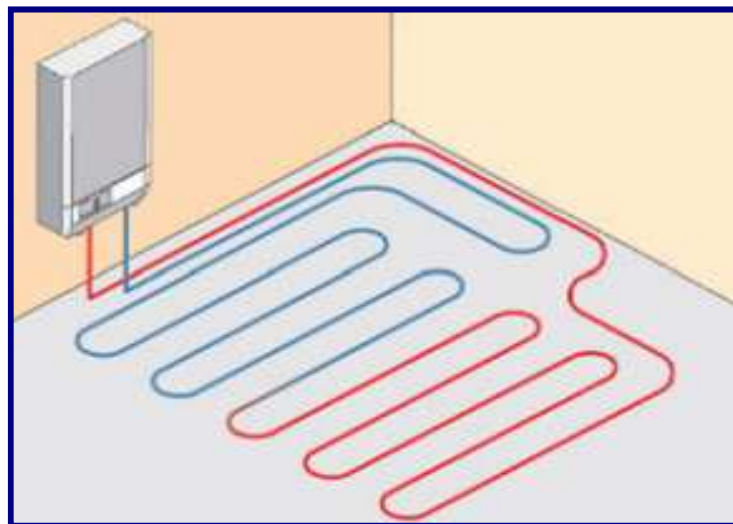


Figura 5.11: Esquema de calefacción por suelo radiante (Grau)

Este sistema de calefacción permite distribuir el calor de una forma más uniforme que cuando se emplean sistemas tradicionales, así como también permite una reducción

del espacio para el sistema de calefacción al poseer un diseño oculto tras la superficie del suelo, por lo que además resulta más estético.

Este sistema de calefacción, se diferencia además de los sistemas tradicionales como son radiadores, fancoils o aerotermos, de que utiliza como mecanismos de transmisión la radiación y la conducción. Es decir, el pavimento situado sobre las tuberías por las que circula el agua caliente capta la energía térmica de éstas y la emite en forma de radiación a la estancia a climatizar. Además como la radiación depende directamente de la superficie de radiación, esta modalidad presenta una gran ventaja con respecto a los radiadores al disponer de mayor superficie de radiación.

5.3.2 Tipos de distribución

La distribución de este sistema de calefacción, como se ha explicado con anterioridad se realizará por debajo de la superficie del suelo. Cabe destacar que la distribución de las tuberías encargadas del transporte del fluido caloportador es clave para conseguir una buena distribución del calor en la estancia que se desee calefactar.

Para llevar a cabo dicha distribución de forma correcta, se pueden utilizar tres distribuciones fundamentalmente:

- **Distribución en serpiente**: Esta distribución se caracteriza porque se coloca el primer extremo de la tubería en un extremo de la estancia que se desee calefactar y el otro en el extremo opuesto de la misma. De modo, que el diseño de la red de tuberías estará constituido por líneas paralelas serpenteantes

Esta distribución, es la distribución más sencilla que se puede aplicar a un sistema por suelo radiante. Sin embargo, tiene el inconveniente de que no garantiza una distribución uniforme, debido a que uno de los extremos está más cerca de la calefacción que el otro. Es decir, al extremo final el agua llegará con menor temperatura que en el inicial debido a las pérdidas producidas en el transporte. En la figura 5.12, se puede observar un esquema de esta distribución.

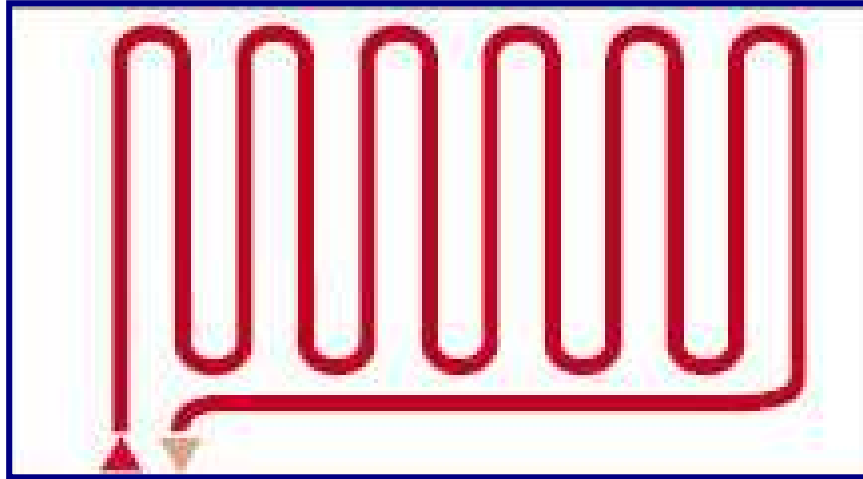


Figura 5.12: Red de tuberías en serpentin (Grau)

- **Distribución en doble serpentin:** Esta distribución permite solventar el principal inconveniente de la distribución en serpentin. Para ello, se incrementa el espacio de separación entre las tuberías paralelas para poder colocar una tubería de retorno que permite garantizar la distribución uniforme del calor. Esta modalidad, se suele aplicar en espacios con distribuciones irregulares. En la figura 5.13, se muestra un esquema de esta distribución.

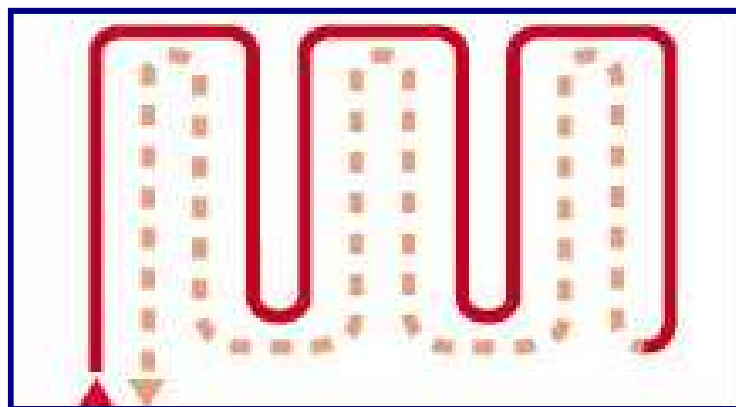


Figura 5.13: Red de tuberías en doble serpentin (Grau)

- **Distribución en espiral:** Esta distribución se caracteriza porque la distribución de las tuberías se realiza dibujando sobre el suelo una espiral desde la parte más externa a la parte interna. Además en este diseño, se deberá contar con la distancia suficiente entre tuberías para colocar las tuberías de retorno. Este sistema, permite llevar a cabo una distribución uniforme del calor pero presenta el inconveniente de que si se dispone

de espacios de formas irregulares, el diseño de la construcción puede ser complicado. En la figura 5.14, se muestra un esquema de esta distribución.

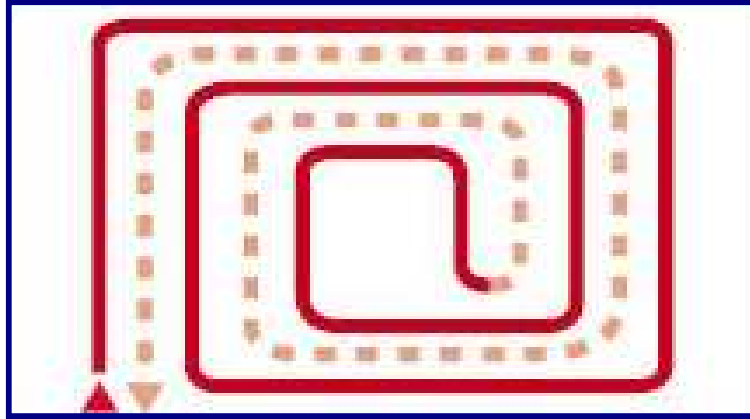


Figura 5.14: Red de tuberías en espiral (Grau)

5.3.3 Elementos de aislamiento y sujeción

Las construcciones en las que se instala un sistema de calefacción con emisor basado en suelo radiante deben presentar una disposición muy particular de aislamiento. El calor, que se transfiere por radiación y por conducción debe ser dirigido hacia arriba. De este modo debe aislarse fuertemente por debajo del emisor y deben disponerse materiales que faciliten el flujo de calor hacia la estancia a calefatar. De este modo se evitarán pérdidas o desviaciones de energía hacia zonas no deseadas.

Por otra parte se debe tener en cuenta que la existencia de elementos aislantes adicionales, como suelos aislantes o alfombra, reducirán la eficiencia del sistema de calefacción, además de provocar sobrecalentamientos localizados.

Para llevar a cabo el proceso de aislamiento en los sistemas de calefacción por suelo radiante, se utilizan habitualmente paneles aislantes. Estos paneles, se ubican encima del forjado y sobre ellos se van a colocar las tuberías encargadas de llevar a cabo el transporte del fluido caloportador. En la siguiente figura, se puede observar las diferentes capas que constituyen un sistema por suelo radiante.

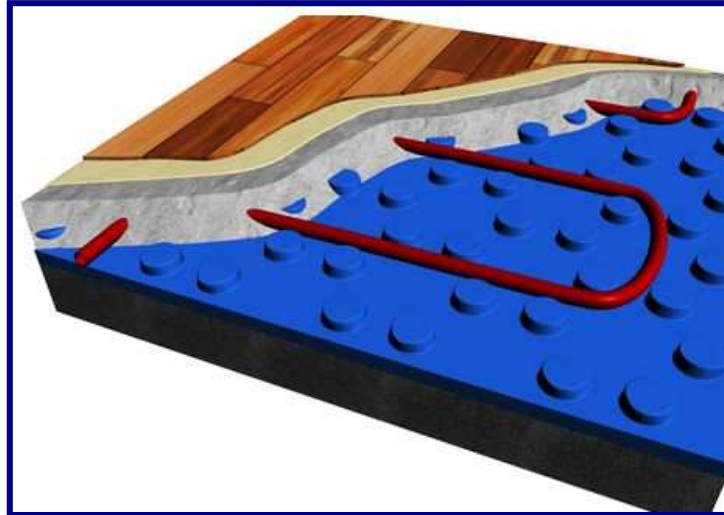


Figura 5.15: Esquema de composición de un suelo radiante (www.energe.com.ar)

Estos paneles serán los encargados de llevar a cabo tanto un aislamiento térmico como un aislamiento acústico y podrán ser de múltiples materiales y distribuciones en función de los fabricantes. A grandes rasgos, podemos distinguir dos grandes grupos:

- **Paneles rígidos moldeados**: Están fabricados mediante poliuretano expandido de elevada densidad o porespan. Se trata de aislantes de tipo plastificado que se pueden ir encajando entre sí y permiten alojar el tubo de forma sencilla y su sujeción mediante el uso de tetones. En la figura 5.16, se muestra un esquema de este tipo de aislamiento.



Figura 5.16: Montaje de tubos con paneles rígidos moldeados (*Grau*)

- **Paneles en rollo o mantas:** Están fabricados mediante poliestireno de alta densidad lo que permite aguantar pesos elevados. Este tipo, se caracteriza por realizar una protección mediante capas sucesivas que impide la deformación, el deterioro y por tanto se consigue alargar la vida útil de la instalación. Este tipo de aislantes, pueden estar diseñados de manera que incluyan accesorios como cintas autoadhesivas para llevar a cabo la sujeción del mismo y grapas para la fijación de los tubos. En la figura 5.17, se muestra un esquema de este tipo de aislamiento.

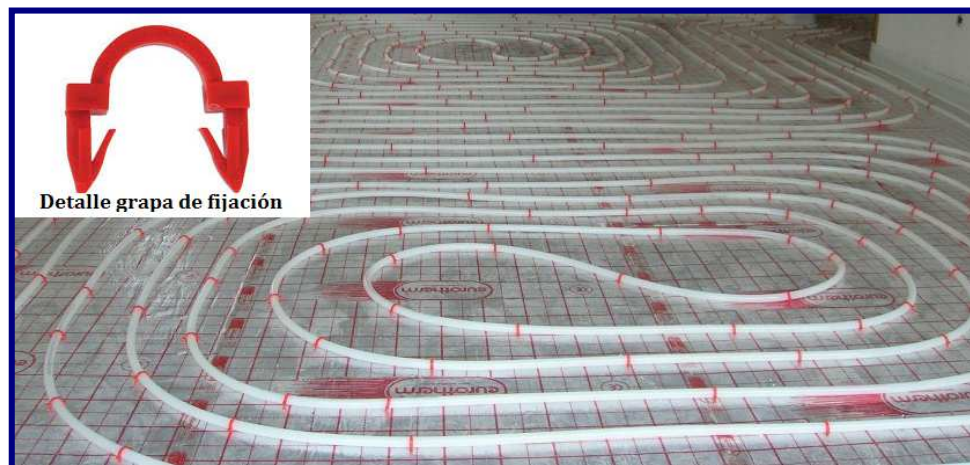


Figura 5.17: Instalación de tuberías sobre panel en rollo (www.surnivel.com)

5.3.4 Tipos de tuberías

Las tuberías de un sistema de calefacción por suelo radiante, son el componente fundamental de la instalación. Por ello, deberán estar construidas en materiales resistentes y con buenas características de transmisión.

En la actualidad, se utilizan principalmente tres materiales para la construcción de tuberías, los cuales son:

- **Tuberías de polietileno reticulado:** Este tipo de material, se caracteriza por ser inerte cuando entra en contacto con yeso u hormigón, no se dilata cuando circula agua caliente por su interior, presenta una elevada flexibilidad que permite la ausencia de empalmes con lo que la posibilidad de pérdidas se ve reducida en gran medida. Además se trata de un material con elevada resistencia a impactos. En la siguiente figura se puede observar este tipo de tuberías.



Figura 5.18: Tuberías de polietileno reticulado (www.polygonpipe.com)

- **Tuberías multicapa:** Este tipo tubería consiste en un sistema que combina polietileno y aluminio. Es decir, esta tubería cuenta con una capa interna constituida a basa polietileno reticulado, puesto que será la capa en contacto con el fluido caloportador y este material permite soportar elevadas temperaturas. Por encima de esta capa de polietileno reticulado, se ubica una capa de aluminio que convierte la tubería en impermeable al no permitir el paso de oxígeno. Y por último una capa de polietileno que permite dar cohesión y uniformidad a la tubería. Todas estas uniones entre capas se realizan mediante la presencia de una capa intermedia de adhesivo. En la siguiente figura se observa un esquema de la composición de este tipo de tuberías.



Figura 5.19: Esquema constructivo de tuberías multicapa (www.arqhys.com)

- **Tuberías de polibutileno:** El polibutileno (figura 5.20) es un termoplástico parcialmente cristalino que se caracteriza por presentar baja densidad, alta resistencia química y ausencia de corrosión, resistencia al agua caliente y la presión, bajas pérdidas de calor y elevada elasticidad. Todo ello, hacen que sea un material muy utilizado para los sistema de calefacción por suelo radiante.



Figura 5.20 : tubería de polibutileno (www.valgroup.es)

5.3.5 Armarios y colectores

El sistema de colectores, agrupa una serie de accesorios que permiten llevar a cabo la distribución del fluido desde la caldera a los circuitos distribuidores. Es decir, se trata de los componentes que se encargan de la regulación del sistema, por tanto, de subdividir la instalación en varios circuitos, constando cada circuito de un colector de entada ubicado en la parte superior y enmarcado en rojo y de otro de retorno ubicado en la parte inferior y enmarcado en azul.

Los colectores se deberán ubicar en el interior de un armario para protegerlos así como para que se puedan llevar a cabo operaciones de regulación. De forma general, estos armarios se construyen en múltiples materiales y formas en función de cada fabricante pero siempre deberá llevar un sistema de cerradura para evitar el acceso a los mismos de personal no autorizado.

Dentro de los colectores, se pueden distinguir fundamentalmente dos grandes grupos, los cuales son:

- **Colectores modulares**: Se trata de equipos (figura 5.21) de poco peso fabricado que presentan gran resistencia mecánica y a la presión y temperatura. Estos dispositivos constan tanto de numerosos módulos de impulsión y retorno que se instalarán de acuerdo a las necesidades. Estos colectores se caracterizan porque permite llevar a cabo múltiples combinaciones con espacio muy limitado sin embargo, ello puede dar lugar a que al existir numerosas uniones la posibilidad de pérdidas se incremente.



Figura 5.21: Colector modular (www.valgroup.es)

- **Colectores no modulares**: Se trata de equipos (figura 5.22) constituidos en un único bloque, de forma que se reducen los riesgos de fuga y la flexibilidad de ubicación en circuitos está mucho más limitada al tratarse de un único bloque compacto.



Figura 5.22: Colectores modulantes (www.uponor.es)

5.3.6 Fluidificantes y hormigones especiales

Un fluidificante, es un compuesto que se añade a los hormigos para conseguir potenciar una serie de características de acuerdo a unas condiciones de diseño previas. En el caso de instalaciones de calefacción por suelo radiante se buscará obtener un hormigón compacto y homogéneo, es decir, sin fracturas a través de las cuales se puedan producir pérdidas de calor. El concepto, de fluidificante queda definido en la UNE-EN 934-2:2010+A1:2012.

El uso de fluidificantes o superfluidificantes (fluidificantes cuyos efectos son mayores que en el caso de los fluidificantes) se emplea en el caso de los hormigones para conseguir obtener:

- 1)** Un proceso de compactación homogéneo al reducir el número de burbujas y retardar el fraguado.
- 2)** Aumento de la maleabilidad, trabajabilidad y resistencia.
- 3)** Aumentar la adherencia para evitar la presencia de poros o fisuras por donde se produzcan pérdidas de calor.
- 4)** Aumentar la permeabilidad.

El uso de fluidificantes, requiere de un diseño y análisis previo para conseguir un diseño adaptado a cada instalación, puesto que en función de las características que presente cada instalación será necesario disponer de un hormigón u otro.

6 REGULACIÓN Y CONTROL DE INSTALACIONES DE CALOR

La regulación y el control es un subsistema que actuará sobre el sistema de calefacción, modificando sus condiciones de trabajo a partir de una programación o pautas preestablecidas en el propio sistema de regulación y una serie de parámetros de entrada en función de los cuales actuará el sistema de control.

Todo el sistema de calefacción (sistema de generación, distribución y dispositivos emisores) se dimensionan para unas condiciones externas preestablecidas en la normativa correspondiente. Cuando esta situación se vuelve más favorable es necesario que el sistema de regulación adapte la emisión de calor a las necesidades instantáneas del edificio. En este mismo orden, la central generadora de calor necesitará menos tiempo de funcionamiento para cubrir la energía térmica demandada, con lo que aumentará el número de arranques y paradas en la caldera indeseablemente.

Con la regulación y el control de las instalaciones de calor se pretende conseguir mantener o mejorar el confort en una estancia determinada con una elevada eficiencia energética y un consumo mínimo.

6.1 Control de instalaciones de calefacción y ACS

Dada la complejidad de un sistema que produce simultáneamente calefacción y ACS, serán muchas las variables que deben tenerse en cuenta para coordinar simultáneamente todas las variables del proceso:

- Para que el sistema de generación de calor se suele actuar sobre la cantidad de combustibles aportado por unidad de tiempo o gasto. El sistema, lógicamente, será más eficiente cuanto menor sea el gasto, pero deberá mantener una temperatura mínima en el hogar de la caldera (que dependerá de la energía que entra por la combustión del combustible, y la que sale en forma de calor por el fluido caloportador) para que no se produzcan condensaciones en la misma. Esta regulación además reduce el número de arranques y paradas en la caldera.

- Si se atiende a la temperatura en cada zona a calefactar, resulta evidente que cuanto mayor sea el número de circuitos independientes, y de termostatos, mejor podrá adaptarse el sistema a las necesidades planteadas por el usuario. En algunos edificios de viviendas se llega a establecer un termostato, que actúa sobre el correspondiente emisor de calor, en cada habitación, pudiendo elegirse de forma automática que estancias deben calefactarse y cuáles no.

- En edificios del sector terciarios los sistemas de calefacción se encarecerían excesivamente si se realizase una división tan elevada, por lo que la regulación se limita al empleo de válvulas termostáticas que anulan el radiador de la estancia que ha alcanzado una determinada temperatura. Esta medida es especialmente útil en despachos o zonas con distinta orientación en los que se consiguen las temperaturas de consigna en tiempos diferentes.

- Por último en grandes edificios ni siquiera se realiza un control en función de la temperatura en la estancia, sino que se realiza un control en función de la temperatura exterior, haciendo variar la temperatura de impulsión del fluido caloportador. De este modo, el mismo radiador emite menos potencia, porque la caldera calienta menos agua si las condiciones exteriores no son extremas.

Por su parte, la instalación de un sistema convencional de producción de ACS tiene un sistema de regulación relativamente sencillo. Este sistema de regulación se complica en aumento si existen dos generadores de calor independientes, que actúan de forma combinada, como ocurre actualmente en calderas convencionales apoyadas por colectores solares térmicos. En este caso debe establecerse una jerarquía de funcionamiento, así como la desconexión de los colectores solares en caso de que no consuman energía térmica.

6.1.1 Conceptos básicos de control

Para poder analizar los sistemas de control y regulación de este tipo de instalaciones, es necesario analizar en primer lugar una serie de conceptos relacionados con el control y la regulación que nos van a permitir el análisis de los proceso de control y regulación. Entre estos conceptos destacan los siguientes:

- **Temperatura de consigna de la instalación:** Consiste en aquel valor de temperatura prefijado por el usuario o por el técnico que se desea alcanzar dentro de una estancia a calefactar. De modo, que la instalación funcionará hasta que se alcance dicho valor de temperatura.

- **Detectores o elementos de medida:** Se trata de dispositivos cuya función es la de enviar a una señal que sea proporcional a la variable que se está midiendo. Para ello se diseñan con un elemento sensible, el cual lleva a cabo las medidas y un elemento de transformación. Entre ellos destacan los sensores, los indicadores o los transmisores.

- **Sensor:** Un sensor es un elemento de medida que permite capturar señales como presión o temperatura, es decir, magnitudes físicas que serán transformadas a lenguaje eléctrico para que la unidad de control pueda llevar a cabo su función.

- **Actuador:** Se trata del dispositivo opuesto al sensor, es decir traduce el lenguaje eléctrico a magnitudes físicas.

- **Reguladores:** Se trata de dispositivos que tiene como función poner en orden las acciones correctoras a partir de la información que han enviado los detectores, para conseguir que una serie de variables se muevan en un rango de parámetros predeterminado.

- **Órganos de ajuste:** Son aquellos dispositivos que en función de la información recolectada por los reguladores actúan de una forma u otra sobre la variable a controlar. En este grupo se pueden destacar por ejemplo las válvulas de control.

- **Termostato:** Se trata de aquel dispositivo que se encarga de llevar a cabo el control de la temperatura de una instalación bien sea de forma manual o bien sea de forma automática.

6.1.2 Tipos de controladores

Existen numerosos tipos de controladores que permiten controlar y regular las instalaciones de calefacción y ACS, sin embargo, en este apartado solo se destacan los que más aplicación están teniendo en la actualidad. En la figura 6.1, se presentan los tres tipos de controladores que a continuación se van a desarrollar.

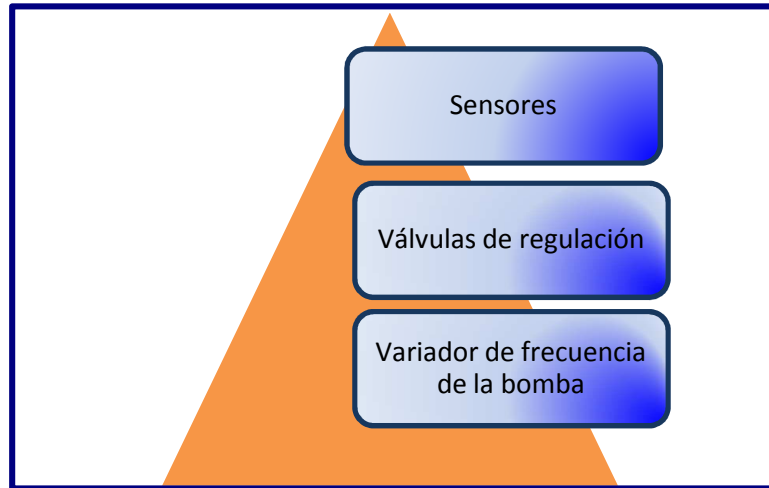


Figura 6.1: Esquema de controladores (*Elaboración propia*)

6.1.2.1 Sensores

Un sensor (figura 6.2), como se ha explicado anteriormente, es un elemento de medida que permite capturar señales como presión o temperatura, es decir, magnitudes físicas que serán transformadas a lenguaje eléctrico para que la unidad de control pueda llevar a cabo su función.



Figura 6.2: Sensor de temperatura (*www.directindustry.es*)

Las instalaciones de calefacción se diseñan para conseguir alcanzar una temperatura de confort en una estancia determinada y alcanzar una temperatura de agua determinada.

Para conseguir alcanzar las condiciones de confort y de agua caliente, se instalarán múltiples sensores, de presión, de temperatura... con lo que se busca garantizar que se alcancen dichas condiciones preestablecidas.

Por ello en este tipo de instalaciones, utilizan un termostato, el cual es un dispositivo que se basa en la aplicación de un sensor unido a un termómetro de forma que por debajo de una determinada temperatura la caldera arranca para conseguir que estancia alcance una temperatura y para una vez que se ha establecido esa temperatura en la estancia.

Para que el sensor del termostato actúe de forma correcta, la ubicación de éste será primordial debido a que si se instala en una sala muy concurrida, en esa sala la temperatura se alcanzará rápido y se enviará la señal de corte quedando el resto de zonas sin calefactar o incluso producirse lo contrario si la sala es muy fría.

6.1.2.2 Válvulas de regulación

Las instalaciones de calefacción y ACS, tiene que contar con dispositivos que permitan llevar a cabo una regulación del caudal que se envía a cada circuito en cada momento. Para ello, se recurre al uso de válvulas de regulación que se encargan de controlar el paso o no de un determinado caudal.

Las válvulas de regulación, son dispositivos fabricados en aceros inoxidable en su mayoría y bronce en algunos casos, que se diseñan con una buena resistencia ante vibraciones y ante los efectos de la corrosión.

En cuanto a las válvulas de regulación en sí, podemos hacer una clasificación en dos grandes grupos:

- **Termoestáticas:** Estos dispositivos se caracterizan por contar en su diseño con un elemento que es sensible a una serie de temperaturas para la cuales ha sido

programado, de forma que deja pasar una determinada cantidad de agua. Dentro de las válvulas termostáticas, a su vez, podemos distinguir dos subgrupos:

- *De cuatro vías:* Este tipo de válvulas (figura 6.3) se colocan a la salida de los depósitos de acumulación y están diseñadas con tres válvulas una de acumulación, una de agua fría y una de ACS y una cuarta que permite llevar a cabo la recirculación del caudal además de que permite llevar a cabo una adecuación ante demandas que puedan estar sometidas a variación.



Figura 6.3: Válvula termostática de cuatro vías (www.bbkhidraulica.com)

- *De tres vías:* Estas válvulas (figura 6.4) de regulación se colocan en las zonas en las que se ubica el consumo y por tanto se diferencia de la anterior en que en este caso se elimina la válvula encargada de la recirculación.



Figura 6.4: Válvula termostática de tres vías (www.bbkhidraulica.com)

- *De dos vías*: Estas válvulas se diseñan con el único objetivo de ubicarlas en montantes de recirculación con lo que se busca disminuir el caudal requerido para la temperatura de consigna de éstos.

- **Válvulas motorizadas**: Se trata de válvulas (figura 6.5) diseñadas con tres vías, una para la acumulación, otra para el agua fría y la última para la distribución de ACS, que actúan mediante el uso de un servomotor que se trata del dispositivo de respuesta rápida que recolecta las informaciones sobre temperaturas enviadas por las sondas y en función de ellas lleva a cabo la regulación del caudal.



Figura 6.5: Válvula motorizadas (www.bbkhidraulica.com)

En cuanto al uso de estas válvulas es importante destacar que el diseño de la ubicación de las mismas será de vital importancia para que las instalaciones funcionen de manera eficiente. Por otro lado, en el ámbito económico, cabe destacar que las válvulas motorizadas tienen un precio más elevado que las termostáticas debido a que al incorporar el servomotor su respuesta es mucho más rápida ante las demandas variables.

6.1.2.3 Variación de frecuencia en bombas

En numerosas instalaciones de calefacción y ACS, sucede que la velocidad del fluido va disminuyendo según el fluido avanza por la instalación, de forma que en los

emisores de calor ubicados en la parte final de la instalación la velocidad del fluido no es suficiente para que en ellos se alcance la temperatura buscada.

En numerosas ocasiones se recurre al uso de variadores de frecuencia en bombas para garantizar que la velocidad del fluido se mantiene constante a lo largo de la instalación y por tanto la temperatura de todos los emisores sea la misma.



Figura 6.6: Variadores de frecuencia (www.bbkhidraulica.com)

Por tanto, la variación de la frecuencia en bombas tiene por objetivo conseguir una mejor adaptación de la demanda así como que el proceso se lleve a cabo de una forma mucho más eficiente al conseguir que el reparto del fluido caloportador y por tanto de calor se produzca de manera más uniforme.

Otras opciones para poder ajustar el funcionamiento de la bomba a la demanda en cada momento, sería variar otro factor de la bomba como es la presión, es decir, se podría buscar mantenerla constante, o que dependa del caudal o que sea variable pero independiente del caudal.

6.2 Telegestión

La telegestión, se trata de un mecanismo que permite llevar a cabo el control de las instalaciones de calefacción y ACS a la distancia. Este sistema, se caracteriza porque la empresa que lleva a cabo el mantenimiento de la instalación conoce en todo momento la situación de la instalación.

Este sistema, permite además al usuario conectar y desconectar el sistema de calefacción y ACS de forma remota, adaptándolo por tanto de forma más directa a las necesidades del usuario, incluso cuando éste no está en su vivienda.

El sistema se caracteriza por permitir el envío continuo de una serie de datos de horas de funcionamiento, consumos... de forma que se lleva a cabo una distribución más eficiente del proceso.

Además, esta conexión permite que los fallos o problemas en el sistema se solucionen de forma mucho más rápida y eficiente al ser más fácil e intuitivo poder detectar el fallo.

Por todo ello, con ese sistema se consigue optimizar el consumo debido a que la cantidad de datos sobre temperatura, registros y consumos es mucho mayor por lo que la empresa encargada de llevar a cabo el mantenimiento regulará las instalaciones en función de dicha instalación.

Para poder disponer de un sistema de telegestión, la instalación deberá contar con elementos de regulación y control como sensores y actuadores, una línea telefónica y un ordenador, un dispositivo inalámbrico que envíe señales y que permita la conexión a distancia y un mando de usuario.

7 DISEÑO EFICIENTE DE LAS INSTALACIONES DE CALEFACCIÓN Y ACS

Un sistema de calefacción y producción de ACS tiene como principal objetivo garantizar el confort del usuario del sistema. Sin embargo, el elevado coste del combustible, y de toda forma de energía, y lo más amenazante, su imparable proyección al alza, así como cualquier tipo de visión medio ambiental, o de sostenibilidad hace necesario conjugar esta necesidad de demanda energética que tiene un usuario con la técnica de ahorro energético.

La técnica de ahorro energético más útil es el diseño eficiente de sistemas energéticos, por muchos motivos, entre los que se pueden destacar:

- Se tiene en cuenta el concepto de eficiencia energética en todas las etapas de la vida de la instalación: concepción, diseño de proyecto, instalación y explotación, incluso en algún caso se considera su desmantelamiento, reutilización o reciclaje.
- Una correcta aplicación del diseño eficiente permite no alterar el resultado que observa el usuario final. Dicho de otro modo, se permite que el usuario disfrute del sistema sin ni siquiera se dé cuenta que se está produciendo un ahorro energético.
- Tener en cuenta todas las etapas del ahorro energético suele acarrear una optimización del mismo, siendo la técnica de ahorro que mejores resultados produce.

Por otra parte, para realizar un diseño eficiente de una instalación energética, sea cual sea, debe conocerse en primer lugar en que partes de la instalación o que procesos provocan pérdidas energéticas, no reduciendo en un confort para el usuario final.

De este modo, de evaluarse en primer lugar el rendimiento de la instalación de calefacción y producción de ACS, como la relación entre el calor que llega al usuario (en forma de calefacción y ACS) y la energía primaria utilizada, que casi siempre es el poder calorífico, habitualmente inferior, del combustible empleado.

A continuación se evalúan las pérdidas energéticas que sustraen al poder calorífico de un combustible y no llegan como energía útil al usuario final.

Las pérdidas energéticas en el sistema de calefacción y producción de ACS son:

- **Pérdidas en la combustión:** por la entalpía de los productos de combustión, correspondiente a la energía utilizada en calentar los humos y gases de la combustión en su escape por la chimenea. Los dos parámetros que nos influyen en estas pérdidas son la temperatura de los humos y el exceso de aire.

- **Pérdidas por inquemados:** Los inquemados son la parte de combustible que no ha llegado a oxidarse, del que no ha podido entonces extraerse su energía en la caldera. Se presentan entonces en combustiones incompletas, más habitualmente en combustibles sólidos. La combustión ideal consistirá entonces en la combustión completa con el menor exceso de aire posible.

- **Pérdidas en la envolvente de la caldera:** La caldera está a una temperatura superior que el ambiente y emitirán calor a la sala de calderas, un local no calefactado, que deben considerarse pérdidas.

- **Régimen de caldera ideal:** Dicho régimen se conseguiría con una reducción del gasto de combustible, de tal manera que se redujese la temperatura en el hogar de la caldera. Esta medida supondría una reducción de la temperatura de los humos y de las pérdidas por radiación de la envolvente de la caldera. De este modo una de las medidas que se proporcionan para mejorar la eficiencia energética de una caldera será el empleo de bajas temperaturas y el empleo de quemadores que regulen el gasto de combustible. El régimen de funcionamiento a muy bajas temperaturas puede suponer el riesgo de que se produzcan condensaciones en el hogar de la caldera pudiendo corroerlo.

- **Pérdidas por periodos de arranque parada:** En dichos periodos, se produce un gasto de combustible no aprovechable.

- **Pérdidas en la distribución:** Son las causadas por las pérdidas por radiación de las tuberías, tanto de ida, como de retorno, como de distribución de ACS por acortarse todas ellas a una temperatura superior a zonas habitualmente no calefactadas. Las principales medidas de reducción de estas pérdidas son el empleo de más bajas temperaturas posible, dentro de los rangos adecuados y legales, y el aislamiento de las tuberías de distribución.

7.1 Eficiencia en la generación de calor

Para que una instalación de calefacción y ACS se pueda definir como eficiente se deberá caracterizar porque todas las partes constituyentes de su diseño se comporten y funcionen de manera eficiente.

En la generación de calor, una gran medida de la eficiencia tiene que ver con el grado de aprovechamiento del combustible utilizado para generar dicho calor. Además de ello, la generación de calor será tanto más eficiente cuando menores sean las pérdidas que se produzca en la instalación generadora.

En la actualidad, a partir de diversos estudios realizados, han demostrado que los dos grupos de calderas más eficientes son:

- **Calderas de baja temperatura:** Este tipo de calderas (figura 7.1) se caracterizan por un diseño con temperaturas de retorno bajas sin que se produzcan condensaciones. Para que esto tenga lugar el diseño constará de tubos especiales para los humos y superficies de pared múltiple que permiten mantener la temperatura de éstos por encima de la temperatura de rocío. Este tipo de calderas se aplica principalmente cuando se requiere de instalaciones de calefacción y ACS que trabajen durante muchas horas a temperaturas bajas.



Figura 7.1: Caldera de baja temperatura (www.archiexpo.es)

Estas calderas, se diferencian fundamentalmente de las calderas convencionales en que las de baja temperatura se caracterizan porque la temperatura a la que están funcionando está en consonancia con las necesidades reales de demanda. Con, se puede lograr hasta un 15 % de ahorro de energía con respecto a las convencionales.

Los principales inconvenientes que podrían presentar este tipo de calderas a la hora de la implantación en un sistema de calefacción es que presentan un elevado precio en comparación con las convencionales, requieren de emisores de gran superficie y en algunas circunstancias se podrían producir condensaciones.

- **Calderas de gas de condensación:** Según la Directiva Europea de Rendimientos 92/ 42/ CEE este tipo de calderas queda definido como “Caldera diseñada para condensar permanentemente una parte importante del vapor de agua contenido en los gases procedentes de la combustión”. Es decir, se trata de calderas (figura 7.2) en la que la base del funcionamiento radica en reutilizar en calor latente del vapor de agua de los humos de forma que se lleve a cabo una condensación en la cámara.



Figura 7.2: Caldera de condensación (www.archiexpo.es)

Para que este tipo de calderas funcionen de forma correcta requieren de un intercambiador que presente una elevada superficie de intercambio resistente a la corrosión habitualmente fabricado en acero inoxidable o en fundición de aluminio.

Además, este tipo de calderas, son más eficientes que las calderas de baja temperatura al disponer de un diseño que permite aprovechar el calor latente del vapor de los humos.

Por ello, este tipo de calderas supone un aumento considerable del rendimiento a carga parcial en comparación con las convencionales o las de baja temperatura, permiten un ahorro energético superior al 25 % en comparación con las calderas convencionales, sus emisiones de NOx son muy bajas y presenta un mantenimiento sencillo y rápido. Por el contrario, se trata de calderas de precio muy superior a las calderas convencionales que requieren de emisores de calor de gran superficie.

Como dato curioso, las calderas de condensación de mayor calidad pueden dar rendimientos superiores al 100 %. Esto es debido a que tradicionalmente se ha empleado como referente al cálculo del rendimiento el poder calorífico inferior, ya que se consideraba que el calor latente de la humedad contenido en el combustible no tenía aprovechamiento posible. Así, el aprovechamiento de una característica que se había considerado “no aprovechable” en el pasado, provoca que una caldera pueda ofrecer más energía que la previamente considerada como contenida en el combustible.

Como conclusión, se pueden expresar las siguientes medidas para mejorar la eficiencia energética en el campo de la generación de calor:

- Sustituir las calderas convencionales por calderas de condensación o de baja temperatura con las ventajas indicadas en párrafos anteriores, sin embargo, se debe tener en consideración el elevado coste de estos equipos. Como norma general, las calderas más eficientes son las que tienen mayores rendimientos tanto a carga total como a carga parcial.
- Instalar quemadores modulantes y recuperadores de energía que permitan regular el gasto de combustible y reducir la temperatura del hogar de la caldera, adecuándose en todo momento a la demanda del edificio de manera que se evita al máximo arranques y paradas de la caldera.
- Instalar recuperadores de calor que permitan reutilizar la energía almacenada en los humos de combustión.

- Ajustar la potencia de los quemadores para que en ningún caso superen el un porcentaje superior al 10 % de la disponible en la unidades terminales.
- Seleccionar un combustible para la caldera a partir del cual se pueda extraer la máxima cantidad de energía por unidad de masa.

En el caso de la producción de ACS, debe considerarse que el calentamiento de agua desde la temperatura de abastecimiento de forma instantánea exige una potencia muy elevada del generador de calor.

Por este motivo, como principal medida de eficiencia energética se establece la instalación de un acumulador de ACS que permita el calentamiento paulatino del agua, por lo que se exige una potencia de las calderas muy inferior.

De este modo se reducirían las pérdidas indicadas anteriormente, más acentuadas en los grandes grupos de generación de calor. El acumulador debe estar debidamente aislado con el fin de reducir las pérdidas energéticas en el mismo. Conviene destacar que para la instalación de ACS no es una posible medida de ahorro la disminución de temperaturas de la distribución del ACS en aplicación del Real Decreto 865/2003, las instalaciones de ACS se diseñarán con temperaturas de acumulación superiores a 60 °C de manera que periódicamente se puedan alcanzar los 70 °C, para prevenir la legionelosis.

7.2 Eficiencia en la distribución: redes de tuberías

Una vez que ha finalizado la fase de generación, se deberá llevar a cabo la fase de distribución del fluidocaloportador, debido a que los puntos de consumo y generación no son coincidentes.

En grandes líneas, se puede exponer que las mayores pérdidas de calor en las instalaciones de calefacción y ACS se producen en las redes de distribución. Por tanto, se tratará siempre de conseguir que el trazado encargado de la distribución del fluido caloportador hasta los emisores o acumuladores sea lo más corto posible, con lo que se reduce la probabilidad de pérdidas en la distribución aumentando así la eficiencia de las instalaciones de calefacción y ACS.

Las pérdidas de calor en instalaciones de este tipo, se están produciendo a grandes rasgos en los siguientes puntos:

- **Material constructivo de la tubería:** Como se ha explicado en apartados anteriores, se deberá utilizar materiales polímeros como materiales constructivos para las tuberías de las redes de distribución en lugar de metales, puesto que la temperatura de éstos últimos es más baja con lo que la cesión de calor del fluido a la tubería se eleva.

- **Material aislante:** El material aislante colocado en las tuberías de distribución está directamente relacionado con las pérdidas de calor del fluido caloportador. Además del tipo de aislante, también influirá el espesor del mismo, puesto que si el espesor del aislante es muy reducido el aislante no cumplirá correctamente con su misión y se producirán mayores pérdidas.

- **Diámetro de la tubería:** A mayor diámetro disponible para la tubería mayor es la superficie disponible de la tubería, por lo tanto, mayor es la posibilidad de que se produzcan pérdidas. Por tanto, siempre que el diseño de la instalación lo permita, se deberá recurrir a tuberías de diámetro pequeño.

- **Velocidad del fluido caloportador:** La velocidad del fluido tiene mucha importancia en relación con la eficiencia en distribución, puesto que a velocidades bajas del fluido caloportador mayor será el periodo de contacto entre el fluido y la tubería y por tanto, mayor será la posibilidad de cesión de calor a la tubería y por tanto el fluido llegará a los emisores con menor temperatura de la deseada.

- **Diseño de la distribución:** El diseño del trazado de la red de tuberías es fundamental para conseguir la eficiencia en la distribución. Puesto que a mayor sea la distancia a recorrer durante la fase de distribución, mayor será la posibilidad de que las pérdidas de calor puedan aparecer. Aunque, existen casos excepcionales en los que se apuesta por diseños de distribución con trazados largos para evitar el contacto exterior de las tuberías o con algún cerramiento exterior que pueda acarrear un descenso de la temperatura del fluido caloportador.

Por tanto, se puede decir que para que el sistema de distribución sea lo más eficiente posible se deberá diseñar con tuberías fabricadas con polímeros, con un diámetro relativamente pequeño, dotadas de aislantes adecuados en tipo y espesor y con

un trazado lo más corto posible que permita una adecuada velocidad del fluido durante la fase de distribución del fluido.

A modo de ilustración, en la figura 7.3 se muestra un gráfico de la marca comercial Armacell donde se puede observar la variación de la eficiencia energética y el correspondiente ahorro en instalaciones de calefacción y ACS en función del diámetro de las tuberías y del espesor del aislamiento en las mismas.

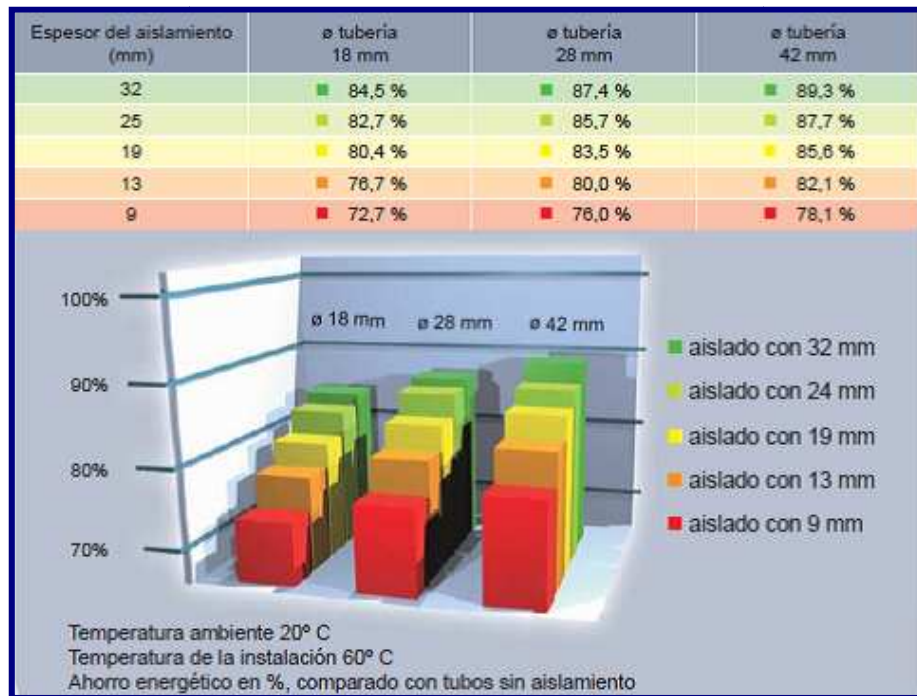


Figura 7.3: Comparativa de eficiencia (www.armacell.es)

7.3 Eficiencia en el control de las instalaciones

Los sistemas encargados de llevar a cabo los procesos de regulación y control en las instalaciones de calefacción y ACS deberán estar diseñados de la forma más eficiente posible de modo que se garantice que el circuito trabaja a la menor temperatura posible con el fin de maximizar el grado de aprovechamiento de los diversos elementos que componen dicha instalación.

Para que las instalaciones individuales funcionen dentro de los parámetros adecuados y de forma correcta se dispondrá de un elemento denominado termostato de ambiente que basa su diseño en un regulador todo-nada que permite mantener los

límites de seguridad de presión y temperatura así como también regula y controla de forma eficiente la velocidad del fluido en las unidades terminales

En el caso de que se trate de instalaciones centralizadas, se deberá recurrir al control mediante el fraccionamiento de la potencia. Es decir, fraccionar la potencia significa que se establecen dos o más niveles de potencia que permiten adaptar la producción de calor con la demanda. Para poder llevar a cabo este fraccionamiento se puede recurrir a dos métodos: o bien se instalan varios generadores o bien se recurre al uso de quemadores con más de un escalón. Este fraccionamiento de potencia queda regulado por medio de la IT 1.2.4.1.2 del Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE).

Además de la regulación de la potencia, se recurrirá a colocar reguladores para los quemadores para garantizar que la regulación del combustible se produzca de la mejor forma posible evitando consumos excesivos.

Otro aspecto muy importante en cuanto a la regulación de los sistemas de calefacción son las temperaturas exteriores, las cuales, condicionan la situación más desfavorable a la que deberá trabajar la instalación y por tanto constituyen la base de su diseño. Por ello, en la actualidad existen sistemas de regulación en función de la temperatura exterior, los cuales, basan su funcionamiento en que un mismo radiador de calor emitirá una cantidad inferior de potencia en aquellas situaciones en las que el agua que se envía desde las calderas se presente a menor temperatura.

Para poder llevar a cabo este tipo de regulación en función de la temperatura exterior, será necesario disponer de: una sonda de temperatura exterior, una sonda de temperatura en la impulsión de calefacción y por último un regulador. A partir de estos elementos, se plantean dos posibles alternativas para llevar a cabo el proceso de regulación:

- La primera alternativa se caracteriza por utilizar una válvula motorizada de tres vías que se encarga de realizar la mezcla entre el agua a alta temperatura procedente de

las calderas y el agua a baja temperatura procedente del retorno de la instalación. En la figura, se muestra un esquema de este tipo de regulación

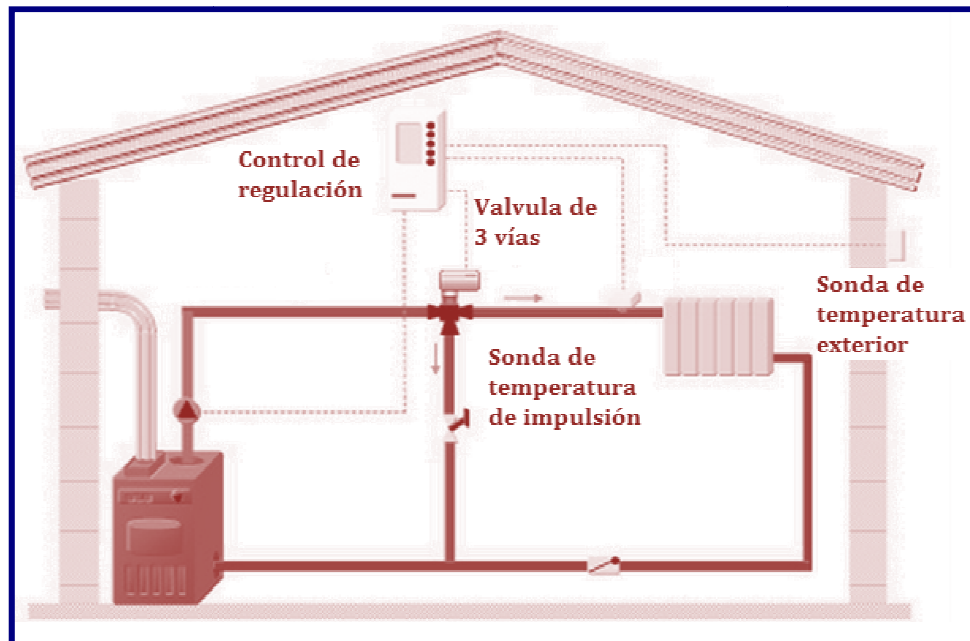


Figura 7.4: Sistema de regulación mediante válvula motorizada de tres vías
(www.sauteriberica.com)

- La segunda alternativa sería actuar sobre los quemadores instalados en las calderas para que el agua se obtenga de forma directa a la temperatura que se demanda en cada instante, para ello, será necesario recurrir al uso de calderas como las de baja temperatura o de condensación, las cuales, están permiten utilizar temperaturas bajas en el retorno.

Por último, se deberá prestar atención a los elementos de regulación tales como llaves de paso, válvulas, válvulas de seguridad... para que funcionen de forma correcta evitando la aparición de pérdidas que disminuyan la eficiencia del sistema y permitan incrementar el paso del fluido en las tuberías para reducir el tiempo de contacto y mejorar la temperatura con la que el fluido llega al emisor.

7.4 Contabilización de consumos

Aunque como premisa fundamental se ha establecido que la eficiencia energética no de ser un elemento restrictivo del confort que disfrute el usuario, es cierto que muchos usuarios abusan del servicio de calefacción o ACS.

Como medida disuasoria de un consumo excesivo, además del lógico reparto de un gasto comunitario, se ha ce imprescindible una correcta contabilización de los consumos. En general, el parámetro a contabilizar depende de que la instalación sea individual o comunitaria.

En las instalaciones individuales se suele controlar el consumo del combustible o energía primaria (gas, gasóleo o biomasa) y no se contabiliza nada más. De este modo, se desconoce la parte de la energía consumida en una vivienda individual en calefacción o en ACS y se pierde toda noción de los rendimientos de cada parte de la instalación.

En instalaciones colectivas, además de la contabilización de los consumos del combustible adquirido, se debe realizar una contabilización interna para reparto de consumos entre cada uno de los vecinos:

- El agua caliente sanitaria se suele contabilizar en m^3 , ya que se supone que la temperatura de consumo es idéntica para todos los vecinos.
- La calefacción se contabiliza con un medidor de calorías, que evalúa la temperatura de ida y de retorno a la entrada de la vivienda y el caudal del fluido caloportador realizando el cálculo de la energía consumida en función de la siguiente expresión:

$$\text{Energía} = Q \cdot (T_{\text{ida}} - T_{\text{retorno}})$$

Ecuación

7.1

Por tanto, los principales contares que nos podemos encontrar en una instalación de calefacción y ACS son:

- **Contador de gas:** Se trata de dispositivos (figura 7.5) que permiten medir el volumen de gas que los atraviesa. En el caso de que la presión del gas que circule por el contador supere el valor de 55 mbar será necesario un corrector de presión- temperatura para que el volumen en circulación esté en condiciones normales. Este tipo de contadores en función de sus características podrán ser de paredes deformables, de pistones rotativos o de turbina.

Estos contadores deberán disponer de una válvula de corte tanto a la entrada como a la salida y estarán perfectamente precintado para garantizar que la lectura es la adecuada, así como también dispondrá de emisores de impulsos con el fin de poder llevar a cabo un telecontrol de la instalación.

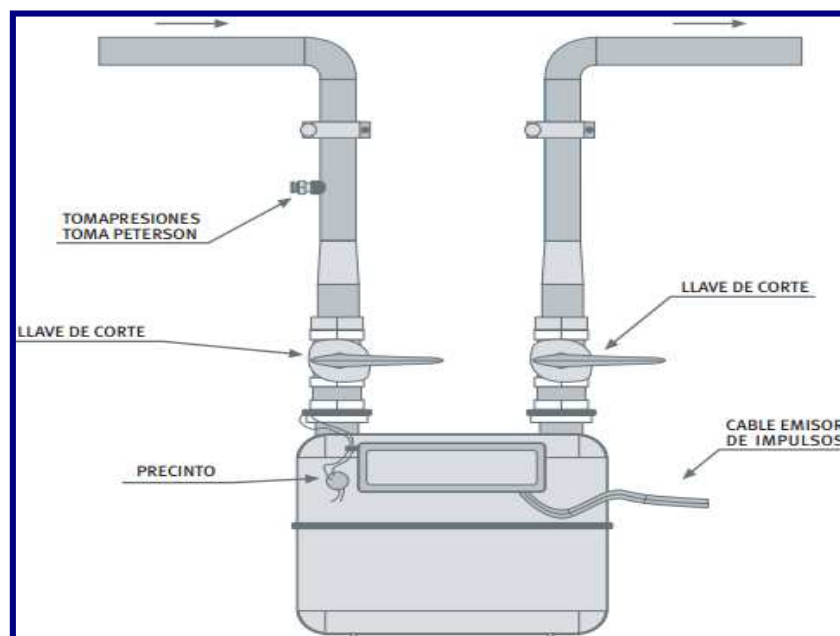


Figura 7.5: Instalación de un contador de gas (www.idae.es)

- **Contadores de gasóleo:** Se trata de dispositivos (figura 7.6) diseñados para medir e indicar el volumen de gasóleo que los atraviesa de forma continuada, incluyendo para llevar a cabo este proceso un dispositivo medidor que será el encargado de activar el dispositivo indicador. En cuanto a este tipo de contadores no existe una normativa homologada para su regulación y control, por tanto la instalación de este tipo de contadores se realizará en función de la especificaciones del fabricante para conseguir que dicho contador se adapte perfectamente a la instalación en cuestión

Todo contador de gasóleo, deberá estar equipado con una válvula de corte en la entrada al contador y una de antirretorno en su salida. Además, será muy importante disponer de un filtro ubicado antes del contador para evitar que posibles partículas arrastradas en suspensión por el gasóleo generen una medición errónea, así como también estarán equipado de un cable emisor de impulsos para llevar a cabo operaciones de telecontrol.

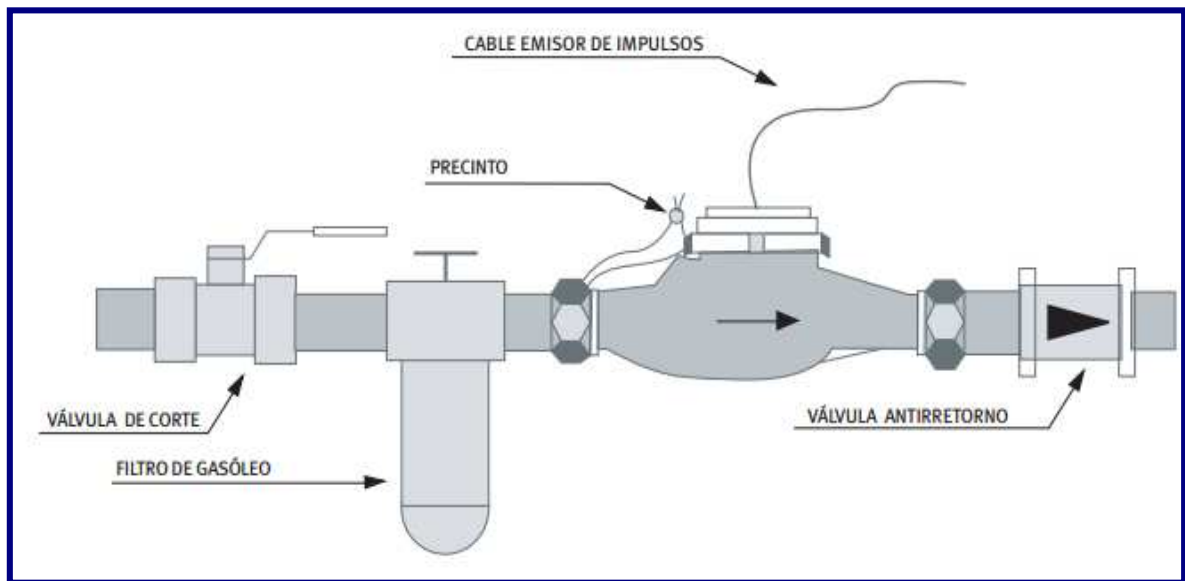


Figura 7.6: Instalación de un contador de gasóleo (www.idae.es)

- **Contadores de agua:** Se trata de aquellos dispositivos (figura 7.7) encargados de determinar el volumen de agua que circula a través de ellos. Estos contadores, podrán ser de agua fría o de agua caliente en función de la temperatura de trabajo de la instalación y poseerán una serie de características predefinidas por el fabricante tales como: caudal máximo, caudal mínimo, posición en la instalación...

Estos contadores deberán poseer una válvula de corte en su entrada y en caso de ser de ACS incorporarán además un válvula antirretorno. Además, contarán con un precinto que impida las manipulaciones para que la lectura se realice de forma correcta.

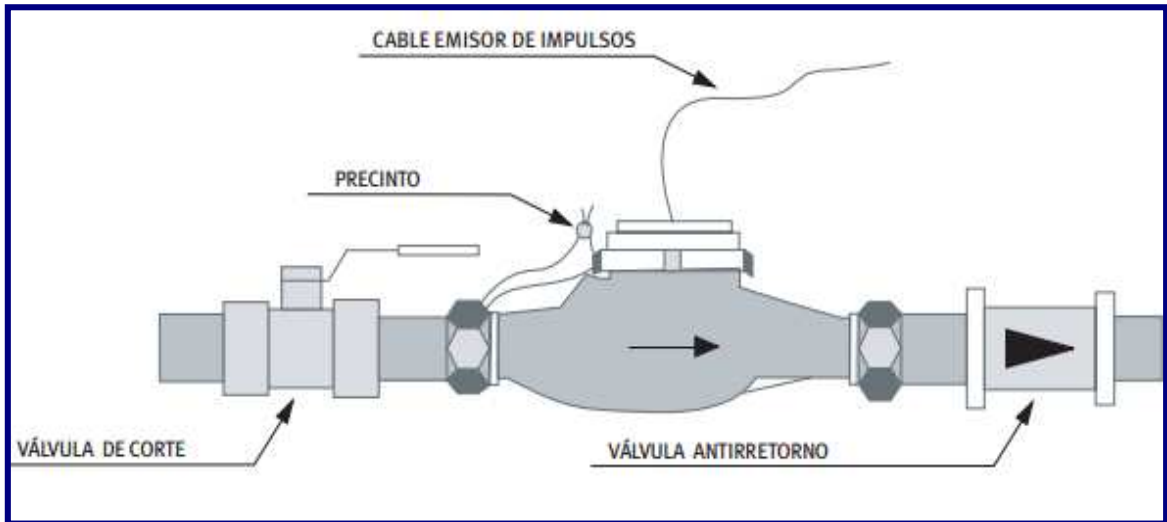


Figura 7.7: Instalación de contador de agua (www.idae.es)

- **Contador de calorías:** Se trata de dispositivos (figura 7.8) de medición que se instalan en cada uno de los emisores de una determinada vivienda. Estos dispositivos están constituidos por una carcasa, sensores, un dispositivo de cálculo, una pantalla, una fuente de alimentación y elementos de instalación.



Figura 7.8: Instalación de contador de agua (*catálogo Itsa*)

A grandes rasgos, se trata de aparatos de medición que llevan a cabo un registro de la temperatura con relación al tiempo. Para llevar a cabo dicho registro de

temperatura estos dispositivos miden tanto la temperatura de la superficie del radiador como la temperatura ambiente de la estancia en la que se ubica el emisor de calor.

7.5 Limitaciones en la utilización de la energía convencional

Las limitaciones en la utilización de la energía convencional quedan reflejadas en el Reglamento de Instalaciones Térmicas en la Edificación (RITE), en la *IT 1.2.4.7.1 Limitación de la utilización de energía convencional para la producción de calefacción*. En ella, se expone que la utilización de energía eléctrica para la producción de calefacción solo estará permitida en:

- Las instalaciones con bomba de calor, cuando la relación entre la potencia eléctrica en resistencias de apoyo y la potencia eléctrica en bornes del motor del compresor, sea igual o inferior a 1,2.
- Los locales servidos por instalaciones que, usando fuentes de energía renovable o energía residual, empleen la energía eléctrica como fuente auxiliar de apoyo, siempre que el grado de cobertura de las necesidades energéticas anuales por parte de la fuente de energía renovable o energía residual sea mayor que dos tercios.
- Los locales servidos con instalaciones de generación de calor mediante sistemas de acumulación térmica, siempre que la capacidad de acumulación sea suficiente para captar y retener durante las horas de suministro eléctrico tipo «valle», definidas para la tarifa eléctrica regulada, la demanda térmica total diaria prevista en proyecto, debiéndose justificar en su memoria el número de horas al día de cobertura de dicha demanda por el sistema de acumulación sin necesidad de acoplar su generador de calor a la red de suministro eléctrico.

Otro aspecto que se deberá tener en cuenta viene determinado por el Código Técnico de la Edificación (CTE) en el cual, en su documento básico HE 4 sobre contribución solar mínima de agua caliente sanitaria. Este documento es aplicable a los edificios de nueva construcción y rehabilitación de edificios existentes de cualquier uso en los que exista una demanda de agua caliente sanitaria y/o climatización de piscina cubierta.

En dicho documento, se establece que la contribución solar mínima determinada en aplicación de la exigencia básica, podrá disminuirse justificadamente en los siguientes casos:

- a) Cuando se cubra ese aporte energético de agua caliente sanitaria mediante el aprovechamiento de energías renovables, procesos de cogeneración o fuentes de energía residuales procedentes de la instalación de recuperadores de calor ajenos a la propia generación de calor del edificio.
- b) Cuando el cumplimiento de este nivel de producción suponga sobrepasar los criterios de cálculo que marca la legislación de carácter básico aplicable.
- c) Cuando el emplazamiento del edificio no cuente con suficiente acceso al sol por barreras externas al mismo.
- d) En rehabilitación de edificios, cuando existan limitaciones no subsanables derivadas de la configuración previa del edificio existente o de la normativa urbanística aplicable.
- e) En edificios de nueva planta, cuando existan limitaciones no subsanables derivadas de la normativa urbanística aplicable, que imposibiliten de forma evidente la disposición de la superficie de captación necesaria.
- f) Cuando así lo determine el órgano competente que deba dictaminar en materia de protección histórico-artística.

7.6 Calidad térmica del ambiente

La calidad térmica hace referencia al grado de confort que ofrece una estancia calefactada a una “persona media”. Las instalaciones térmicas permitirán mantener los parámetros que definen el ambiente térmico dentro de un intervalo de valores determinados con el fin de mantener unas condiciones ambientales confortables.

El confort puede definirse como un estado de completo bienestar físico, mental y social. Depende de multitud de factores personales y parámetros físicos. De entre todos los factores, el confort térmico representa el sentirse bien desde el punto de vista del ambiente higrotérmico exterior a la persona. Los límites extremos, desde el punto de vista térmico, pueden resultar dañinos, e incluso mortales, para el ser humano.

- **La temperatura operativa:** Se entiende por temperatura operativa la media entre la temperatura de un recinto y la temperatura seca del aire. El adecuado control de la temperatura del medio ambiente que circunda el cuerpo humano elimina el esfuerzo fisiológico de acomodación, obteniéndose con ellos un mayor confort y la consiguiente mejora del bienestar físico y de las condiciones de salubridad.

- **Humedad relativa:** Se denomina humedad relativa al contenido de vapor de agua que se encuentra presente en el aire. Una gran parte del calor que posee el cuerpo humano se disipa por evaporación a través de la piel. Como quiera que la evaporación se favorece con la humedad relativa del aire baja y se retarda si ésta es alta, se deduce que la regulación de la humedad tenga una importancia tan vital como la de la temperatura.

- **Velocidad media del aire:** Se denomina velocidad media a la media de la velocidad con la que se desplaza el aire. El movimiento del aire sobre el cuerpo humano da lugar a que la sensación de calor y frío experimente variación. El aire que nos rodea está en constante movimiento, considerando como valor adecuado los 0,25 m/s a una altura del suelo inferior a 2 m. Una velocidad mayor produce un efecto desagradable, que se hace difícil de soportar, tanto más cuanto menor sea la temperatura del aire. Una velocidad inferior a 0,1 m/s produce así mismo una sensación de falta de aire, que ocasiona también molestias.

Los valores de estos factores están condicionados por la actividad de la estancia a calefactar y por la época del año. En cuanto a la humedad relativa y a la temperatura operativa, cabe destacar que se regulan mediante la UNE-EN ISO 7730. Por ejemplo, *en el caso de actividades sedentarias la temperatura operativa en verano oscilaría entre 21°C-23°C y la humedad relativa entre el 40%-50%.*

En cuanto a la velocidad media del aire, podemos encontrar dos modos de calcular siempre y cuando la temperatura operativa varíe entre 20°C-27°C, los cuales son:

- 1) Cuando se recurre al uso de dispositivos como radiadores o suelo radiante, es decir, aquellos con difusión por mezcla que dan lugar a elevadas corrientes de aire y turbulencias, el límite de la velocidad media vendrá dada por la siguiente fórmula:

$$V = (T^a_{operativa}/100) - 0,07 \text{ m/s}$$

Ecuación 7.2

- 2) Cuando se recurre al uso de dispositivos como ventiladores o fan-coils, es decir, aquellos con difusión por desplazamiento que dan lugar a bajas corrientes de aire y turbulencias, el límite de la velocidad media vendrá dada por la siguiente fórmula:

$$V = (T^a_{operativa}/100) - 0,07 \text{ m/s}$$

Ecuación 7.3

7.7 Calidad e higiene del aire interior

El Código Técnico de la edificación (CTE), en su documento básico HS- Salubridad, apartado HS3- Calidad del aire interior, establece la obligatoriedad de llevar a cabo una renovación del aire de los locales de distribución cerrada para conseguir así que la calidad del aire de dicha estancia oscile dentro de unos parámetros de calidad.

Sin embargo, desde el punto de vista de la eficiencia energética y de las instalaciones de calefacción, esto supone unas pérdidas de calor debido a que este aire que se está renovando posee unas características diferentes en cuanto a temperatura y humedad.

El documento HS 3, establece que el caudal del aire de renovación dependerá del uso del local a climatizar y así como también tabula el caudal de aire de renovación mínimo exigido, el cual se refleja en la tabla siguiente:

Tabla 7.1: Caudales de ventilación mínimos exigidos

Locales	Caudal de ventilación mínimo exigido (Q_v en l/s)		
	<i>Por ocupante</i>	<i>Por m^2 útil</i>	<i>En función de otros parámetros</i>
Dormitorios	5		
Salas de estar y comedores	3		
Aseos y cuartos de baño			15 por local
Cocinas		2	50 por local
Trasteros y sus zonas comunes		0,7	
Aparcamientos y garajes			120 por plaza
Almacenes de residuos		10	

Además, las instalaciones como las cocinas deberán disponer de sistemas de ventilación forzada que permitan eliminar los humos y vapores resultantes de dicha actividad.

7.8 Calidad del ambiente acústico

La calidad del ambiente acústico, viene regulada por el Código Técnico de Edificación (CTE) en el Documento Básico HR de protección frente al ruido, en el cual, para instalaciones de calefacción y ACS se expone que

- 1) Se limitarán los niveles de ruido y de vibraciones que las instalaciones puedan transmitir a los recintos protegidos y habitables del edificio a través de las sujeciones o puntos de contacto de aquellas con los elementos constructivos.
- 2) El nivel de potencia acústica máximo de los equipos generadores de ruido estacionario (como los quemadores, las calderas, las bombas de impulsión, los compresores, extractores, etc) situados en recintos de instalaciones, así como las rejillas y difusores terminales de instalaciones de aire acondicionado, será

tal que se cumplan los niveles de inmisión en los recintos colindantes, expresados en el desarrollo reglamentario de la Ley 37/2003 del Ruido.

- 3) Se limitará la velocidad a la cual circula el fluido por el interior de la red de tubería para reducir la posibilidad de ruido.
- 4) El nivel de potencia acústica máximo de los equipos situados en cubiertas y zonas exteriores anejas, será tal que en el entorno del equipo y en los recintos habitables y protegidos no se superen los objetivos de calidad acústica correspondientes.

Todas estas indicaciones, deberán ser llevadas a la práctica cuidadosamente, puesto que el ruido de este tipo de instalaciones puede generar problemas o enfermedades tales como estrés, ansiedad, trastorno del sueño... en los usuarios de estas instalaciones.

En concreto, los elementos más conflictivos son los generadores mecánicos, en los cuales la impulsión del aire al interior de la caldera provocará un fuerte ruido. Por este motivo es conveniente cubrirlos con una envolvente acústica, que además mejora el rendimiento del generador ya que reduce las pérdidas en el mismo

8 CONTRIBUCIÓN SOLAR PARA AGUA CALIENTE SANITARIA Y PISCINAS

En líneas generales, cuando se lleva a cabo un diseño energéticamente eficiente de instalaciones de calefacción y ACS, se deberá incluir en dicho diseño un aporte solar para la obtención de agua caliente sanitaria (ACS), tal y como se muestra en la siguiente figura:



Figura 8.1: Esquema de una instalación solar para ACS (www.zyzclima.com)

Para poder llevar a cabo dicho proceso de contribución solar, se deben estudiar una serie de condiciones previas y características de dichas instalaciones que se muestran a continuación:

8.1 Condiciones generales

En cuanto al ahorro energético, se debe recurrir al Código Técnico de Edificación (CTE) establece en el Documento Básico HE 4: Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria. Este documento es aplicable a los edificios de nueva construcción y rehabilitación de edificios existentes de cualquier uso en los que exista una demanda de agua caliente sanitaria y/o climatización de piscina cubierta.

En dicho documento, se establece que la contribución solar mínima determinada en aplicación de la exigencia básica, podrá disminuirse justificadamente en los siguientes casos:

- g) Cuando se cubra ese aporte energético de agua caliente sanitaria mediante el aprovechamiento de energías renovables, procesos de cogeneración o fuentes de energía residuales procedentes de la instalación de recuperadores de calor ajenos a la propia generación de calor del edificio.
- h) Cuando el cumplimiento de este nivel de producción suponga sobrepasar los criterios de cálculo que marca la legislación de carácter básico aplicable.
- i) Cuando el emplazamiento del edificio no cuente con suficiente acceso al sol por barreras externas al mismo.
- j) En rehabilitación de edificios, cuando existan limitaciones no subsanables derivadas de la configuración previa del edificio existente o de la normativa urbanística aplicable.
- k) En edificios de nueva planta, cuando existan limitaciones no subsanables derivadas de la normativa urbanística aplicable, que imposibiliten de forma evidente la disposición de la superficie de captación necesaria.
- l) Cuando así lo determine el órgano competente que deba dictaminar en materia de protección histórico-artística.

Además, en dicho documento, se establece que la tempera de consumo de agua caliente debe estar comprendida entre 50 °C-60 °C, la presión en grifos comunes será de 100 kPa y 150 kPa para calentadores y un consumo de 30 litros de ACS por persona.

En cuanto a la climatización de piscinas, ésta se realizará por medio de captadores solares tal y como se expone en el Real Decreto 314/2006, de 17 de Marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de Edificación.

8.2 Porcentaje de contribución solar mínima

El porcentaje de contribución solar mínima, se define como la cantidad mínima de aporte solar que se deberá aportar en una determinada instalación de ACS. Este porcentaje viene expresado en el Documento Básico HE 4: Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria, donde se define un valor para cada instalación en función de la zona climática y de la demanda requerida.

A continuación, en las tablas 8.1 y 8.2, se muestran los valores de contribución solar mínima anual en función de cuál sea el tipo de energía de apoyo:

Tabla 8.1: Porcentaje de contribución solar mínima con apoyo de fuentes combustibles (gasóleo, propano, gas natural...) (www.codigotecnico.org)

<i>Demanda total de ACS del edificio (l/d)</i>	<i>Zona climática</i>				
	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>
<i>50-5.000</i>	30	30	50	60	70
<i>5.000-6.000</i>	30	30	55	65	70
<i>6.000-7.000</i>	30	35	61	70	70
<i>7.000-8.000</i>	30	45	63	70	70
<i>8.000-9.000</i>	30	52	65	70	70
<i>9.000-10.000</i>	30	55	70	70	70
<i>10.000-12.500</i>	30	65	70	70	70
<i>12.500-15.000</i>	30	70	70	70	70

15.000-17.500	35	70	70	70	70
17.500-20.000	45	70	70	70	70
> 20.000	52	70	70	70	70

Tabla 8.2: Porcentaje de contribución solar mínima con apoyo eléctrico
(www.codigotecnico.org)

<i>Demanda total de ACS del edificio (l/d)</i>	<i>Zona climática</i>				
	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>
50-1.000	50	60	70	70	70
1.000-2.000	50	63	70	70	70
2.000-3.000	50	66	70	70	70
3.000-4.000	51	69	70	70	70
4.000-5.000	58	70	70	70	70
5.000-6.000	62	70	70	70	70
> 6.000	70	70	70	70	70

Además, en dicho documento también se para cada zona climática la contribución solar mínima anual para el caso de la aplicación con climatización de piscinas cubiertas, tal y como se refleja en la tabla 8.3:

Tabla 8.3: Porcentaje de contribución solar mínima para piscinas climatizadas
(www.codigotecnico.org)

Piscinas cubiertas	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
	30	30	50	60	70

Para determinar en qué zona climática se halla la instalación en cuestión, el Documento Básico HE 4 establece un mapa en el que se definen las distintas zonas climáticas, tal y como se observa en la figura.

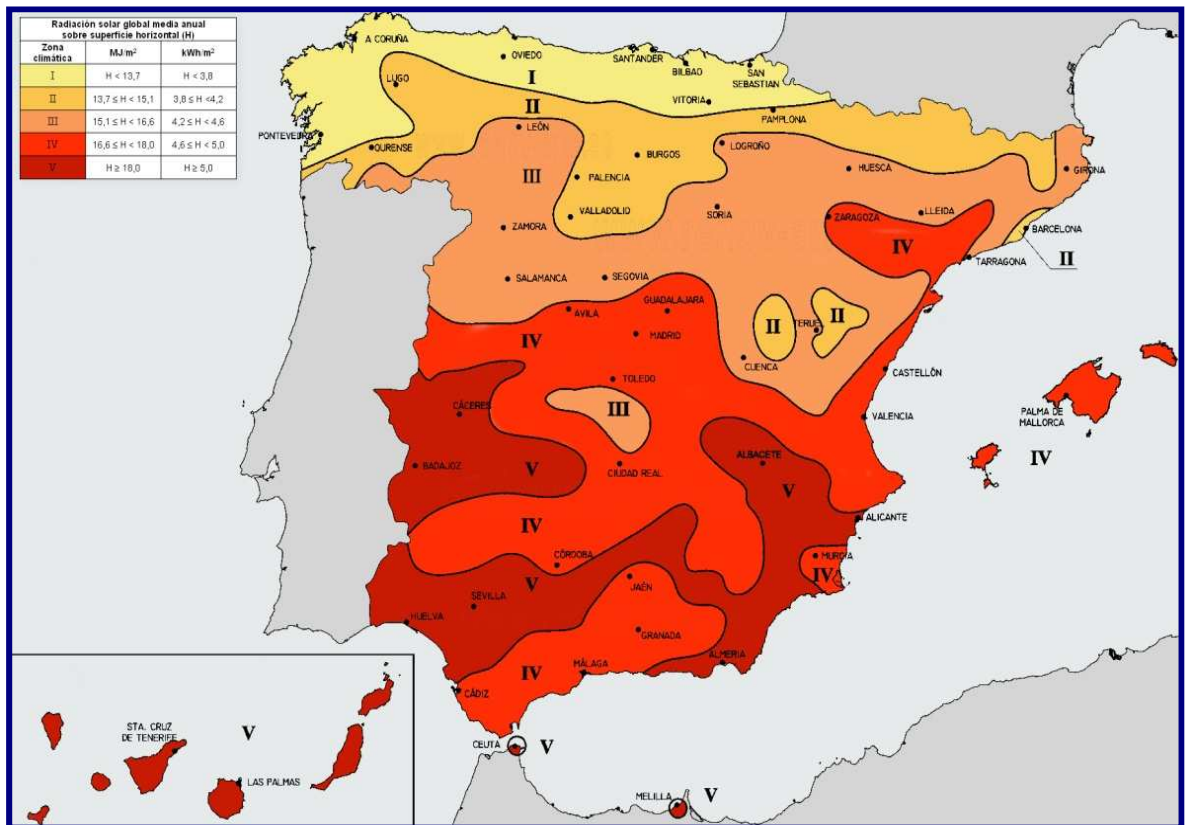


Figura 8.2: Mapa zonas de climáticas de España

EJEMPLO 8.1: Zonas climáticas

Supóngase un municipio de la provincia de León, San Andrés del Rabanedo, en el cual se desean colocar unos captosres solares para la producción de ACS en un edificio unifamiliar y determínese en qué zona climática se ubica.

Como se expone en el enunciado del ejemplo, el municipio está en la provincia de León, por tanto, se deberá localizar dicha provincia para determinar la zona climática de la misma y por tanto la del municipio.

Para ello, se buscará el mapa de zonas de climáticas de España y se analizará donde se encuentra la provincia que estamos buscando, en este caso, al tratarse de León se centrará la atención en la zona norte del mapa tal y como se muestra en la siguiente figura.

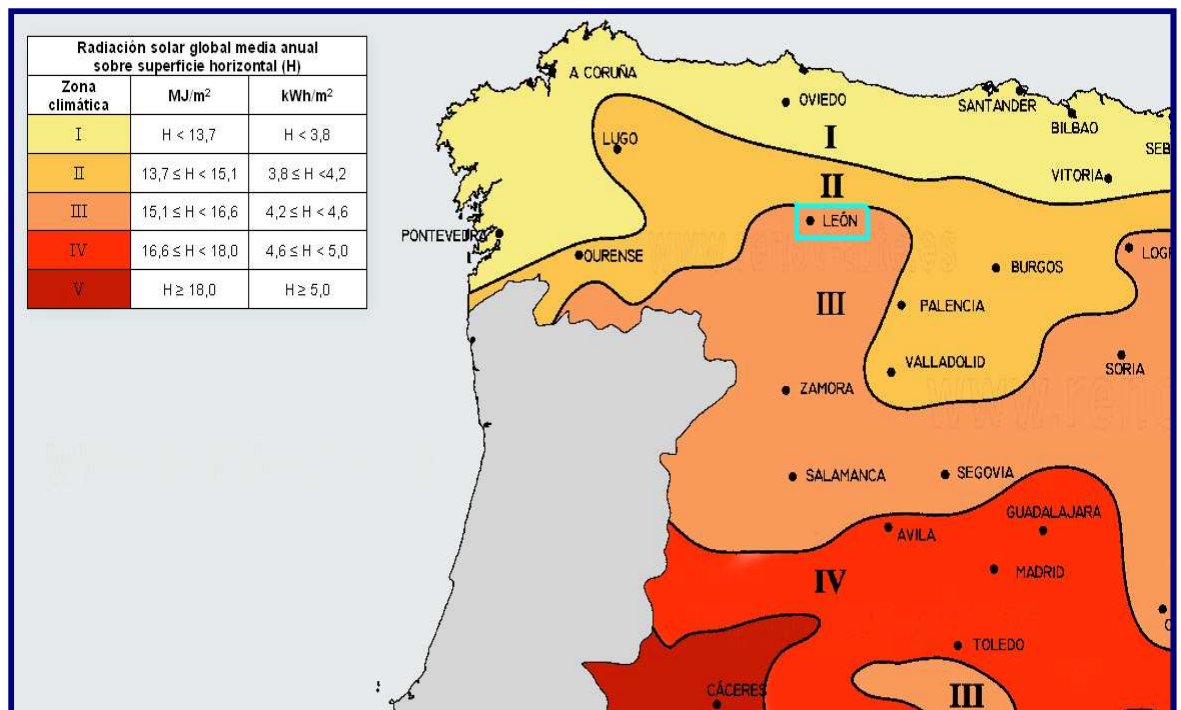


Figura 8.3: Detalle del mapa de zonas climáticas

Por tanto, analizando el mapa se observa que la provincia de León está ubicada dentro de la zona climática III y por tanto, dicho municipio estará también enmarcado en dicha zona.

8.3 Pérdida límite por orientación, inclinación y sombras

En este tipo de sistemas en los que se recurre a la contribución solar, las principales pérdidas de energía se producen en los captadores solares, debido a que la instalación no funciona en las condiciones óptimas de funcionamiento.

Los principales elementos que influyen sobre las pérdidas que tienen lugar en la captación son dos fundamentalmente:

- La existencia de una instalación que no permita llevar a cabo de forma correcta el proceso de insolación de los captadores debido a las pérdidas por orientación e inclinación.
- La existencia de aquellos dispositivos que generen sombra sobre los captadores, generando lo que se denomina pérdidas por sombra.

Además de estas situaciones, pueden existir otros problemas como el polvo que se acumula en los captadores, la contaminación atmosférica que deposita sus partículas en suspensión sobre los captadores, variaciones de temperatura... Sin embargo, este tipo de problemas generar una menor influencia en el funcionamiento de los captadores y además, suelen ser factores difíciles de medir y de cuantificar.

Cuando se desea alcanzar en este tipo de instalaciones valores elevados de eficiencia energética, el Código Técnico de la Edificación (CTE), delimita las posibles pérdidas que pueden ocurrir en la instalación debido a sombras u orientaciones. Es decir, el CTE, expone que según la orientación e inclinación de captador y las posibles sombras que se puedan generar sobre el captador, las pérdidas deberán ser inferiores a los límites que se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 8.4: Pérdidas límite (www.codigotecnico.org)

	Orientación e inclinación	Sombras	Total
General	10 %	10 %	15 %
Superposición	20 %	15 %	30 %
Integración arquitectónica	40 %	20 %	50 %

Las tres posibles situaciones que permiten establecer los distintos límites de pérdidas quedan definidos según el CTE como:

- **Superposición**: Se entiende por superposición arquitectónica la colocación de los captadores de forma paralela a la envolvente del edificio, sin que éstos sobresalgan de los ejes del edificio. Un ejemplo de este tipo, se muestra en la figura, en la que se observan dos paneles ubicados en la cubierta de un edificio.



Figura 8.4: Ejemplo de una instalación solar con superposición arquitectónica

- **Integración arquitectónica**: Se entiende por integración arquitectónica cuando los captadores realizan una función tanto energética como arquitectónica al sustituir

elementos constructivos. Un ejemplo de este tipo de integración, se muestra en la siguiente figura:



Figura 8.5: Ejemplo de una instalación solar con integración arquitectónica

- **General:** Dentro de este punto se consideran todas aquellas situaciones que no puedan ser incluidas en los dos apartados anteriores. Un ejemplo de este tipo de integración, se muestra en la siguiente figura:



Figura 8.6: Ejemplo de una instalación solar general

8.4 Rendimiento mínimo anual

Según se establece en el Código Técnico de la edificación (CTE) en el Documento Básico HE 4, en el diseño de las instalaciones con contribución solar para agua caliente sanitaria (ACS), se estima que el rendimiento mínimo de la instalación sea superior al 40 %. Además, según expone el CTE para los meses para los cuales se diseñe el funcionamiento de la instalación se deberá alcanzar un rendimiento superior al 20 %.

Sin embargo, puede ocurrir que las instalaciones de calefacción y ACS no alcancen estos valores de rendimiento, para ello, se pueden llevar a cabo una serie de acciones, como las que se numeran a continuación:

- Se puede recurrir a aumentar la superficie destinada a llevar a cabo el proceso de captación de energía solar, con el objetivo de aumentar dicho rendimiento.
- Puede ser que en numerosas ocasiones el rendimiento no se alcance debido a que se producen pérdidas o sombras debido a la mala ubicación de los captadores, en dichos casos, se procederá a modificar la orientación o inclinación de los mismos para mejorar el rendimiento.
- Se deberá sustituir los captadores cuando su vida útil esté próxima a su fin puesto que en dichas circunstancias el rendimiento del captador podrá no ser el óptimo.

De igual modo dicho documento del Código Técnico de la Edificación, limita el rendimiento máximo de producción a un 110 % para cualquier mes del año y a un 100 % de producción máxima durante tres meses continuos.

Como soluciones para paliar este exceso de producción, se pueden adoptar las siguientes medidas:

- Evitar que se produzca el funcionamiento simultáneo de todas los captadores, para lo cual se procede a tapar algunos de los mismos evitando así su funcionamiento, tal como se representa en la siguiente figura:



Figura 8.7: Colectores solares tapados

- En caso de exceso también se puede derivar los excesos de producción hacia otras instalaciones que puedan requerir de energía térmica con calefacción, calentamiento de piscinas como podría ser lo expuesto en la siguiente figura:

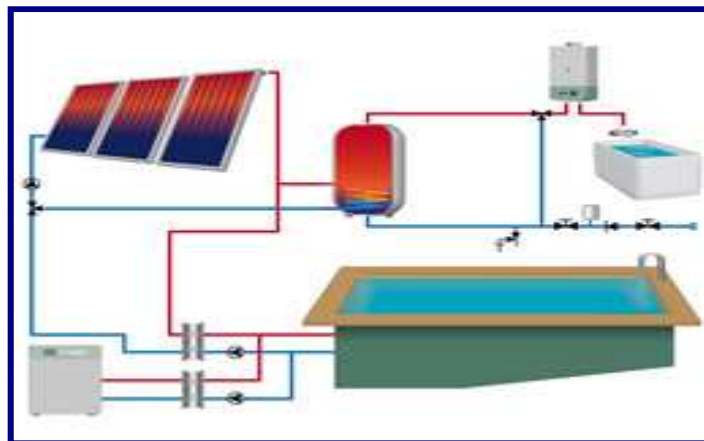


Figura 8.8: Combinación de aplicaciones

- Disminuir la cantidad de fluido del que se dispone en circulación en el denominado circuito primario.

8.5 Condiciones aplicables a las conexiones de captadores solares

En este tipo de instalaciones con contribución solar, es muy importante garantizar que las conexiones entre las tuberías de la instalación se llevan a cabo de forma estanca y duradera. Al llevar a cabo un correcto conexionado de las instalaciones se evita la aparición de fugas que dan lugar a pérdidas.

En cuanto a la instalación de los captadores, éstos se deberán colocar en filas tratando siempre de distribuir el mismo número de elementos en ellas. Además se buscará siempre que las filas de los captadores se puedan conectar entre sí en paralelo, en serie o en serie-paralelo, por lo que será necesario instalar válvulas de cierre tanto a la entrada como a la salida de las baterías y bombas de los mismos, con el objetivo de poder aislar ciertos captadores para llevar a cabo labores de limpieza o de reparación.

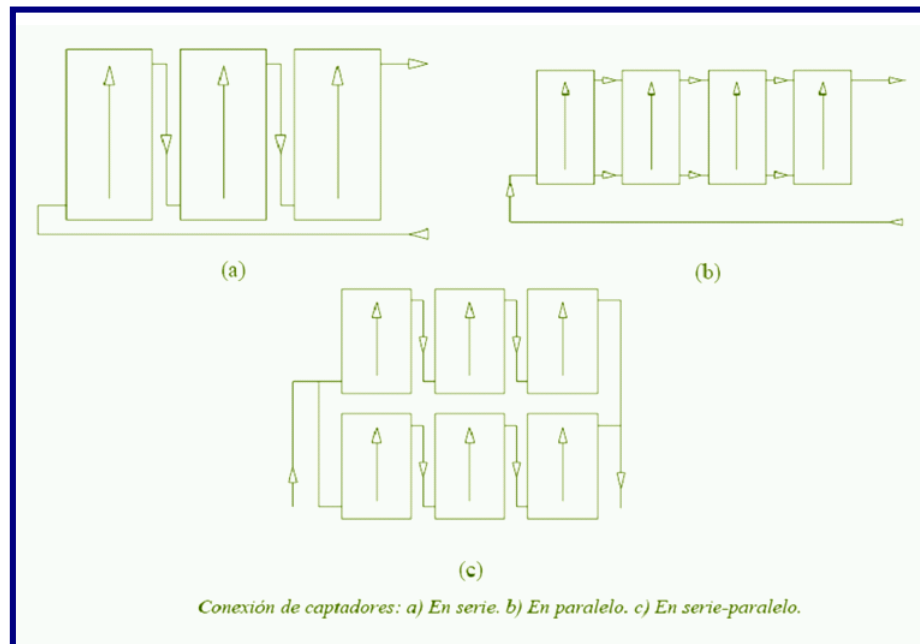


Figura 8.9: Tipos de conexiones entre captadores solares (www.cleanergysolar.com)

En cuanto a la colocación en sí misma, el número de equipos a colocar en serio o en paralelo dependerá de las especificaciones expuestas por el fabricante. En líneas generales, se puede decir que cuando la instalación se diseñe solo para la producción de agua caliente sanitaria (ACS) se podrán distribuir en serie 10 m^2 siempre y cuando se hallen en zonas climáticas de tipo I y II, quedando reducidos a 8 m^2 en la zona climática III y a 6 m^2 en las zonas IV y V.

Finalmente, para garantizar el correcto funcionamiento de la instalación, la conexión entre los captadores buscará siempre garantizar un circuito que esté en equilibrio hidráulico por lo que se recomienda el retorno invertido.

8.6 Condiciones de los acumuladores en aplicaciones de ACS

Este tipo de instalaciones de calefacción y ACS, se caracterizan por presentar un esquema de funcionamiento como el que se muestra en la siguiente figura:

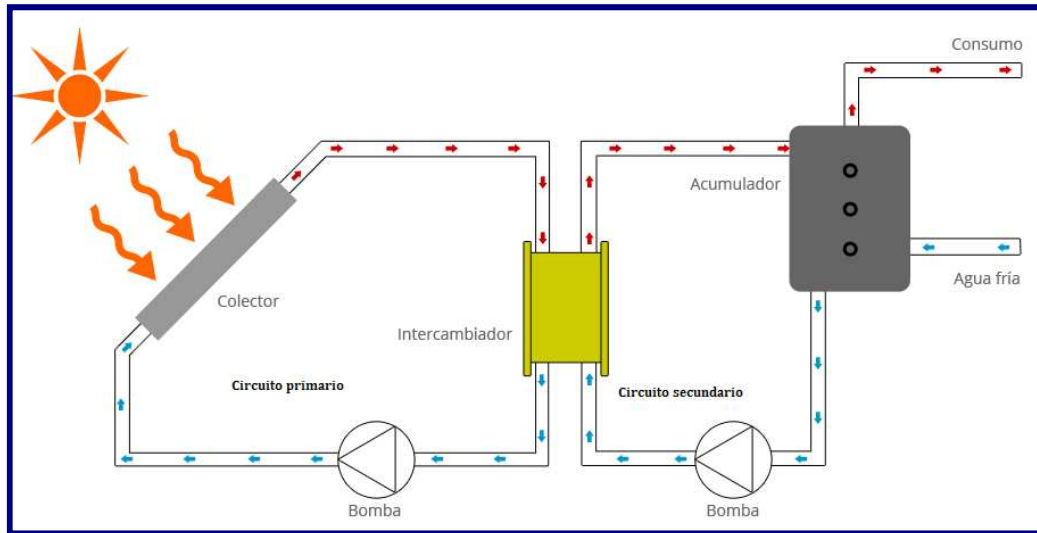


Figura 8.10: Esquema de una instalación con contribución solar (www.ekidom.com)

En este sistema, se puede observar que el acumulador desarrolla una función clave en la instalación al conseguir adaptar la producción y el consumo. El acumulador es el dispositivo que permite almacenar el agua caliente para que pueda ser utilizada cuando exista demanda.

Según el Código Técnico de la Edificación, en su Documento básico HE 4, se establece que los tipos de acumuladores que pueden ser utilizados son:

- Acumuladores de acero con un tratamiento que asegure la resistencia a temperatura y corrosión con un sistema de protección catódica.
- Acumuladores de acero inoxidable adecuado al tipo de agua y temperatura de trabajo, como los que se muestran en la siguiente figura:



Figura 8.11: Acumulador de acero inoxidable (www.sumiseran.es)

- Acumuladores de acero vitrificado con protección catódica, como el que se muestra en la siguiente figura



Figura 8.12: Acumulador de acero vitrificado (www.sumiseran.es)

- Acumuladores no metálicos que soporten la temperatura máxima del circuito y esté autorizada su utilización por las compañías de suministro de agua potable.
- Acumuladores de cobre.

Todos estos acumuladores, se deberán ubicar siempre en lugares donde se permita un acceso fácil para poder llevar a cabo tareas de reparación o de sustitución.

Además, en aquellas situaciones en la que sea necesario recurrir a acumuladores con un volumen superior a 2 m^3 , éstos deberán llevar válvulas de corte u otro tipo de sistemas que permitan realizar el corte del flujo al exterior del depósito.

En cuanto a las conexiones de los acumuladores en sí mismo, se establece que en cada instalación se tratará de colocar un único acumulador en posición vertical. Sin embargo, en numerosas ocasiones se deberá recurrir al uso de varios depósitos debido a:

- Que se trate de instalaciones que requieran de acumulaciones elevadas.
- Que debido a condiciones estructurales se disponga de espacios con poca altura lo que obliga a utilizar un tamaño de depósitos específico.
- Cuando se busque garantizar la fiabilidad del servicio durante las operaciones de mantenimiento.

Cuando exista dicha posibilidad de conectar varios depósitos a la vez, la conexión entre los mismos se podrá realizar de dos modos:

- **Conexión en paralelo:** Esta conexión es la distribución más sencilla de aplicar además de que las pérdidas que carga que provoca son reducidas, sin embargo, presenta una mayor zona de mezcla con un menor volumen acumulado y el riesgo de desarrollo de legionela se incremental. Este tipo de conexión se refleja en la siguiente figura:

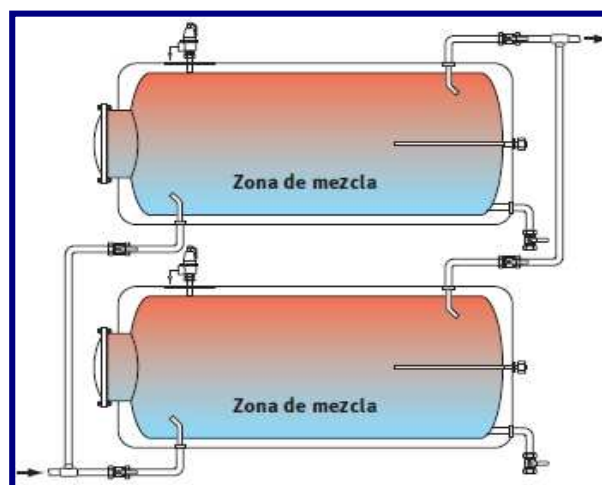


Figura 8.13: Conexión en paralelo (www.minetur.gob.es)

- **Conexión en serie:** Este tipo de conexión se caracteriza porque permite llevar a cabo una reducción de la zona de mezcla debido a que existe una mejor estratificación, lo que permite por tanto un mejor aprovechamiento del volumen acumulado, por todo ello, se prefería siempre a instalación de depósitos verticales lo más esbeltos posibles. Sin embargo, las conexiones hidráulicas para establecer este sistema son complicadas por lo que en numerosas ocasiones se debe recurrir a disponer de varios depósitos para garantizar el suministro en caso de avería. En la figuras siguientes, se muestra un esquema de este tipo de conexión:

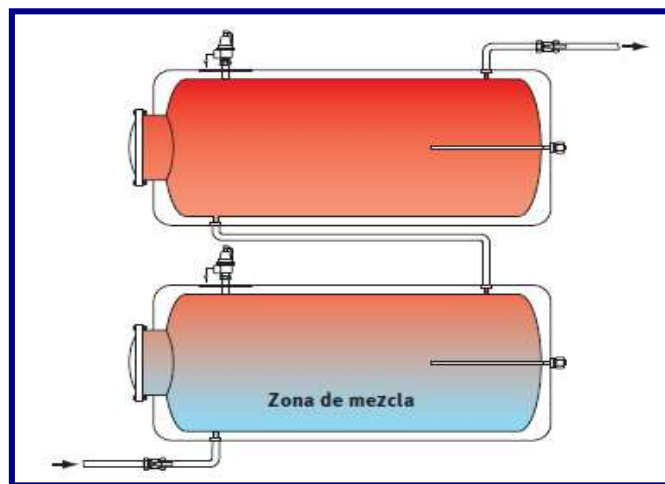


Figura 8.14: Conexión de depósitos horizontales en serie (www.minetur.gob.es)

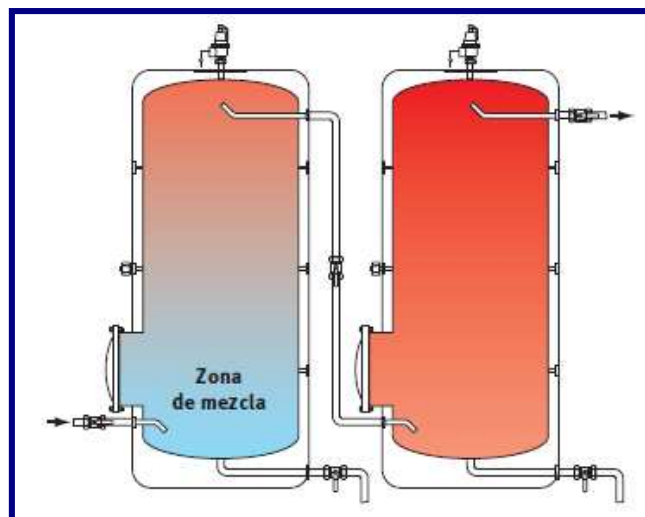


Figura 8.15: Conexión de depósitos verticales esbeltos en serie (www.minetur.gob.es)

En Código Técnico de la Edificación (CTE), se establece que la situación de las conexiones de acumuladores deberá realizar del siguiente modo:

- Se deberá disponer de conexiones de entrada y salida que eviten que surjan caminos preferentes de circulación, así como también que:
 - La entrada de agua caliente desde el intercambiador o de los captadores a los acumuladores se deberá ubicar siempre que sea posible a una altura entre el 50 % y el 75 % de la altura total de los mismos.
 - La conexión de salida del agua fría desde el acumulador al intercambiador se ubicará en la parte inferior de los mismos.
 - La conexión que lleve a cabo el retorno del consumo al acumulador se ubicará en la parte inferior de los mismos.
 - La extracción del agua caliente del acumulador se llevará a cabo por la parte superior.
- En aquellos casos en los que previa justificación se instalen depósitos en posición horizontal, las tomas de agua caliente y fría deberán que dispuestas en extremos diagonalmente opuestos.
- La conexión de los acumuladores permitirá que se puedan desconectar sin que dicha desconexión altere el funcionamiento del resto de la instalación.

8.7 Potencia mínima de intercambiadores de calor independientes

Cuando se dispone de un intercambiador de calor independiente el Código Técnico de la Edificación, regula en el Documento Básico HE 4, establece como determinar la potencia mínima de este.

Cuando se desea calcular el la potencia mínima del intercambiador (P), ésta se determinará para las condiciones de trabajo en las horas centrales del día suponiendo una radiación solar de 1000 W/m^2 y un rendimiento de conversión de la energía solar a calor del 50 %, de forma que se cumple que:

$$P \geq 500 \cdot A$$

Ecuación 8.1

Donde:

P: Potencia mínima del intercambiador (W)

A: Superficie de captación (m²)

Además, en dicho Documento básico HE 4, se establece como condición que la superficie total de captación solar queda comprendida entre:

$$50 > \frac{V}{A} > 180$$

Ecuación 8.2

Donde:

A: Suma de las áreas de los captadores (m²).

V: Volumen del depósito del depósito de acumulación (l)

EJEMPLO 8.2: Cálculo de dimensionamiento

Supóngase que se desea llevar a cabo el dimensionamiento de una instalación solar de una vivienda unifamiliar. Del diseño de dicha instalación, se ha podido extraer que las necesidades de producción de agua caliente sanitaria se estiman en 4.000 litros al día.

a) Determinar la superficie mínima de captación que se deberá instalar en dicha vivienda.

Para determinar la superficie mínima de captación de dicha instalación se deberá aplicar la fórmula de la superficie de captación que desarrolla el Código Técnico de la Edificación, el cual establece que:

$$50 > \frac{V}{A} > 180$$

De modo que conocido el volumen del depósito de acumulación y que se pide la superficie mínima, se deberá igualar la ecuación al valor mínimo de forma que se obtiene:

$$\frac{4.000}{A} = 50$$

$$A = \frac{4.000}{50}$$

$$A = 80 \text{ m}^2$$

Por tanto, como resultado del ejercicio se establecería que la superficie mínima de captación sería de 80 m^2 .

b) Calcular la potencia mínima del intercambiador de calor de la instalación.

Para calcular la potencia mínima del intercambiador de la instalación se deberá aplicar la fórmula establecida por el Código Técnico de la Edificación y el valor del área mínima de captación que se ha obtenido en el apartado anterior. La fórmula establecida en el CTE es:

$$P = 500 \cdot A$$

$$P = 500 \cdot 80$$

$$P = 40.000 \text{ W} = 40 \text{ kW}$$

8.8 Especificaciones en la colocación de tuberías

El sistema de distribución del fluido caloportador estará constituido por una red de tuberías, tal y como se explicó en apartados anteriores. Dicha red se deberá caracterizar por estar constituida por un trazado correcto y materiales óptimos para garantizar que no se produzcan obturaciones o depósitos de cal que dificulten el paso del fluido.

Por otro lado, dicha red de tubería poseerá un diseño que trate de minimizar las pérdidas de energía térmica, por lo que en dicho diseño se buscará que las tuberías presenten la menor longitud posible evitando la presencia de codos y las pérdidas de carga en general. Además, los tramos de tubería horizontales deberán contar con una pendiente mínima del 1 % en el sentido de la circulación.

EJEMPLO 8.3: Diseño de tuberías

A continuación se muestra la siguiente figura con dos posibles trazados de tuberías, decidir cuál es la más correcta y por qué.

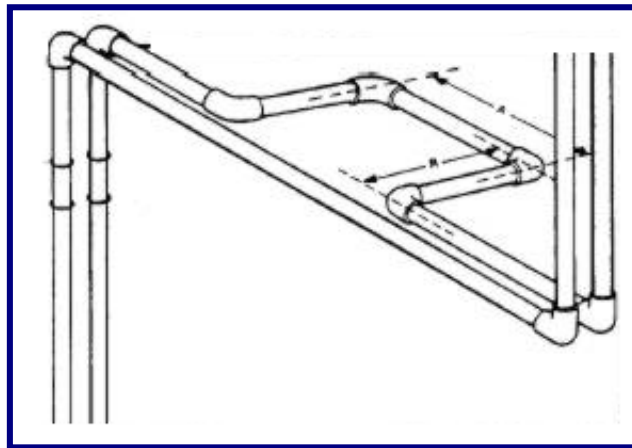
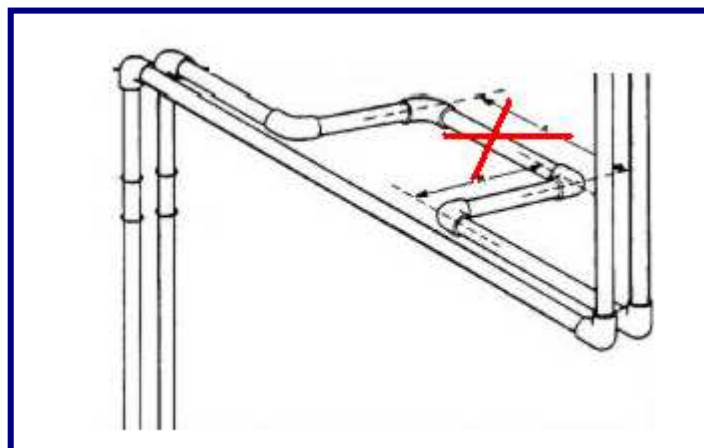


Figura 8.16: Esquema de una red de tuberías

Entre ambos tipos de distribución se debería escoger la distribución que no está marcada con una cruz roja en la figura, debido a que tal y como expone el CTE, se deberá de tratar de utilizar un diseño que evite el uso de codos y lo más corto y recto posible para evitar que aparezcan tanto pérdidas térmicas como de carga.



Además, las tuberías que se ubiquen en exterior a la intemperie deberán contar con una protección externa de forma que se garantice la durabilidad de las mismas frente a la acción de los agentes climáticos. Para ello, se suele recurrir a revestimientos con pinturas asfálticas, uso de poliésteres reforzados con fibra de vidrio o pinturas acrílicas, tal y como se refleja en la siguiente figura:



Figura 8.17: Tubería de exterior con recubrimiento

Dicho aislamiento, no dejará visible ninguna zona de las tuberías o accesorios salvo aquellas que sean necesarias para garantizar un correcto funcionamiento y operación de las instalaciones.

Por otro lado, el Código Técnico de la Edificación establece que las tuberías que constituyan el circuito primario estarán fabricadas en cobre o acero inoxidable con uniones roscadas, soldadas o embridada y con protección exterior con pintura anticorrosiva. Mientras que en el circuito secundario se utilizarán los mismos materiales constructivos, pero además se podrán utilizar aquellos materiales plásticos que soporten la temperatura máxima a la que puede estar sometido el circuito y esté autorizada dicha utilización por la compañía suministradora de agua.

8.9 Caudales recomendados en el primario

El circuito primario de este tipo de instalaciones de agua caliente sanitaria solar sirva para llevar a cabo la distribución del agua desde el captador solar hasta el intercambiador tal y como se muestra en la siguiente figura:

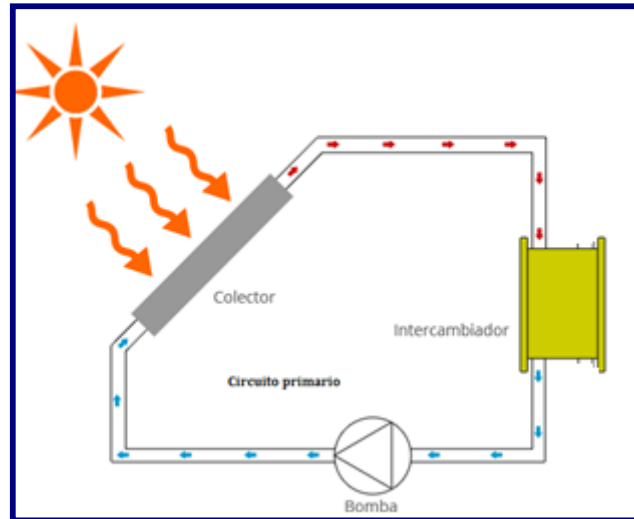


Ilustración 8.1: circuito primario de una instalación solar (www.ekidom.com)

Para poder determinar cuál es el caudal más adecuado al circuito primario de la instalación, se deberá seguir las recomendaciones de los fabricantes de captadores solares en función de la elección del captador, capacidad, rendimiento...

Para que se pueda conseguir una instalación lo más eficiente posible, el intercambiador seleccionado para la instalación deberá estar en consonancia con el caudal disponible para circular por el captador. Esto queda reflejado debido a que el caudal del captador se expresa en $l/h \cdot m^2$.

EJEMPLO 8.4: Caudales del primario

Supóngase un captador solar cuya superficie es de $2 m^2$, mientras que el caudal recomendado por el fabricante se estima en $60 l/h \cdot m^2$. Calcular una estimación del caudal recomendado para el circuito primario.

Para poder llevar a cabo una estimación del caudal en el primario, se deberá realizar un factor de conversión que permita determinar el caudal como se muestra a continuación:

$$Q = 60 \text{ l/h} \cdot \text{m}^2 \cdot 2 \text{ m}^2$$

$$Q = 120 \text{ l/h}$$

En líneas generales, el Código Técnico de la Edificación establece unos rangos entre los cuales puede variar, es decir, su valor puede oscilar entre 1,2 l/s y 2 l/s por cada 100 m² de red de captadores. En aquellas instalaciones en las que los captadores se dispongan en serie, el caudal de la instalación el valor de caudal de la instalación se determinará dividiendo los valores anteriores entre el número de captadores de los que dispongan la instalación conectados en serie.

Un aspecto muy importante para el cálculo de dicho caudal del circuito primario es cuando se presentan más de un captador, puesto que el caudal puede variar en función de si el conexionado se realice en:

- **Serie:** En esta situación la variación de la temperatura a la salida es la suma de las variaciones de cada uno de los emisores mientras que el caudal se mantiene constante, es decir, el caudal del captador es el mismo que el que existe en el circuito primario.

$$Q = \text{Constante}$$

$$\Delta T = \sum T_n$$

- **Paralelo:** En esta situación, la variación de la temperatura se mantiene constante, mientras que el caudal del primario es la suma de los caudales de los captadores que constituyen la instalación.

$$Q = \sum Q_n$$

$$\Delta T = \text{Constante}$$

8.10 Condiciones que deben cumplir los grupos de bombeo

En las instalaciones de calefacción y ACS en las que se recurra al aparte solar, se deberá disponer de un equipo de bombeo (figura 8.18) que sea capaz de soportar las mezclas anticongelantes y las temperaturas alcanzadas por el fluido caloportador en el sistema de distribución, y permitirá ejecutar de forma sencilla la purga de la misma.



Figura 8.18: Bomba para instalación de ACS (www.vascocatalana.com)

En cuanto al caudal nominal del grupo de bombeo, cuando el conexionado de los captadores solares se realice en paralelo, éste será igual al caudal unitario de diseño multiplicado por la superficie total de los captadores que se encuentren en paralelo.

En cuanto a la potencia eléctrica de la bomba, el Código Técnico de la Edificación establece que en aquellos sistemas pequeños quedará definida como el 2 % de la mayor potencia calorífica que pueda llegar a suministrar el grupo de captadores, mientras que en los sistemas grandes dicha cantidad pasará del 2% al 1%.

Además, dicho código establece también que siempre y cuando sea posible, las bombas en línea se ubicarán en las zonas más frías garantizando que no se tengan lugar procesos de cavitación y que el eje de rotación permanezca en posición horizontal. Por otro lado, en aquellas instalaciones cuya superficie supere los 50 m², se deberá recurrir al uso de dos bombas en paralelo, quedando una de ellas destinada a reserva, tanto en el circuito primario como en el secundario.

8.11 Condiciones que deben cumplir los sistemas de purga

En los sistemas de calefacción y ACS, es necesaria la instalación de dispositivos de purga cuya misión era eliminar el aire que se encuentra almacenado en el circuito y que puede ocasionar pérdidas de carga en el sistema.

En Código Técnico de la Edificación, establece que el sistema de purgado se deberá realizar cumpliendo las siguientes condiciones:

- En los puntos altos de las salidas de las baterías de captadores y en aquellos otros puntos de la instalación que sean susceptibles de acumular aire, se deberán colocar sistemas de purga que estarán constituidos por botellines de desaireación (figura 8.19) y purgador manual o automático. El volumen de dichos botellines se estimará superior a 100 cm³, sin embargo, este volumen podrá ser reducido si se instala en la salida del circuito solar y antes de intercambiador un desaireador con purgador automático.



Figura 8.19: Purgador automática (www.valgroup.es)

- Utilizar purgadores automáticos de forma adicional quedando ubicados en los dispositivos para llevar a cabo la purga de forma manual.



Figura 8.20: Purgador manual (www.kw-solar.es)

8.12 Sistemas auxiliares de apoyo mediante energía convencional

Las instalaciones solares para la obtención de agua caliente sanitaria (ACS) deben permitir obtener el volumen necesario de ésta para poder cubrir la demanda. Por ello, en numerosas ocasiones cuando las condiciones climáticas sean desfavorables se deberá instalar un aporte extra (figura 8.21) mediante fuentes de energía convencional que permitan adaptar la producción al consumo.

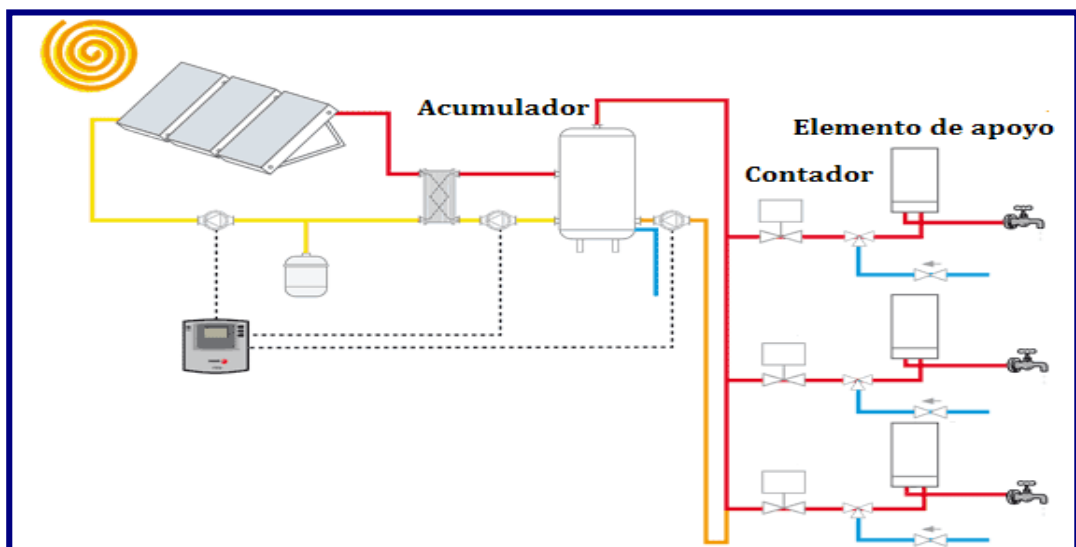


Figura 8.21: Instalación solar con apoyo de energía convencional

(www.fagorcomfort.com)

Este tipo de sistemas que permiten obtener dicho aporte energético extra se instalarán en el circuito secundario, para evitar que se produzcan consumos excesivos o pérdidas de energía. Además dicho sistema auxiliar se diseñará con el objetivo de cubrir toda la demanda de agua caliente sanitaria que pudiere ser demandada como si no se dispusiera de un sistema de captación, sin embargo, solo estará en funcionamiento cuando sea totalmente necesario con el objetivo de que la energía que ha sido extraída por los captadores se aproveche al máximo.

Este sistema de aporte con energía convencional, donde exista acumulación, contará con un termostato de control sobre la temperatura que en condiciones normales de funcionamiento deberá cumplir con la legislación en cuanto a la prevención y control de la legionelosis.

En aquellos casos, en los que el sistema auxiliar no disponga de acumulación, el equipo será un equipo modulante, es decir, dicho equipo deberá ser capaz de regular y controlar su potencia para que se obtenga una temperatura de manera permanente independientemente de cuál sea la temperatura del agua a la entrada de dicho equipo.

Los sistemas auxiliares para instalaciones solares de climatización de piscinas, contarán con una sonda de temperatura ubicada en el retorno del agua al intercambiador y de calor y un termostato de seguridad con rearme manual en la impulsión, que estará tarado a una temperatura de 10 °C por encima de la temperatura de impulsión, con ello se busca evitar la entrada al circuito de agua a mayor temperatura que la del generador.

8.13 Condiciones que deben cumplir los sistemas de control

Las instalaciones solares para la obtención de agua caliente sanitaria, cuenta con un sistema de control cuya misión es garantizar que el funcionamiento de las instalaciones se lleva a cabo de forma correcta, que el aprovechamiento de la energía solar captada sea óptimo y que se lleve a cabo un uso adecuado de la energía auxiliar.

Este sistema de control, es un sistema que deberá actuar sobre los siguientes condicionantes:

- Se encargará de llevar a cabo el control del funcionamiento de los circuitos y de los sistemas de protección y seguridad cuando tengan lugar situaciones tales como sobrecalentamientos, heladas...

- Deberá controlar, en circulación forzada, el funcionamiento normal de las bombas del circuito de captadores. En aquellas instalaciones en las que se cuente con depósitos de acumulación deberá dicho sistema, deberá actuar en función de la diferencia de temperaturas del fluido caloportador en la salida de la batería de captadores y la del depósito de acumulación. De modo que el sistema actuará evitando que las bombas estén en marcha cuando la diferencia de temperaturas sea inferior a 2 °C y no estén paradas cuando la diferencia sea mayor de 7 °C.

- La sonda de temperatura utilizada para llevar a cabo el control diferencial deberá instalarse en la parte superior de los captadores para que represente la máxima temperatura en el circuito de captación. Mientras que el sensor de temperatura de la acumulación se ubicará preferiblemente en la parte inferior en una zona no influenciada por la circulación del circuito secundario o por el calentamiento del intercambiador, si se dispusiera del mismo.

- Garantizará que bajo ningún caso, las temperaturas alcanzadas serán superiores a las que puedan soportar los materiales, componentes y tratamientos de los circuitos.

- Asegurará que en ningún punto de la instalación el fluido caloportador desciende a una temperatura tres grados superior a la de congelación del fluido.

- Repartirá el caudal térmico y controlará las bombas de circulación, cuando las instalaciones presenten apoyo de otros sistemas.

Por todo ello, se puede deducir que la presencia de este sistema de control es crucial en este tipo de instalaciones al aumentar la eficiencia de las mismas debido a que se encarga de garantizar que todos los equipos funcionan de forma correcta y no se están produciendo fallos en la instalación que pudiesen ocasionar pérdidas de energía al no ser ésta aprovechada de la forma más correcta por anomalías del sistema.

9 BIBLIOGRAFÍA

Textos electrónicos

- www.acqualive.com.ar. (s.f.).
- www.adndesign.es. (s.f.).
- www.ahi-carrier.com.au. (s.f.).
- www.alternativasenergeticasmaga.com. (s.f.).
- www.areaciencias.com. (s.f.).
- www.armacell.es. (s.f.).
- www.calderaszaragoza.com. (s.f.).
- www.cexco.es. (s.f.).
- www.cleanergysolar.com. (s.f.).
- www.codigotecnico.org. (s.f.).
- www.dcdistritec.com. (s.f.).
- www.desforsa.com. (s.f.).
- www.directindustry.es. (s.f.).
- www.educa2.madrid.org/educamadrid. (s.f.).
- www.ekidom.com. (s.f.).
- www.ekidom.com. (s.f.).
- www.energiasrenovables.ciemat.es. (s.f.).
- www.energias-renovables.com. (s.f.).
- www.epsacv.com. (s.f.).
- www.es.hudsonreed.com. (s.f.).
- www.fagorconfort.com. (s.f.).
- www.fenercom.com. (s.f.).
- www.filter-wiremesh.com. (s.f.).
- www.fullquimica.com. (s.f.).
- www.generbio.es. (s.f.).
- www.girosacme.com. (s.f.).
- www.guiagas.com. (s.f.).

-
- www.iccl.es. (s.f.).
 - www.idae.es. (s.f.).
 - www.idealgroupuk.co.uk. (s.f.).
 - www.laplace.us.es. (s.f.).
 - www.miliarium.com. (s.f.).
 - www.minetur.gob.es. (s.f.).
 - www.nergiza.com. (s.f.).
 - www.noticias.jurídicas.com. (s.f.).
 - www.paletspladurgell.cat. (s.f.).
 - www.polygonpipe.com. (s.f.).
 - www.renovastore.com. (s.f.).
 - www.salvadorescoda.com. (s.f.).
 - www.salvadorescoda.com. (s.f.).
 - www.scielo.sld.cu/scielo.php. (s.f.).
 - www.si3ea.gov.co. (s.f.).
 - www.siscocan.es. (s.f.).
 - www.soliclima.com. (s.f.).
 - www.sumiseran.es. (s.f.).
 - www.textoscientificos.com. (s.f.).
 - www.tiemme.com. (s.f.).
 - www.uponor.es. (s.f.).
 - www.valgroup.es. (s.f.).
 - www.valgroup.es. (s.f.).
 - www.vascocatalana.com. (s.f.).
 - www.veranoinstalaciones.com. (s.f.).
 - www.wilo.es. (s.f.).
 - www.zyzclima.com. (s.f.).
 - www5.uva.es. (s.f.).

Manuales de texto

- A.Çengel Yunus; Michael A.Boles; *Termodinámica* (6ª ed.).Mc Graw Hill.
- Assensi Oliva Llena, S. M. *Tecnología energética y Medio Ambiente I* (UPC ed.).
- C.Rolle, K. *Termodinámica* (6ª ed.). Pearson Prentice Hall.
- *Código Técnico de la Edificación (CTE)*.
- de Andrés Juan A. ; Pomatta R.: *Climatización I: II Calefacción* (4ª ed.). Universidad Nacional de Educación a distancia.
- de Juana José Mª: *Energías renovables para el desarrollo*. Parainfo.
- *Eficiencia energética en la edificación*. Universidad Pontificia de Comillas.
- *Eficiencia energética: tecnologías y políticas de apoyo*. Universidad Pontificia de Comillas.
- Entrena González Francisco José: *UF0565: Eficiencia energética en las instalaciones de calefacción y ACS en los edificios*. Ic Editorial.
- Galdón Francisco; Calvo Teófilo: *Curso de instalador de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria*. Conaif y Sanier Duval.
- García Gutiérrez Miguel Ángel: *El proyecto de las instalaciones de climatización. Cumplimiento de la normativa*. Universidad de Jaén.
- Grau, C. G. *Instalaciones de producción de calor*. Conselleria de Cultura, Educación y Deporte.
- *Instalaciones- Gas y calefacción: Volumen II*. Fundación Laboral de la construcción.
- *Instalaciones- Gas y calefacción: Volumen III*. Fundación Laboral de la construcción.
- J.Ghajar, Y. A: *Transferencia de calor y masa (fundamentos y aplicaciones)* (4ª ed.). Mc Graw Hill.
- Kreith; Both: *Principios de transferencia de calor* (6ª ed.). Thomson.
- Lapuerta Amigo Magín; Desantes Fernández José Mª: *Fundamento de combustión*. Universidad Politécnica de Valencia
- Lapuerta Amigo Magín; Hernández Adrover Juan José: *Tecnologías de la combustión*. Colección Ciencia y Técnica
- Lloren Martín; Miranda Ángel L: *Ingeniería térmica*. Marcombo Ediciones Técnicas.

-
- Madrid Vicente Antonio: *Curso de energía solar (fotovoltaica, térmica y termoeléctrica)*. AMV Ediciones.
 - *Manual de calefacción y ACS de Campsa*.
 - *Manual de gas natural*.
 - Monge Malo Luis: *Instalaciones de energía solar térmica para la obtención de ACS en viviendas*. Marcombo.
 - Moratilla Sorria Beatriz Yolanda: *Combustibles del siglo XXI*. Universidad Pontificia de Comillas
 - *Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios*.
 - Sage Konrad: *Instalaciones térmicas en edificios*. Editorial Gustavo Gili S.A.
 - Vázquez Manuel; Seara José F.: *Siguiendo el camino de las estrellas (Volumen I)*. Asociación española de energía solar.
 - Williams J. Richard: *Tecnología y aplicaciones de la energía solar*. Bellisco ediciones técnicas y científicas.