Edificios

Ahorro y Eficiencia Energética en Climatización 7

Comentarios

RITE-2007

Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO
IDAE Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

Edificios

Ahorro y Eficiencia Energética en Climatización 7

Comentarios

RITE-2007

Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO
IDAE Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

TÍTULO

Comentarios al Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios (RITE-2007)

CONTENIDO

Esta publicación ha sido redactada por la Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR) para el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), con el objetivo de promocionar la eficiencia en el uso final de la energía en los edificios.

AGRADECIMIENTOS

A El Instalador por la cesión de textos del Reglamento (Anexo)

Esta publicación está incluida en el fondo editorial del IDAE, en la serie "Ahorro y Eficiencia Energética en Climatización".

Cualquier reproducción, parcial o total, de la presente publicación debe contar con la aprobación por escrito del IDAE.

La versión impresa de esta publicación contiene el Anexo: RITE 2007.

IDAE
Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía
C/ Madera, 8
E-28004-Madrid
comunicacion@idae.es
www.idae.es

Madrid, noviembre de 2007

ÍNDICE

Parte I. Disposiciones Generales 5

Capítulo I. Generalidades 7
Capítulo II. Exigencias Técnicas 8
Capítulo III. Condiciones Administrativas 9
Capítulo IV. Condiciones para la ejecución de las instalaciones térmicas 10
Capítulo V. Condiciones para la puesta en servicio de la instalación 11
Capítulo VI. Condiciones para el uso y mantenimiento de la instalación 11
Capítulo VII. Inspección 12
Capítulo VIII. Empresas instaladoras y mantenedoras 12
Capítulo IX. Régimen sancionador 12
Capítulo X. Comisión asesora 12

Parte II. Instrucciones Técnicas 13

Instrucción Técnicas IT.1: Diseño y Dimensionado 15

IT 1.1 Exigencia de bienestar e higiene 15
IT 1.1.4 Caracterización y cuantificación de la exigencia de bienestar e higiene 15
IT 1.1.4.1 Exigencia de calidad térmica del ambiente 15
IT 1.1.4.2 Exigencia de calidad del aire interior 24
IT 1.1.4.3 Exigencia de higiene 33
IT 1.1.4.4 Exigencia de calidad del ambiente acústico 43

IT 1.2 Exigencia de eficiencia energética 46
IT 1.2.2 Procedimiento de verificación 46
IT 1.2.4.1 Generación de calor y frío 49
IT 1.2.4.2 Redes de tuberías y conductos 79
IT 1.2.4.3 Control 85
IT 1.2.4.4 Contabilización de consumos 86
IT 1.2.4.5 Recuperación de energía 87
IT 1.2.4.6 Aprovechamiento de energías renovables 100
IT 1.2.4.7 Limitación de la utilización de energía convencional 103

IT 1.3 Exigencia de seguridad 103
IT 1.3.1 Ámbito de aplicación 103
IT 1.3.2 Procedimiento de verificación 103
IT 1.3.3 Documentación justificativa 103
IT 1.3.4 Caracterización y cuantificación de la exigencia de seguridad . . 103
IT 1.3.4.1 Generación de calor y frío 103
IT 1.3.4.2 Redes de tuberías y conductos 110
IT 1.3.4.3 Protección contra incendios 117
IT 1.3.4.4 Seguridad de utilización 118

Instrucción Técnica IT.2: Montaje 121

IT 2.2 Pruebas 121
IT 2.2.2 Pruebas de estanquidad de redes de tuberías de agua 148
IT 2.2.5 Pruebas de recepción de conductos de aire 151
IT 2.2.6 Pruebas de estanquidad de las chimeneas 153
IT 2.2.7 Pruebas finales 153
IT 2.3 Ajuste y equilibrado 154
IT 2.4 Eficiencia energética 154

Instrucción Técnica IT.3: Mantenimiento y uso 155

IT 3.3 Programa de mantenimiento preventivo 155
IT 3.4 Programa de gestión energética 155

Instrucción Técnica IT.4: Inspección 157

Normas y otros documentos 159

Parte I
Disposiciones Generales

Disposiciones Generales

Capítulo I. GENERALIDADES

Artículo 1. Objeto

El Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, RITE, establece las exigencias de eficiencia energética y seguridad que deben cumplir las instalaciones térmicas en los edificios para atender la demanda de bienestar e higiene de las personas tanto en las fases de diseño, dimensionado y montaje, como durante su uso y mantenimiento.

Artículo 2. Ámbito de aplicación

Se consideran Instalaciones Térmicas las instalaciones fijas de climatización (ventilación, refrigeración y calefacción) y de producción de agua caliente para usos sanitarios, destinadas a atender la demanda de bienestar e higiene de las personas en cualquier tipo de edificio, incluso edificios de uso industrial.

El RITE no será de aplicación para las instalaciones térmicas destinadas a procesos industriales, agrícolas o de otro tipo.

El RITE se aplicará a las instalaciones térmicas de los edificios de nueva construcción o en las reformas de las mismas en los edificios existentes.

Se entiende por reforma de una instalación térmica cualquier cambio que suponga una modificación del proyecto o, en su caso, de la memoria técnica con el que fue ejecutada y registrada. Las reformas están comprendidas en los siguientes casos:

- Incorporación de nuevos subsistemas de climatización o de preparación de agua caliente para usos sanitarios
- Modificación de los subsistemas existentes
- Sustitución de los generadores térmicos existentes o ampliación de su número
- Cambio del tipo de energía utilizada
- Incorporación de sistemas de energías renovables
- Cambio del uso del edificio

El RITE será de aplicación también a las instalaciones térmicas existentes en cuanto se refiere a su mantenimiento, uso e inspección.

Artículo 3. Responsabilidad de su aplicación

La responsabilidad del cumplimiento del RITE recae sobre:

1. Los agentes que participan en el diseño, dimensionado, montaje y puesta en marcha de las instalaciones
2. Los agentes que participan en el mantenimiento e inspección de las instalaciones
3. Las entidades e instituciones que intervienen en el visado, supervisión o informes de los proyectos o memorias técnicas
4. Los titulares y usuarios de las instalaciones

Artículo 4. Contenido del RITE

El RITE se compone de dos partes:

Parte I: *"Disposiciones generales"*, que contiene las condiciones generales de aplicación del RITE.

Parte II: *"Instrucciones Técnicas"*, en adelante IT, que contiene la caracterización de las exigencias técnicas y su cuantificación.

Artículo 5. Remisión a normas

Las IT pueden establecer el cumplimiento obligatorio o voluntario de normas UNE, UNE-EN, UNE-EN ISO o, en casos especiales, otras normas de reconocido prestigio.

Se hará constar expresamente en el texto cuando una norma sea de aplicación obligatoria.

La referencia a norma se hará siempre especificando la fecha; versiones posteriores de la norma no serán válidas.

Artículo 6. Documentos reconocidos

Para facilitar el cumplimiento de este Reglamento se establecen los denominados "Documentos Reconocidos".

Estos documentos cuentan con el reconocimiento de la Administración pero no tienen carácter reglamentario.

Los Documentos Reconocidos podrán ser:

- Especificaciones, guías técnicas o códigos de buena práctica para procedimientos de diseño, dimensionado, montaje, mantenimiento, uso e inspección de las instalaciones térmicas
- Métodos de evaluación, modelos de soluciones, programas informáticos y datos estadísticos referentes a las instalaciones térmicas
- Otros documentos que faciliten la aplicación del RITE

Artículo 7. Registro general de documentos reconocidos para el RITE

El registro de documentos reconocidos está adscrito a la Secretaría General de Energía del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

El registro tendrá carácter público e informativo.

Artículo 8. Otra reglamentación aplicable

Las instalaciones objeto de este Reglamento estarán sujetas, además, al cumplimiento de otros reglamentos que les sean de aplicación.

Artículo 9. Términos y definiciones

En el Apéndice 1 se establece la definición de los términos que figuran en el RITE.

Para las definiciones no recogidas en el Apéndice serán válidas las incluidas en las normas de AENOR.

Capítulo II. EXIGENCIAS TÉCNICAS

Artículo 10. Exigencias técnicas de las instalaciones térmicas

El contenido del RITE afecta al diseño, dimensionado, ejecución, puesta en marcha, manejo, mantenimiento, uso e inspección de las instalaciones térmicas.

Artículo 11. Bienestar e higiene

Las instalaciones térmicas deberán cumplir requisitos de calidad que sean aceptables por los usuarios, como:

1 Calidad del ambiente térmico

2 Calidad del aire interior

3 Calidad del ambiente acústico

4 Dotación suficiente y condiciones adecuadas del agua caliente para usos sanitarios

Artículo 12. Eficiencia energética

Las instalaciones térmicas deben tener un consumo reducido de energía convencional y, como consecuencia, una producción limitada de emisiones de gases de efecto invernadero y de contaminantes atmosféricos.

Para alcanzar estos objetivos es necesario:

1 Seleccionar sistemas y equipos de generación y transporte de alto rendimiento energético en cualquier condición de funcionamiento

2 Aislar térmicamente las redes de distribución de los fluidos portadores

3 Dotar las instalaciones de sistemas de regulación y control para mantener las condiciones de diseño y ajustar los consumos de energía

4 Contabilizar los consumos energéticos para permitir el reparto de gastos entre distintos usuarios

5 Recuperar la energía térmica de los fluidos que se evacuan hacia el exterior

6 Emplear las energías renovables para cubrir, por lo menos, una parte de la demanda energética del edificio

Artículo 13. Seguridad

Se deben prevenir y reducir los riesgos de accidentes y siniestros capaces de producir daños o perjuicios.

Capítulo III. CONDICIONES ADMINISTRATIVAS

Artículo 14. Condiciones generales para el cumplimiento del RITE

Para justificar que una instalación cumple con las exigencias del RITE se pueden optar por una de las siguientes opciones:

- Adopción de soluciones basadas en el cumplimiento de las Instrucciones Técnicas (método prescriptivo)

- Adopción de soluciones alternativas, que se apartan, total o parcialmente, de los requisitos marcados en las Instrucciones Técnicas (método prestacional). En este caso se deberá justificar documentalmente que la instalación diseñada satisface o supera las exigencias del RITE desde el punto de vista de las prestaciones energéticas, manteniendo los parámetros de bienestar dentro de los límites marcados por el RITE

Artículo 15. Documentación técnica de diseño y dimensionado de las instalaciones térmicas

La documentación técnica de una instalación térmica de un edificio nuevo o de la reforma de las instalaciones de un edificio existente deberá constar de la siguiente documentación:

- Cuando la potencia térmica nominal, en frío o calor, sea menor que 5 kW no será necesario presentar ninguna documentación técnica

- Cuando la potencia térmica nominal, en frío o calor, sea mayor o igual que 5 kW y menor o igual que 70 kW será necesario presentar una memoria técnica que comprenda:

  1 Memoria descriptiva de la instalación, en la que figurará, por lo menos, la descripción de los generadores térmicos, incluidos los sistemas de energías renovables, y la justificación de que las soluciones propuestas cumplen las exigencias de bienestar, higiene, eficiencia energética y seguridad del RITE. En esta Memoria figurarán también los parámetros de diseño elegidos

  2 Cálculo de las cargas térmicas de la instalación y de las potencias térmicas instaladas

  3 Planos y esquemas de la instalación

- Cuando la potencia térmica nominal, en frío o calor, sea mayor que 70 kW se redactará un proyecto que comprenderá los siguientes documentos:

  1 Memoria descriptiva de la instalación, en la que se incluirán los parámetros de partida para el diseño, la justificación de las soluciones adoptadas y la justificación de que éstas cumplen con las exigencias del RITE, así como los Anexos de cálculo de cargas térmicas, redes de tuberías, redes de conductos, selección de bombas y ventiladores, etc.

  2 Planos, incluidos los esquemas de la instalación

  3 Pliego de condiciones técnicas, en el que se describen las características técnicas que deben reunir equipos, aparatos y materiales, así como sus condiciones de suministro y ejecución, garantía de calidad y control de recepción en obra

  4 Estado de mediciones

  5 Presupuesto

La norma UNE 157001 establece las condiciones generales que permiten precisar las características que deben cumplir los proyectos de instalaciones, entre otros productos, para que sean conformes con la finalidad a que

están destinados. La norma establece el contenido de un proyecto, dividiéndolo, como se ha indicado arriba, en Memoria, Anexos, Planos, Pliego de Condiciones, Estado de Mediciones y Presupuesto.

En caso de discrepancias entre diferentes documentos del proyecto, el orden de prioridad es el siguiente: Planos, Pliego de Condiciones, Presupuesto y Memoria.

La redacción del "Manual de Uso y Mantenimiento", que contendrá las instrucciones de manejo y seguridad, así como los programas de mantenimiento y gestión energética, será redactado al finalizar las obras; su redacción estará a cargo de la dirección técnica en caso de instalaciones de más de 70 kW y por la empresa instaladora en caso de instalaciones iguales o menores que 70 kW, junto con la redacción de la memoria definitiva y de los planos *"as-built"*.

Al finalizar las obras, dentro del Manual de Uso y Mantenimiento, se incluirá también un documento que contenga todos los folletos de los equipos instalados, con sus características técnicas. No serán aceptables, en general, los catálogos que comprendan toda la serie de productos del fabricante.

En el Manual de Uso y Mantenimiento se tendrán que incluir también las Fichas Técnicas de todos los equipos y aparatos que forman parte de la instalación.

Cuando en un mismo edificio existan múltiples generadores térmicos, de frío, de calor o de ambos tipos, la potencia nominal de la instalación, a efectos de determinar el tipo de documentación técnica a cumplimentar, se obtendrá de la suma de las potencias térmicas nominales de los generadores de calor o de los generadores de frío, sin considerar la instalación térmica solar.

En el caso de instalaciones solares térmicas, la documentación requerida será la que corresponda a la potencia térmica nominal del generador de apoyo. De no existir tal generador de apoyo o cuando se trata de una reforma de una instalación que incorpore únicamente energía solar, la potencia se determinará multiplicando la superficie de apertura de los captadores solares por una potencia unitaria de 700 W/m^2.

Cuando la reforma implique el cambio de tipo de energía o la adopción de energías renovables, se deberá justificar la adaptación de los generadores y las medidas de seguridad correspondientes a la nueva fuente de energía.

En el caso de que haya un cambio de uso del edificio se deberá analizar y justificar su explotación energética, así como la idoneidad de las instalaciones existentes, en particular en lo que se refiere a zonificación y fraccionamiento de potencia.

Artículo 16. Proyecto

El proyecto será redactado y firmado por técnico competente y visado por el Colegio Profesional correspondiente.

Los autores de los proyectos específicos deberán actuar coordinadamente con el autor del proyecto general del edificio.

Al proyecto, constituido por los documentos arriba indicados, deberá añadirse la documentación relativa a las pruebas de ajuste, puesta en marcha y recepción, así como el Manual de Uso y Mantenimiento.

Artículo 17. Memoria Técnica

La Memoria Técnica se redactará sobre impresos del modelo determinado por el órgano competente de la Comunidad Autónoma.

Artículo 18. Condiciones de los equipos y materiales

Los equipos y materiales deberán llevar el marcado CE.

Capítulo IV. CONDICIONES PARA LA EJECUCIÓN DE LAS INSTALACIONES TÉRMICAS

Artículo 19. Generalidades

Las instalaciones especificadas en su totalidad pero montadas parcialmente, denominadas preinstalaciones, deberán ser ejecutadas de acuerdo al proyecto o memoria técnica. Esta documentación deberá estar disponible al momento de completarse la instalación.

La ejecución de las instalaciones y de las preinstalaciones se llevará a cabo con sujeción al proyecto o memoria técnica, respectivamente.

Las modificaciones que se pudieran realizar durante la fase de montaje deberán estar autorizadas y documentadas por el director de la instalación, para instalaciones mayores que 70 kW, o por la misma empresa instaladora

en el caso de instalaciones de potencia igual o menor que 70 kW, previa conformidad de la propiedad.

El director de la instalación o, en su caso, el instalador autorizado realizará los controles relativos a la recepción en obra de equipos y aparatos, la ejecución de la instalación y las pruebas finales de la instalación.

Las modificaciones que se pudieran realizar al proyecto o la memoria técnica serán autorizadas por el director de la instalación o, en su caso, por el instalador, previa conformidad de la propiedad. Las modificaciones quedarán debidamente reflejadas en la documentación final.

Artículo 20. Recepción en obra de equipos y materiales

El director de la instalación o, en su caso, el instalador deberá verificar las características técnicas de equipos y materiales suministrados. Si así lo indica el pliego de condiciones técnicas, los materiales podrán ser objeto de ensayos y pruebas.

La documentación entregada deberá comprender:

1 Documentos de origen, hoja de suministro y etiquetado

2 Copia del certificado de garantía

3 Documentación relativa a la transposición de las directivas europeas, en particular, al marcado CE

Artículo 21. Control de la ejecución de la instalación

Se hace hincapié en la obligación de reflejar en la documentación final de la obra todas las modificaciones que, previa autorización de la propiedad, hayan sido realizadas al proyecto.

Artículo 22. Control de la instalación terminada

La empresa instaladora deberá disponer de los medios humanos y materiales necesarios para efectuar las pruebas parciales y finales de la instalación, según indicado en IT2.

Los resultados de las pruebas de equipos, aparatos o subsistemas formarán parte de la documentación final, en forma de fichas técnicas.

Artículo 23. Certificado de la instalación

El certificado de la instalación responderá a un modelo establecido por el órgano competente de la Comunidad Autónoma.

Capítulo V. CONDICIONES PARA LA PUESTA EN SERVICIO DE LA INSTALACIÓN

El director de la instalación o, en su caso, el instalador autorizado entregará al titular de la instalación la siguiente documentación:

a) El proyecto o memoria técnica de la instalación realmente ejecutada;

b) El manual de uso y mantenimiento de la instalación realmente ejecutada;

c) La relación de los materiales, equipos y aparatos realmente instalados;

d) Los resultados de las pruebas de puesta en servicio realizadas de acuerdo a IT2, incluidas las fichas técnicas de equipos y aparatos;

e) El certificado de la instalación, registrado en el órgano competente de la Comunidad Autónoma, que servirá para solicitar el suministro regular de energía a las empresas suministradoras;

f) El certificado de la inspección inicial, cuando sea preceptivo.

Capítulo VI. CONDICIONES PARA EL USO Y MANTENIMIENTO DE LA INSTALACIÓN

El titular o el usuario de las instalaciones térmicas será responsable del cumplimiento de este reglamento desde el momento en que se realiza la recepción provisional.

No se admite un uso de las instalaciones que sea incompatible con el previsto en el proyecto.

El titular de la instalación deberá:

a) Encargar el mantenimiento a una empresa mantenedora;

b) Realizar las inspecciones obligatorias;

c) Conservar la documentación de todas las actuaciones realizadas en la instalación térmica.

El titular de la instalación entregará a la empresa mantenedora el "Manual de Uso y Mantenimiento" de la instalación térmica, contenido en el Libro del Edificio.

A efecto de mantenimiento, el RITE distingue entre instalaciones de potencia, en calor o frío, de:

1 Más de 5 kW y menores o iguales que 70 kW

2 Más de 70 kW

3 Más de 5.000 kW en calor y más de 1.000 kW en frío e instalaciones solares térmicas de más de 400 kW

El mantenimiento de las instalaciones indicadas en el apartado 3 se realizará bajo la dirección de un técnico titulado competente con funciones de director de mantenimiento.

La empresa mantenedora confeccionará un registro en el que se recojan todas las operaciones de mantenimiento y las reparaciones.

La empresa mantenedora o, en su caso, el director del mantenimiento suscribirá, con frecuencia anual, el certificado de mantenimiento, cuyo modelo será establecido por el órgano competente de la Comunidad Autónoma.

Capítulo VII. INSPECCIÓN

Las instalaciones térmicas serán inspeccionadas, a fin de verificar el cumplimiento del Reglamento, por personal facultativo de los servicios del órgano competente de la Comunidad Autónoma o por Organismos, Entidades o Agentes que determine el órgano competente de la Comunidad Autónoma.

El órgano competente de la Comunidad Autónoma podrá disponer una inspección inicial con el fin de comprobar el cumplimiento de este Reglamento. El resultado de la inspección será un certificado en el que se indicará, en su caso, la relación de defectos y la calificación de la instalación.

El órgano competente de la Comunidad Autónoma establecerá el calendario de las inspecciones periódicas de eficiencia energética.

Los agentes autorizados para llevar a cabo estas inspecciones podrán ser Organismos, Entidades o Técnicos independientes acreditados por el órgano competente de la Comunidad Autónoma, elegido por el titular de la instalación.

La calificación de las instalaciones podrá ser aceptable, condicionada o negativa (véase el apartado 15.4 para su definición).

La clasificación de defectos de las instalaciones podrá ser muy grave, grave y leve (véase la definición en el apartado 15.5).

Capítulo VIII. EMPRESAS INSTALADORAS Y MANTENEDORAS

Este capítulo establece las condiciones y requisitos que se deben observar para la autorización administrativa de las empresas instaladoras y las empresas mantenedoras.

El certificado de registro de las empresas será expedido por el órgano correspondiente de la Comunidad Autónoma y tendrá validez en toda España.

Se indican también los requisitos necesarios para la obtención del carné profesional.

Capítulo IX. RÉGIMEN SANCIONADOR

Para el régimen sancionador, el RITE remite a lo dispuesto en la Ley 21/1992, de 16 de julio.

Capítulo X. COMISIÓN ASESORA

Este capítulo, relativo a la Comisión Asesora, está compuesto por los siguientes artículos:

a) Art. 44: Comisión Asesora para las instalaciones térmicas en la edificación

b) Art. 45: Funciones de la Comisión Asesora

c) Art. 46: Composición de la Comisión Asesora

d) Art. 47: Organización de la Comisión Asesora

Parte II
Instrucciones Técnicas

Instrucción Técnica IT.1: Diseño y Dimensionado

IT 1.1 Exigencia de bienestar e higiene

IT 1.1.4 Caracterización y cuantificación de la exigencia de bienestar e higiene

IT 1.1.4.1 Exigencia de calidad térmica del ambiente

Según la norma UNE-EN ISO 7730, el Índice PMV (*Predicted Mean Vote*, voto medio estimado) refleja la opinión de un numeroso grupo de personas sobre la sensación térmica experimentada durante estancias prolongadas en determinadas condiciones termo-higrométricas. El PMV se valora según una escala de siete valores (empleada con un decimal):

PMV	Sensación
+ 3	Muy caluroso
+ 2	Caluroso
+ 1	Ligeramente caluroso
± 0	Neutralidad térmica
- 1	Fresco
- 2	Frío
- 3	Muy frío

El índice PMV, es decir, la calidad del ambiente térmico, es función de los siguientes parámetros ambientales a medir en la zona ocupada:

1 La temperatura seca del aire

2 La humedad relativa u otra magnitud que determine un punto sobre el diagrama del aire húmedo

3 La temperatura radiante media de los cerramientos del recinto

4 La velocidad media del aire

así como de los dos parámetros relativos a las personas, que son:

1 La actividad metabólica

2 El grado de vestimenta

El empleo del PMV es válido solamente cuando los seis parámetros antes mencionados estén dentro de los siguientes límites:

Parámetro	Límites	Unidad
Actividad metabólica	0,8 a 4	met
Grado de vestimenta	0 a 2	clo
Temperatura seca del aire	10 a 30	°C
Temperatura radiante media de los cerramientos	10 a 40	°C
Velocidad del aire en la zona ocupada	0 a 1	m/s
Humedad relativa	30 a 70	%

El índice PMV está basado en el balance térmico del cuerpo humano en su conjunto con el ambiente que le rodea. La diferencia entre la producción interna de calor y las pérdidas de calor hacia el ambiente representa el desequilibrio térmico; cuando el desequilibrio térmico es nulo, el ser humano se encuentra en las condiciones ideales de bienestar y el PMV es igual a cero.

En la norma se escribe una ecuación que determina el PMV en función de los parámetros antes indicados. Una vez determinado el índice PMV, puede calcularse, mediante otra ecuación, el porcentaje estimado de personas insatisfechas PPD *(Predicted Percentage Dissatisfied)*.

La representación gráfica de esta relación está indicada en la figura 1:

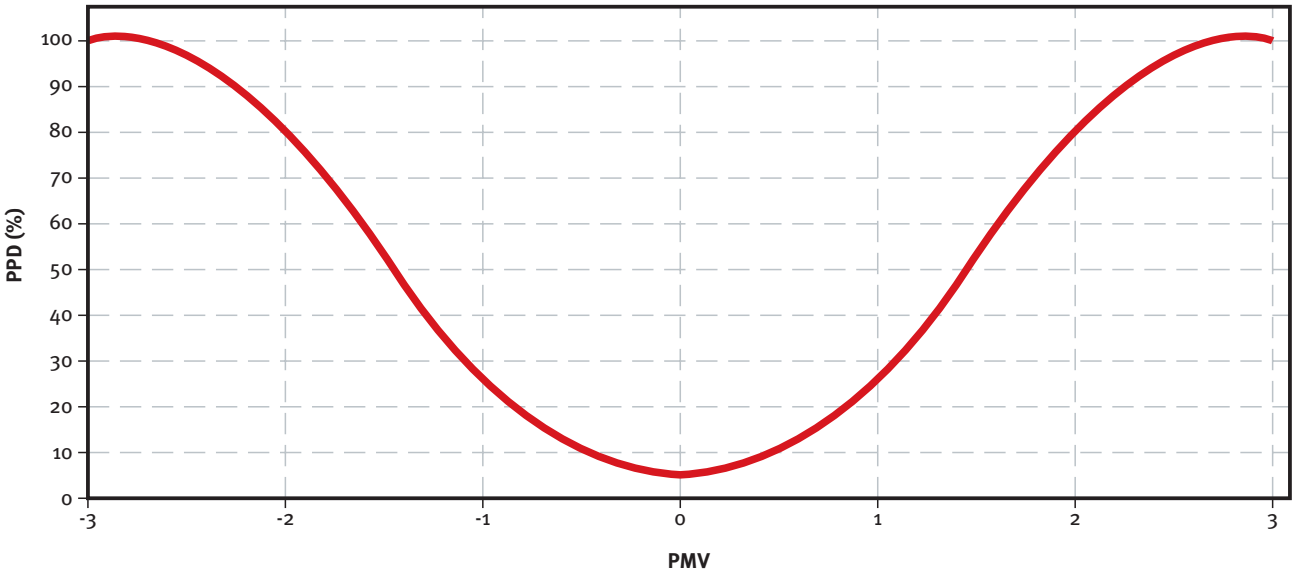


Fig. 1: PPD en función de PMV

El examen de la figura anterior revela que el porcentaje de personas insatisfechas no puede ser nunca, estadísticamente hablando, menor que el 5%, aún cuando el PMV sea nulo.

Las condiciones térmicas admisibles en un ambiente están representadas por valores de PMV entre -1 y +1, correspondientes, aproximadamente, a un 25% de personas insatisfechas.

Ampliando la parte central, desde PMV = -1 a PMV = +1, resulta el gráfico de la figura 2:

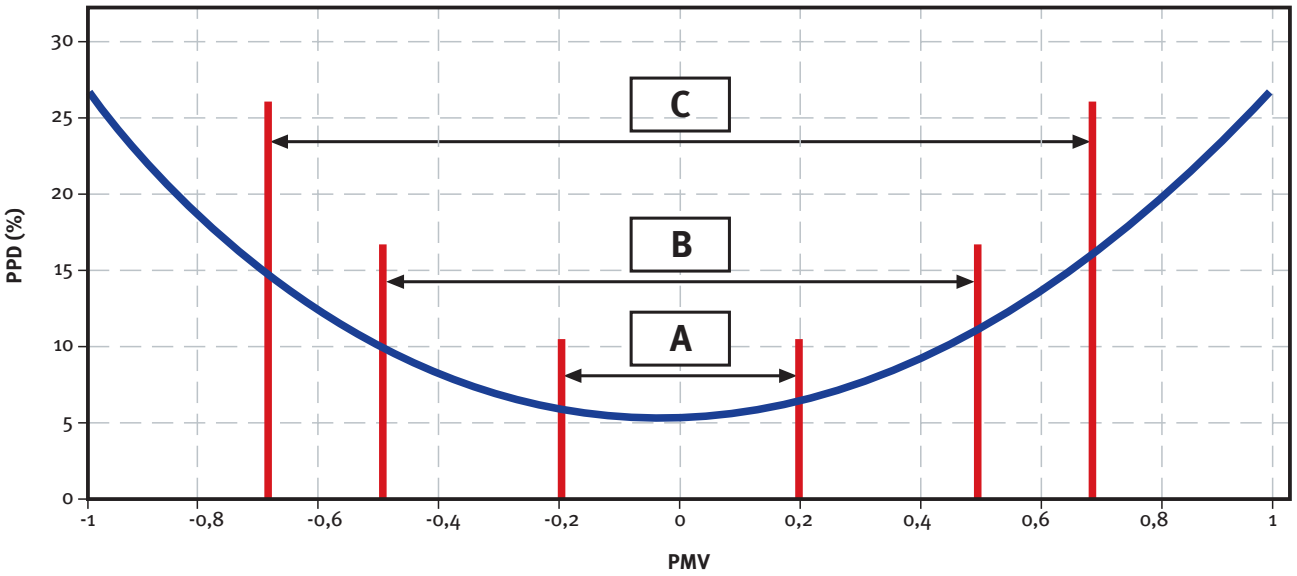


Fig. 2: PPD en función de PMV (escala ampliada)

El informe del CEN CR 1752, define tres categorías de ambiente térmico, denominadas A, B y C, representadas en la figura 2, con el 6, 10 y 15% de personas insatisfechas respectivamente, según indicado en la siguiente tabla.

Categoría	PPD (%)			
A	< 6	-0,2	< PMV <	+0,2
B	< 10	-0,5	< PMV <	+0,5
C	< 15	-0,7	< PMV <	+0,7

Para una actividad metabólica entre 1 y 1,2 met, esencialmente sedentaria, y una humedad relativa alrededor del 50%, la temperatura operativa para la que se obtiene un PPD menor que el 10% (categoría B de la tabla anterior) es la siguiente:

Estación	Grado de vestimenta (clo)	Temperatura operativa (°C)	Tolerancia (°C)
Invierno	≈ 1,0	22,0	± 2,0
Verano	≈ 0,5	24,5	± 1,5

Para alcanzar la categoría A es necesario reducir las tolerancias arriba indicadas a la mitad, aproximadamente.

La temperatura operativa en todos los lugares de la zona ocupada de un espacio debe estar en cada momento dentro del rango permitido, lo que significa que éste debe cubrir tanto las variaciones en el espacio como las variaciones en el tiempo, incluidas las fluctuaciones causadas por el sistema de control.

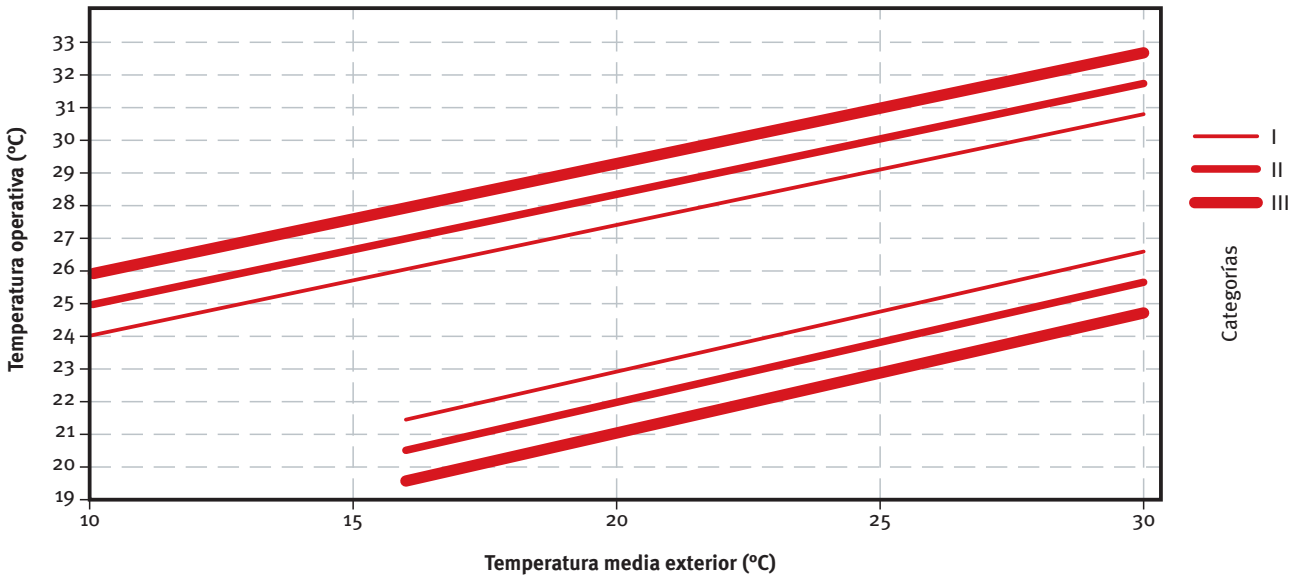
En la tabla 1.4.1.1 del RITE se indican unos valores en las condiciones más usuales de actividad metabólica (1,2 met) y grado de vestimenta (0,5 clo en verano y 1 clo en invierno).

La teoría y la experiencia indican que los valores medios de 24 y 22 °C, para un grado de vestimenta de 0,5 clo (verano) y 1 clo (invierno) respectivamente, son los más indicados para reducir el número de quejas. Sin embargo, existe una clara tendencia a reclamar, por parte de los usuarios, un valor constante de la temperatura operativa alrededor de 23 °C, independientemente de la estación, aun cuando el consumo energético anual pueda ser más elevado en un 10%. Las variaciones de temperatura deben estar dentro del límite de ± 1,5 °C. Esto significa que la temperatura máxima se dará cuando la demanda sea positiva (verano) y será de 24,5 °C, y la mínima se dará cuando la demanda sea negativa y será de 21,5 °C (invierno).

Más información básica sobre los aspectos relacionados con el ambiente térmico puede hallarse en las normas citadas en el Anexo “Normas” de estos comentarios.

Entre ellas, la norma UNE-EN 15251 invita a parar el sistema mecánico de ventilación durante la estación estiva cuando la temperatura exterior esté entre los límites de 10 a 30 °C.

El gráfico que se muestra a continuación marca los límites de temperatura de tres categorías de ambiente térmico, para ocupación humana, con actividad sedentaria (entre 1 y 1,3 met; típicamente para edificios de oficinas y residenciales), en edificios con ventanas operables y plena libertad de elección del grado de vestimenta por parte de los ocupantes.



Es instructivo comentar lo que la norma ASHRAE dice que "el bienestar térmico es aquel estado de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico y es evaluado de forma subjetiva". Esta frase pone de manifiesto la dificultad que se presenta para obtener el menor número de quejas. Dicho con otras palabras, la obtención de un porcentaje de personas insatisfechas menor que el 15% (categoría C del informe CR 1752) debe considerarse un éxito.

Las ecuaciones anteriormente citadas indican claramente la escasa influencia de la presión parcial del vapor de agua sobre las condiciones de bienestar, cuando la humedad relativa se mantenga entre los límites del 30 al 70%. Sin embargo, por razones sanitarias, es necesario mantener la humedad relativa dentro del campo del 40 al 60% en su conjunto, donde el crecimiento de microorganismos es mínimo.

En fase de diseño, por tanto, en la mayoría de los usos, la humedad relativa se mantendrá alrededor del 50% en verano y del 40% en invierno. Las tolerancias en espacio y tiempo deberán ser generosas, entre ± 10% y ±15%, salvo situaciones que requieran un control estricto de la humedad relativa.

El mantenimiento del valor del 40% en invierno se debe a la necesidad de reducir el consumo de energía. Es fácil calcular que la potencia térmica necesaria para tratar el aire exterior de 2 g/kg de humedad específica (condiciones medias exteriores) a 6 g/kg de humedad específica interior (correspondiente a un 40% de humedad relativa) es de 9 kW por kg/s de aire.

Se recuerda que la temperatura operativa (definida como la temperatura uniforme de un recinto radiante negro en el cual un ocupante intercambiaría la misma cantidad de calor por radiación y convección que en el ambiente no uniforme real) es, con buena aproximación, la media aritmética entre la temperatura seca del aire y la temperatura radiante media de los cerramientos del local, en consonancia con el hecho de que el cuerpo humano elimina calor por convección y por radiación en partes casi iguales, si la velocidad del aire es menor que 0,2 m/s y la diferencia entre temperatura radiante media y temperatura seca del aire es menor que 4 °C.

Lo anterior significa que la temperatura seca del aire puede ser el parámetro que se controle en los locales, como efectivamente se hace.

El técnico debe recordar a los usuarios que el bienestar es un hecho relacionado con la estadística. Cuando en un local conviven diferentes personas, la sonda que controla la temperatura no deberá ser accesible a los usuarios. Al no poder estar todas ellas satisfechas con las condiciones térmicas de un determinado ambiente, como se ha visto anteriormente, es necesario que las personas modifiquen convenientemente el grado de vestimenta a la sensación térmica que experimentan.

Malestar térmico local

Los índices PMV y PPD expresan el bienestar para el cuerpo en su conjunto, como se ha dicho. Sin embargo, el malestar térmico puede ser causado por un enfriamiento o calentamiento de una parte específica del cuerpo.

La causa más común de malestar térmico local se debe a las corrientes de aire, siendo las otras causas el excesivo gradiente vertical de temperatura, la asimetría de la temperatura radiante y la temperatura del suelo excesivamente baja o alta.

En el RITE no se fijan límites para las causas del malestar térmico local (salvo para la velocidad media del aire); sin embargo, las consideraciones que se hacen a continuación son un complemento de las condiciones térmicas antes indicadas para el cuerpo considerado como un conjunto y deben considerarse fundamentales para disminuir el número de personas insatisfechas.

Corrientes de aire

Las corrientes de aire causan un enfriamiento local del cuerpo que depende de la velocidad media, intensidad de la turbulencia y temperatura del mismo aire. La sensibilidad a las corrientes es máxima cuando las partes del cuerpo directamente expuestas son la nuca y los tobillos.

El RITE indica dos valores admisibles según se trate de sistemas de difusión por mezcla o por desplazamiento (t_a es la temperatura seca del aire):

- Por mezcla, intensidad de la turbulencia Tu = 40%, PPD menor que el 15%:

$$V = \frac{t_a}{100} - 0{,}07$$

- Por desplazamiento, intensidad de la turbulencia Tu = 15%, PPD menor que el 10%:

$$V = \frac{t_a}{100} - 0{,}10$$

Las molestias por corriente de aire se pueden calcular (véase UNE-EN ISO 7730 y CR 1752) con la ecuación:

$$DR = (34 - t_a) \cdot (V - 0{,}05)^{0{,}62} \cdot (0{,}37 \cdot V \cdot Tu + 3{,}14)$$

donde:

DR (del inglés Draught Rating) representa la molestia por corriente de aire, %

t_a es la temperatura (seca) del aire, °C

V es la velocidad media local del aire, m/s

T_u es la intensidad local de la turbulencia, %

Se recuerda que la intensidad de la turbulencia **T_u** se expresa con esta ecuación:

$$Tu = \frac{s_v}{\bar{v}} \cdot 100$$

donde la velocidad media del aire $\bar{v}$ es:

$$\bar{v} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{1}^{n} v_i$$

y **s_v** (m/s) es la desviación estándar, que se calcula con esta ecuación:

$$s_v = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{1}^{n} (v_i - \bar{v})^2}$$

La intensidad de la turbulencia suele estar comprendida entre el 30% y el 60% en espacios ventilados con sistemas por mezcla y es siempre menor que el 30% solamente en espacios con ventilación por desplazamiento o sin ventilación.

La ecuación que representa DR es válida para personas que realizan una actividad ligera, esencialmente sedentaria, y que experimentan una sensación térmica general próxima a la neutralidad.

Es necesario que los valores del DR sean menores que el 20%.

Gradiente vertical de temperatura

La temperatura del aire en un espacio cerrado crece, de forma natural, desde el suelo hasta el techo. Los sistemas de difusión por mezcla rompen la estratificación, mientras que los sistemas de difusión por desplazamiento la favorecen. Éstos se estudian limitando, precisamente, el gradiente vertical de temperatura.

El PPD en función del gradiente vertical de temperatura entre cabeza y pies se representa en el gráfico de la figura 3.

Para mantener el PPD inferior al 5%, la diferencia vertical de temperatura, medida entre los niveles de 1,1 m y 0,1 m sobre el suelo (respectivamente la altura de cabeza y tobillos de una persona sentada), no deberá ser mayor que 3 °C (es decir, el gradiente debe ser de 3 K/m, aproximadamente) y a 2 °C para el 2% de insatisfechos (gradiente de 2 K/m).

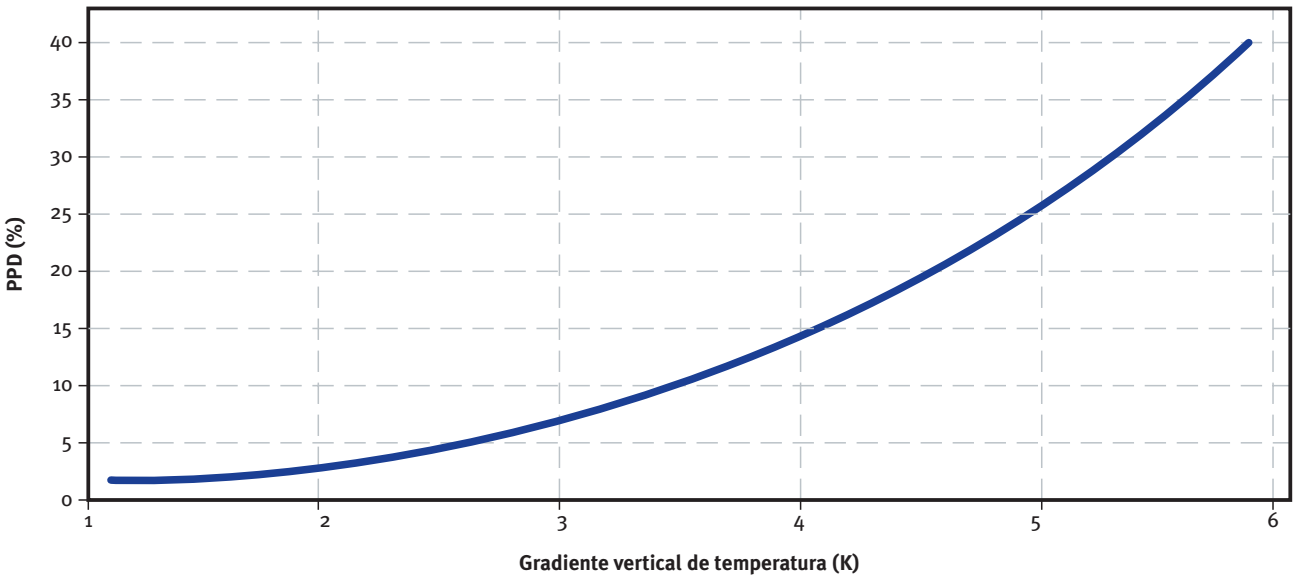


Fig. 3: PPD por gradiente vertical de temperatura

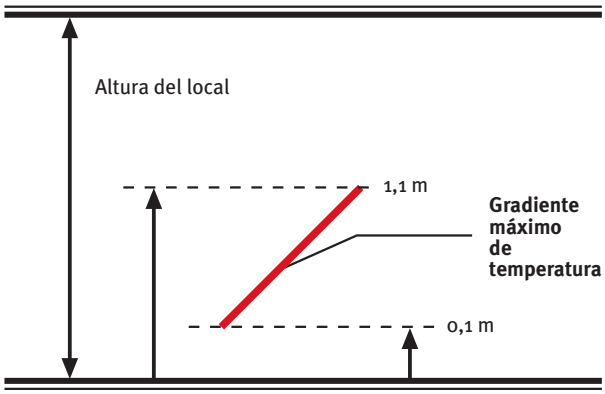


Fig. 4: Gradiente vertical de temperatura

Para personas de pie es recomendable mantener un gradiente de 2 K/m.

El fenómeno inverso, cabeza fría y pies calientes, no es crítico para los ocupantes, que pueden tolerar gradientes más elevados que los exigidos anteriormente, dentro de ciertos límites (véase más adelante el apartado relativo a la temperatura del suelo).

El gradiente vertical de temperatura es especialmente importante cuando se emplean sistemas de difusión por desplazamiento, como se ha comentado.

Temperatura del suelo

Para minimizar el malestar causado por los pies fríos o calientes, la temperatura del suelo debe estar comprendida entre 19 y 29 °C. Entre estos valores, el porcentaje de insatisfechos no será mayor del 10%.

Sin embargo, el número mínimo de personas insatisfechas, próximo al 5%, se obtendrá manteniendo el suelo entre 24 y 25 °C para personas sentadas y 23 °C para personas de pie o andando.

Para suelos de locales donde las personas suelen estar a pies desnudos (por ejemplo, en piscinas), la temperatura máxima del suelo no debe ser mayor que 28 °C mientras que la mínima depende del tipo de acabado, según se indica en la siguiente tabla:

Acabado	Temperatura (°C)
Textil	21
Madera	22 a 24
Linóleo	24
Hormigón	26

Cuanto más conductor sea el material de acabado del suelo, más alta deberá ser la temperatura superficial del mismo.

Asimetría de la temperatura radiante

La radiación asimétrica desde superficies calientes o frías, creadas por elevados niveles de iluminación, grandes superficies acristaladas o por radiación solar directa, puede reducir la aceptabilidad térmica del espacio.

La asimetría de la temperatura radiante se medirá sobre un pequeño plano a 0,6 m del suelo para personas sentadas y a 1,1 m del suelo para personas de pie. El plano será horizontal para asimetría causada por elementos horizontales y vertical cuando esté provocada por elementos verticales.

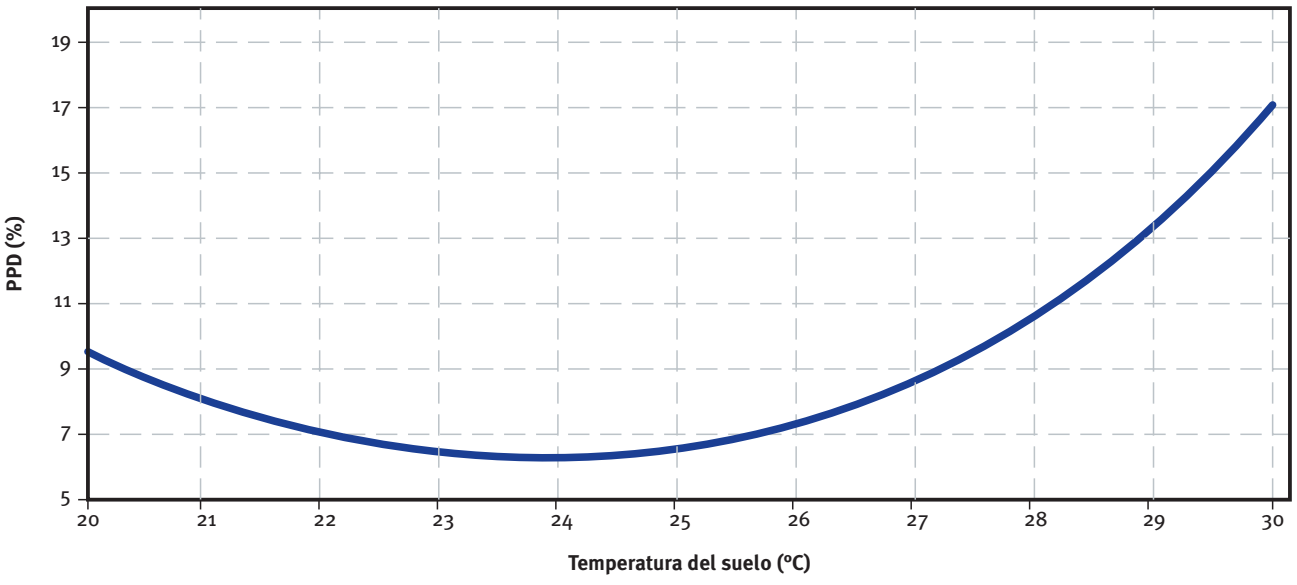


Fig. 5: PPD en función de la temperatura del suelo para persona sentada

Para la asimetría de la temperatura radiante son de aplicación los valores del gráfico de la figura 6:

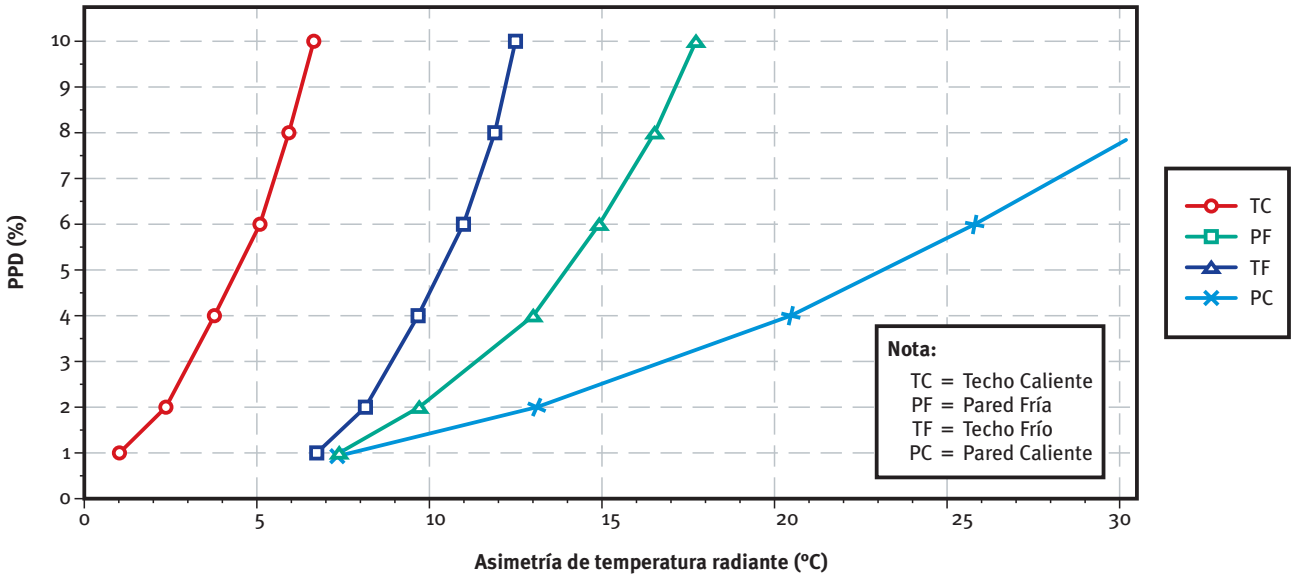


Fig. 6: PPD en función de la asimetría de la temperatura radiante

Los valores máximos admitidos de la asimetría radiante, en función del porcentaje de personas insatisfechas, son los siguientes:

Elemento	Techo caliente	Techo frío	Pared caliente	Pared fría
PPI = 5%	4,5 °C	14,0 °C	22,5 °C	10,5 °C
PPI = 10%	6,5 °C	17,5 °C	35,0 °C	12,5 °C

Se observa la importancia que tienen los techos calientes y las paredes frías, para los cuales es de esperar el mayor número de quejas. En cualquier caso, el diseño de los cerramientos de los locales debería evitar que el porcentaje de personas insatisfechas superase el 5%.

Según el informe CR 1752, los valores a mantener según la categoría son los siguientes:

Categoría	Gradiente vertical (K/m)	Suelo frío o caliente (°C)	Asimetría de la temperatura radiante (°C)			
			TC	PF	TF	PC
A	< 2	19 ... 29	< 5	< 10	< 14	< 23
B	< 3	19 ... 29	< 5	< 10	< 14	< 23
C	< 4	17 ... 31	< 7	< 13	< 18	< 35

La definición de las tres categorías del ambiente térmico, según el informe CR 1752, se completa de la manera indicada en la siguiente tabla:

Categoría	Estado térmico del cuerpo en su conjunto		Malestar térmico local			
	PPD	PMV	Corrientes DR	Gradiente vertical	Suelo frío o cal.	Asimetría radiante
	%	—	%	%	%	%
A	< 6	-0,2 < PMV < +0,2	< 15	< 3	< 10	< 5
B	< 10	-0,5 < PMV < +0,5	< 20	< 5	< 10	< 5
C	< 15	-0,7 < PMV < +0,7	< 25	< 10	< 15	< 10

Zona ocupada

Las condiciones antes definidas deben ser mantenidas dentro de la zona ocupada del recinto, definidas en la figura 7 (véase también la norma UNE EN 13779, apartado 6, figura 2). En el RITE, la zona ocupada está definida en el Apéndice 1, "Términos y definiciones".

de la zona de ocupación, especialmente en zonas de tránsito y zonas cercanas a puertas de uso frecuente.

Además, el mantenimiento de criterios de bienestar fuera de la zona ocupada conduce a despilfarro de energía en casi todas las circunstancias.

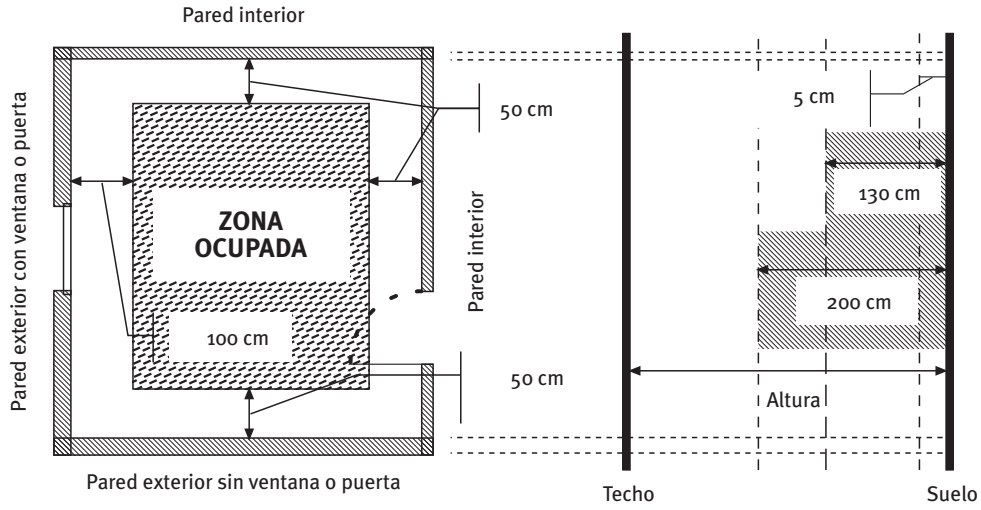


Fig. 7: Zona ocupada

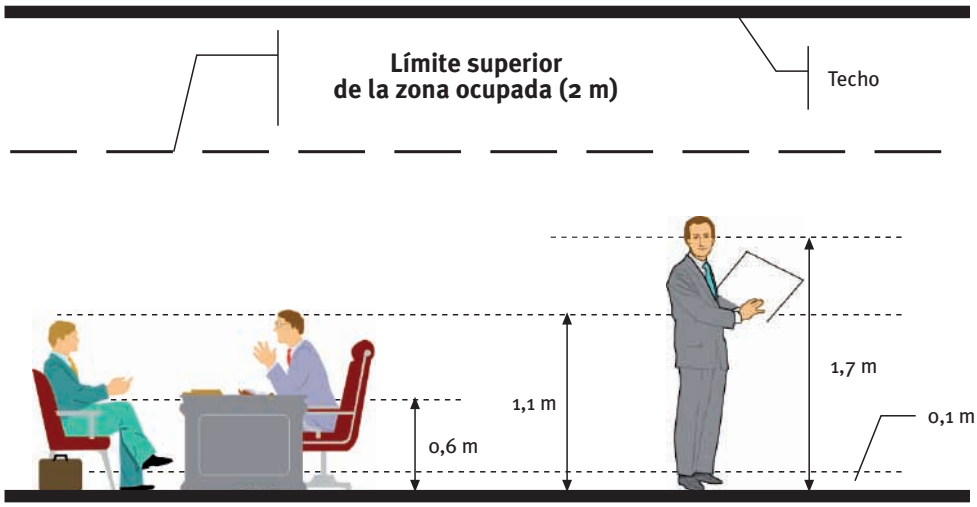


Fig. 8: Altura de medición de parámetros ambientales

El límite superior del suelo será de 1,3 m para personas sentadas y 2 m para personas de pie.

La distancia a aparatos de acondicionamiento de aire o de calefacción (ventiloconvectores, inductores, terminales de aire de impulsión, radiadores, etc.) deberá ser de 1 m.

Los criterios de bienestar no pueden garantizarse fuera

Las mediciones de los parámetros ambientales deben efectuarse, dentro de la zona ocupada, a estas alturas sobre el suelo:

Posición de las personas	Altura de medición sobre el suelo (m)		
	Superior	Media	Inferior
Sentadas	1,1	0,6	0,05 ... 0,1
De pie	1,7	1,1	0,05 ... 0,1

como se ilustra en el croquis de la figura 8.

Control de las condiciones termohigrométricas

Los sistemas de control de las condiciones termohigrométricas de los recintos se clasifican en las categorías indicadas en la siguiente tabla (véase RITE IT 1.2.4.3.2, tabla 2.4.3.1).

Antes de describir las seis categorías, se llama la atención sobre el hecho de que la ventilación es el sistema que nunca puede faltar en el acondicionamiento de aire de los locales. En efecto, el Comité 156 del CEN, que está a cargo de la elaboración de las normas sobre los temas relacionados con esta materia, se denomina *"Ventilation for buildings"* (Ventilación de edificios). Esta denominación significa que la ventilación es el propósito principal del acondicionamiento de aire; el tratamiento térmico de los locales es un factor secundario, así como lo es el ahorro de energía. La salubridad de los recintos está por encima de todo.

Cabe mencionar, al respecto, que el Código Técnico de la Edificación CTE, en la sección HS3, exige la ventilación en locales destinados a viviendas.

Se pasa, ahora, a la descripción de las seis categorías de instalaciones.

Categoría	Ventilación	Calentamiento	Refrigeración	Humidificación	Deshumidificación
THM-C 0	x	–	–	–	–
THM-C 1	x	x	–	–	–
THM-C 2	x	x	–	x	–
THM-C 3	x	x	x	–	(x)
THM-C 4	x	x	x	x	(x)
THM-C 5	x	x	x	x	x

Notas:
THM-C significa Thermal Control
– No influenciado por el sistema
x Controlado por el sistema y garantizado por el local
(x) Efectuado por el sistema pero no garantizado por el local

THM-C 0: es un simple sistema de ventilación. Para su control, es decir, para el control de la calidad del aire exterior, se debe consultar la tabla 2.4.3.2 del apartado 1.2.4.3.3 del RITE, que no necesita comentarios.

THM-C 1: el sistema es llamado "termo-ventilación" si el fluido portador es aire y calefacción si el fluido portador es agua (sistema mixto agua-aire). En el primer caso, se puede controlar la temperatura del aire de impulsión en función de las condiciones exteriores o la temperatura del aire de los recintos. En el segundo caso, las unidades terminales de los locales principales de la vivienda llevarán válvulas termostáticas. En otros casos de sistemas de calefacción, las válvulas termostáticas se situarán en las unidades terminales en función de la orientación de las fachadas de los locales.

THM-C 2: el sistema es igual al anterior, con la única diferencia de que el aire de ventilación viene humectado. En este caso, el sistema de control incluirá una sonda de humedad que controlará la humedad relativa del local más representativo o la del aire de retorno o limitará la humedad relativa en el aire de impulsión.

THM-C 3: el sistema tiene la función de refrigerar y calentar los recintos; no hay humectación. La humedad relativa interior viene controlada de forma indirecta durante el verano por la batería de refrigeración. Sólo se requiere controlar la temperatura de los ambientes. En casos de sistemas con múltiples zonas, el control de temperatura se hará en cada zona.

Contrariamente a lo que indica el RITE (IT 1.2.4.3.2, letra c), en general no se debe variar la temperatura del agua refrigerada en función de las condiciones exteriores. Se puede permitir un aumento de la temperatura de

salida del agua refrigerada de las plantas enfriadoras cuando la carga térmica sea menor que la máxima, solamente cuando un sistema de control sea capaz de discernir entre cargas sensibles y cargas latentes de las diferentes zonas o cuando exista la certeza de que las cargas latentes son nulas o casi.

THM-C 4: es el sistema de acondicionamiento de aire propiamente dicho. La humedad relativa en invierno se suele controlar mediante una sonda dispuesta en el conducto de extracción, del cual el aire vendrá recirculado o expulsado. El control de la humedad relativa en verano se hace de forma indirecta.

THM-C 5: este sistema de acondicionamiento de aire se emplea en casos muy especiales. El control de la humedad relativa en verano sólo puede lograrse mediante poscalentamiento del aire de impulsión. El recinto que requiera condiciones estrictas de humedad relativa debe tener una unidad específica de tratamiento de aire.

Cuando se trate de ambientes térmicos calurosos, que estén fuera de los límites de bienestar térmico, se pueden consultar las normas UNE-EN 12515 y 27243.

IT 1.1.4.2 Exigencia de calidad del aire interior

Las exigencias impuestas por el RITE sobre calidad del aire interior proceden de la norma UNE-EN 13779, citada en el apartado anterior, así como del informe CR 1752 del CEN.

Los edificios de viviendas quedan excluidos de estos requerimientos; para ellos son válidos los establecidos en el CTE, sección HS3.

Denominación de los diferentes tipos de aire

Es necesario definir, en primer lugar, los diferentes tipos de aire que intervienen en los sistemas de ventilación y acondicionamiento de aire.

Se recomienda el uso de los acrónimos en español en los planos esquemáticos y en los de planta.

Para los colores a emplear en los dibujos, véase las indicaciones de la norma UNE-EN 13779 (tabla 2 de página 10).

La figura 9 ilustra los diferentes tipos de aire usando los acrónimos, en lengua española, de la tabla anterior.

Se nota que se hace una diferencia entre aire de impulsión IMP y aire secundario SEC.

Abreviaturas			
Nombre	**Español**	**Inglés**	**Definición**
Aire exterior	EXT	ODA	Aire que entra en el sistema desde el exterior
Aire de impulsión	IMP	SUP	Aire que entra en el recinto tratado
Aire interior	INT	IDA	Aire en el recinto o zona tratada
Aire transferido	TRA	TRA	Aire interior que pasa de un recinto a otro
Aire extraído	EXR	ETA	Aire que sale del recinto tratado
Aire recirculado	REC	RCA	Aire extraído que vuelve al sistema de tratamiento
Aire descargado	DES	EHA	Aire descargado a la atmósfera
Aire secundario	SEC	SEC	Aire tomado de un recinto y retornado al mismo
Aire de fuga	FUG	LEA	Aire que pasa a través de las juntas del sistema
Aire infiltrado	INF	INF	Aire que entra del exterior dentro el edificio
Aire exfiltrado	EXF	EXF	Aire que sale del edificio hacia el exterior
Aire de mezcla	MEZ	MIA	Aire formado por dos o más flujos de aire

Nota: En la norma UNE-EN 13779 original aparecen los acrónimos solamente en las lenguas inglesa, alemana y francesa. En la versión traducida al español en el cuadro anterior se han añadido también los acrónimos en español. Sin embargo, en el resto de la norma quedan solamente los acrónimos en lengua inglesa. Además, en el RITE se han sustituido los acrónimos ETA y EHA por EXR y DES, respectivamente.

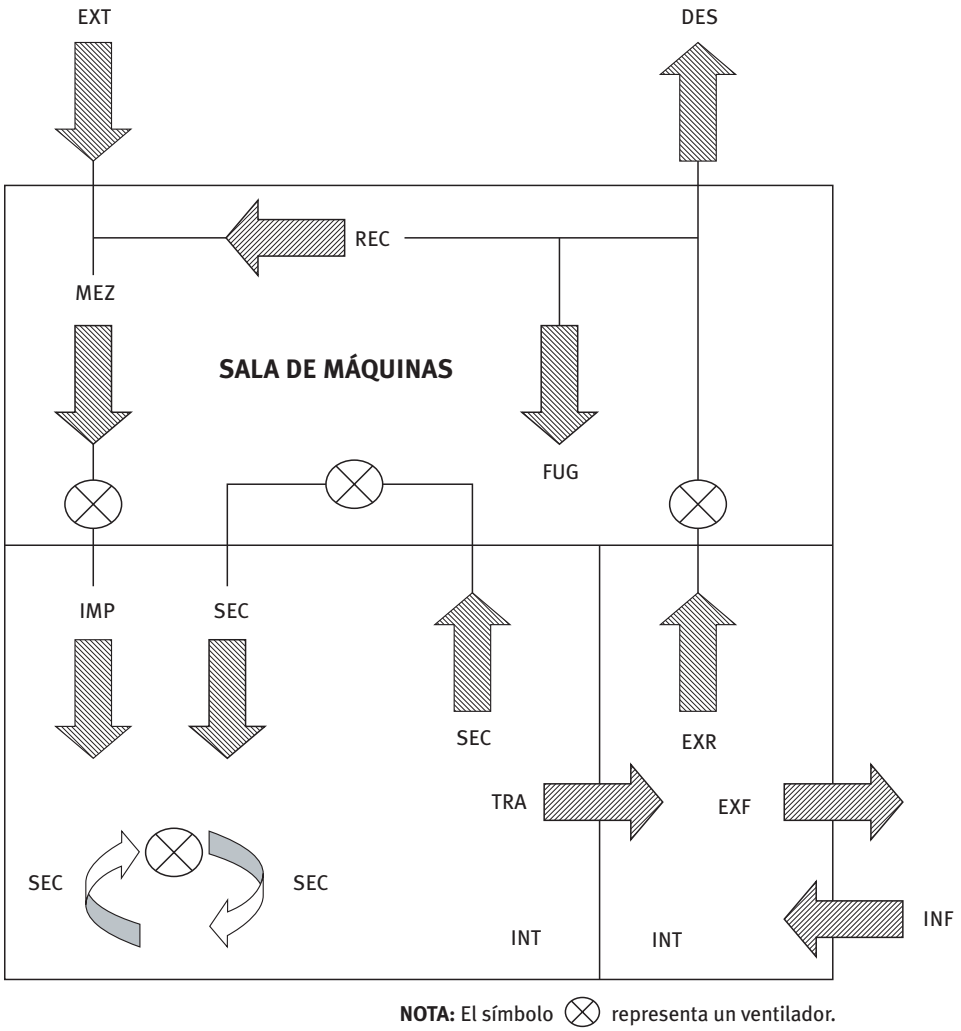


Fig. 9: Clasificación del aire

El aire de impulsión IMP procede de Unidades de Tratamiento de Aire (UTAs) y suele recibir el tratamiento adecuado de purificación, usualmente filtración de partículas, para mantener el nivel de calidad del aire interior que se desea.

Por el contrario, el aire SEC que sale de una unidad terminal (ventiloconvector, inductor, viga fría, consola, etc.) no tiene un aparato de filtración de aire adecuado para el mantenimiento de un nivel aceptable de calidad de aire.

Solamente los aparatos especialmente diseñados para la depuración de partículas y gases pueden contribuir de forma significativa al mantenimiento de una buena calidad del aire interior.

Se deberá hacer un balance de los caudales de cada sistema de ventilación, indicando, en un esquema, los valores de EXT, TRA, EXF, INF, EXR y DES.

Se clasifican ahora los diferentes tipos de aire, de acuerdo a la norma UNE-EN 13779. Estas clasificaciones son cualitativas, ya que no es posible una clasificación cuando están presentes muchísimos contaminantes.

Clasificación de EXR y DES

Tanto el aire extraído EXR como el aire descargado DES se clasifican en cuatro categorías (las definiciones para ambas son idénticas, evidentemente):

EXR-1 y DES-1: aire con un nivel bajo de contaminación

Aire de recintos en los que las principales fuentes de emisión son el metabolismo humano y los materiales de construcción y decoración de un edificio en el que no se permite fumar.

Ejemplos: oficinas, aulas, escaleras, pasillos, salas de reuniones, espacios comerciales sin fuentes de emisión adicionales y similares.

EXR-2 y DES-2: aire con un nivel de contaminación moderado

Aire de recintos ocupados que contiene más impurezas que la categoría anterior, cuando las fuentes de emisión sean las mismas. Son recintos en los que se permite fumar.

Ejemplos: comedores, cafeterías, bares, almacenes, probadores de ropa y similares.

EXR-3 y DES-3: aire con un nivel de contaminación alto

Aire de recintos en los que el proceso que en ellos se desarrolla, la humedad, los productos químicos, etc. reducen sustancialmente la calidad del aire.

Ejemplos: cuartos húmedos, cocinas, algunos laboratorios químicos, salas de fumadores y similares.

EXR-4 y DES-4: aire con un nivel de contaminación muy alto

Aire que contiene olores e impurezas perjudiciales para la salud.

Ejemplos: campanas extractoras de cocinas, aparcamientos y laboratorios, salas donde se manipulan pinturas y disolventes, salas de almacenamientos de desperdicios y similares.

El aire extraído EXR puede ser reutilizado solamente en estos casos:

EXR-1: esta categoría de aire puede ser recirculada y transferida.

EXR-2: esta categoría de aire no puede ser recirculada; puede ser transferido en servicios, garajes y otros espacios similares.

EXR-3 y EXR-4: estas categorías de aire de extracción no pueden ser recirculadas ni transferidas. Además, la expulsión hacia el exterior del aire de estas categorías no puede ser común a la expulsión del aire de las categorías EXR-1 y EXR-2, para evitar cualquier posibilidad de contaminación cruzada.

Aire exterior

La calidad del aire exterior que se toma para ventilar los locales tiene una gran importancia y se clasifica según se indica en esta tabla.

Categoría	Descripción
ODA-1	Aire puro que sólo puede ensuciarse temporalmente (p.e., con polen)
ODA-2	Aire con altas concentraciones de partículas (sólidas y líquidas)
ODA-3	Aire con altas concentraciones de gases contaminantes
ODA-4	Aire con altas concentraciones de partículas y gases contaminantes
ODA-5	Aire con muy altas concentraciones

El aire se define puro cuando cumple con los requerimientos de la Organización Mundial de la Salud (OMS) o de cualquier norma de carácter nacional. Cuando estos requisitos exceden los anteriores un factor de hasta 1,5 se dice que el aire tiene altas concentraciones de contaminantes (ODA-2, ODA-3 y ODA-4) y cuando el factor es mayor que 1,5 se dice que el aire tiene muy altas concentraciones de contaminantes (ODA-5).

También ahora, se observa que las definiciones de la tabla anterior son simplemente cualitativas, debido a la infinidad de sustancias contaminantes presentes en el aire y a la variabilidad de las concentraciones. A título indicativo, en la tabla siguiente se relacionan algunos ejemplos de concentraciones de los contaminantes más comunes en el aire exterior.

Localización	Concentraciones en aire exterior					
	CO_2 (ppm)	CO (mg/m³)	NO_2 (μg/m³)	SO_2 (μg/m³)	total PM (μg/m³)	PM10 (μg/m³)
Zona rural	350	< 1	5...35	< 5	< 100	< 20
Pueblo pequeño	375	1 ... 3	15 ... 40	5 ... 15	100 ... 300	10...30
Ciudad	400	2 ... 6	30 ... 80	10 ... 50	200 ... 1000	20 ... 50

Nota: **PM10** significa *Particulate Matter* (materia en forma de partículas) de diámetro aerodinámico de hasta 10 μm.

Hoy en día se observa una clara tendencia a fijarse en concentraciones de partículas más pequeñas que 10 μm, que, pudiendo penetrar más profundamente en el aparato respiratorio, son más peligrosas para la salud (por ejemplo, PM4 y PM2,5).

Aire de impulsión

La norma UNE-EN 13779 clasifica el aire de impulsión en dos categorías:

- SUP 1: aire que sólo contiene aire exterior
- SUP 2: aire que es una mezcla entre aire exterior y aire de retorno

La calidad del aire de impulsión para los edificios sujetos a ocupación humana debe ser tal que, teniendo en cuenta las emisiones esperadas desde las fuentes interiores (metabolismo humano, actividades, procesos, materiales de construcción y materiales de decoración) y del propio sistema de ventilación, se logre la calidad apropiada del aire interior.

Por tanto, es recomendable definir la calidad del aire de impulsión especificando los límites de concentración de los principales contaminantes.

Aire interior

La clasificación del aire interior está indicada en la siguiente tabla.

Categoría	Descripción
IDA 1	Calidad alta
IDA 2	Calidad media
IDA 3	Calidad moderada
IDA 4	Calidad baja

El empleo de una definición exacta de la categoría del aire interior es muy difícil, porque depende de la naturaleza de las fuentes contaminantes y sus efectos sobre la calidad del aire.

Para las aplicaciones prácticas, las categorías del aire interior pueden ser cuantificadas mediante uno de los siguientes métodos:

- por nivel de CO_2
- por calidad del aire percibido
- por tasa de aire exterior por persona (método indirecto)
- por tasa de aire exterior por unidad de superficie (método indirecto)
- por niveles de concentración de contaminantes específicos

Se describen brevemente los cinco métodos, invitando, para más detalles, a la lectura de la norma UNE-EN 13779 (apartado 5.2.5).

Por nivel de CO_2

El anhídrido carbónico no debe considerarse un contaminante, porque su concentración está muy lejos de los niveles que son peligrosos para la salud. Las concentraciones indicadas a continuación confirman esta afirmación:

- 350 ppm: concentración media en el aire exterior (aumenta cerca de 1 ppm por año, por el momento)
- 500 a 800 ppm: condiciones de bienestar en los edificios
- 1.500 ppm: límite superior de las condiciones de bienestar
- 18.000 ppm: concentración máxima en un submarino
- 35.000 ppm: problemas de respiración
- 45.000 ppm: aire exhalado por una persona
- 85.000 ppm: síntomas de paralización
- 200.000 ppm: mortal en poco tiempo

Sin embargo, el CO_2 es un buen indicador de la emisión de bioefluentes humanos, porque está estrictamente relacionado con ellos.

La siguiente tabla muestra la calidad del aire interior en función de los valores de la concentración de CO_2 sobre el nivel de concentración en el aire exterior y es válida para personas que tengan una actividad metabólica de alrededor 1,2 met y unos recintos con baja producción de sustancias contaminantes por los materiales de construcción y decoración.

Categoría	Concentración de CO_2 (ppm)	
	Rango	Valores por defecto
IDA 1	≤ 400	350
IDA 2	400 ... 600	500
IDA 3	600 ... 1.000	800
IDA 4	> 1.000	1.200

Para el empleo de este procedimiento se pueden usar los valores indicados en la tabla anterior o puede emplearse el procedimiento, indicado más adelante, relativo a niveles de concentración de contaminantes específicos.

Por calidad del aire percibido

Este método procede del informe CR 1752 del CEN y está basado en la percepción de sustancias olorosas. Es aplicable a recintos sin contaminantes que sean peligrosos para la salud y no sean perceptibles al olfato.

Categoría	Calidad del aire percibida (dp)	
	Rango	Valores por defecto
IDA 1	≤ 1,0	0,8
IDA 2	1,0 ... 1,4	1,2
IDA 3	1,4 ... 2,5	2,0
IDA 4	> 2,5	3,0

Para el empleo de este procedimiento se deberá consultar el informe CR 1752; la dificultad de su puesta en práctica ha hecho que este informe no llegue a ser una norma.

Por tasa de aire exterior por persona (método indirecto)

Categoría	Caudal de aire exterior por persona (L/s)	
	Rango	Valores por defecto
IDA 1	> 15	20
IDA 2	10 ... 15	12,5
IDA 3	6 ... 10	8
IDA 4	< 6	5

Es un método bien justificado para situaciones en las que los recintos sirven para una ocupación humana típica.

Estos valores son válidos para locales donde se dan emisiones de baja intensidad debidas a materiales de construcción y decoración, cuando el metabolismo es de cerca de 1,2 met y donde no está permitido fumar.

Si se permite fumar, el caudal de aire exterior será, por lo menos, el doble de lo indicado en la tabla anterior. Alternativamente, se podrá emplear el método de la calidad de aire percibido.

En cualquier caso, las zonas específicas para fumadores dentro de un edificio deberán estar delimitadas por cerramientos estancos al aire.

Si la actividad metabólica es mayor que 1,2 met, las tasas de aire de ventilación arriba indicadas deberán aumentarse por un factor de proporcionalidad igual a la relación entre el valor del metabolismo considerado (en met) dividido por 1,2. Es decir, indicando con CV el caudal de aire de ventilación de la tabla anterior válido para una actividad metabólica de 1,2 met, el caudal de aire de ventilación CVn para otro valor de metabolismo MET será:

$$CVn = CV \bullet \frac{MET}{1,2}$$

Por tasa de aire exterior por unidad de superficie (método indirecto)

Esta tabla puede usarse solamente para recintos no diseñados para una ocupación humana permanente y que no tienen un uso claramente definido (por ejemplo, almacenes).

Para estos locales la calidad de aire IDA 1 no es aplicable.

Categoría	Caudal de aire exterior (L/s·m²)	
	Rango	Valores por defecto
IDA 1	No aplicable	No aplicable
IDA 2	> 0,7	0,83
IDA 3	0,35 ... 0,7	0,55
IDA 4	< 0,35	0,28

Los caudales son válidos para un tiempo de funcionamiento del 50% y locales de altura de 3 m, como máximo. Si el tiempo de funcionamiento fuera menor y los locales tuviesen una altura mayor que 3 m, el caudal de aire se deberá aumentar, como mínimo, de acuerdo a lo indicado en esta tabla (un 20% más):

Los caudales de aire de ventilación de otros locales serán, como mínimo, los siguientes:

Locales de servicio	2	L/(s·m²)
[illegible]	10	L/s por taquilla

Categoría	Caudal de aire exterior (L/s·m²)
IDA 1	No aplicable
IDA 2	1,0
IDA 3	0,7
IDA 4	0,35

Todos estos locales estarán en depresión con respecto a los locales contiguos; su valor estará entre 10 y 20 Pa.

Por niveles de concentración de contaminantes específicos

Este método de dilución es válido para situaciones con emisiones conocidas de contaminantes específicos.

Indicando con:

C caudal volumétrico de aire de impulsión (normalmente se trata de aire exterior), m³/s

Q caudal másico de la sustancia contaminante emitida en el recinto, mg/s

c_a concentración permitida en el ambiente, mg/m³

c_i concentración en el aire de impulsión, mg/m³

ε_v eficacia de ventilación

La siguiente ecuación expresa la tasa de ventilación que se necesita para diluir la sustancia contaminante:

$$C = \frac{Q}{c_a - c_i} \bullet \frac{1}{\varepsilon_v}$$

Esta ecuación debe resolverse para cada uno de los contaminantes, para que, posteriormente, se pueda elegir el caudal más elevado (incluso el CO_2, si se quiere recurrir a este contaminante como referencia).

Sin embargo, cuando se trate de contaminantes peligrosos para la salud es recomendable controlar la fuente de contaminación en lugar de recurrir a la dilución mediante ventilación.

Nota:
La concentración de una sustancia en el aire se puede expresar en ppm (partes por millón) o ppb (partes por billón; billón americano, igual a 10^{-3} millones) en volumen o bien en masa por unidad de volumen, como µg/m³, mg/m³ o g/m³.

Indicando con PM el peso molecular de una determinada sustancia, para pasar de una unidad de medida a otra se emplean las siguientes ecuaciones:

$$ppb \bullet \frac{PM}{24{,}45} = \frac{\mu g}{m^3}$$

$$ppm \bullet \frac{PM}{0{,}02445} = \frac{\mu g}{m^3}$$

$$ppb \bullet \frac{PM}{24.450} = \frac{mg}{m^3}$$

$$ppm \bullet \frac{PM}{24{,}45} = \frac{mg}{m^3}$$

El RITE indica, en el apartado 1.1.4.2.2, la calidad mínima de aire a mantener en diferentes tipos de recinto. Esa clasificación se repite aquí para comodidad del lector:

IDA 1 Hospitales, clínicas, laboratorios, guarderías y similares

IDA 2 Oficinas, residencias (estudiantes y ancianos), locales comunes de edificios hoteleros, salas de lecturas, museos, salas de tribunales, aulas de enseñanza y similares, piscinas y similares

IDA 3 Edificios comerciales, cines, teatros, salones de actos, habitaciones de edificios hoteleros, restaurantes cafeterías, bares, salas de fiestas, gimnasios, locales para el deporte (salvo las piscinas), salas de ordenadores y similares

IDA 4 Nunca se empleará, salvo casos especiales que deberán ser justificados

Se hace hincapié en que la calidad de aire IDA 4 no se admite para ningún tipo de local.

Para locales no mencionados en la tabla anterior, el técnico podrá elegir la categoría empleando su propio criterio.

Es evidente que los diferentes métodos conducen a la misma categoría de calidad del aire interior pero no a la misma cantidad de aire de impulsión.

En la siguiente tabla se resumen los cuatro métodos para alcanzar la categoría de aire interior deseada.

Categoría	Tasa de ventilación por persona (L/s)	Método olfativo (CR 1752) (dp)	Concentración CO_2 (sobre aire EXT) (ppm)	Tasa de ventilación por unidad de superficie (L/[s·m²])
IDA 1	20	0,8	350	No aplicable
IDA 2	12.5	1,2	500	0,83
IDA 3	8	2,0	800	0,55
IDA 4	5	3,0	1.200	0,28

Para piscinas climatizadas el RITE indica un caudal mínimo de aire de ventilación igual a 2,5 L/s por m² de superficie de la lámina de agua y de la playa, al que se debe añadir, en su caso, el caudal necesario para controlar la humedad relativa.

No se incluye la eventual zona de espectadores, que será tratada como un local de gran ocupación.

Las piscinas deberán mantenerse en depresión con respecto a los locales contiguos entre 20 y 40 Pa.

En edificios para usos hospitalarios se pueden emplear los criterios de calidad del ambiente térmico y del aire interior indicados en la norma UNE 100173.

Control de la calidad del aire

Para el control de la calidad de aire interior (IDA-C) se podrá optar por una de las soluciones de la tabla 2.4.3.2 del apartado 1.2.4.3.3, que aquí se repite:

Categoría	Descripción del funcionamiento
IDA-C1	Continuo (sin control)
IDA-C2	Control manual. controlado por un interruptor
IDA-C3	Control temporal, según horario predeterminado
IDA-C4	Control por presencia, por una señal de presencia
IDA-C5	Control por ocupación. dependiendo del número de personas presentes
IDA-C6	Control por sensores que miden parámetros de calidad del aire (VOC o CO_2)

Con carácter general se empleará el método sin control IDA-C1.

Los métodos IDA-C2, IDA-C3 e IDA-C4 se emplearán en locales no diseñados para ocupación humana permanente.

Los métodos IDA-C5 e IDA-C6 se emplearán para locales con gran ocupación (teatros, cines, salones de actos, recintos para el deporte y similares).

Filtración de aire

La filtración de aire debe cumplir los requisitos del aire interior en el edificio, tomando en consideración la calidad del aire interior IDA y la del aire exterior ODA.

Considerando la definición de clases de filtros de la norma UNE-EN 779, en la siguiente tabla se indican las clases de filtro final a instalar según la categoría del aire interior IDA y del aire exterior ODA.

	IDA 1	IDA 2	IDA 3	IDA 4
ODA 1	F9	F8	F7	F6
ODA 2	F7/F9	F8	F7	F6
ODA 3	F7/F9	F6/F8	F6/F7	G4/F6
ODA 4	F7/F9	F6/F8	F6/F7	G4/F6
ODA 5	F6/GF/F9	F6/GF/F9	F6/F7	G4/F6

Para ODA 5 se debe prever la instalación de un filtro de gases GF (por ejemplo, carbón activado) entre dos etapas de filtración de partículas. Después de un filtro de gas se debe instalar siempre un filtro de la clase F9.

Nota: en la casilla IDA1 y ODA2 debe leerse F8/F9.

Considerando que no se admite la calidad de aire interior IDA4, resulta que los filtros de las clases G de la norma UNE-EN 779 no se pueden emplear nunca como filtros finales.

Se recomienda la adopción de los filtros indicados en el esquema de una UTA indicado en la figura 10, dotada, por ejemplo, de un recuperador de calor de tipo rotativo. En el esquema se indica también la situación de prefiltros, que son esenciales para mantener en buenas condiciones los componentes de la UTA y alargar la vida útil de los filtros finales, de mayor calidad.

del ventilador, procurando que la distribución de aire sobre la superficie de filtro sea uniforme.

En la selección de los ventiladores se tendrá en cuenta la pérdida de presión de los filtros sucios, determinada por el fabricante. Cuando, sin embargo, están dos filtros en serie, es previsible que los dos no alcancen el máximo

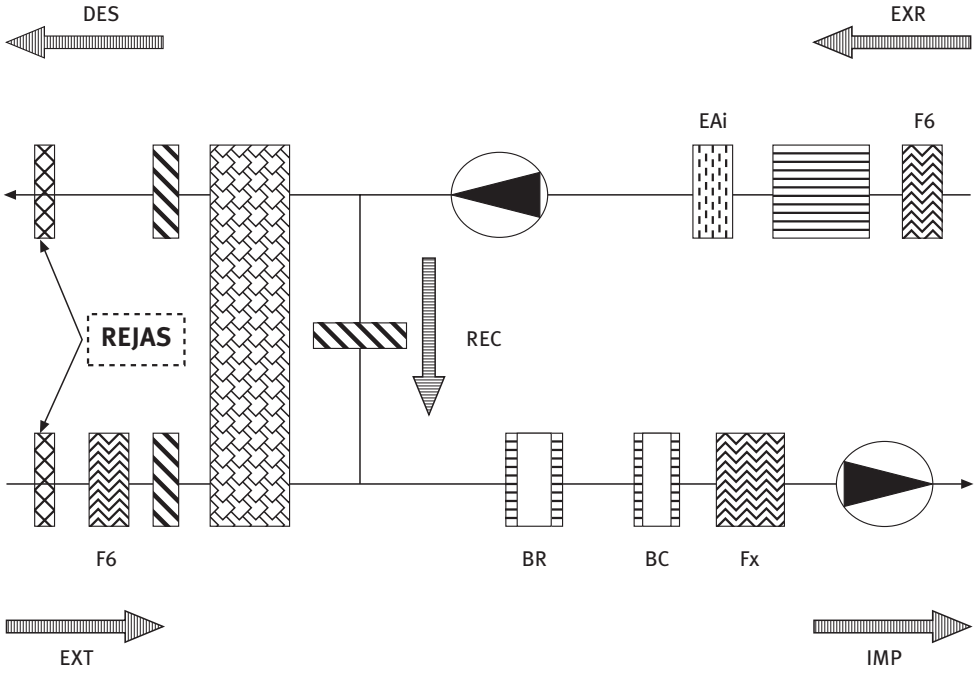


Fig. 10: Esquema de UTA

Los filtros en el aire EXR y aire EXT tienen la función de mantener limpios los componentes de la UTA, sobre todo recuperadores de calor y baterías. Se denominan prefiltros; la clase mínima a emplear debe ser la F6 cuando se emplean recuperadores de calor. Por tanto, sólo podrán emplearse filtros de la clase F5 cuando la UTA no esté equipada de recuperador de calor y cuando la calidad del aire interior sea IDA3 o inferior.

Para el filtro final, indicado en la figura con Fx, se podrá emplear un filtro de la clase F7, F8 o F9 según la categoría de IDA y ODA, como se prescribe en la tabla anterior. En la práctica, las tres clases de filtros citadas se emplearán para las clases IDA3, IDA2 e IDA1, respectivamente.

Nótese que el filtro final está después de la sección de tratamiento térmico. Podrá estar antes del ventilador, como está indicado en el esquema de la figura 10, solamente si se emplea acoplamiento directo entre motor y ventilador, es decir, si se eliminan las correas de transmisión que, al desgastarse, producen gran cantidad de partículas. En caso contrario, el filtro final se deberá instalar después

grado de suciedad al mismo tiempo; por tanto, queda a criterio del técnico establecer unas pérdidas de presión igual a la suma de la pérdida de presión del filtro de mayor calidad (por tanto, de mayor caída final de presión) más una fracción de la pérdida de presión del filtro de menor calidad. Deberá evaluarse la variación de caudal que provoca el ensuciamiento de los filtros; se recomienda emplear un VFD (variador de frecuencia) para compensar la pérdida de presión de los filtros y mantener constante la presión de salida de la UTA y, por tanto, el caudal.

Considerando que la norma UNE-EN 13053 limita las perdidas de presión de los filtros sucios a 250 Pa para las clases de F5, F6 y F7 y a 350 Pa para las clases F8 y F9, se comprende cómo la pérdida de carga final de los dos filtros se deba considerar alrededor de 500 Pa.

En la figura 10 se puede observar que puede haber recirculación de aire a través del recuperador rotativo, aún cuando exista una sección de purga, porque la presión del aire a la descarga del ventilador de retorno es mayor que la presión en aspiración del ventilador de impulsión.

El problema se resuelve empleando recuperadores de placas o bien cambiando la situación de los ventiladores, como se indica en el esquema de la figura 11.

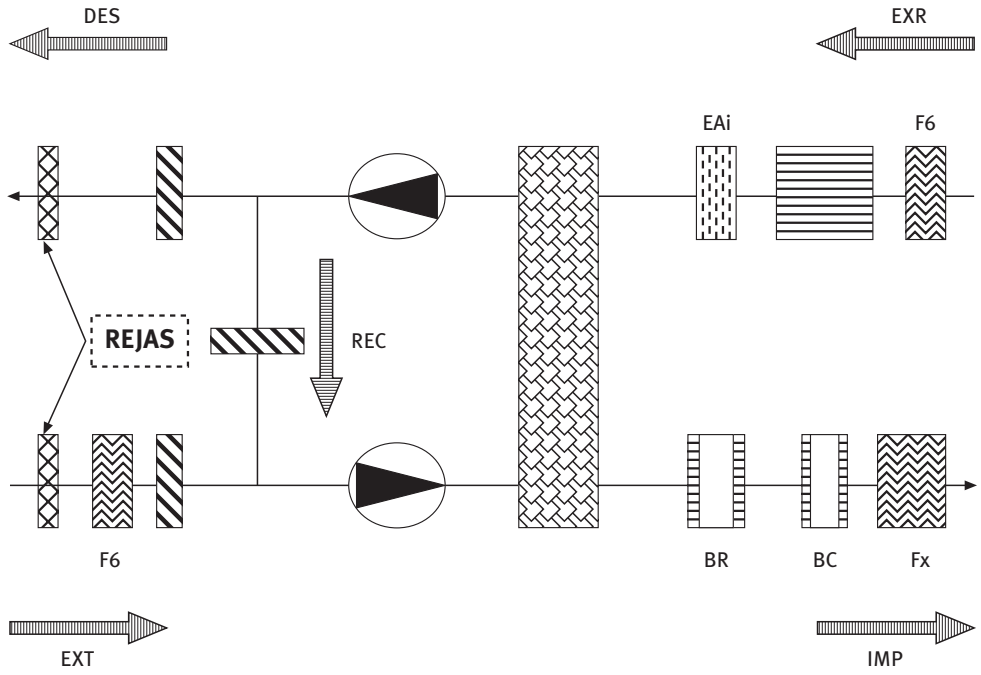


Fig. 11: Esquema modificado de UTA

Cuando se deban emplear filtros absolutos, definidos en la norma UNE-EN 1822, el filtro final de la UTA será siempre de la clase F9.

Los filtros absolutos se instalarán, siempre que sea posible, en los difusores de aire.

La pérdida de presión de tres filtros en serie deberá ser evaluada con criterio parecido al indicado para dos filtros: la pérdida de presión a considerar en los ventiladores será igual a la suma de la pérdida de presión máxima admitida por el fabricante del filtro de mayor calidad, el filtro absoluto, más una fracción (la mitad o un poco más) de la pérdida máxima de presión de los otros dos filtros, el filtro final F9 y el prefiltro F6.

Para reducir el riesgo de desarrollo de microorganismos, los filtros deberán trabajar en una sección donde la humedad relativa sea menor que el 90%.

Cuando el aire exterior esté muy cargado de partículas podrán emplearse filtros electrostáticos o, incluso, filtros G4 como filtros previos al prefiltro. La cuestión está en proteger los filtros de mayor calidad de las partículas más grandes con filtros de menor calidad y, por tanto, más baratos.

Se recomienda que la velocidad de paso de aire en las diferentes secciones de las UTAs, (filtración, recuperación y tratamiento) no supere nunca 2,5 a 2,6 m/s, con el fin de reducir las pérdidas de presión internas y las infiltraciones o exfiltraciones de aire, además de evitar el empleo de separadores de gotas.

La norma UNE-EN 1886 establece la clasificación de las siguientes características de las UTAs:

- Resistencia mecánica de la envolvente
- Estanquidad de la envolvente
- Estanquidad de las secciones de filtración
- Prestaciones térmicas de la envolvente
- Aislamiento acústico de la envolvente

La norma UNE 100180 determina cuales son los requisitos mínimos exigibles en España.

Se recomienda el empleo de la norma UNE-EN 13053 para determinar las prestaciones de los componentes de las UTAs.

Esta norma incluye, en el capítulo 6, ensayos para ventiladores, baterías, recuperadores de calor, compuertas,

secciones de mezcla, humidificadores, secciones de filtración y secciones de atenuadores acústicos.

El capítulo 7 trata de los requerimientos higiénicos.

Al respecto, se hace hincapié en la necesidad de limpiar las baterías por los dos lados, bien in situ o extrayéndolas. La limpieza de una batería no se puede efectuar con facilidad si tiene más de cuatro rangos (o filas) dispuestos al tresbolillo; para baterías de refrigeración de seis o más rangos es necesario dividir la batería en dos, si se quiere acceder a todos los rangos.

Esta norma clasifica los aparatos de humectación o enfriamiento adiabático en cinco categorías.

El tipo A está representado por los lavadores de aire, que hoy en día se aplican casi exclusivamente en instalaciones industriales. Luego se clasifican los aparatos de ultrasonidos (tipo B) y los aparatos atomizadores de alta presión (tipo C).

Los aparatos de contactos, tipo D, deben aplicarse con gran cautela, dadas las dificultades de limpieza de la parte interior del relleno.

Para la humectación la norma prevé también el empleo de humidificadores de vapor (tipo E).

En el Anexo C se indica cual debe ser el contenido mínimo de la ficha técnica de una UTA.

Para la ventilación de vivienda se pueden consultar las siguientes normas:

UNE-EN 13141 Parte 1

UNE-EN 13141 Parte 2

UNE-EN 13141 Parte 3

UNE-EN 13141 Parte 4

UNE-EN 13141 Parte 5

UNE-EN 13141 Parte 6

UNE-EN 13141 Parte 7

UNE-EN 13142

UNE-EN 13134

UNE-EN 13465

IT 1.1.4.3 Exigencia de higiene

Preparación de agua caliente para usos sanitarios

El RD 865/2003 y el informe UNE 100030 prescriben que la temperatura del agua de retorno al sistema de preparación y acumulación de agua caliente para usos sanitarios RACS sea mayor que 50 °C (véase la figura 12); está reconocido que esta temperatura es suficiente para que la proliferación de la legionela esté controlada.

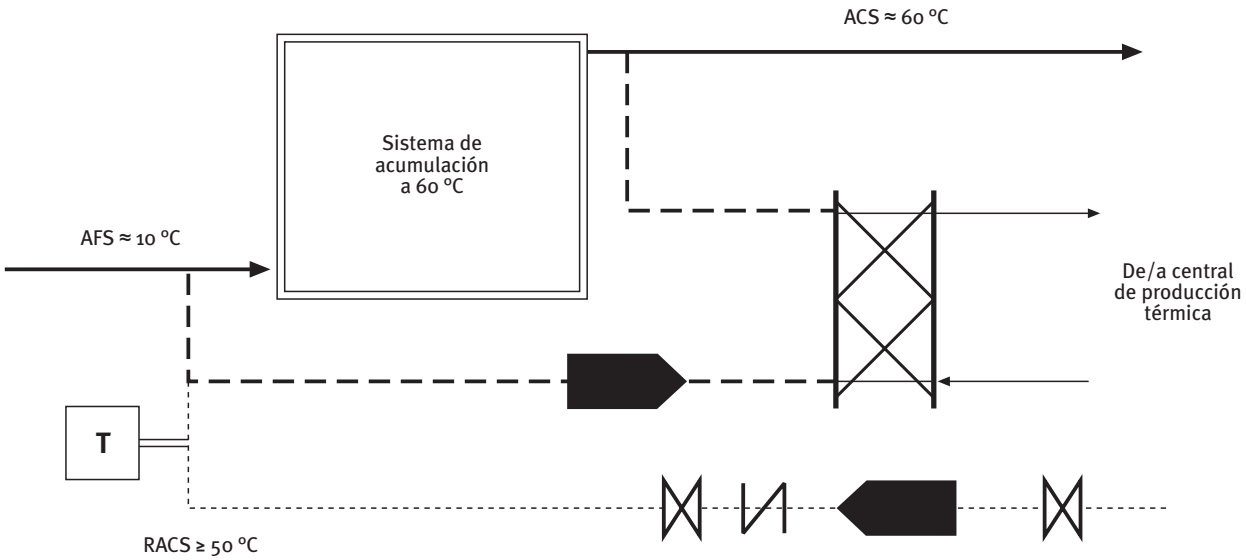


Fig. 12: Esquema simplificado de preparación de ACS a 60 °C

El agua caliente sanitaria (ACS) se produce en el intercambiador y se almacena en uno o más depósitos puestos en serie, de acero inoxidable o de acero doble vitrificado (en adelante, sistema de acumulación).

Lo anterior significa que, teniendo en cuenta las pérdidas de calor en las redes de distribución de impulsión y retorno y en los mismos depósitos acumuladores, la temperatura del agua almacenada debe ser igual a 50 °C más la caída de temperatura provocada por dichas pérdidas. La caída de temperatura depende de la extensión de las redes de acometida y retorno y del nivel de aislamiento térmico y suele estar comprendida entre 4 y 7 °C. Por esta razón, conviene almacenar el agua a una temperatura prudencialmente mayor, por ejemplo 60 °C, quizás algo excesiva, aún cuando se emplee grifería mono-mando. A esta temperatura la legionela tarda en morir muy poco tiempo.

El mantenimiento de la temperatura de 50 °C en el retorno del ACS se logrará mediante una sonda de temperatura que actuará sobre una válvula automática puesta en el circuito de carga procedente de la central de producción de calor (la válvula no está representada).

Se menciona que la red de retorno podría evitarse si se empleara un sistema de "traceado" (esta palabra no existe en español; procede del inglés *"tracing"*) de la tubería de impulsión, es decir, un sistema que mantenga a la temperatura deseada la red de impulsión mediante cables eléctricos flexibles autorregulables, instalados entre la tubería y el aislamiento térmico. Este sistema, largamente empleado en la industria desde hace decenios, no está contemplado en el CTE HS4. La temperatura a mantener será de 50 °C a lo largo de toda la red de impulsión.

A pesar de que se emplee electricidad para mantener el agua a la temperatura deseada, el sistema de traceado produce, aproximadamente, la misma cantidad de CO_2 que el sistema con red de retorno, considerando que ésta es responsable del 35%, por lo menos, de las pérdidas totales en las tuberías.

El esquema de la figura 13 indica cómo evitar el problema de enviar agua a los usuarios a una temperatura excesiva.

El ACS se produce en el intercambiador y se almacena a la temperatura de pasteurización de 70 °C o más en el

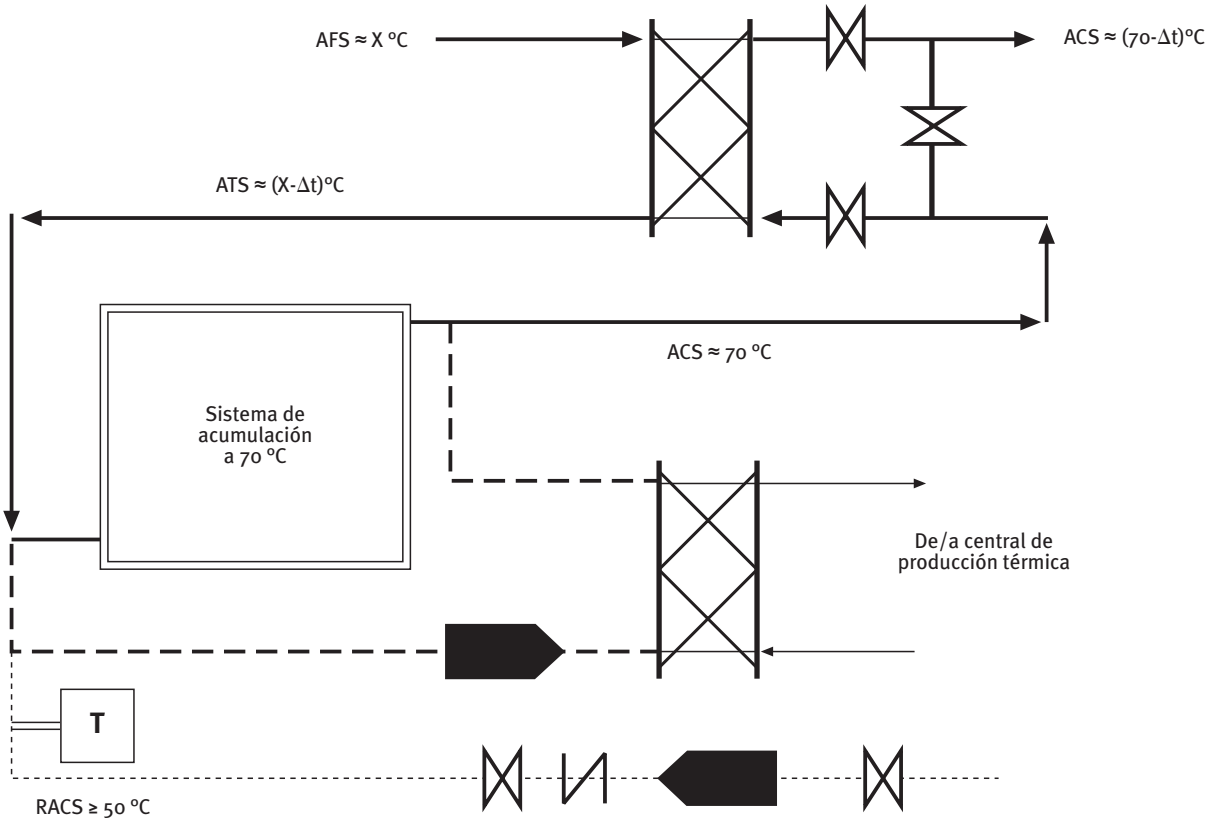


Fig. 13: Esquema simplificado de preparación de ACS a 70 °C

sistema de acumulación, constituido por uno o más depósitos en serie, de acero inoxidable o de acero doble vitrificado.

A la salida del sistema, el agua de acumulación estará a 70 °C (temperatura a la que la legionela tarda tres o cuatro minutos en morir) y, antes de entrar en la red de distribución, se enfriará mediante el agua fría sanitaria procedente de la red pública: la reducción de la temperatura de suministro del ACS Δt se obtiene por intercambio térmico, no por mezcla con agua fría posiblemente contaminada.

La obligación es mantener RACS 50 °C a la entrada del sistema de acumulación, como mínimo. Una sonda de temperatura actuará sobre una válvula automática puesta en el circuito de carga del sistema de acumulación (circuito de trazos; la válvula no está representada).

La diferencia de temperatura, a paridad de superficie de intercambio y de coeficiente de transmisión de calor, depende de la DMLT (Diferencia Media Logarítmica de Temperatura). Al aumentar la DMLT aumenta la potencia transmitida; y viceversa. Es decir, que al disminuir la temperatura del agua de red, a paridad de caudal, aumenta la potencia y, por tanto, las temperaturas de enfriamiento y precalentamiento del agua.

El intercambiador se diseña para el caudal máximo demandado por la instalación y para una potencia correspondiente a un salto de temperatura, en ambos fluidos, de $\Delta t = 15$ °C (por ejemplo: 70 a 55 °C y 10 a 25 °C); cuando el caudal sea menor el salto de temperatura será mayor.

Si el agua fría sanitaria entrara en el intercambiador a 10 °C, por ejemplo, experimentaría el mismo salto de temperatura que el agua en salida del acumulador, es decir 15 °C, porque los dos caudales son iguales. Por tanto, el Agua Fría Sanitaria (AFS) entraría en el sistema de acumulación precalentada a 25 °C ATS (Agua Templada Sanitaria).

Lo importante es que no se desperdicia energía y, además, se envía a los usuarios agua a una temperatura ajustada a los requerimientos normativos.

La temperatura de acumulación será mantenida de forma indirecta por medio del control de la temperatura de RACS, como exige el RD 865.

La válvula de by-pass en el intercambiador de recuperación servirá para enviar agua a 70 °C o más a la red cuando la autoridad sanitaria ordene un tratamiento de choque térmico.

El intercambiador de recuperación de calor deberá estar dimensionado para el caudal máximo de ACS que pueda demandar la instalación, como se ha dicho, y con una pérdida de presión baja, relacionada con la presión mínima de la red pública.

La acumulación a 70 °C garantiza que la legionela no tendrá posibilidad alguna de desarrollo en el sistema de acumulación, porque a esta temperatura tarda muy pocos minutos en morir.

Los materiales empleados en los sistemas de preparación, acumulación y distribución de agua caliente sanitaria deberán ser capaces de resistir los esfuerzos provocados por los choques térmicos a 70 °C, en particular en lo que se refiere a problemas relacionados con las dilataciones, así como la acción agresiva de los productos empleados para los choques químicos eventualmente exigidos por la autoridad sanitaria.

Cuando la instalación deba abastecerse de energía solar térmica, de acuerdo a los requerimientos del CTE, el agua fría sanitaria AFS llegará al sistema de preparación precalentada a una temperatura máxima de alrededor de 50 °C, o poco más (siempre menor que la temperatura de suministro del ACS, para que el intercambiador de calor tenga unas dimensiones razonables), con el fin de poder enfriar el agua a enviar a la red en unos 15 °C. Por ejemplo, las temperaturas de funcionamiento del intercambiador de enfriamiento del agua a suministrar serían: primario, de 50 a 65 °C; secundario, de 70 a 55 °C.

A cambio de la seguridad contra la legionela, el sistema de captación solar pierde algo de eficiencia, porque se limita la temperatura de captación. A paridad de grado de cubrimiento de la demanda, se deberá instalar una superficie mayor de captación. Este inconveniente puede superarse mezclando el agua calentada por el sistema solar con agua fría procedente de la red.

Se recomienda emplear estos conceptos y el esquema de la figura 13 también a sistemas de preparación de ACS de viviendas en edificios colectivos, aunque el RD 865 no obligue a distribuir el agua a la temperatura mínima antes mencionada para este tipo de uso.

Para viviendas con calefacción realizada mediante calderas individuales, un esquema de preparación centralizada del ACS podría ser el de la figura 14 (pág. siguiente).

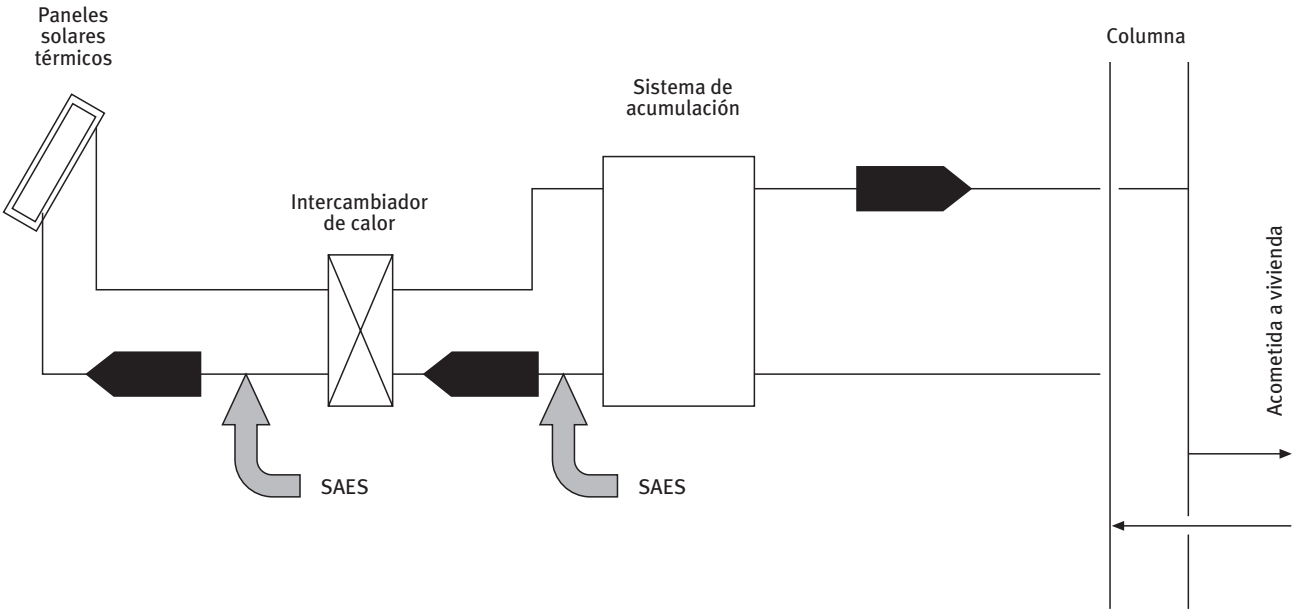


Fig. 14: Preparación de ACS de sistema solar para viviendas con calderas murales

La acometida a cada vivienda sería la de la figura 15.

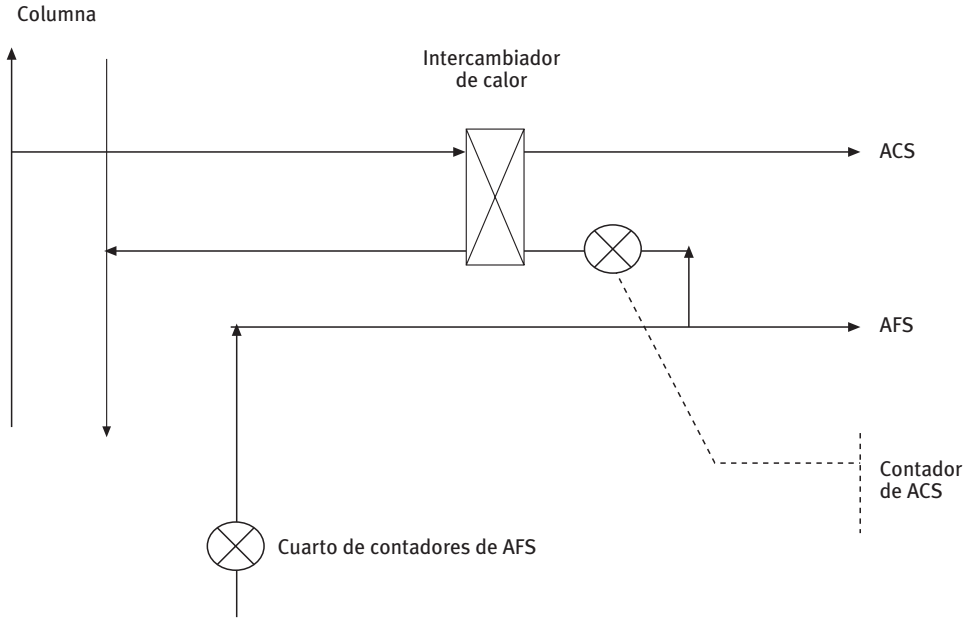


Fig. 15: Acometida de agua a cada vivienda

Las características del sistema presentado son las siguientes:

- Desde el intercambiador a los paneles solares el circuito puede contener agua glicolada, reduciendo al mínimo su cantidad, o puede disponer de un sistema de vaciado en caso de temperaturas del aire exterior menores que o °C.
- El sistema solar debe tener un disipador de calor para limitar la temperatura del agua de manera

que la temperatura del agua del circuito cerrado sea menor que 90 °C, por ejemplo.

– El sistema de acumulación y las tuberías de distribución podrán ser de acero negro.

– A la entrada de cada vivienda se sitúa un intercambiador de calor; la temperatura del ACS debe estar limitada a 50 °C.

– Para cada vivienda existe un contador central de AFS en el cuarto de contadores y un contador sobre el ACS aguas abajo del intercambiador.

– El sistema está limitado por la potencia de la caldera individual. El caudal de ACS demandado por una ducha normal, con agua a 42 °C, es de unos 0,18 L/s, al que corresponde una potencia de 24 kW a partir de agua a 10 °C. Si la temperatura del agua fuera precalentada a 26 °C, el sistema de preparación estaría en condiciones de suministrar ACS a dos duchas simultáneamente.

Otras variantes pueden ser concebidas para este sistema, como son:

- Acumulación de ACS centralizada y distribución de esta a cada vivienda, donde se pondrá un contador. Se eliminan los intercambiadores en cada vivienda. El sistema no es recomendable porque el volumen de ACS es muy elevado y, por tanto, igual de elevado es el riesgo de proliferación de la legionela.

- Instalaciones solares independientes para cada vivienda; la solución es prácticamente inviable para edificios de viviendas.

La presencia de calderas individuales hace que los sistemas de cogeneración y de calderas de biomasa no puedan ser instalados.

Humectación o enfriamiento adiabático

El agua que se emplee para los procesos adiabáticos de humectación o enfriamiento y el vapor que se emplee para la humectación isoterma deberán tener calidad sanitaria.

Los dos procesos de aumento de la humedad específica del aire consumen la misma cantidad de energía térmica, como puede observarse en el diagrama de aire húmedo de la figura 16.

La transformación A-B es la transformación adiabática (color azul) y la transformación A-C es la isoterma (color rojo). A la transformación adiabática tiene que seguir la transfor-

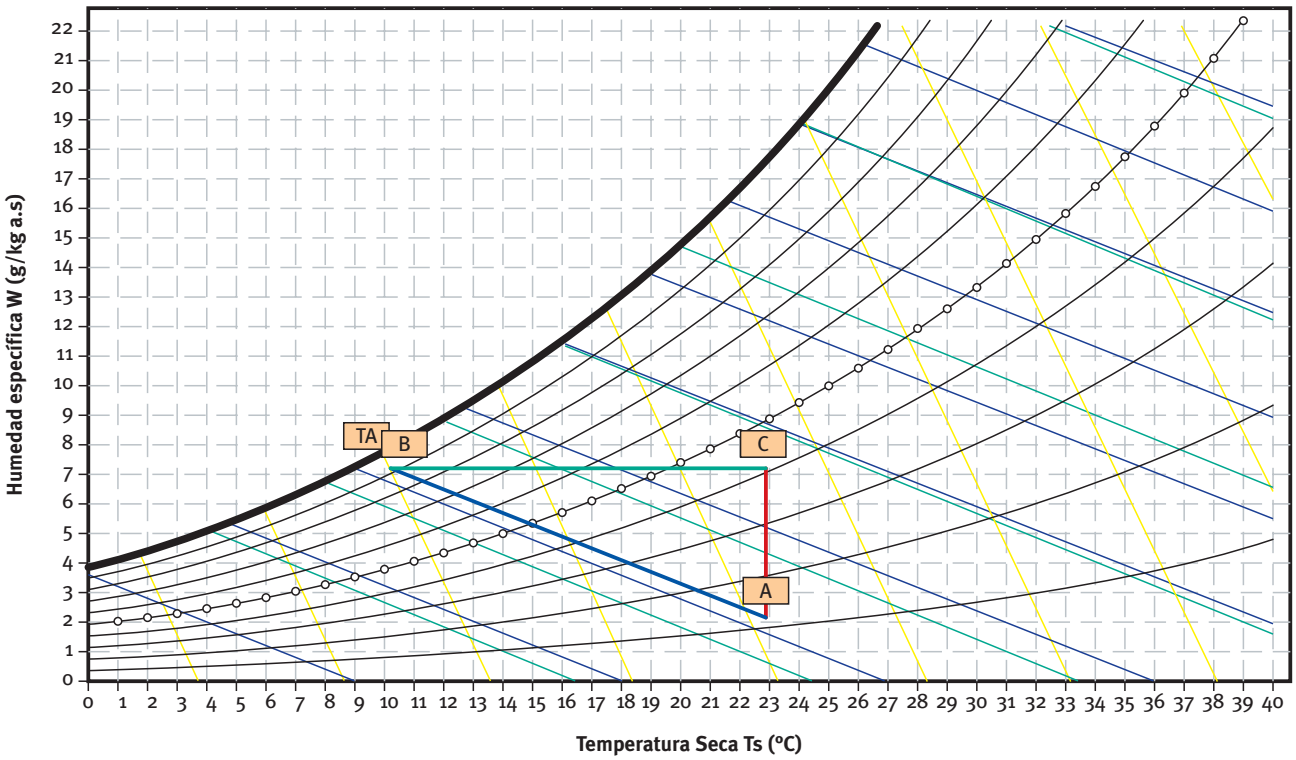


Fig. 16: Humectación adiabática e isoterma

mación de calentamiento B-C. En ambos casos, la potencia necesaria está representada por el producto del caudal másico de aire por el salto de entalpía entre los puntos A y C.

Desde el punto de vista higiénico los aparatos de humectación por vapor saturado seco ofrecen un elevado nivel higiénico.

Para la humectación por medios adiabáticos, los sistemas con toberas de baja presión o con paquetes evaporativos ofrecen pocas garantías de higiene, debido a la necesidad de almacenar el agua en una bandeja y recircularla mediante una bomba. Sin embargo, el riesgo de introducir legionela en los recintos es muy bajo, si entre el aparato y el recinto existe una red de conductos.

Otros aparatos de humectación adiabática son los que funcionan sobre el principio de la atomización del agua. Son de dos tipos: los que emplean bombas de altísima presión (70 a 80 bar) y los de aire comprimido que, obviamente, necesitan de una fuente auxiliar de energía.

Debido a su elevada eficiencia, ambos tipos no necesitan recircular el agua y, además, posibilitan una regulación fina del caudal de agua. La dosificación exacta de la cantidad de agua en la corriente de aire evita, prácticamente, el arrastre de gotas, aunque, prudencialmente, se debería instalar un separador de gotas, dimensionado para una velocidad frontal del aire no mayor que 2,6 m/s.

Con esta tecnología se necesita que el agua de alimentación sea desmineralizada mediante un equipo de ósmosis inversa.

Registros de inspección en conductos

Para la limpieza de los conductos de transporte de aire deberán instalarse unos registros de inspección de acuerdo a las indicaciones de la norma UNE-ENV 12097.

Las normas UNE 100005 y UNE 100012 contienen indicaciones muy importantes, desde el punto de vista higiénico, para el diseño y el mantenimiento de los sistemas de acondicionamiento de aire.

Tomas y descargas de aire

En el Anexo A de la norma UNE-EN 13779, apartado A2, se indican los requisitos que se deben cumplir para situar correctamente las tomas y las descargas de aire unas respecto de las otras. Además de los requisitos que se describen a continuación, es necesario hacer una atenta lectura de todo el apartado.

Los siguientes gráficos son una reproducción de los de la citada norma. En ellos se usa la siguiente terminología:

DES-1 y DES-2: descargas de aire de categorías 1 y 2

DES-3: descarga de aire de categoría 3

DES-4 0,3 m/s: descarga de aire de categoría 4 con una velocidad igual o mayor que 0,3 m/s

DES-4 1,5 m/s: descarga de aire de categoría 4 con una velocidad igual o mayor que 1,5 m/s

DES-4 3 m/s: descarga de aire de categoría 4 con una velocidad igual o mayor que 3,0 m/s

DES-4 6 m/s: descarga de aire de categoría 4 con una velocidad igual o mayor que 6,0 m/s

- Descarga de aire por encima de la toma de aire exterior (figura 17)

Esta es, casi siempre, la disposición preferida entre tomas y descargas, porque se aprovecha la flotabilidad del aire de descarga.

- Descarga de aire por debajo de la toma de aire exterior (figura 18)

Nótese que en las descargas de las categorías 1, 2 y 3 no tiene influencia la velocidad de descarga del aire, al contrario de lo que sucede con la descarga de categoría 4.

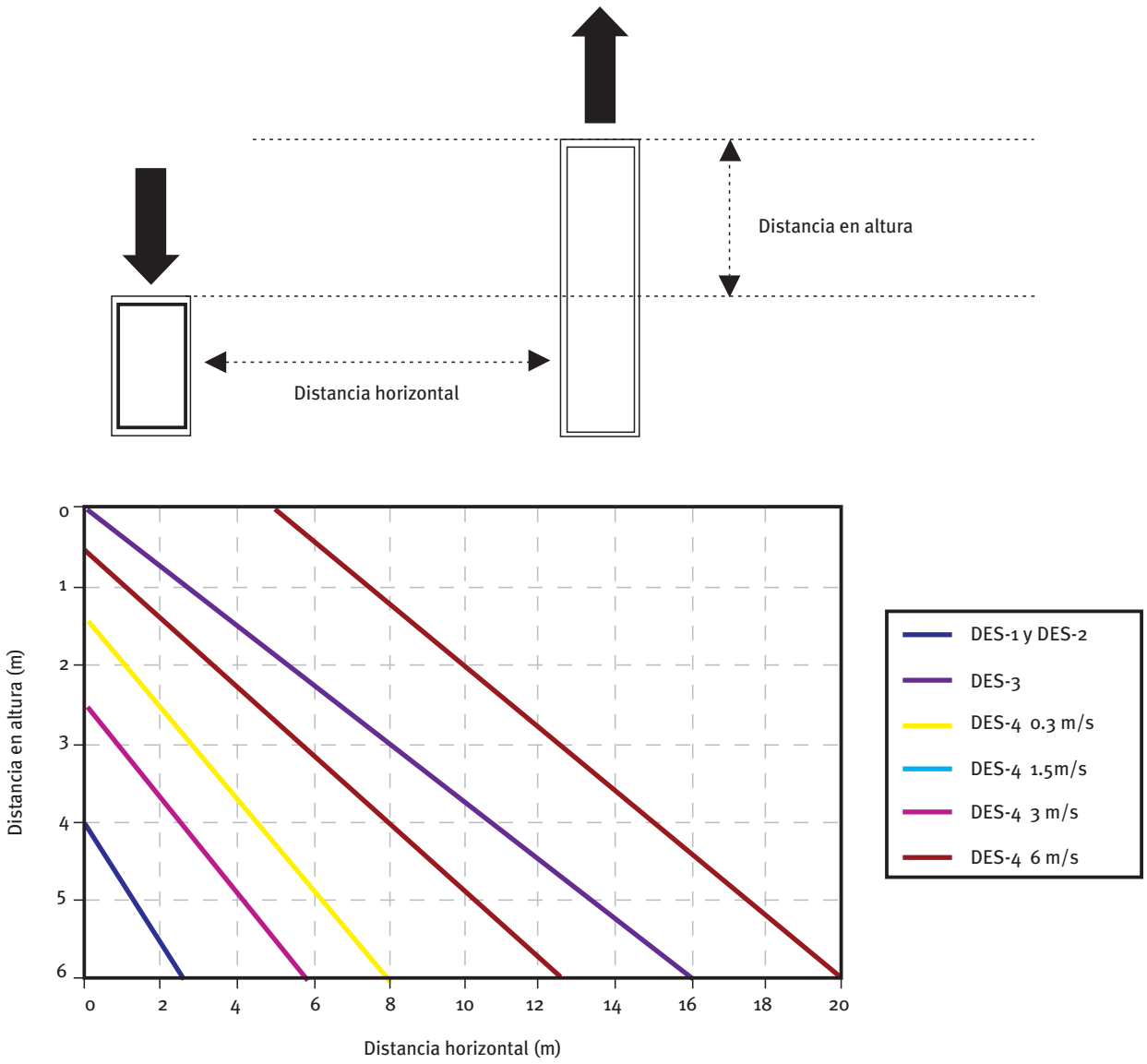


Fig. 17: Descarga por encima de toma

Los gráficos se pueden interpolar.

Es válido también el método indicado en BSR/ASHRAE Standard 62-1989-R de agosto de 1996, del que deriva el anterior.

Este método está en parte reproducido en el Anexo A de la norma UNE 100030 antes citada y se refiere, en particular, a descargas de torres de refrigeración y condensadores evaporativos, así como de chimeneas de combustibles sólidos y líquidos, que no están contempladas en la norma europea.

Para comodidad del lector se reproduce lo esencial del Anexo A de la norma UNE 100030.

La situación de las bocas de descarga (en adelante “descargas”) de efluentes contaminantes con respecto a tomas de aire exterior o ventanas y puertas (en adelante “tomas”) viene definida por la suma de las distancias indicadas en la figura 19.

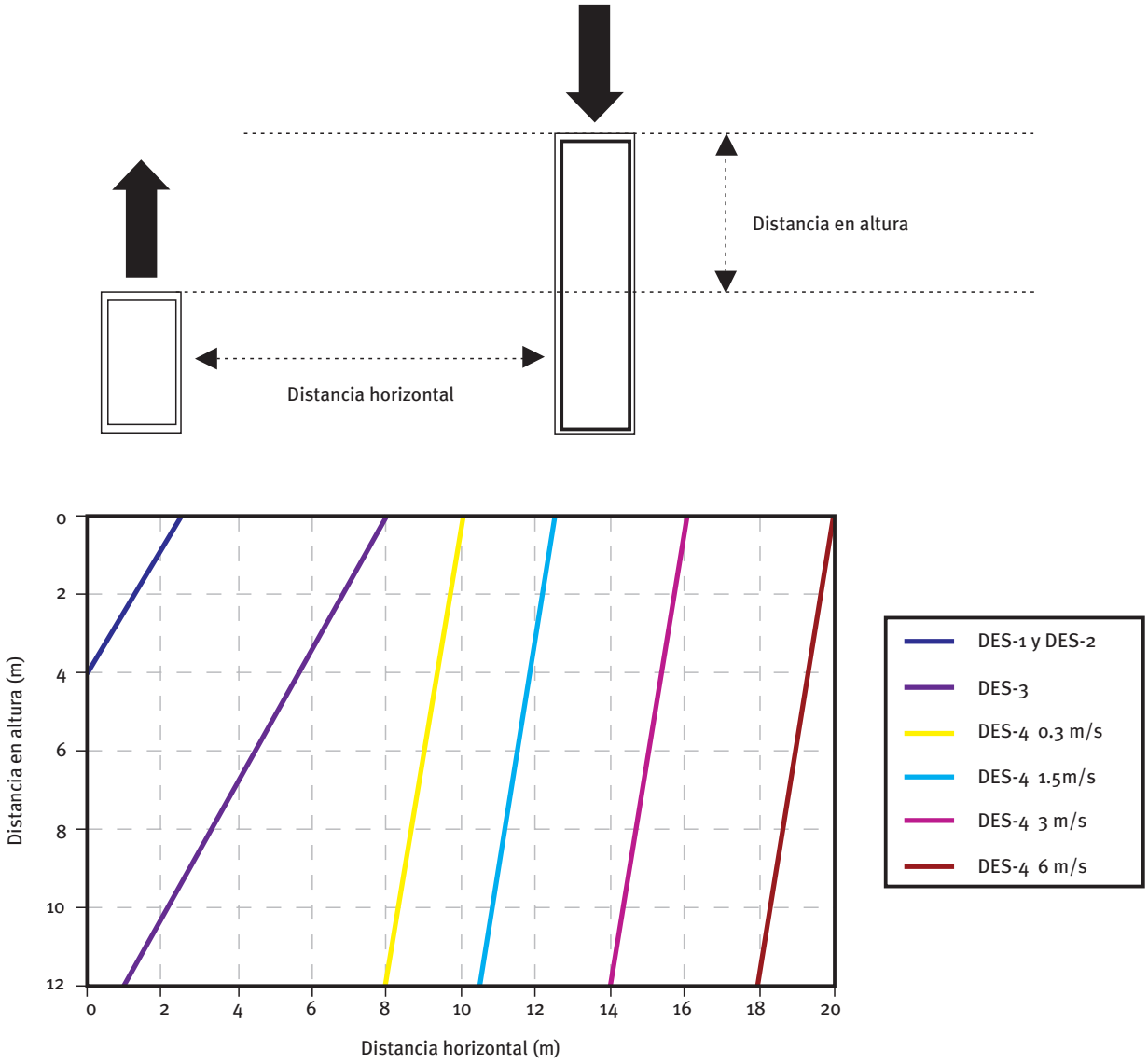


Fig. 18: Descarga por debajo de toma

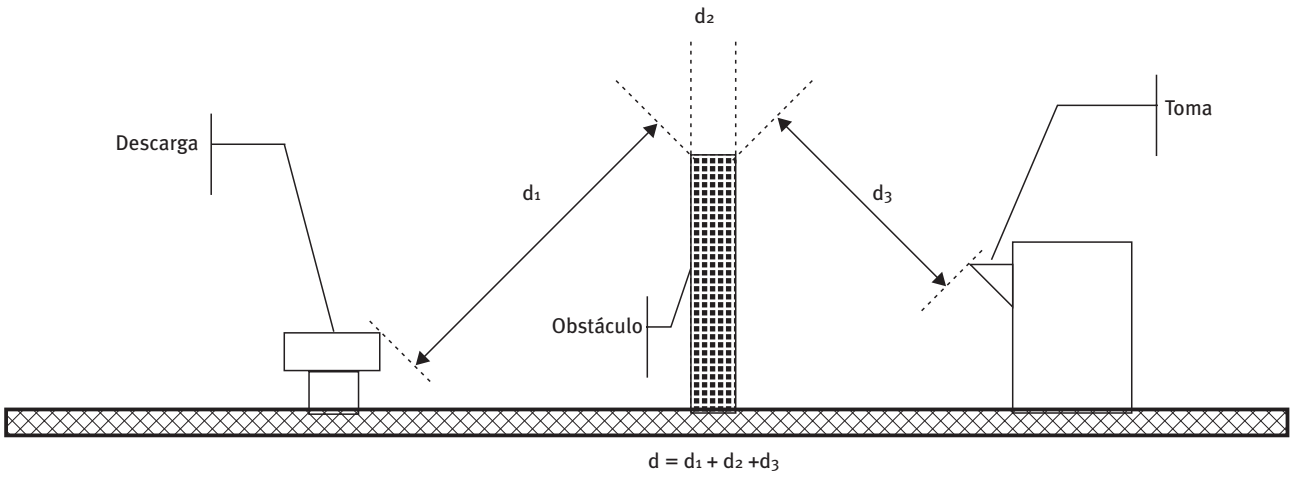


Fig. 19: Definición de distancia

La distancia total se calcula partiendo de los puntos más cercanos a la descarga y a la toma.

Si la descarga de un efluente está por debajo de la toma, en el cálculo de la distancia no debe tenerse en cuenta la separación vertical.

La distancia mínima de separación se calcula con esta ecuación:

$$d = 0{,}04 \bullet \sqrt{C} \bullet \left[\sqrt{50} \pm \frac{V}{2}\right]$$

donde

d = distancia mínima de separación m

C = caudal de expulsión L/s

V = velocidad de descarga del efluente m/s

Nota: Cuando resulte d<o se tomará d = o.

La ecuación es válida entre los límites de 75 y 1.500 L/s; para valores menores o mayores que los límites indicados se toma la distancia que corresponda al caudal límite menor y mayor, respectivamente.

El signo que precede el término de la velocidad de descarga del efluente se toma según se indica en la figura 20.

Según el tipo de toma de aire, las distancias mínimas a aplicar son las indicadas en la siguiente tabla (donde *d* es la distancia calculada con la ecuación indicada anteriormente):

Tipo de toma de aire	Clase 5
Toma de aire exterior	*d*
Ventana o puerta	*d*
Línea de separación de propiedad	5 m

La figura 21 (página siguiente) representa gráficamente la distancia d en función del caudal con velocidades entre –5 m/s y +10 m/s.

Particular atención debe prestarse a la situación de las torres y los condensadores evaporativos con respecto a tomas de aire exterior, ventanas y zonas de paso de peatones. Es muy importante considerar la dirección de los vientos predominantes.

Unidades de tratamiento de aire

Todos los componentes de una UTA deben ser accesibles para su mantenimiento y limpieza a través de puertas de acceso; en su caso, los componentes se deben extraer de forma fácil.

Los perfiles que conforman la estructura portante de la unidad no deben ser en forma de U, porque pueden ser receptáculos de suciedad y, además, su limpieza resulta difícil.

Todos los materiales porosos y fibrosos, salvo los filtros, deben estar protegidos contra la erosión por medio de un material que puede soportar frecuentes operaciones de limpieza.

En las unidades con elevados requerimientos de higiene (hospitales y laboratorios, por ejemplo), los tornillos y otros componentes similares no deben sobresalir en el interior.

Todas las unidades deben estar provistas de ventanas de inspección y alumbrado interior, por lo menos en las secciones de ventilación, filtros y humectadores.

Las bandejas de condensados deben disponer de desagües dotados de sifón con sello de altura adecuada a la depresión existente en el lugar, con un mínimo de 50 mm.

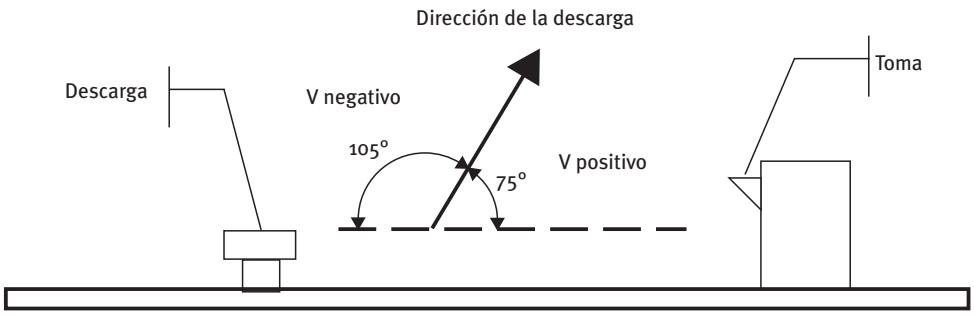


Fig. 20: Asignación de signo a la velocidad de descarga

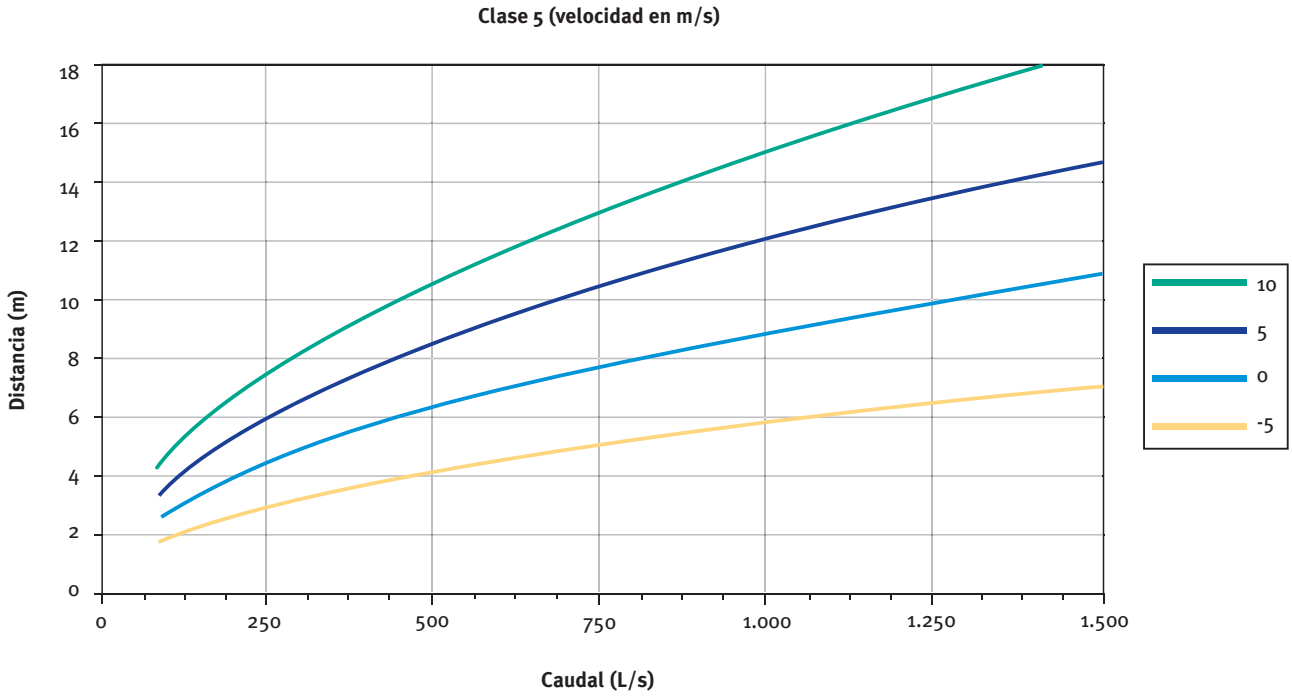


Fig. 21: Determinación de la distancia en función del caudal del efluente al variar la velocidad de descarga

Refrigerantes

La norma UNE-EN ISO 378 establece esta clasificación para los refrigerantes (de acuerdo también a la Directiva 67/548/CEE):

– *Para la toxicidad:*

Letra **A** para los refrigerantes de baja toxicidad

Letra **B** para los refrigerantes de alta toxicidad

– *Para la inflamabilidad:*

Número 1 para refrigerantes cuyos vapores no son inflamables en el aire en cualquier concentración

Número 2 para refrigerantes cuyo límite inferior de inflamabilidad es igual o mayor que el 3,5% en volumen en la mezcla con aire

Número 3 para refrigerantes cuyo límite inferior de inflamabilidad es menor que el 3,5% en volumen en la mezcla con aire

En definitiva, los refrigerantes quedan clasificados en estas categorías:

Inflamabilidad	Toxicidad	
	Baja	Alta
No inflamable	A1	B1
Baja	A2	B2
Alta	A3	B3

Para comodidad del lector, en la tabla de la página siguiente (arriba) se indican las características principales de los refrigerantes más comunes y su clasificación (aunque algunos de ellos no puedan ser empleados).

Para el amoníaco, la ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) recomienda estos niveles máximos de concentración de amoníaco:

TWA (Time-Weighted Average), media ponderada en el tiempo: 25 ppm

STEL (Short Term Exposure Limit), límite de exposición de corta duración: 35 ppm

Clasificación	Número ISO 817	Fórmula	Masa molecular kg/kmol	GWP ITH = 100 CO_2 = 1	ODP R11 = 1
A1	R11	CCl_3F	137,4	4.000	1,00
A1	R12	CCl_2F_2	120,9	8.500	0,90
A1	R22	$CHClF_2$	86,5	1.700	0,05
A1	R113	CCl_2FCClF_2	187,4	5.000	0,90
A1	R134a	CF_3CH_2F	102,0	1.300	0,00
A1	R718	H_2O	18,0	0	0
A1	R744	CO_2	44,0	1	0
A1	R407c	Mezcla	86,2	1.609	0
A2	R50	CH_4	16,0	23	0
B1	R764	SO_2	64,1	-	0
B2	R717	NH_3	17,0	0	0
A3	R170	CH_3CH_3	30,0	3	0
A3	R290	$CH_3CH_2CH_3$	44,0	3	0
A3	R600	C_4H_{10}	58,1	3	0

Nota: Los datos del GWP proceden de IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change 2001

Unas pruebas sobre las reacciones a diferentes exposiciones al amoníaco han dado lugar a estos resultados:

ppm	Efectos fisiológicos
5	Límite de detección
25	TWA media ponderada en el tiempo
35	STEL límite de exposición de corta duración
150 a 200	Ojos levemente afectados después de un minuto; la respiración no se ve afectada
300	Nivel inferior de riesgos
450	Ojos afectados rápidamente, sin afectar a la visión ni a la respiración
600	Lágrimas en los ojos en treinta segundos, sin afectar a la visión ni a la respiración
700	Lágrimas en pocos segundos, sin afectar a la visión; aire todavía respirable
1.000	Visión disminuida; respiración insoportable; irritación de la piel en pocos minutos
> 1.500	Ambiente insoportable; reacción instantánea de salir del lugar
30.000	Dosis letal

IT 1.1.4.4 Exigencia de calidad del ambiente acústico

Para esta exigencia el RITE remite al documento DB-HR "Protección frente al ruido" del Código Técnico de la Edificación.

Los apartados que afectan a las instalaciones son los siguientes:

Apartado	
3.4	Ruidos y vibraciones de las instalaciones
3.4.1	Datos previos
3.4.2	Equipos
3.4.3	Conducciones y equipamiento
3.4.3.1	Redes hidráulicas
3.4.3.2	Aire acondicionado

Apartado		*(Continuación)*
	3.4.3.3	Ventilación
	3.4.3.4	Evacuación de residuos
	3.4.3.5	Ascensores y montacargas
5.2.1		Elementos de separación verticales
	5.2.1.4	Encuentros con conducciones de instalaciones
5.2.2		Elementos de separación horizontales
	5.2.2.2	Encuentros con conducciones de instalaciones
Anejo A		Terminología
Anejo B		Notación
Anejo C		Normas de referencias
Anejo D		Valores de inmisión de ruido aéreo y de percepción de vibraciones de las instalaciones

A continuación, se resaltan algunas cuestiones planteadas por el CTE.

En 3.4.1 se exige que los suministradores de equipos proporcionen esta información:

- Nivel de potencia acústica de equipos que producen ruidos estacionarios, como bombas, ventiladores, quemadores, maquinaria frigorífica, unidades terminales para el control y la difusión de aire, ventiloconvectores, inductores, etc.
- Rigidez mecánica y carga máxima de los lechos elásticos empleados en bancadas de inercia.
- Amortiguamiento, curva de transmisibilidad y carga máxima de los sistemas antivibratorios utilizados en el aislamiento de maquinaria y conducciones.
- Coeficiente de absorción acústica de los productos absorbentes empleados en conductos de ventilación.
- Atenuación de conductos prefabricados, expresada como pérdidas por inserción.
- Atenuación total de los silenciadores interpuestos en conductos o empotrados en elementos constructivos, como fachadas.

El nivel de potencia acústica de los equipos situados en recintos de salas de máquinas será menor o igual al determinado por medio de la ecuación (3.34).

El nivel de potencia acústica de los equipos situados en recintos protegidos será menor o igual al determinado por medio de la ecuación (3.35).

El nivel de potencia acústica de equipos situados en zonas exteriores será menor o igual que 70 dB (apartado 3.4.2.3).

En el apartado 3.4.2.4 se establecen las condiciones de montaje de los equipos.

Los equipos se instalarán sobre soportes elásticos antivibratorios cuando se trate de equipos pequeños y compactos.

Sin embargo, cuando se trate de equipos que no posean una base propia y necesiten la alineación de sus componentes (por ejemplo, motor y ventilador o bomba), se necesitará una bancada suficientemente rígida para soportar los esfuerzos causados por el movimiento y de masa e inercia suficiente para evitar el paso de vibraciones al edificio.

Los equipos se conectarán a las conducciones mediante conexiones flexibles.

La norma UNE 100153-88 es una buena ayuda para los criterios de selección de los soportes antivibratorios.

En el punto 5 se dice literalmente: “En las salidas de humo de los recintos de instalaciones se utilizarán silenciadores”. Debe entenderse que se trata de las rejas de toma o expulsión de aire de una sala de máquinas o de unidades de tratamiento de aire o climatizadores. En estos elementos se instalarán silenciadores cuando sea necesario.

Nunca deben instalarse silenciadores en salidas de humos de calderas, de cocinas o de laboratorios por el enorme riesgo de ensuciamiento.

En cualquier caso, el material fonoabsorbente de un atenuador acústico, o silenciador, deberá estar recubierto de un material que, sin mermar las propiedades del material fonoabsorbente, sea capaz de protegerlo de la suciedad y permita la limpieza interior del silenciador.

En el punto 6 se dice: "Las bombas de impulsión se instalarán preferentemente sumergidas". La interpretación es la siguiente:

Las bombas deben instalarse de manera que la presión absoluta del fluido en la boca de succión sea siempre mayor que la presión de saturación del fluido a la temperatura de funcionamiento, para evitar que las burbujas de vapor colapsen y, en consecuencia, se produzcan ruidos y la eventual destrucción del rodete.

La diferencia entre las dos presiones se denomina NPSHa (Net Positive Suction Head available; altura de aspiración neta positiva disponible). El valor de NPSHa es una característica del sistema.

Por otra parte, la bomba tiene su propia NPSHr (Net Positive Suction Head required; altura de aspiración neta positiva requerida), que viene suministrada por el fabricante.

La condición es que la NPSHa (la disponible) sea siempre mayor que la NPSHr (la requerida), con un buen margen de seguridad.

Lo anterior se consigue, en circuitos cerrados, instalando el sistema de alimentación, expansión y seguridad (SAES) en aspiración de las bombas, garantizando siempre una presión suficientemente positiva.

En circuitos abiertos (por ejemplo, torres de refrigeración de circuito abierto, sistemas de bombeo de tanques abiertos, etc.) la bomba se instalará suficientemente por debajo del nivel de agua en contacto con la atmósfera (de aquí la palabra "sumergida", se supone). Esta situación, cuando es crítica, requiere la realización de un cálculo.

Se deberá prestar atención también a la cavitación por gases, que puede darse solamente en circuitos abiertos En este caso, debe darse la condición de que la diferencia de cota entre la lámina de agua y el eje del propulsor debe ser mayor que la NPSHr más las pérdidas por fricción en aspiración de bomba.

En el apartado 3.4.3 se dictan las normas a seguir para conducciones y equipamiento.

Se comentan las partes más relevantes:

Las conducciones colectivas de un edificio se llevarán por patinillos que estarán aislados de los recintos protegidos y de los recintos habitables (véase definición de los recintos en el Anejo A).

Se evitará el paso de las vibraciones de las conducciones a los elementos constructivos mediante sistemas antivibratorios como pasamuros, coquillas, manguitos elásticos, abrazaderas y suspensiones elásticas.

Para las tuberías empotradas se emplearán siempre envolturas elásticas.

Las tuberías vistas estarán recubiertas por un material que proporcione un aislamiento acústico a ruido aéreo mayor que 15 dB.

El anclaje de tubería se realizará a elementos constructivos de masa unitaria mayor que 150 kg/m^2.

La velocidad de circulación del agua en los sistemas mixtos (calefacción y refrigeración) situados en el interior de las viviendas se limitará a 1 m/s.

En conductos vistos se amortiguará adecuadamente la transmisión de ruido aéreo.

Los sistemas de conductos para el transporte de aire de ventilación y de acondicionamiento estarán aislados del ruido generado por los ventiladores y la misma circulación de aire mediante revestimientos interiores de material absorbente y/o atenuadores acústicos, dimensionados de manera que la atenuación sea mayor que 40 dB a la llegada a los elementos de difusión y retorno de aire.

Se evitará el empleo de revestimientos interiores en conductos de chapa por las siguientes razones:

- Dificultad que presentan para la instalación de registros de inspección, según la norma UNE-EN 12097
- Dificultad para efectuar las operaciones de limpieza interior

La difusión y el retorno de aire en los locales se hará mediante unidades terminales diseñadas de manera que el nivel generado de potencia sonora no supere el valor indicado en la ecuación (3.36) del apartado 3.4.3.2.

En la tabla D.1 del Anejo D se indican los niveles sonoros continuos recomendados en diferentes tipos de recintos de inmisión de ruido aéreo, con tolerancia de ±2 dBA (valores recomendados).

El nivel sonoro continuo equivalente estandardizado, ponderado A, de sucesos sonoros (véase definición en el Anejo A) en los recintos protegidos no deberá exceder de 65 dBA durante el día y 55 dBA durante la noche.

En la tabla D.2 se especifican los valores del índice global de percepción de vibraciones en los recintos, en función del uso del edificio, el período y el tipo de ocurrencia (valores recomendados).

IT 1.2 Exigencia de eficiencia energética

El marcado CE es una certificación de carácter obligatorio que declara que un producto es conforme a todas las normas aplicables. En otras palabras, la declaración de conformidad es la prueba de que un producto es conforme a una directiva específica y a las normas a ella relacionadas.

La responsabilidad de la conformidad del producto a la normativa aplicable recae totalmente sobre la empresa o persona física que pone en el mercado de la UE el producto.

En el caso de que un equipo (por ejemplo una UTA) sea suministrado por el fabricante como un conjunto que incluye las partes mecánica, eléctrica y electrónica, el marcado CE puede venir puesto por el fabricante. En este caso la Directiva implicada es la de máquinas, 98/37/CE, y una de las normas aplicables es la norma UNE-EN 1050.

Se hace hincapié en que se ha publicado ya la Directiva 2006/49/CE, relativa a la aproximación de la legislación de los Estados miembros sobre máquinas, que deroga y sustituye a la Directiva 98/37/CE. La nueva Directiva será aplicable a partir del 29 de diciembre de 2009.

Sin embargo, cuando el conexionado eléctrico y la parte electrónica de control no sean efectuados por el fabricante del equipo, como suele ser el caso, la responsabilidad de certificar el cumplimiento de la normativa de la UE recaerá sobre la empresa instaladora.

El marcado CE de conformidad estará compuesto por las iniciales CE diseñadas de la siguiente manera:

CE

La certificación EUROVENT es voluntaria; con ella el fabricante somete el producto a la valoración de EUROVENT, que ensaya y certifica las prestaciones declaradas por el fabricante.

Todos los equipos que consumen energía deberán llevar una etiqueta que, en una escala de siete valores, de la letra A a la letra G, indique la categoría a la que pertenece el equipo.

IT 1.2.2 Procedimiento de verificación

Para instalaciones entre 5 y 70 kW, ambos incluidos, será suficiente indicar, en la memoria técnica que forma parte del proyecto, el consumo de energía de la instalación y las emisiones de CO_2, todo sobre una base anual.

Para instalaciones cuya potencia térmica en frío o calor sea mayor que 70 kW, se exige la presentación de un proyecto en el que se incluyan las estimaciones de los consumos de energía mensual y anual, así como las correspondientes emisiones de dióxido de carbono.

Para las emisiones de las distintas fuentes de energía primaria (electricidad, gas natural, gasóleo, fuelóleo, GLP etc.) la Administración deberá indicar los coeficientes de paso a emplear para pasar a emisiones de CO_2. Para la electricidad el valor deberá ser revisado cada año, en función del peso de cada una de las energías primarias empleadas.

El RITE admite que el diseño y dimensionamiento de una instalación de más de 70 kW térmicos se puedan llevar a cabo mediante los dos procedimientos que se describen a continuación.

En el procedimiento prescriptivo o simplificado, el técnico se limitará a dar cumplimiento a todas y cada una de las exigencias de eficiencia energética impuestas en el RITE, que serán comentadas más adelante.

Este procedimiento es muy fácil de aplicar, pero está cerrado a la innovación.

En el procedimiento prestacional o alternativo, el técnico podrá apartarse parcial o totalmente de las exigencias impuestas por el RITE siempre que la instalación proyectada tenga unas prestaciones energéticas equivalentes o mejores, medidas sobre la base de las emisiones de CO_2, de las que se obtendrían con la aplicación del procedimiento prescriptivo.

Este procedimiento presenta dificultades para su aplicación, pero está abierto a la innovación.

En definitiva, el técnico procederá de la manera ordenada que se indica a continuación para las instalaciones objeto de los dos procedimientos:

- Cálculo de las cargas térmicas del edificio
- Cálculo de la demanda térmica mensual y anual del edificio
- Selección del sistema de climatización
- Simulación de las prestaciones energéticas del sistema para averiguar el consumo de energía de cada una de las fuentes
- Cálculo de las emisiones de CO_2 a partir de los datos fijados por la Administración

El cumplimiento de las exigencias mínimas será satisfecho cuando resulte que la instalación concebida bajo el procedimiento prestacional emita, anualmente, menos cantidad de dióxido de carbono que la instalación concebida bajo el procedimiento prescriptivo.

Cuando se trate de un edificio nuevo cuya superficie útil total sea mayor que 1.000 m², el proyecto incluirá la comparación del sistema elegido para la producción de energía térmica con otros sistemas alternativos. Entre ellos, el RITE cita:

- Fuentes de energía renovable, como paneles solares térmicos y biomasa, empleadas directamente o a través de máquinas de absorción o motores Stirling.
- Producción de energía térmica mediante un sistema de cogeneración CHP (del inglés *"Combined Heat and Power"*), acoplado o no a plantas de refrigeración del tipo de absorción. Estas instalaciones deberán cumplir con el RD 661/2007.
- Las bombas de calor, con sumidero exterior por aire, agua o tierra. En el caso de bombas de calor con sumidero exterior por aire, las condiciones exteriores de diseño en invierno deberían ser aceptables, es decir, la temperatura húmeda nunca debería ser menor que 0 ºC, siendo generosos, lo que, prácticamente, limita su aplicación a las zonas costeras, a las islas y a buena parte de las regiones sureñas.

El RITE hace hincapié en la conveniencia del empleo de sistemas centralizados de producción térmica, por edificio o grupo de edificios e, incluso, la conexión a redes procedentes de centrales urbanas.

Cuando se comparen sistemas de producción frigorífica, el RITE acepta el cálculo del TEWI (*Total Equivalent Warming Impact*, o impacto total equivalente de calentamiento) propuesto en la norma UNE-EN 378, parte 1, Anexo B.

Para la determinación del TEWI (expresado en kg de CO_2) es necesario conocer el parámetro GWP (*Global Warming Potential*, potencial de calentamiento global, que es la relación, adimensional, entre kg de CO_2 y kg equivalentes de refrigerante) de los refrigerantes a emplear con respecto al CO_2, que varía en función del horizonte de tiempo empleado ITH (*Integration Time Horizon*).

El TEWI se calcula como suma del GWP directo, debido al refrigerante, y del GWP indirecto, debido a la energía consumida. A su vez, el GWP directo es la suma de dos términos: el debido a las pérdidas por fugas y el debido a las pérdidas en recuperación.

Indicando con:

- p las pérdidas anuales medias de refrigerante por fugas del sistema, kg/año
- n la vida útil prevista de la instalación, años

las pérdidas por fugas a lo largo de la vida útil del sistema son responsables del impacto de calentamiento siguiente:

$$GWP \bullet p \bullet n$$

Indicando con:

- m la masa de refrigerante en el sistema, kg
- r el factor de recuperación del refrigerante al final de su vida útil, es decir, la fracción de "m" que es previsible que se pueda recuperar, adimensional

el impacto de calentamiento debido a las pérdidas en recuperación se expresa con esta ecuación:

$$GWP \bullet m \bullet (1 - r)$$

Por otra parte, el GWP indirecto se debe al consumo de energía del equipo a lo largo de su vida útil. Expresando con:

- E el consumo energético anual, kWh/año
- α el factor de emisión de CO_2 por cada unidad de energía consumida, kg/kWh

resulta que el impacto de calentamiento debido al consumo de energía es:

$$n \bullet E \bullet \alpha$$

Por tanto, el TEWI es igual a la suma de los tres factores antes calculados:

$$TEWI = GWP \bullet [p \bullet n + m \bullet (1 - r)] + n \bullet E \bullet \alpha$$

El TEWI expresa la cantidad de CO_2 producida a lo largo de la vida útil de una instalación frigorífica por un sistema de refrigeración con un determinado refrigerante. En la comparación entre dos o más refrigerantes, el que presente el TEWI menor es el mejor.

A este respecto cabe resaltar que los dos primeros términos (efecto directo) de la ecuación representan el efecto invernadero del refrigerante; para el amoníaco (R 707) estos términos son nulos, porque nulo es el GWP del mismo.

El último término dependerá de la eficiencia del equipo frigorífico, es decir de su CEE o COP. Estos coeficientes, a su vez, dependerán del tipo de equipo frigorífico seleccionado, del tipo de fuente fría o caliente considerada en el diseño, de las condiciones del ambiente exterior, del horario de funcionamiento y de una serie de otros factores que dificultan sobremanera los cálculos.

Para los cálculos de cargas y demandas térmicas, así como la simulación de las prestaciones de los equipos, deberá emplearse un programa de cálculo reconocido por la Administración o, en su defecto, de reconocido prestigio.

En los comentarios a "Exigencia de higiene", apartado referido a los refrigerantes, se ha indicado, en una tabla, el GWP de algunos gases (ITH = 100 años).

Se ha calculado el TEWI para algunas máquinas con diferentes tipos de refrigerante (datos tomados de catálogos de fabricantes):

Tipo de máquina	Enfriamiento de condensador	Refrigerante	CEE	Energía (1.000 h/año) MWh/año
(a)- Alternativo	Aire	R22	2,6	241
(b)- Tornillo	Aire	R134a	3,2	193
(c)- Alternativo	Agua	R134a	3,5	179
(d)- Alternativo	Agua	R407c	3,6	174
(e)- Alternativo	Agua	R22	4,0	156
(f)- Alternativo	Agua	R707	4,4	147
(g)- Tornillo	Agua	R134a	4,5	139
(h)- Turbo	Agua	R134a	5,5	118
(i)- Tornillo	Evaporativo	R707	5,1	128

El CEE indicado en la tabla incluye los equipos de enfriamiento del condensador y la pérdida de carga lado evaporador.

Al variar las horas anuales de funcionamiento el TEWI varía como se indica en la figura 22.

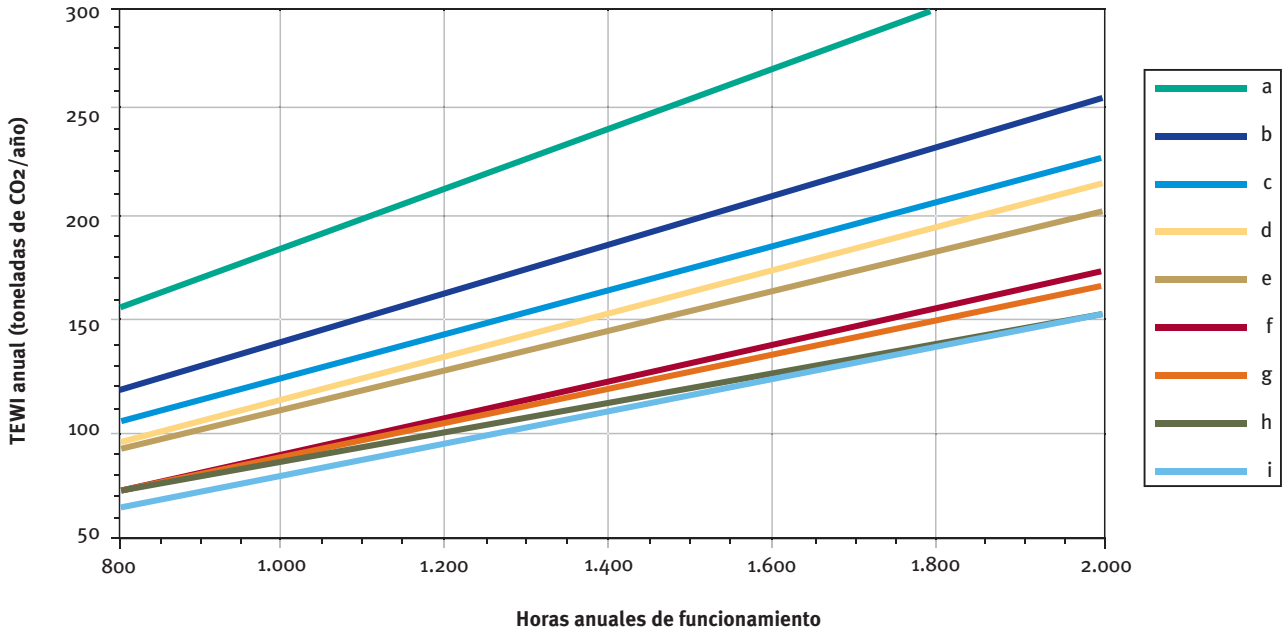


Fig. 22: TEWI anual en función del tiempo de funcionamiento

Se destaca el comportamiento totalmente insatisfactorio de las máquinas enfriadas por aire, independientemente del refrigerante empleado. Se volverá más adelante sobre el tema.

1.2.4.1 Generación de calor y frío

1.2.4.1.1 Criterios generales

Para seleccionar correctamente el tipo, número y potencia de los generadores es necesario calcular la demanda a lo largo de todas las horas del año.

La suma de la potencia de los generadores se ajustará a la demanda máxima simultánea de los sistemas servidos, más las pérdidas o ganancias de calor de las redes de distribución de los fluidos portadores y, en el caso de centrales de producción de frío, el equivalente térmico de la potencia absorbida por los equipos de transporte de los fluidos.

Esquema de principio

Las centrales de producción de energía térmica, cualquiera que sea su tamaño, deben diseñarse de manera que los subsistemas que las componen sean independientes entre sí, otorgando al sistema en su conjunto la máxima flexibilidad de funcionamiento. Esta concepción de la central conduce a sustanciosos ahorros de energía.

El esquema de la figura 23 representa uno o más generadores conectados a un colector, es decir, uno o más circuitos primarios (por simplicidad, no se ha representado ningún accesorio de control y medición).

A partir del colector (o equilibrador), representado en la parte baja del esquema, un circuito primario está constituido por:

- Una válvula de interceptación, manual, de tipo de esfera hasta DN 65 o mariposa para DN 80 y mayores, normalmente abierta. Esta válvula sólo se cerrará para efectuar operaciones de mantenimiento.
- Un elemento antivibrador
- Un filtro de malla metálica
- Una bomba de circulación
- El generador de energía térmica
- Un elemento antivibrador
- Una válvula de interceptación motorizada. Para diámetros de tuberías mayores que DN 65 conviene instalar válvulas motorizadas en lugar de válvulas de retención en la descarga de bombas. Eligiendo convenientemente el tiempo de cierre y abertura de las válvulas, se evitará, con seguridad, la formación de un golpe de ariete.

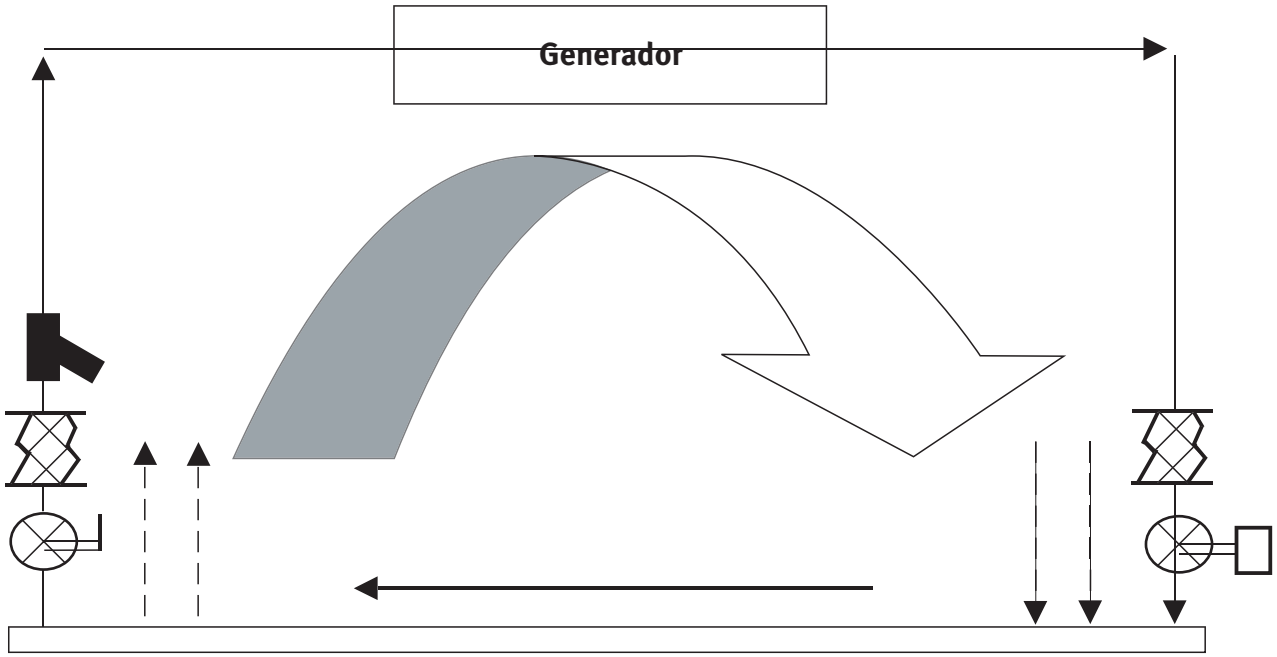


Fig. 23: Circuitos Primarios

El agua circula de un lado al otro del colector a través del generador, según se indica en el esquema; al bajar la temperatura del agua a la salida del equipo bajará la temperatura del agua a la entrada; el generador irá parcializando hasta tanto la temperatura de retorno iguale a la de impulsión y, finalmente, se pare.

Naturalmente podrá diseñarse el número de circuitos primarios que sean necesarios.

El examen del esquema muestra que:

- Los circuitos primarios están hidráulicamente desacoplados entre sí; cada uno de los generadores puede funcionar independientemente del comportamiento de los demás circuitos primarios.

- No es necesario instalar ningún elemento de interceptación, equilibrado o retención en el colector.

- El sentido de flujo del fluido en el colector está indicado en el esquema, de derecha a izquierda.

Se observa que no hay válvulas entre la bomba y el generador o a la salida de éste hacia el colector. No hacen falta, si el circuito es razonablemente corto y, en consecuencia, el contenido de agua es pequeño. Este criterio reduce las pérdidas de presión y el riesgo de averías, además del coste de inversión.

Igualmente, es necesario poner solamente dos elementos antivibradores, que no deben confundirse con esos aparatos que suelen ponerse para compensar las desalineaciones entre ejes de dos elementos contiguos que deban ser acoplados.

Para que el circuito primario se ponga en marcha, se debe producir la siguiente secuencia de acontecimientos:

- Arranca la bomba y, simultáneamente, empieza a abrir la válvula motorizada mandada por un contacto procedente de la misma bomba. El tiempo de apertura se controla de manera que no se produzca golpe de ariete. La válvula motorizada sustituye eficazmente la válvula de retención. Un contacto de final de carrera dará una señal eléctrica que se empleará para la secuencia de mando del generador.

- Un presostato diferencial cierra un contacto cuando detecta una caída de presión entre la entrada y salida del generador, es decir, cuando exista circulación de agua en el generador. Cuando la caída de presión del generador sea pequeña (una caldera, por ejemplo), se podrá emplear un interruptor de flujo.

- El generador arrancará sólo cuando haya recibido una señal de consentimiento (un contacto cerrado) del presostato diferencial o del interruptor de flujo y, para mayor seguridad, una señal (o contacto cerrado) de la bomba acoplada al mismo generador y del final de carrera de la válvula motorizada.

Los enclavamientos eléctricos aseguran que nunca podrá entrar en funcionamiento un generador sin circulación de agua. El esquema eléctrico de la figura 24 representa la

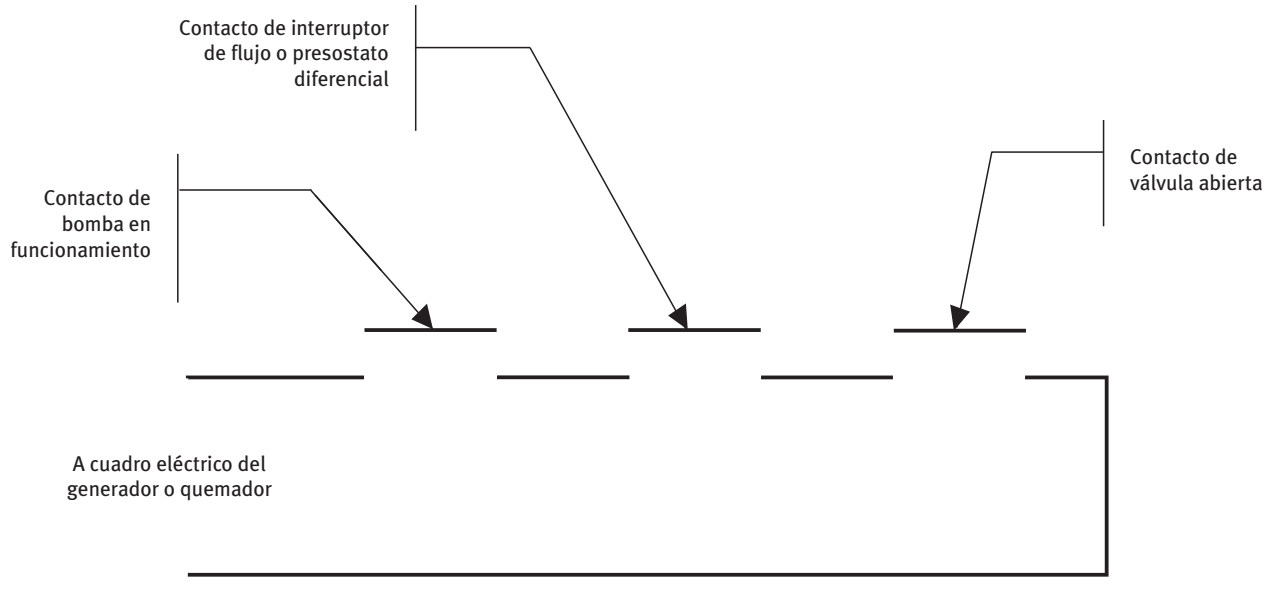


Fig. 24: Enclavamientos eléctricos

alimentación de la bobina de alimentación al cuadro del generador (o quemador, si se trata de una caldera).

Como consecuencia de lo anterior, la válvula de seguridad de un generador de calor sólo actuará cuando fallen los tres contactos de la figura 24. Por tanto, es innecesario exigir que entre un generador de calor y el sistema de expansión no haya válvulas de interrupción.

La parada de un generador tendrá lugar en sentido inverso:

- Se para el generador (o el quemador)
- Se cierra lentamente la válvula motorizada
- Se para la bomba cuando la válvula motorizada está próxima al cierre total

El esquema de la figura 25 representa unos circuitos secundarios conectados a un colector.

Ahora también la puesta en marcha de la bomba de un circuito secundario viene acompañada por la apertura lenta de la correspondiente válvula motorizada.

Naturalmente podrá diseñarse el número de circuitos secundarios que sean necesarios.

Los criterios empleados en la división de los circuitos secundarios son muy importantes cuando se trata de buscar soluciones para la zonificación de sistemas y, por tanto, el ahorro de energía.

El examen del esquema anterior muestra que:

- Todos los circuitos secundarios están hidráulicamente desacoplados entre sí, es decir, pueden funcionar independientemente los unos de los otros.
- No es necesario instalar ningún elemento de interceptación, equilibrado o retención en el tramo del colector denominado equilibrador.
- El sentido de flujo del fluido en el tramo equilibrador está indicado en el esquema y es contrario al que pueda proceder de los generadores (véase esquema anterior).

En los esquemas de las figuras 26, debidamente simplificados para no perder de vista los conceptos que se quieren expresar, se unen, de diferente manera, los circuitos primarios y secundarios (se representa solamente uno) de una central de producción térmica.

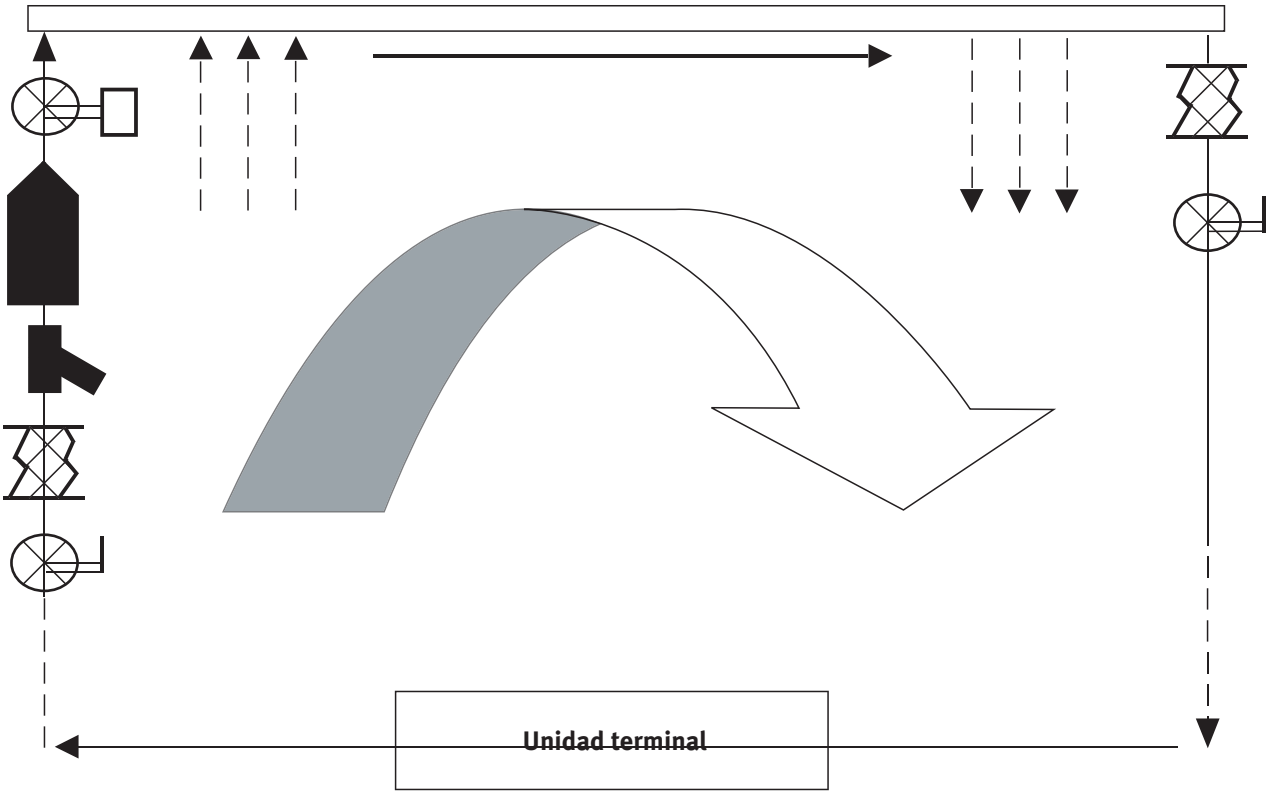


Fig. 25: Circuitos Secundarios

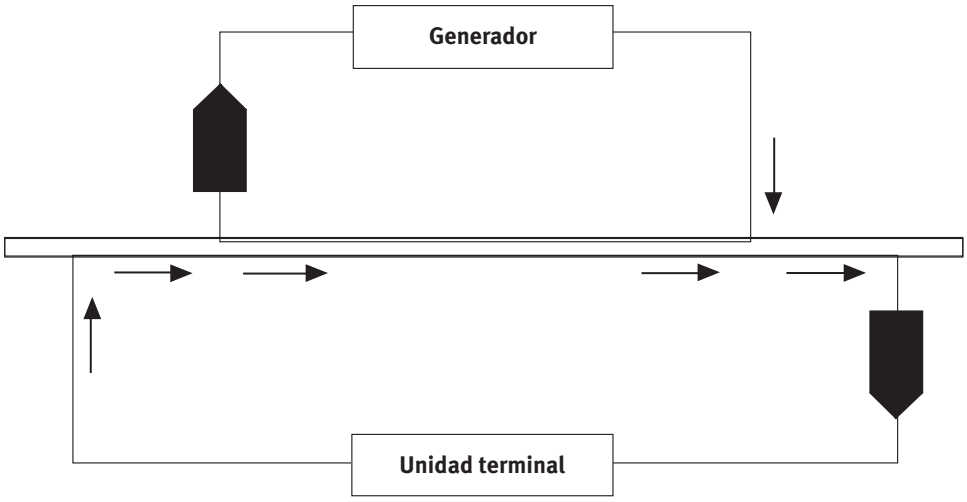


Fig. 26a: Circuitos secundarios con exceso de caudal

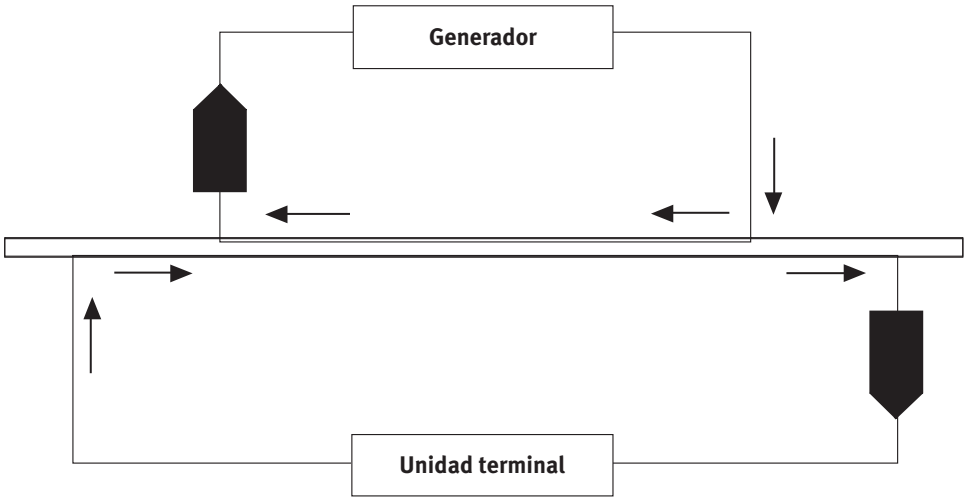


Fig. 26b: Circuitos primarios con exceso de caudal

En el caso de la figura 26a (circuitos secundarios con exceso de caudal) la mezcla de caudales en aspiración de bombas secundarias es perfecta. En la figura 26b (circuitos primarios con exceso de caudal) la mezcla de caudales en aspiración de bombas primarias es imperfecta, porque los caudales proceden de direcciones opuestas y, por tanto, no se mezclan correctamente.

En las figuras 26c y 26d se conectan los generadores por fuera y los circuitos secundarios por dentro.

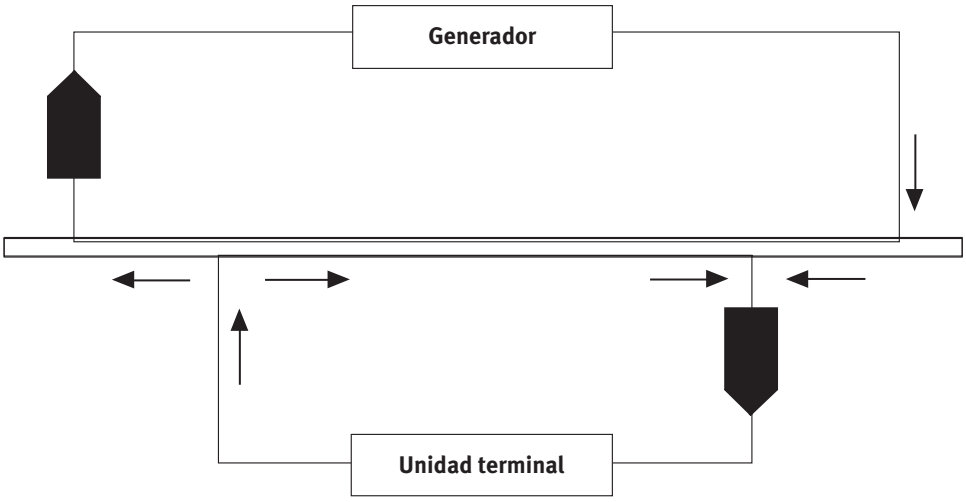


Fig. 26c: Circuitos secundarios con exceso de caudal

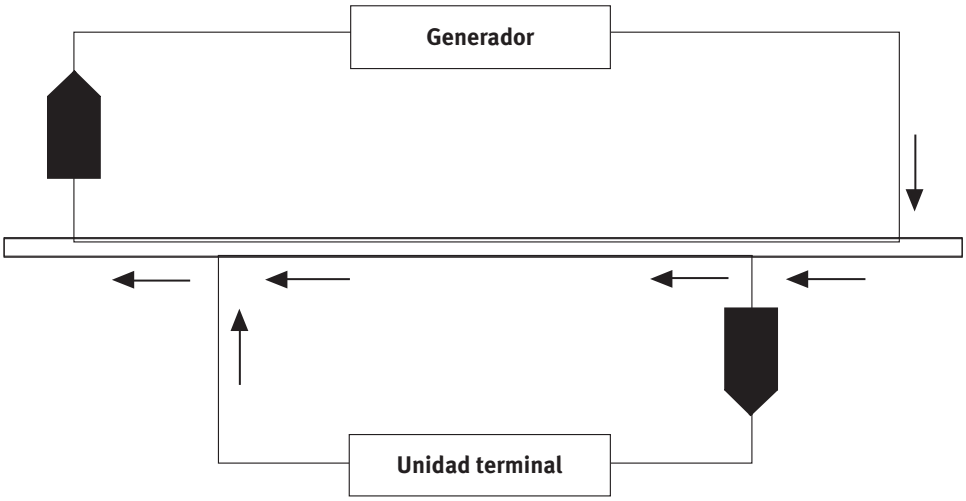


Fig. 26d: Circuitos primarios con exceso de caudal

En el caso de la figura 26c (exceso de caudal en circuitos secundarios), la mezcla en aspiración de bombas secundarias no es perfecta, porque los caudales proceden de dirección opuesta.

En el caso de la figura 26d (exceso de caudal en circuitos primarios), la mezcla en aspiración de bombas primarias es perfecta.

Con el fin de que la mezcla tenga lugar perfectamente tanto en aspiración de bombas primarias como en aspiración de bombas secundarias, las conexiones de los circuitos al colector-equilibrador deben efectuarse como se indica en la figura 27.

Con la disposición anterior se justifica la necesidad de obtener uniformidad de temperatura tanto a la entrada de los generadores como a la entrada de las unidades terminales.

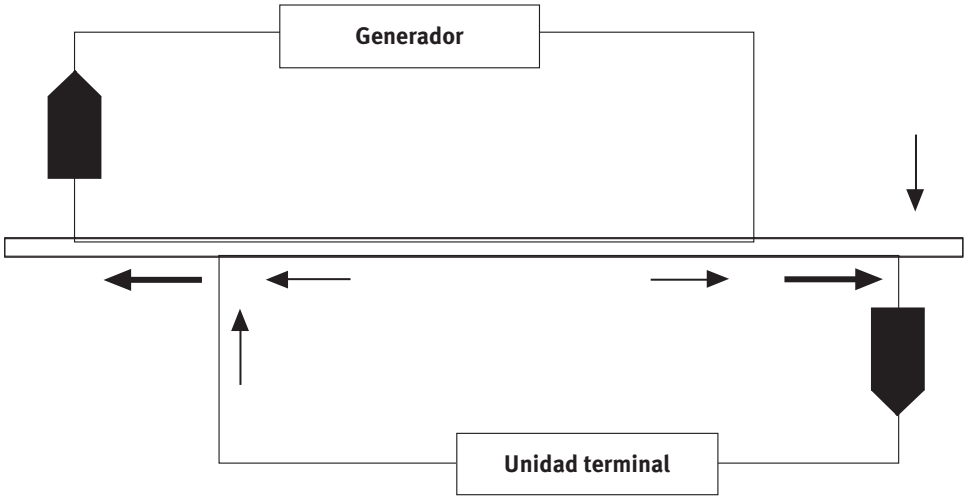


Fig. 27: Conexión de circuitos primarios y secundarios a colector-equilibrador

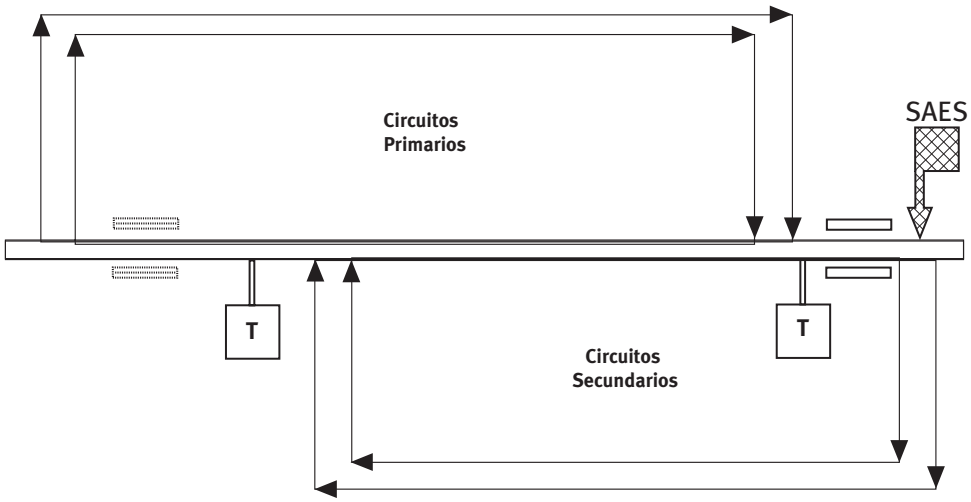


Fig. 28: Colector-equilibrador

La figura 27 puede completarse como se indica en la figura 28.

Nótese que la situación del contador de caudal en la figura 28 (a la derecha) permite medir la potencia demandada; el contador instalado en el tramo de la izquierda (representado con puntos), permite medir la potencia ofertada.

Es evidente que, para regular la potencia suministrada por los generadores, es necesario instalar el medidor de caudal a la derecha de la figura 28 o en ambas posiciones, comparando demanda con oferta.

Para compactar el esquema y ahorrar espacio en sala de máquina, el esquema de la figura 28 se puede dibujar como se indica en la figura 29.

La posición del Sistema de Alimentación, Expansión y Seguridad, indicada en la figura 29, es la más apropiada para determinar la presión de referencia, porque está en aspiración de bombas primarias y secundarias. Un sistema de generación debe tener solamente una presión de referencia; por tanto, una vez más, no es correcto exigir un vaso de expansión por cada generador de calor.

La parte derecha del esquema "pertenece" a los circuitos secundarios y la izquierda a los primarios, siendo común el tramo horizontal central, es decir, el tramo equilibrador.

La flecha hacia la izquierda en el tramo equilibrador indica que el caudal primario es mayor que el secundario (oferta mayor que demanda); la flecha hacia la derecha indica un exceso de caudal secundario (demanda mayor que oferta).

Cuando la demanda térmica varíe, los generadores podrán modular en secuencia o en paralelo, dependiendo del tipo de generador.

Cuando la suma de los caudales de agua en los circuitos secundarios sea mayor que la suma de los caudales de agua en los circuitos primarios, se producirá una mezcla

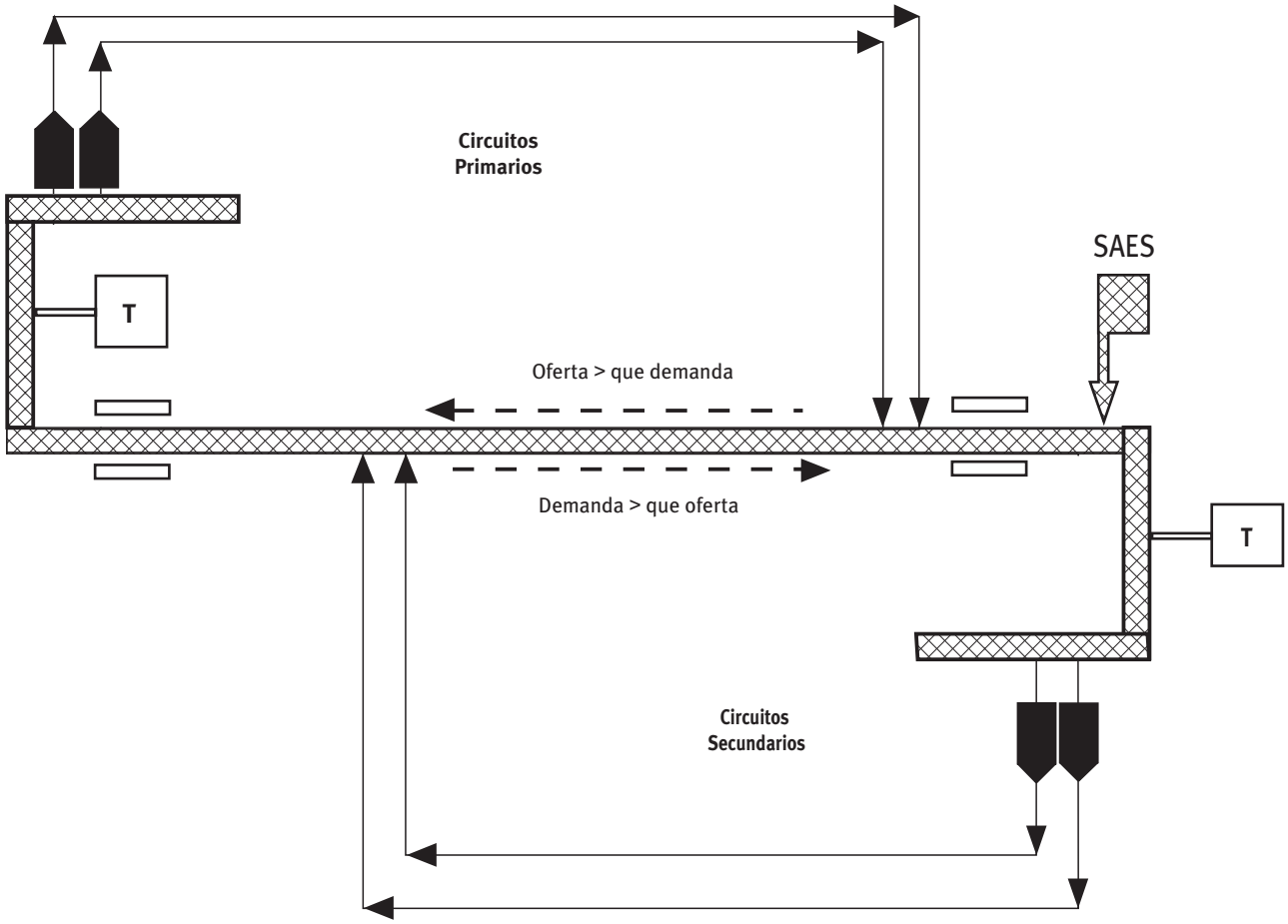


Fig. 29: Esquema general de una central

de agua en la aspiración de las bombas a las unidades terminales que provocará que la temperatura en impulsión sea menor en el caso de centrales de calor y mayor en el caso de centrales de frío. Esta situación puede darse solamente en dos casos:

- Durante los períodos de arranque de la instalación, cuando la demanda de energía sea mayor que la oferta

- Cuando la demanda de energía sea mayor que la que puede producir la central, debido a un fallo de proyecto o bien a un fallo en el manejo del sistema que no respete la simultaneidad de servicio establecida en proyecto

El nivel térmico del fluido en los circuitos secundarios será mayor, en verano, o menor, en invierno, de lo que es en régimen normal. Se deberán evaluar las consecuencias de este hecho sobre el funcionamiento de los generadores en lo que se refiere a la temperatura del agua de retorno: alta en verano para las máquinas frigoríficas y baja en invierno para los generadores de calor. Se deberá consultar al fabricante del equipo para conocer los límites de funcionamiento.

De todo lo anterior se comprende porque no se debe poner ningún elemento de interceptación o de retención en el tramo equilibrador de un colector.

El colector-equilibrador de la figura 29 se representa en forma más esquemática pero más completa en la figura 30.

Para medir la demanda de potencia de los circuitos secundarios y la oferta de potencia de los circuitos primarios es necesario completar el colector de la forma indicada en la figura 30.

Las sondas de temperatura miden las temperaturas medias de impulsión y retorno de los circuitos primarios y secundarios. El salto de temperatura correspondiente multiplicado por el caudal volumétrico del fluido portador y su calor específico dará la medida exacta de la potencia demandada u ofertada.

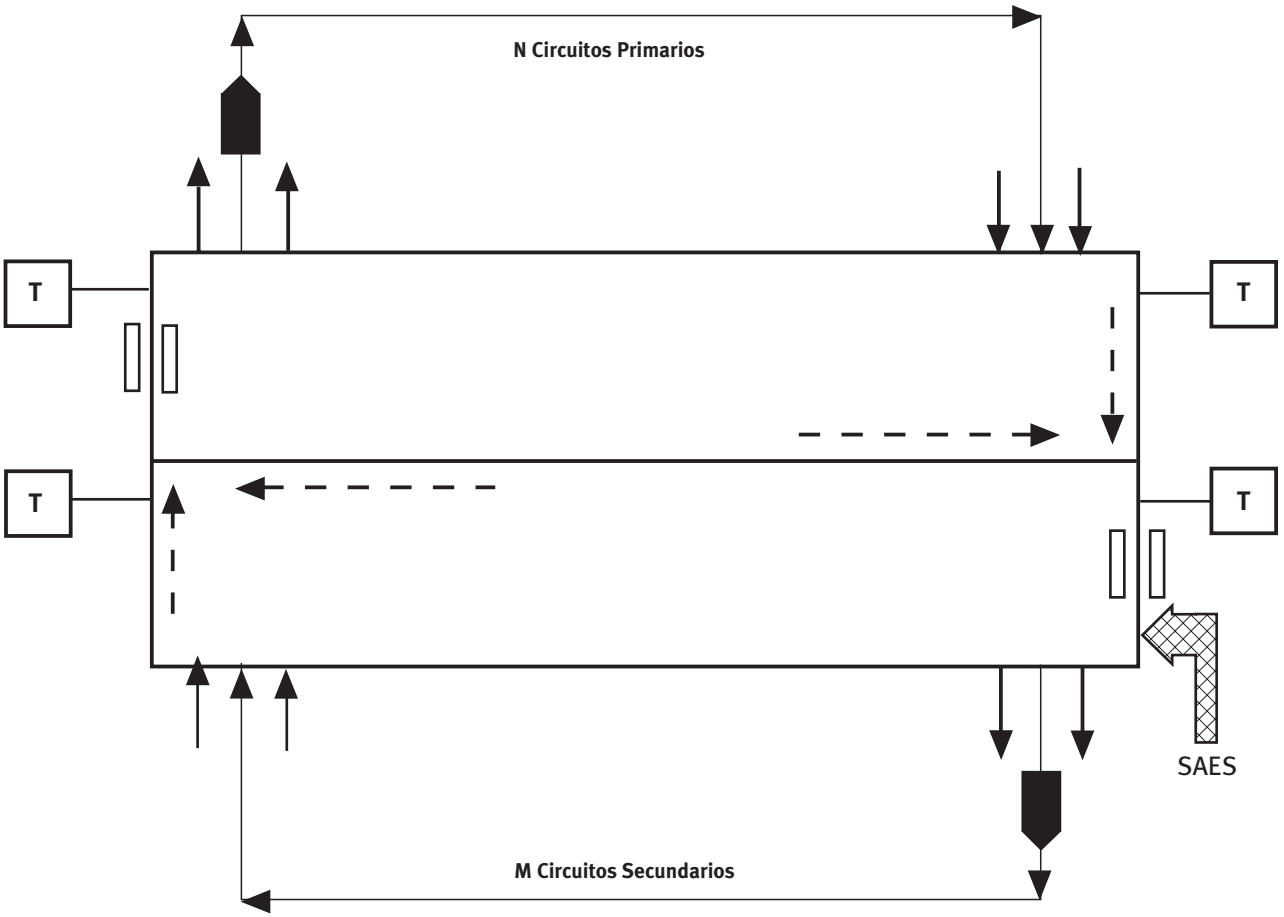


Fig. 30: Esquema simplificado y completado

La medición de las dos potencias servirá para adecuar la oferta a la demanda con el sistema de control, por escalones o con continuidad.

El equilibrio entre demanda y oferta se hará de diferentes maneras según los sistemas de distribución del fluido portador sean de caudal constante o variable.

1 caso: circuitos primarios de CC y circuitos secundarios de CC

La temperatura de retorno varía con la carga térmica; sólo queda constante la temperatura en salida de las máquinas.

1.1 Cuando el caudal primario sea mayor que el secundario (diferencia de los dos contadores de agua), la "oferta" es mayor que la "demanda". Parte del caudal primario se desvía hacia el retorno; al mezclarse con el agua que retorna de los usuarios disminuye la temperatura de retorno a las máquinas y éstas disminuyen la producción frigorífica. La estrategia de parcialización de las máquinas estará a cargo del sistema de control, dependiendo del tipo de máquina frigorífica.

1.2 Cuando el caudal secundario sea mayor que el primario (diferencia de los dos contadores de agua), la "demanda" es mayor que la "oferta". Parte del caudal secundario se desvía hacia la aspiración de las bombas secundarias, aumenta el nivel térmico del agua a los usuarios, la temperatura de retorno a las máquinas aumenta y éstas aumentan la producción frigorífica.

2 caso: circuitos primarios de CV y circuitos secundarios de CV

Las temperaturas quedan constantes al variar la carga térmica. Al variar la demanda varían los caudales secundarios y, en consecuencia y en el mismo sentido, varían los caudales primarios.

Cuando se alcance el caudal mínimo (determinado por el fabricante) de una máquina, ésta se parará y aumentará el caudal de las otras máquinas; y viceversa. La estrategia de funcionamiento de las plantas enfriadoras se determinará en función del tipo.

3 caso: circuitos primarios de CC y circuitos secundarios de CV

Las temperaturas de impulsión y retorno del agua en circulación en los circuitos secundarios quedan constantes.

Al disminuir la demanda disminuye la temperatura del agua de retorno a las máquinas porque se mezcla con agua de impulsión; las máquinas parcializan (la estrategia depende del tipo de máquinas). Al aumentar la demanda aumenta el nivel térmico del agua de los circuitos secundarios y, por tanto, aumentará también la temperatura de entrada a las plantas enfriadoras; éstas entregarán más potencia.

4 caso: circuitos primarios de CV y circuitos secundarios de CC

Este caso no tiene sentido.

Es fácil extender estas consideraciones al caso de producción de calor y, también, al caso de enfriamiento de condensadores.

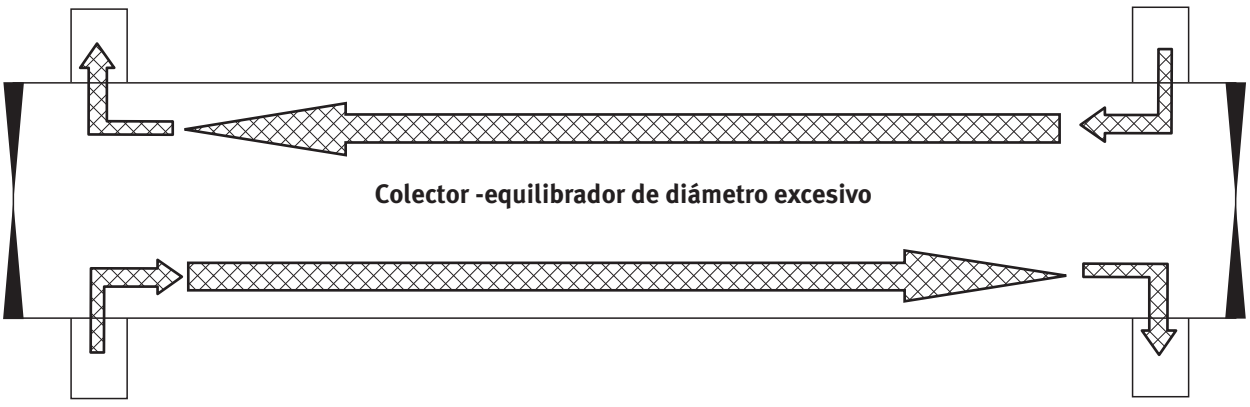


Fig. 31: Vías preferenciales de agua en el interior de un colector

No se pueden dar reglas para el dimensionamiento del diámetro del colector.

El diámetro no puede ser demasiado pequeño porque conviene que cualquier punto del colector-equlibrador esté, dentro de un margen relativamente modesto, a la misma presión fijada en el vaso de expansión (presión de referencia).

Por otra parte, el diámetro no puede ser demasiado grande para no crear, en su interior, vías preferentes de agua, como se muestra en la figura 31 de la página anterior.

Colectores de gran diámetro (botellas) sólo se emplean en acoplamiento a calderas de bajo contenido de agua (véase Comentarios al RITE de 1998, figura 02.6.5, página 135 editados por los Ministerios de Fomento e Industria y Energía, IDAE y ATECYR).

Sistema de acumulación

En el tramo equilibrador de la figura 32 se representa una posible posición para el sistema de acumulación de energía térmica, con equipos de caudal variable. En este caso, sería necesario instalar un by-pass con las correspondientes válvulas de corte (no representado en la figura).

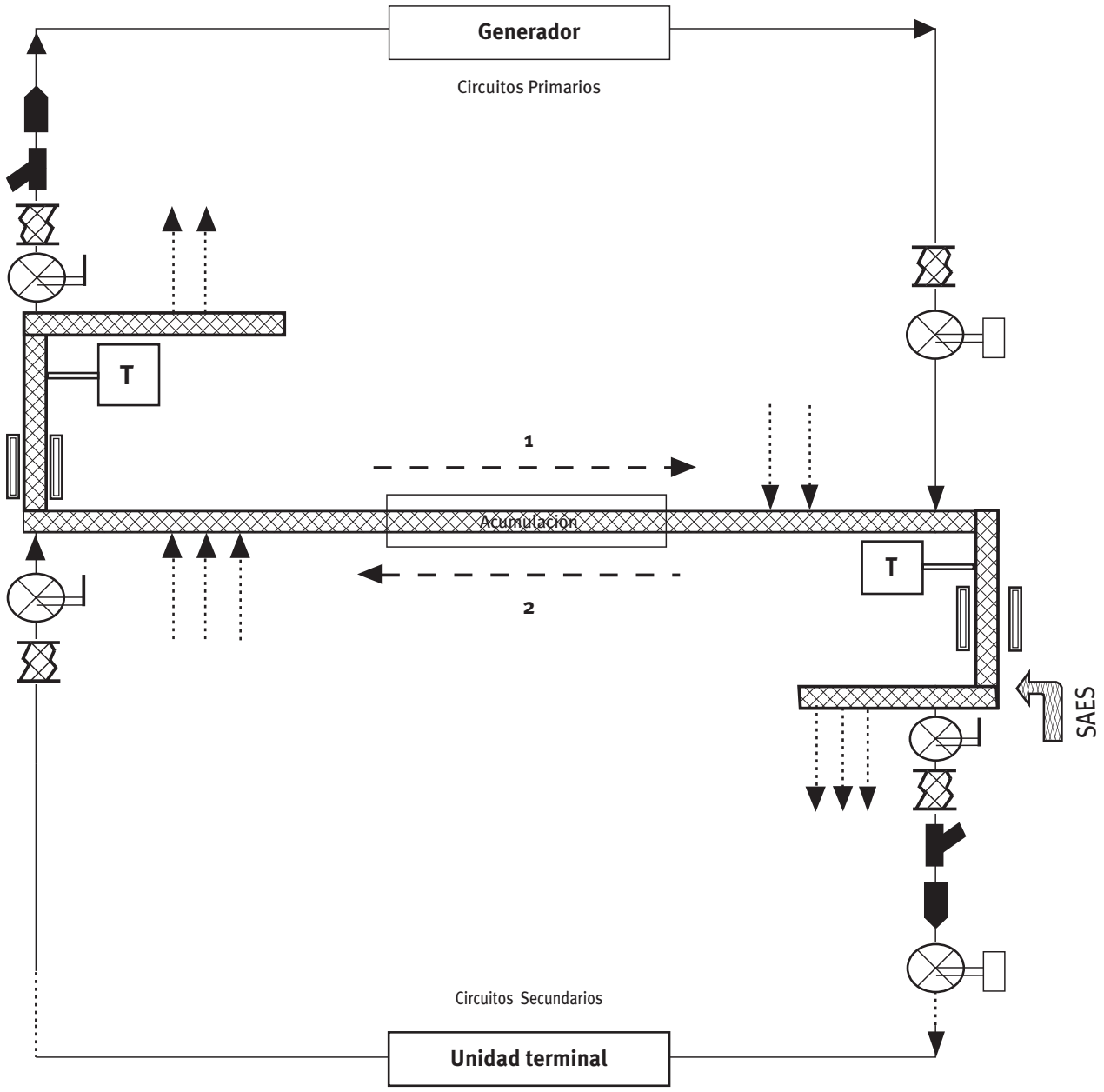
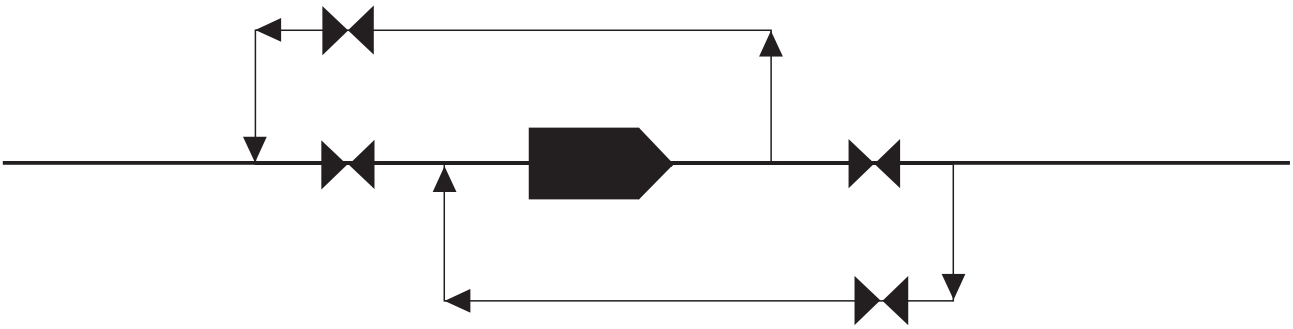


Fig. 32: Colector-equilibrador

Cuando aumente la demanda, el correspondiente aumento del caudal secundario pasará a través del tramo equilibrador y se traducirá en un aumento de la potencia suministrada.

El sistema de acumulación de energía térmica podrá asumir otras configuraciones; entre ellas, una, muy válida también, que lo sitúa en paralelo a los generadores durante el período de descarga y, por supuesto, en serie durante el período de carga.

En este caso se necesita una bomba de circulación, que debe invertir el sentido de flujo según se trate de carga o descarga; el esquema de las conexiones, en el que todas las válvulas son automáticas, está representado en el siguiente esquema:



El sistema de acumulación será muy utilizado en el futuro inmediato con el fin de almacenar la energía térmica procedente de sistemas de paneles solares térmicos y de plantas de cogeneración, en forma de agua caliente, agua refrigerada, hielo o materiales de cambio de fase MCF.

En el caso de emplear agua se deben evitar, en lo posible, los movimientos convectivos. Para ello, los depósitos acumuladores deben complementarse con difusores de agua, tanto en la inmisión como en la aspiración, para mantener una buena estratificación (las funciones de carga y descarga se alternan en los difusores, según se esté cargando o descargando el sistema de almacenamiento). El cálculo de los difusores debe hacerse con programas especializados.

La alternativa a los depósitos acumuladores de agua es la de emplear tubos de gran diámetro puestos en serie, siempre que, en caso de almacenar calor, se evite la instalación de tramos horizontales, porqué la estratificación vertical, en este caso, es contraproducente.

En todos los casos, cuando sea el agua el elemento de almacenamiento, se necesitan grandes volúmenes y fuertes espesores de aislamiento para reducir al mínimo las pérdidas por disponibilidad de servicio.

Por otra parte, el agua tiene grandes ventajas sobre el hielo o los materiales de cambio de fase. Entre otras, se debe mencionar que la potencia que puede recibir o descargar está limitada sólo por equipos ajenos al sistema de almacenamiento, es decir, las bombas.

Por el contrario, con hielo y MCF, la superficie de intercambio adquiere gran importancia, tanto durante el período de carga (normalmente unas 12 horas), como, sobre todo, durante el período de descarga (normalmente, unas 4 horas).

Sistema de Alimentación, Expansión y Seguridad

El Sistema de Alimentación, Expansión y Seguridad (SAES) se instalará en un punto cualquiera del colector, preferentemente donde está indicado en el esquema de la figura 30.

El punto de conexión del vaso de expansión representa la "única" presión de referencia del circuito. Esta presión deberá ser suficiente para que, en el punto más elevado del circuito y, por tanto, en todos los puntos, exista una presión siempre mayor que la presión atmosférica, con el fin de evitar la entrada de aire en el circuito. La presión relativa mínima, en el punto más elevado del circuito, deberá ser de 0,2 a 0,3 bar (2 a 3 m de columna de agua), por lo menos.

El esquema de la figura 33 (página siguiente) muestra el diagrama de presiones en un circuito cerrado.

Como se ha dicho, nunca se debe instalar más de un sistema de expansión en un circuito hidráulico, porque en él debe existir solamente una presión de referencia. Ni siquiera está justificado por razones de seguridad, como se ha visto en la figura 24 y se verá más adelante.

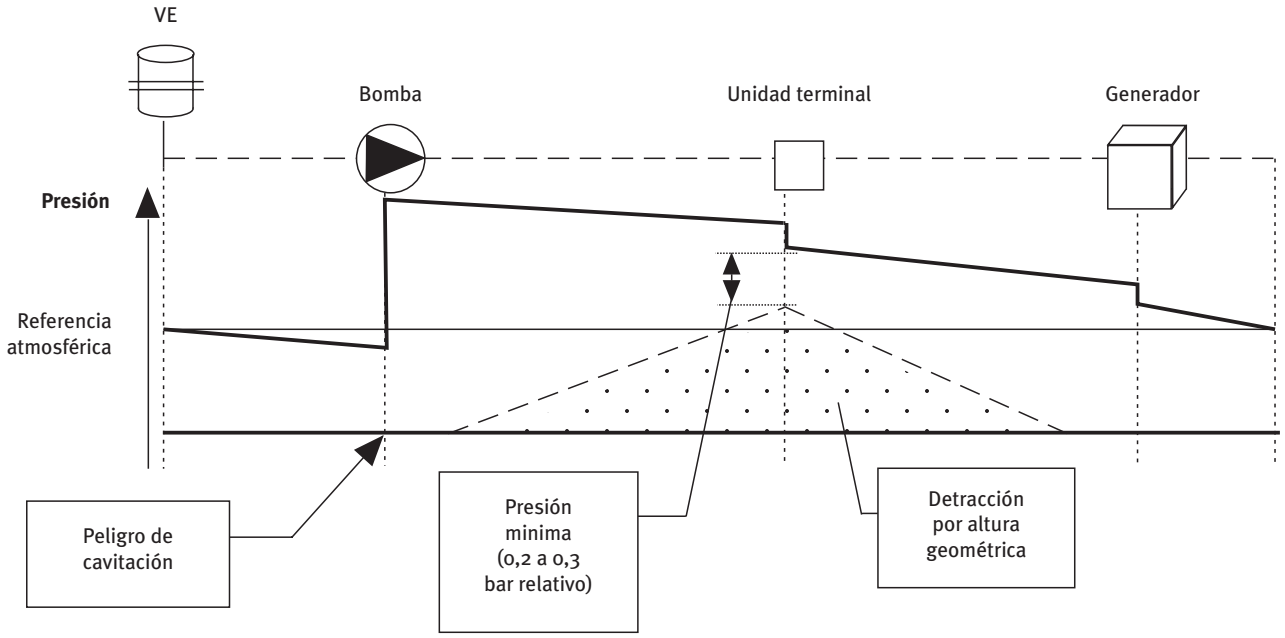


Fig. 33: Diagrama de presiones en un circuito cerrado

El esquema de un sistema SAES es el de la figura 34.

Los componentes, desde la red pública hasta el circuito, son los siguientes:

- Válvula de corte (preferentemente de esfera)
- Filtro de partículas
- Manómetro o sonda de presión (presión de la red pública)
- Válvula reductora de presión (en su caso, pero casi siempre necesaria)
- Contador de agua C
- Desconector D automático
- Válvula de llenado rápido en paralelo a contador y desconector
- Manómetro o sonda de presión (presión del circuito)

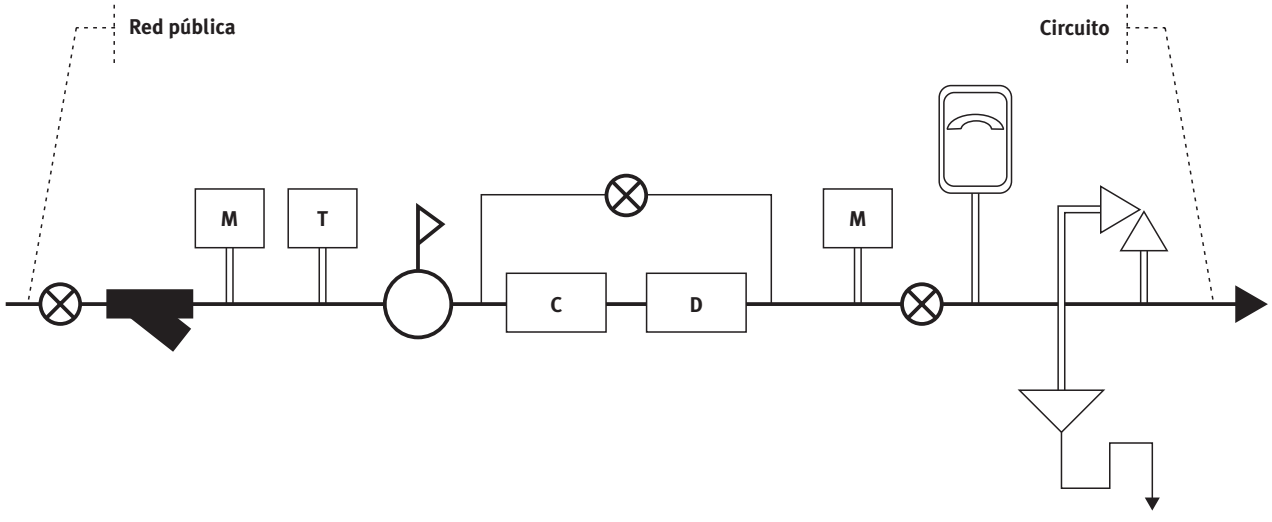


Fig. 34: Esquema de un SAES

- Válvula de corte (preferentemente de esfera)
- Vasos de expansión
- Válvula de seguridad con descarga vista

Se pueden instalar válvulas de corte entre el SAES y cualquier tipo de generador de calor porque éste tiene sus propias válvulas de seguridad que actuarían en caso de subida brusca de la presión (véase más adelante).

Un desconector o sistema de desconexión tiene las siguientes funciones:

– Impedir que, en caso de disminución o falta de presión en la red pública, el agua del circuito pueda retroceder y, por tanto, contaminar el agua de la red pública (los productos que se añaden al agua de un circuito para controlar la corrosión son generalmente tóxicos)

– Permitir el llenado automático del circuito en caso de pérdidas

En el mercado existen aparatos automáticos, denominados "desconectores", que cumplen con todas esas funciones. Los desconectores responderán a los requisitos marcados en la norma UNE-EN 1717.

El sistema de desconexión debe estar siempre protegido por un filtro, que ayudará a mantener limpios los asientos de los elementos que forman parte del conjunto de reposición. Si la presión de la red es fluctuante, se deberá instalar, además, aguas arriba del desconector, una válvula reductora de presión.

La reposición de agua debe ser controlada de forma continua mediante un contador (instalado entre la válvula reductora y el desconector), con el fin de medir el consumo y, por tanto, controlar la introducción de los componentes disueltos en la misma (oxígeno y sales, fundamentalmente), que tienen efectos dañinos sobre los componentes del circuito.

A este propósito cabe recordar que el empleo de bombas con cierre mecánico evita las pérdidas por goteo que, inevitablemente, tienen las bombas con cierre por prensaestopas. En general, cualquier medida que asegure el circuito contra fugas de agua será una medida que alargará la vida útil de los componentes del circuito al eliminar la entrada de agua nueva y, por tanto, de materias contaminantes y de aire disuelto.

El desconector no puede ser sustituido por válvulas de retención, ni siquiera cuando se pongan dos o más en serie. El desconector representa la única manera de evitar el contacto entre agua de la red pública y el agua de un circuito térmico; su instalación es de obligado cumplimiento.

Se hace notar, nuevamente, que entre el sistema de expansión y cada uno de los generadores existe un elemento de corte de la circulación de agua.

En el croquis de la figura 35 se representa el caso de una central de producción de calor, el más crítico. En la acometida eléctrica del circuito de mando al quemador estarán los contactos de la válvula motorizada (VM; directo o fin de carrera), la bomba primaria (BP) y, eventualmente, el interruptor de flujo (IF; o presostato diferencial PD).

Después de un cierre, voluntario o accidental, de la válvula de corte VM, que puede ser manual o motorizada, la secuencia de funcionamiento de los elementos es la siguiente.

Si la bomba primaria BP se para, se cortaría la alimentación eléctrica al quemador por enclavamiento directo y por el interruptor de flujo IF o presostato diferencial PD, además del contacto VM.

Si no hay circulación de agua por obstrucción de la tubería o por cierre de una válvula manual, estando la bomba en funcionamiento, el interruptor de flujo IF o el presostato diferencial PD cortaría la alimentación al quemador.

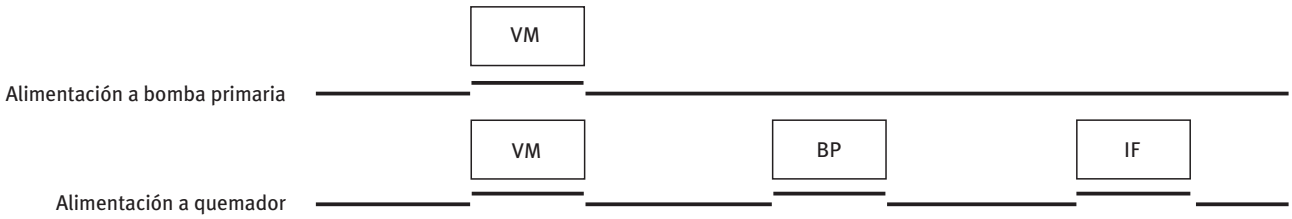


Fig. 35: Enclavamientos eléctricos

Si la válvula de corte estuviera cerrada, el contacto VM no permitiría el funcionamiento de la bomba y del quemador.

Si, a pesar de todos estos enclavamientos eléctricos, el quemador siguiera funcionando, intervendría la válvula de seguridad del generador (seguridad mecánica).

El vaso de expansión tendrá, en la gran mayoría de los casos, una membrana de separación entre el fluido portador y el aire o el nitrógeno.

También pueden emplearse, en grandes sistemas, sistema de expansión con desplazamiento de aire (descarga a la atmósfera y carga con compresor).

Sin embargo, cuando se trata de instalaciones con muy grandes volúmenes de agua, será necesario adoptar un sistema de expansión con desplazamiento de masa de agua de la red a unos tanques, en caso de expansión, o de unos tanques a la red, en caso de contracción.

El esquema de un sistema de expansión de este tipo se indica en la figura 36.

Se recuerda que la descarga de agua en un depósito de agua debe tener lugar siempre por debajo del nivel mínimo de agua MIN en el depósito, con el fin de reducir la mezcla entre aire y agua.

El volumen de fluido contenido entre las líneas MAX y MIN es el volumen máximo de expansión del sistema.

La superficie de contacto del fluido con el aire (los depósitos de la figura 36 están tapados, evidentemente) puede ser eliminada mediante el empleo de un aceite que cubra la superficie.

El control de la presión en el punto de referencia, con una tolerancia muy baja, se hará mediante sonda de presión que actuará sobre la válvula o sobre el grupo de presión, según se deba disminuir o aumentar la presión del circuito.

La reposición de agua se hará mediante sonda de nivel que actúa sobre una válvula en la acometida de agua de la red. En este caso, para evitar el temido retroceso de agua, la tubería de acometida quedará por encima del nivel máximo de agua en los depósitos.

Equipos de bombeo

Si se considera oportuno instalar una bomba primaria de reserva, se instalará un colector en descarga de las bombas (y otro en aspiración, si fuera necesario).

También las bombas secundarias pueden emparejarse cada una con una o más bombas de reserva, si se desea.

El esquema para n+1 bombas con conexiones al circuito está indicado en la figura 37, en el que se resalta la manera de cómo se deben hacer las conexiones a los colectores.

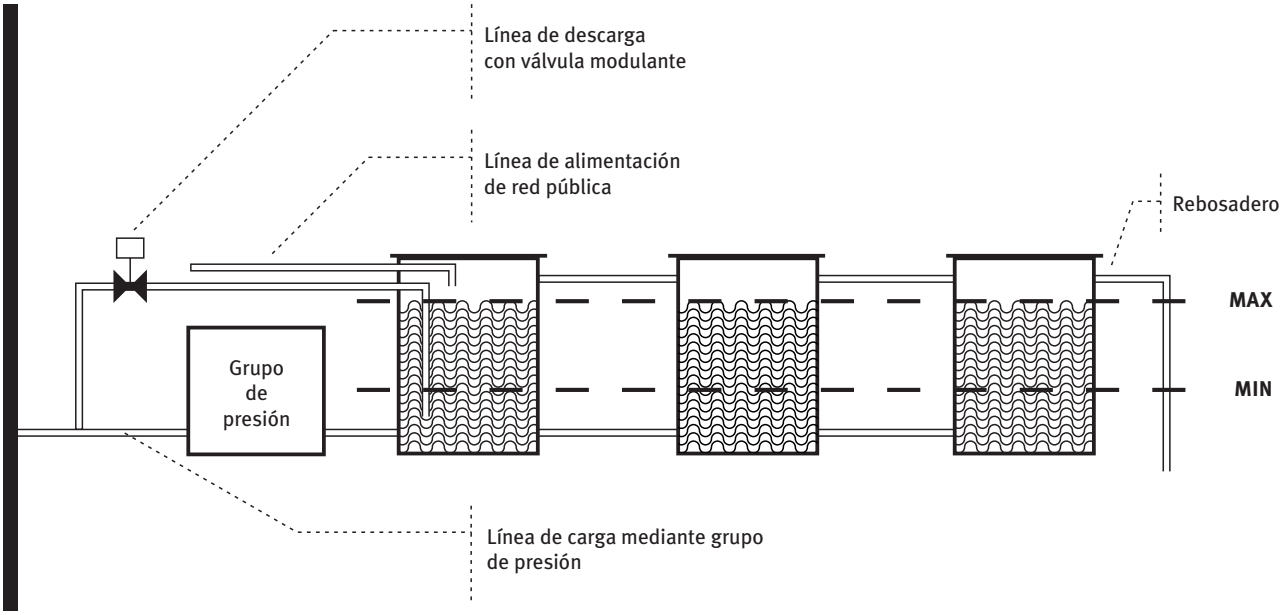


Fig. 36: Vaso de expansión abierto con desplazamiento de agua

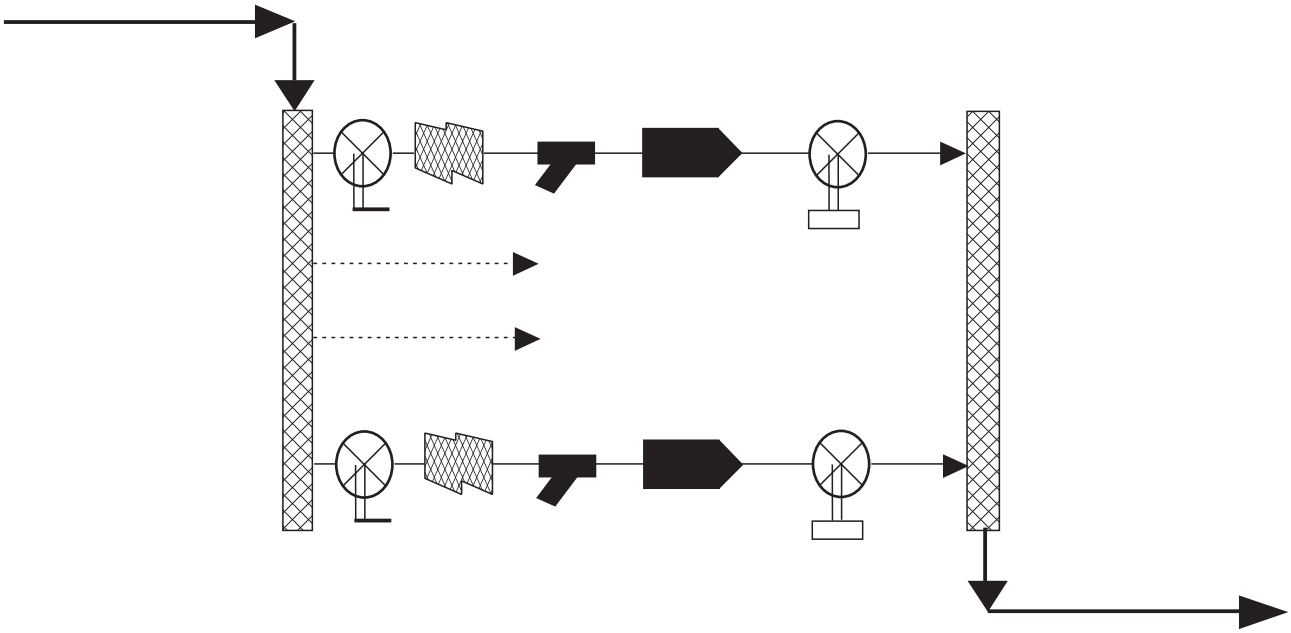


Fig. 37: Bombas en paralelo

Si los circuitos secundarios no funcionan, la temperatura del agua de retorno a los generadores tiende a igualar a la de impulsión y los generadores, de la manera adecuada, irán parcializando la producción de energía. Simultáneamente, las bombas primarias podrán reducir el caudal de forma proporcional, hasta alcanzar el mínimo impuesto por el fabricante del generador o de la bomba, el mayor entre los dos.

Si no funcionan los circuitos primarios pero sí los circuitos secundarios, el agua circulará en el tramo equilibrador en sentido inverso al del caso anterior.

Por tanto, en el tramo equilibrador no se deberá instalar ninguna válvula de cierre ni de retención; el agua debe circular siempre, en un sentido u otro, como se ha dicho.

Únicamente no existirá circulación de agua en los momentos en que haya un equilibrio perfecto entre los caudales de los circuitos primarios y los caudales de los circuitos secundarios, lo que se da solamente cuando los circuitos primarios y secundarios son de caudal variable.

Al ponerse en marcha o pararse cualquiera de los circuitos secundarios o de los circuitos primarios, el agua fluirá por el tramo equilibrador y permitirá que el sistema de control intervenga en el sentido oportuno para buscar el equilibrio.

Es necesario mencionar también que no deben ponerse válvulas de equilibrado en descarga de bombas porque éstas representan una pérdida intolerable de presión; la misma función la ejerce el rodete de la bomba. Cuando la bomba no suministre el caudal esperado, pueden darse dos casos:

- El caudal es en exceso. Si la diferencia es pequeña se podrá mantener ese exceso, aún cuando suponga que la bomba consuma un poco más de energía, o se podrá actuar oportunamente sobre el VFD (variador de frecuencia). Si el exceso de caudal es grande, significa que ha tenido lugar un error de diseño y, por tanto, habrá que cambiar el rodete (perdiendo algo de rendimiento) o, mejor, la misma bomba.

- El caudal es en defecto. En este caso, evidentemente, la válvula de equilibrado no sirve de nada. Ha tenido lugar un error de diseño y, por tanto, habrá que cambiar la bomba o, a veces, solamente el rodete (ganando algo de rendimiento).

Se examinan a continuación los cuatro casos que pueden presentarse relativos a los caudales de agua en los circuitos primarios y secundarios, recordando que al variar la potencia, demandada o suministrada, variará la temperatura en los circuitos de caudal constante y el caudal en los circuitos de caudal variable.

La variación de caudal en los equipos generadores, es decir, en el circuito primario, deberá quedar siempre dentro de los límites fijados por el fabricante de los mismos.

Bombas primarias de caudal constante y bombas secundarias de caudal constante

La suma de los caudales de agua de los circuitos secundarios que funcionen simultáneamente debería ser igual a la suma de los caudales de los circuitos primarios. Esto es muy difícil que se consiga, dado que la demanda nunca será igual a la oferta.

Cuando la carga térmica disminuya, variará la temperatura del agua de retorno de los circuitos secundarios (disminuirá en el caso de una central de generación de frío y aumentará en el caso de una central de producción de calor). El sistema de control reaccionará parcializando la entrega de energía por parte de los generadores.

Si hay una diferencia entre los caudales primarios y secundarios, pueden darse dos casos:

- El caudal primario es mayor que el secundario: falta poner en funcionamiento algún circuito secundario, es necesario parar un generador o hay un error de cálculo de caudales

- El caudal primario es menor que el secundario: falta poner en funcionamiento un generador, es necesario parar algún circuito secundario o hay un error de cálculo de caudales

En ambos casos, el fluido portador circula perfectamente en todos los circuitos.

Este sistema es comúnmente empleado para centrales de tamaño pequeño, hasta una potencia térmica de algunos centenares de kilovatios.

Bombas primarias de caudal constante y bombas secundarias de caudal variable

Cuando disminuye la demanda térmica disminuye también el caudal de agua en circulación en los circuitos secundarios.

El exceso de caudal de los circuitos primarios retornará a los generadores mezclándose con el retorno de los circuitos secundarios; la consecuente variación de temperatura será la señal para que el sistema de control actúe parcializando los generadores.

Viceversa: cuando la demanda aumente, aumentará también el caudal secundario; la variación de la temperatura

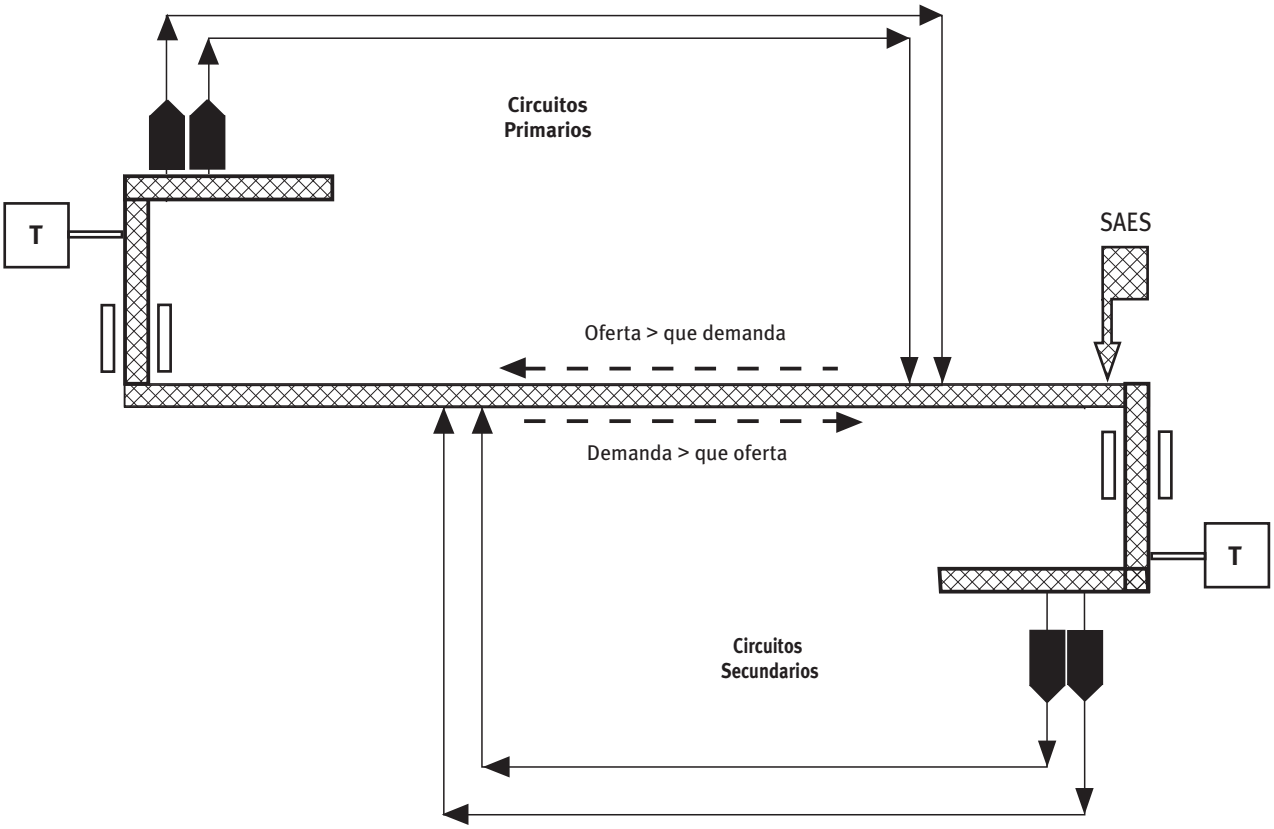


Fig. 38: Caudal en el tramo equilibrador

del fluido portador en el retorno de los generadores hará que éstos aumenten el suministro de energía térmica.

Este sistema se emplea en centrales de producción térmica de tamaño mediano a grande, hasta unos miles de kilovatios.

Bombas primarias de caudal variable y bombas secundarias de caudal constante

Este sistema no se emplea nunca, porque no permite que se ahorre energía en los circuitos que más energía de transporte demandan.

Bombas primarias de caudal variable y bombas secundarias de caudal variable

Los caudales primarios y secundarios son siempre iguales, dentro de los límites marcados por el fabricante de los generadores y de las bombas. La desigualdad instantánea de caudales hará reaccionar el sistema aumentando o disminuyendo el suministro de energía térmica, como se indica a continuación.

Al variar la carga térmica varía el caudal secundario, induciendo un caudal en el tramo equilibrador, según se indica en el esquema de la figura 38 (página anterior).

Si la demanda es mayor que la oferta se provoca un aumento del caudal primario y, en consecuencia, un aumento de la potencia suministrada por los generadores hasta equilibrarse con la demanda.

Si la oferta es mayor que la demanda se provoca una disminución del caudal primario (siempre dentro de los límites impuestos por el fabricante) y, en consecuencia, una disminución de la potencia suministrada por los generadores.

Este sistema se emplea en centrales de producción de tamaño grande y muy grande y representa, seguramente, el futuro de las centrales de producción de frío.

En definitiva, el sistema propuesto presenta una gran flexibilidad, tanto para su funcionamiento, como para los cambios que puedan presentarse en el futuro.

El empleo del VFD (*Variable Frecuency Driver*, variador de frecuencia o "inverter") en la alimentación de los motores de las bombas contribuirá, de forma significativa, a la disminución del consumo de energía y, también, al aumento de la vida útil de las mismas. El VFD podrá servir también, como se ha visto antes, para corregir las condiciones de funcionamiento de una bomba en caso de un pequeño error de diseño.

Se debe indicar que el empleo de circuitos primarios y secundarios no tiene sentido en pequeñas instalaciones de pocas decenas de kilovatios de potencia.

En las figuras 39 (a, b y c), se indican los esquemas más comúnmente empleados para los circuitos de las unidades terminales (o circuitos terciarios), obviando representar, por simplicidad, válvulas de equilibrado e instrumentos de control y medida.

- Caudal constante en circuito secundario y variable en unidad terminal

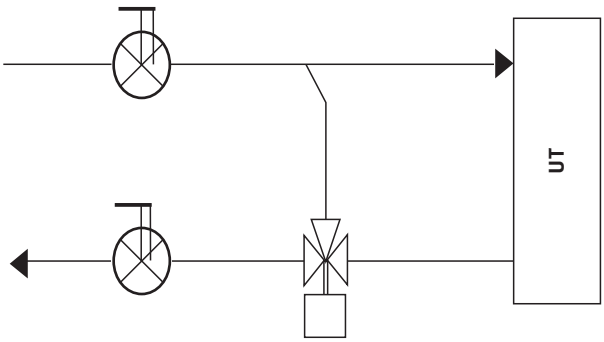


Fig. 39a

- Caudal variable en circuito secundario y en unidad terminal

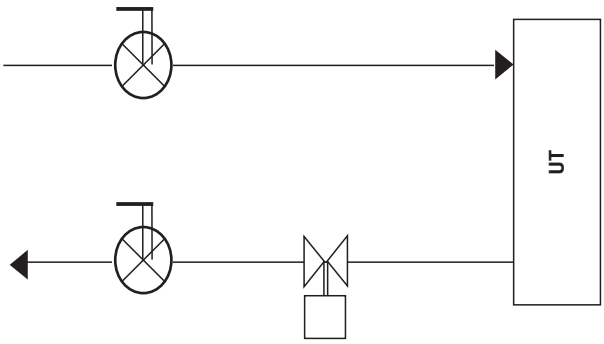


Fig. 39b

- Caudal variable en circuito secundario y constante en unidad terminal

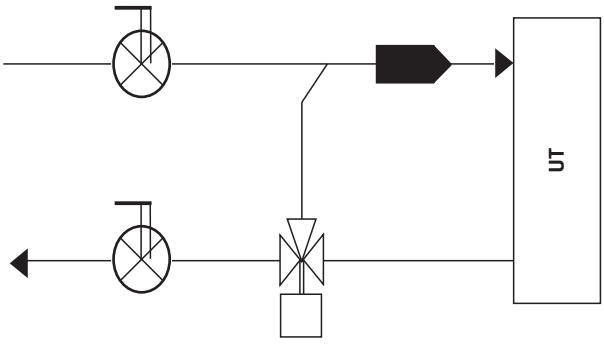


Fig. 39c

Nota: las válvulas de tres vías representadas son del tipo a mezcla

Cuando el circuito secundario sea de caudal variable habrá que instalar un presostato diferencial en un lugar adecuado del sistema con el fin de mantener constante la presión en el punto más desfavorecido.

Además, habrá que mantener un caudal mínimo en la bomba con el fin de permitir su enfriamiento. El caudal, indicado por el fabricante de la bomba, se obtendrá poniendo válvulas de bypass en los puntos extremos del circuito.

De nuevo se menciona que las tuberías de acometida a un grupo de bombeo, cuando esté formado por más de dos bombas, se deben conectar, convenientemente, en los extremos de los colectores de aspiración e impulsión, como se muestra en el esquema de la figura 40. El circuito queda perfectamente equilibrado.

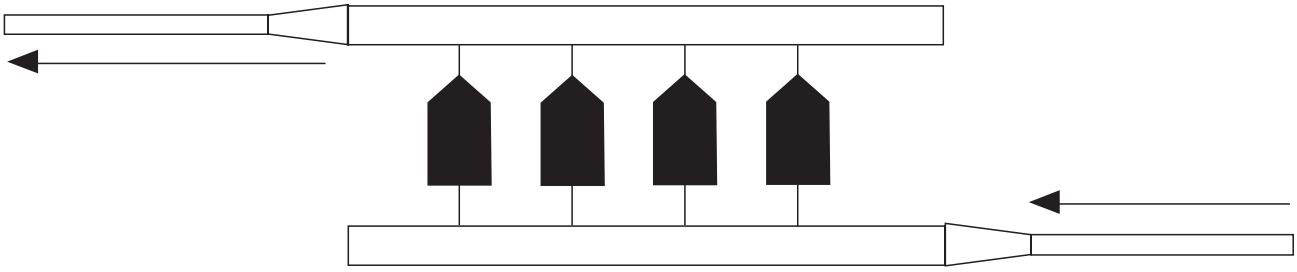


Fig. 40: Conexión de bombas en paralelo

Centrales urbanas

Las centrales de producción de calor y frío para distritos, barrios o grandes complejos urbanísticos empiezan a ser tomadas en consideración en España, a semejanza de lo que se acostumbra hacer desde hace decenios en Europa del Norte y del Este, en América del Norte y en Australia.

El fluido portador, normalmente agua, se transporta en tuberías preaisladas enterradas directamente en el terreno. Las pérdidas o ganancias de calor a lo largo del recorrido son muy pequeñas comparadas con la potencia o energía transportada. Lo mismo puede afirmarse para las pérdidas por disponibilidad de servicio.

Las normas relacionadas con las tuberías preaisladas son las siguientes: UNE-EN 253, UNE-EN 488, UNE-EN 489 y UNE-EN 13941.

El mismo tipo de tubería podrá emplearse para distribución de agua refrigerada.

A la acometida en cada edificio se deben poner sendos intercambiadores de calor, en el circuito de calor y en el de frío, con el fin de separar hidráulicamente las instalaciones interiores de la central urbana y las extensas redes de distribución de las instalaciones interiores de los edificios.

Están disponibles en comercio numerosos tipos de subcentrales urbanas prefabricadas, con uno, dos o tres intercambiadores (frío, calor y ACS), todas dotadas de válvulas de corte, de equilibrado y de control, así como de contadores de energía térmica, aún cuando todos los componentes, si se desea, pueden ser seleccionados de forma independiente.

Para elegir las temperaturas de distribución del fluido portador se seguirán los criterios que se exponen a continuación.

En los sistemas de calentamiento, la tendencia actual es la de emplear unidades terminales de baja temperatura, incluso radiadores con entrada de agua a 70 °C, para favorecer el uso de ciertas fuentes de energía de bajo nivel térmico (paneles solares, equipos de mini-cogeneración y motores Stirling), las limitaciones económicas de otras (calderas de biomasa) o el empleo de calderas de baja temperatura o condensación.

Por otra parte, la necesidad de preparar el agua caliente sanitaria a una temperatura igual o mayor que 60 °C impide que el nivel térmico sea demasiado bajo, por lo menos cuando el ACS demanda energía.

Estos hechos imponen que el salto de temperatura en centrales de edificios no pueda ser mayor que 30 °C.

En centrales urbanas, sin embargo, se pueden emplear saltos de temperatura más elevados, entre 30 y 50 °C, pudiendo ser mucho mayores, hasta 80 °C, cuando se emplee agua sobrecalentada preparada por vapor. Los resultados son una importante disminución de los diámetros de las tuberías y de la potencia de bombeo.

Además, podrá admitirse una ligera disminución del nivel térmico del agua, siempre que éste sea mayor que el nivel demandado por un sistema de preparación de agua caliente sanitaria.

Para el agua refrigerada, los fabricantes europeos han adoptado la regla de indicar las prestaciones de sus equipos con una temperatura de impulsión de 7 °C y una temperatura de retorno de 12 °C (para parecer igual de eficientes que los equipos procedentes de los EE.UU., que dan las prestaciones a 44 y 54 °F, respectivamente).

El uso indiscriminado de esas temperaturas para cualquier potencia es incorrecto: al aumentar la potencia, se debe aumentar el salto de temperatura.

Esas temperaturas pueden mantenerse para equipos con potencia de hasta unos 200 KW; para potencias mayores habrá que disminuir gradualmente la temperatura de salida de agua, aún cuando se disminuyan las prestaciones de la maquinaria frigorífica, y aumentar la de retorno, cuyo límite superior está marcado por las unidades terminales y por el fabricante del equipo frigorífico.

Una proposición puede ser la indicada en el gráfico de la figura 41.

El concepto anterior se explica en este ejemplo. Una tubería tiene que transportar 1.000 kW.

Si la temperatura del agua va de 5 a 14 °C, el caudal es 26,47 Kg/s y el cálculo conduce a las siguientes soluciones:

DN 125; 1,92 m/s; 327 Pa/m, o, alternativamente: DN 150; 1,31 m/s; 128 Pa/m;

Si la temperatura del agua va de 7 a 12 °C, el caudal es de 47,65 kg/s y las soluciones son:

DN 150; 2,36 m/s; 379 Pa/m, o, alternativamente: DN 200; 1,38 m/s; 99,6 Pa/m.

Los resultados no necesitan comentarios.

Naturalmente, las consideraciones de arriba no son válidas cuando se trate de máquinas de absorción, para las cuales el funcionamiento a temperaturas de salida del agua menores que 6 °C conduciría a importantes disminuciones de la eficiencia del equipo. La mayoría de los equipos no pueden bajar de 5 °C y algunos no permiten salto de temperatura menores que 5 °C.

La temperatura del fluido portador de centrales frigoríficas a servicio de múltiples usuarios se mantiene, normalmente, constante a lo largo de todo el año para poder satisfacer la demanda específica de un usuario en particular, además de las necesidades de deshumidificar.

Sin embargo, cuando la demanda frigorífica de todas las unidades terminales disminuya y la relación calor sensible/calor total se acerque a la unidad, cabe la posibilidad de aumentar la temperatura de impulsión del agua refrigerada hasta 9 ó 10 °C. Si el sistema de control es capaz de manejar tales situaciones, el consumo de energía se verá disminuido de forma notable.

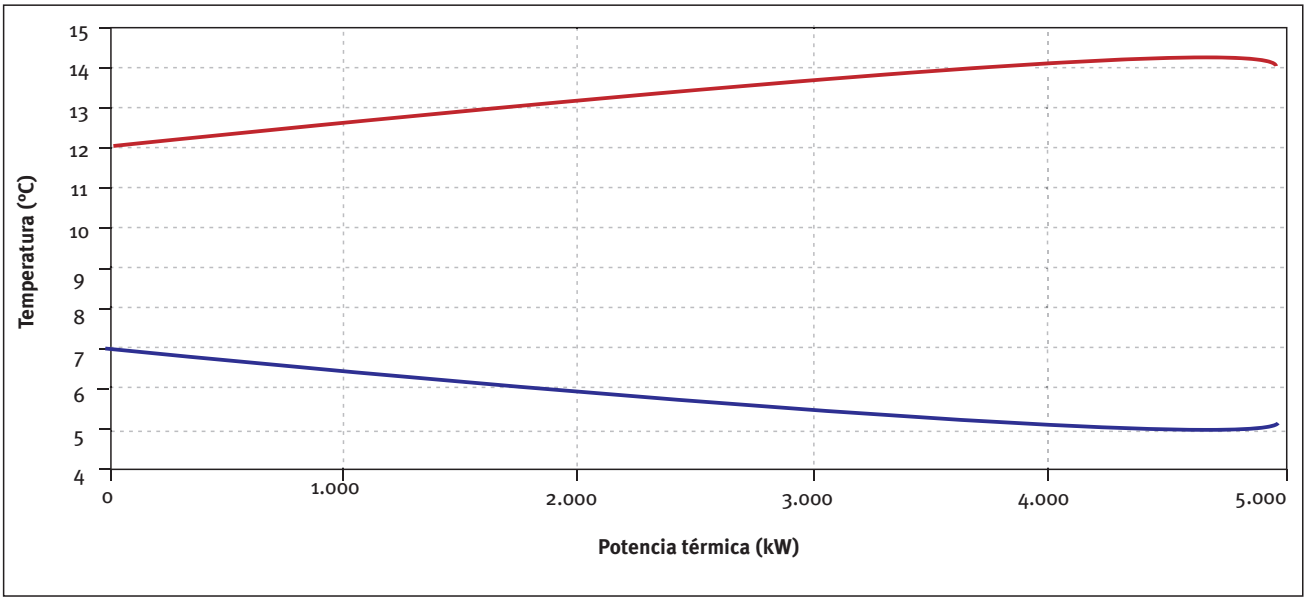


Fig. 41: Temperaturas de impulsión y retorno de centrales de agua refrigerada

1.2.4.1.2 Generación de calor

El RD 275/1995 de 24 de febrero, transposición de la Directiva Europea 92/42/CEE (RD 275 de 1995), establece los requisitos de rendimiento energético de las calderas de 4 kW a 400 kW de potencia nominal, alimentadas con combustibles fósiles líquidos y gaseosos, a la potencia nominal y a la carga parcial del 30%, a la temperatura media del agua que indique el fabricante. Para potencias mayores las prestaciones de las calderas serán iguales o mejores que las de las calderas de 400 kW.

Esta Directiva está a la espera de una revisión que prime el rendimiento medio estacional en lugar del rendimiento instantáneo.

Los rendimientos mínimo de la citada Directiva son los indicados en las figuras 42 y 43 (ES caldera Estándar, BT caldera de Baja Temperatura, CD caldera de ConDensación):

Para apreciar mejor las diferencias de prestaciones entre los distintos tipos de calderas, todos los rendimientos se muestran en el gráfico de la figura 44 (página siguiente).

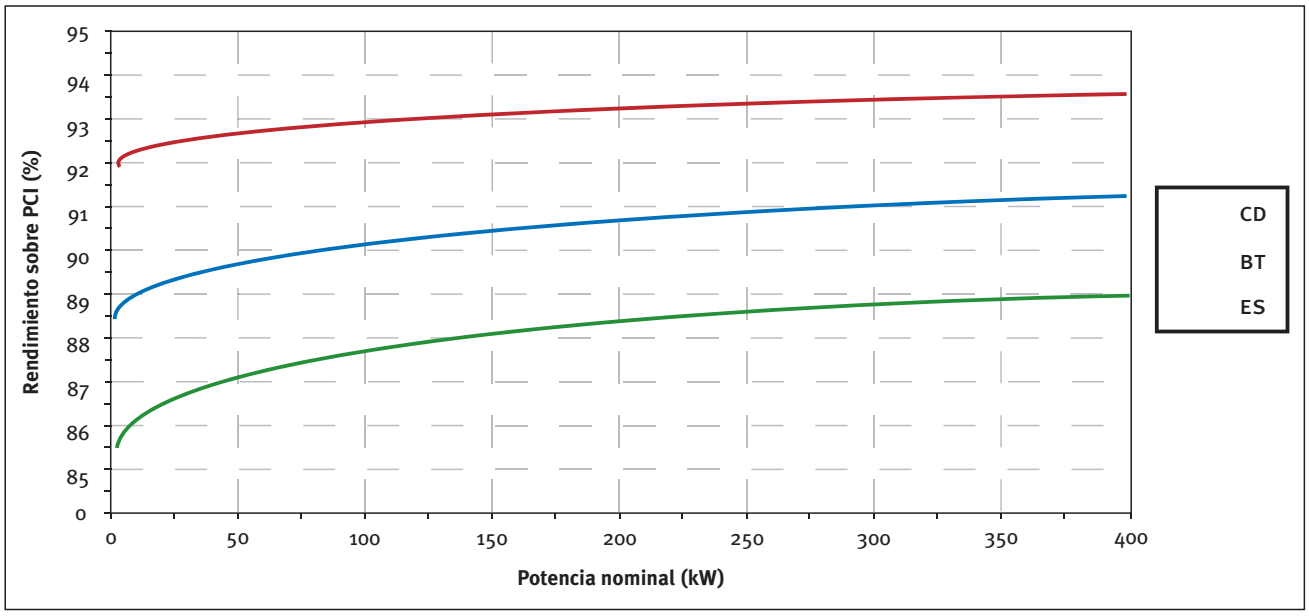


Fig. 42: Rendimientos de calderas al 100% de la carga

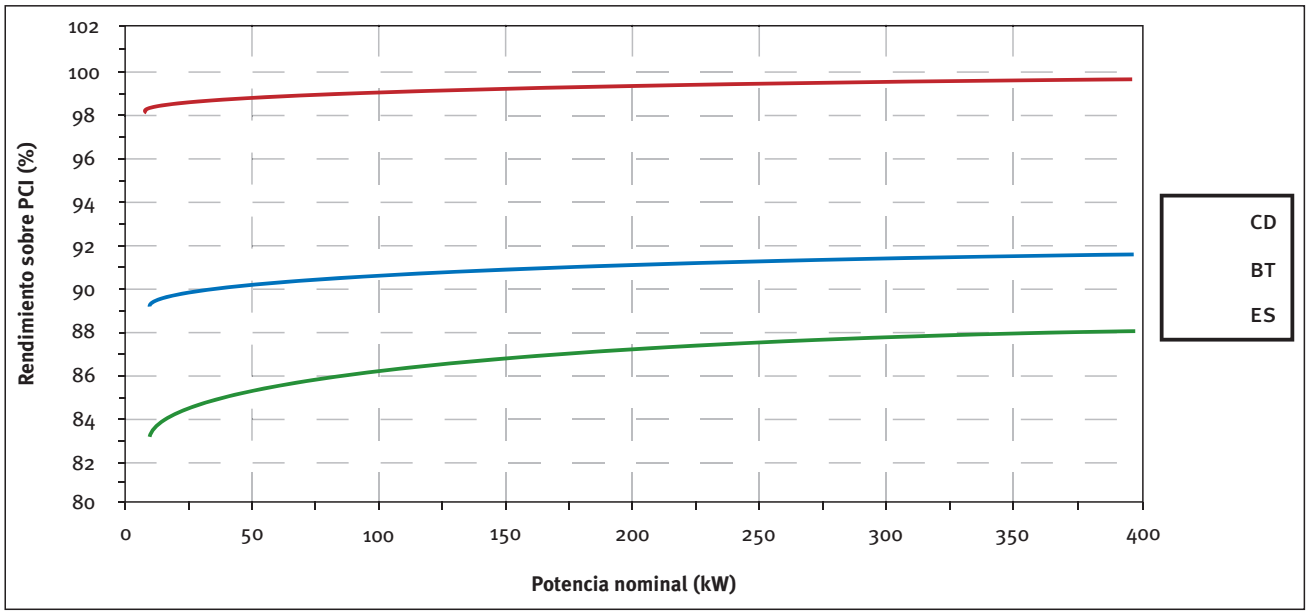


Fig. 43: Rendimientos de calderas al 30% de la carga

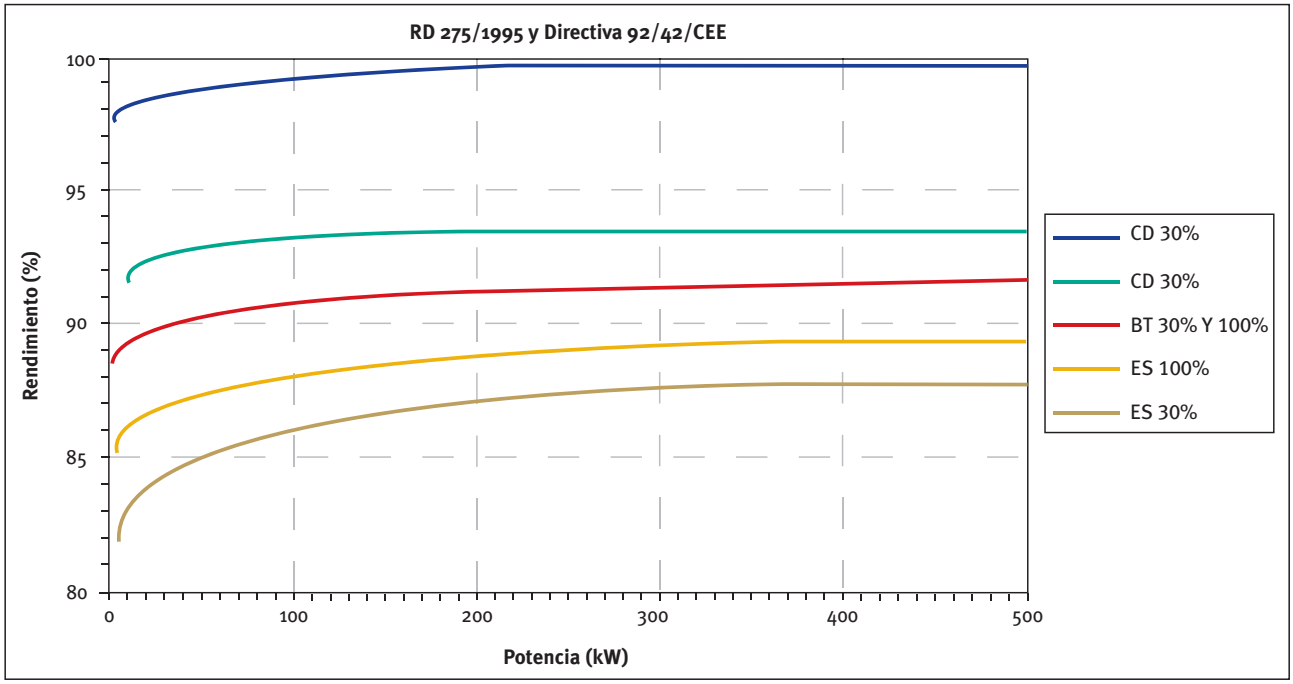


Fig. 44: Rendimientos al 100% y al 30% de la carga

Se hace hincapié en la extraordinaria importancia del rendimiento a carga parcial (30%), que es determinante para el rendimiento medio estacional.

Del examen de la figura 44 se deduce:

- Para las calderas estándar se exige un rendimiento menor a carga parcial que a plena carga
- Para las calderas de baja temperatura se exige el mismo rendimiento a carga parcial que a plena carga
- Para las calderas de condensación el rendimiento a carga parcial es mucho más elevado que el rendimiento a plena carga

Unas mediciones del rendimiento instantáneo a plena carga, efectuadas hace algunos años en 114 calderas de tipo estándar, de pequeña y mediana potencia, situadas en 74 salas de máquinas, han presentado los siguiente resultados:

- Rendimiento instantáneo medio: 76,7%
- Rendimiento instantáneo mínimo: 49,6%
- Rendimiento instantáneo máximo: 88,3%

Si el rendimiento instantáneo medio resulta ser del 77%, es de suponer que el rendimiento medio estacional sea menor en unos 15 puntos por lo menos (un poco más del 60%). Los valores indicados deben ser considerados intolerables; sólo un 10% de las calderas cumpliría con las exigencias de la Directiva.

En la actualidad, los rendimientos a plena carga de todo tipo de caldera para combustibles gaseosos y líquidos superan con holgura el 90%. La diferencia entre un tipo de caldera y otro está, prácticamente, en el rendimiento a carga parcial; éste significa que las pérdidas por disponibilidad de servicio son muy bajas.

Con el fin de cumplir con las exigencias técnicas del procedimiento prestacional, el técnico deberá exigir al fabricante los rendimientos desde la plena carga hasta el 30% de la potencia máxima, de 10 en 10 puntos, del conjunto de caldera y sistema de combustión para el combustible para el que han sido diseñados.

Para el fraccionamiento de potencia de centrales alimentadas por combustibles fósiles se deberán seguir las instrucciones indicadas en el apartado 1.2.4.1.2.2.

Se deberán instalar dos calderas cuando la potencia de la central sea mayor que 400 kW, por razones de fiabilidad del sistema de producción.

Los sistemas equipados con calderas de baja temperatura y de condensación, así como otras calderas que no entran dentro de las definiciones del RD 275, se deben diseñar con descenso progresivo de la temperatura a cargas parciales. Las calderas convencionales o estándar no admiten esta técnica, porque la temperatura del agua de retorno no puede descender de unos 70 °C.

Se menciona que las pérdidas por disponibilidad de servicio son de escasa entidad cuando se comparan con la potencia de un generador de baja temperatura o condensación (menos del 1%, debido al elevado espesor del aislamiento térmico del cuerpo de la caldera) y un poco más para generadores convencionales modernos (entre el 2 y el 3%).

Sin embargo, desde el punto de vista de la energía consumida, estas pérdidas son muy importantes, sobre todo para calderas convencionales.

El descenso progresivo de la temperatura del agua del circuito en función de la temperatura exterior en las calderas de baja temperatura y de condensación permite disminuir las pérdidas totales, es decir, no solamente las pérdidas por disponibilidad, sino también las pérdidas en los productos de la combustión.

Cuando la potencia sea menor que 400 kW, se podrá instalar una sola caldera siempre que la potencia del sistema de preparación de ACS sea mayor o igual que la potencia del primer escalón del quemador.

Esta condición se cumple fácilmente si el sistema de preparación de ACS es del tipo instantáneo o semi-instantáneo o si el quemador es de tipo modulante.

En el apartado siguiente 1.2.4.1.2.3 se establece el número de marchas de los quemadores, que aquí se repite para comodidad del lector.

Potencia térmica nominal del generador (kW)			Regulación
	P ≤	70	Una marcha
70	< P ≤	400	Dos marchas
400	< P		Tres marchas

La regulación modulante se admite para cualquier potencia, obviamente.

Calderas de biomasa

Para calderas alimentadas con combustibles residuales o renovables, o para calderas de recuperación de efluentes, no son exigibles los rendimientos anteriores. El RITE establece un rendimiento mínimo a plena carga del 75%, solamente, para calderas alimentadas con biomasa. En el mercado, sin embargo, existen calderas con rendimientos mayores que el 90%; se debe exigir un mínimo del 85%.

Algunos fabricantes diseñan la caldera a la medida de las necesidades del cliente.

En cualquier caso, se deberá exigir el cumplimiento del reglamento de aparatos a presión, así como el marcado CE.

La masa biológica presente en el mercado está compuesta por una gran variedad de productos, como:

- Residuos vegetales (podas, siegas, limpieza de montes)
- Residuos de la industria maderera (serrín, etc.)
- Paja y residuos cereales
- Cáscaras de frutos secos (almendras, etc.)
- Residuo del proceso de elaboración de aceite de oliva (alpechín)
- Orujo de uva
- Cultivos industriales de algodón, girasol, caña de azúcar, etc.
- Cultivos energéticos
- Residuos de la ganadería

La biomasa es un combustible renovable y respetuoso con el medio ambiente, ya que el balance de dióxido de carbono es nulo (el dióxido de carbono que el vegetal ha absorbido a lo largo de su vida viene devuelto a la atmósfera, se pudra o se queme).

Una central de biomasa permite la eliminación de residuos orgánicos e inorgánicos, al mismo tiempo que se les da una utilidad.

En todos los casos, el producto, de baja densidad aparente, se suele presentar en forma compactada.

Los parámetros de un combustible a tomar en consideración son:

- La granulometría; se suelen usar productos compactados con densidades entre 150 y 400 kg/m^3.
- El contenido de humedad, tanto la de la composición química del combustible, como la absorbida, que está normalmente entre el 30 y el 45%, pudiendo alcanzar valores incluso mayores que el 50%, como en los residuos muy húmedos de bosques, cortezas y aserrín.
- El contenido en ceniza, que está normalmente entre el 0,5 y el 3%.

– El poder calorífico inferior, que está normalmente entre 1,8 y 4,5 kWh/kg.

Es importante cerciorarse de la capacidad de la caldera de quemar el combustible disponible.

La combustión debe tener lugar a temperaturas mayores que 900 ºC para reducir la presencia de sustancias tóxicas y de parte de los olores en los productos de la combustión.

Una central de biomasa necesita almacenamiento de combustible, tratamiento de humos para la eliminación de las partículas sólidas, alguna forma de almacenamiento de las cenizas (ceniceros) e importantes medidas de protección contra incendios.

Se recomienda al técnico que escoja un fabricante que suministre todos los componentes de la central térmica, es decir:

– El almacenamiento de combustible (hay fabricantes que venden silos de almacenamiento)

– El transporte del combustible desde el lugar de almacenamiento hasta la caldera

– El almacenamiento de las cenizas

– El tratamiento de los humos

y que, además, se haga cargo del montaje y la puesta en marcha de la central.

Para calderas con combustibles residuales o renovables y para calderas de recuperación, el técnico tiene libertad para elegir el número de generadores. Solamente la fiabilidad del servicio y el perfil de la carga térmica podrá guiar en la determinación del número de generadores, cuando se conozcan las prestaciones a carga parcial del equipo. Se recomienda, por evidentes razones, diseñar la central con, por lo menos, dos generadores.

Los inconvenientes de una central térmica de biomasa son los descritos a continuación.

– Los costes de inversión son sensiblemente elevados (hay todavía pocos fabricantes en Europa, aunque haya un gran número de tipos de calderas).

– Se requiere un espacio mayor que el que necesitan las calderas de combustible líquido y gaseoso, también por la necesidad de almacenar combustible de un poder calorífico bastante menor que el del gasóleo.

– Se requieren medidas de seguridad contraincendios, difíciles de cumplir en la rehabilitación de edificios.

– Se provoca tráfico de vehículos pesados, lo que, probablemente, es inadmisible en el casco urbano de una ciudad.

El coste del combustible es sensiblemente menor que el de los combustibles fósiles (cerca de un 70% del coste del gas natural) y suele seguir las variaciones del coste de éste en el mercado.

Es conveniente que la caldera de biomasa esté un poco sobredimensionada para cubrir posibles oscilaciones del poder calorífico del combustible.

Los productos de la combustión deberán cumplir con los requerimientos medioambientales de las autoridades locales, que limitan los valores máximos de las emisiones de contaminantes.

No existe todavía una reglamentación específica sobre salas de máquinas, como sucede para salas de calderas de combustibles líquidos y gaseoso. En todos los casos, las salas de máquinas deben diseñarse con holgura, previendo el espacio para facilitar el mantenimiento e, incluso, para quitar o reponer equipos. Se pueden sugerir las siguientes reglas:

– Distancia mínima entre calderas y entre calderas y cerramientos del recinto: 80 cm

– Altura de la sala de máquinas: 100 cm o más por encima del punto más alto de la caldera o del equipo de depuración de humos

– Se deberá prever la posibilidad de evacuar las cenizas, mediante un acceso fácil al cenicero

– Se deberá prever el acceso alrededor del equipo de tratamiento de humos y al correspondiente cenicero

El silo de almacenamiento de combustible deberá estar a una distancia de 2,5 m, por lo menos, de la central y debe estar separado de ella por un cerramiento con resistencia al fuego de 120 minutos. Particular atención se debe prestar al paso del elemento de transporte del combustible a través del cerramiento.

La sala de máquinas y el silo deberán cumplir con las normas de seguridad contra incendios dictadas por el Código Técnico de la Edificación.

Las emisiones de contaminantes deberán estar contenidas dentro de los siguientes límites (en caso de que no exista reglamentación específica de las autoridades locales):

- Óxidos de nitrógeno: 650 mg/Nm³
- Monóxido de carbono: 500 ppm
- Partículas: 200 mg/Nm³

El contenido de oxígeno deberá ser menor que el 6% y la temperatura de los productos de la combustión no deberá ser mayor que 180 °C.

Cogeneración

La cogeneración es una técnica que permite producir calor útil y electricidad en un único proceso mediante turbinas o motores de combustión interna, empleando como energía primaria incluso fuentes de energía renovables o residuales, además de los combustibles tradicionales.

La generación de energía eléctrica "in situ", fomentada por la Directiva 2004/8/CE (véase el RD 616/2007), es muy ventajosa porque permite:

- Una reducción importante de las pérdidas de energía eléctrica en la red de transporte
- El aprovechamiento de la energía térmica de refrigeración del aceite lubricante, de la camisa del motor y de los gases de escape (calor útil)

La actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial está regulada en el RD 661/2007.

El rendimiento energético global de las centrales de cogeneración puede alcanzar un valor del orden del 90%. En adelante se empleará el acrónimo CHP (*Combined Heat and Power*) para designar estos tipos de instalaciones.

El calor recuperado puede servir para satisfacer las necesidades de calefacción y refrigeración, éstas últimas mediante máquinas de absorción. Para maximizar la recuperación de calor y, al mismo tiempo, alargar las horas anuales de funcionamiento, es necesario almacenar energía térmica, en forma de calor o frío.

Las emisiones de contaminantes deben ser limitadas; a falta de una legislación específica, se indican los valores, muy exigentes, permitidos por el estado de California:

- NO_x:
  32 g/MWh eléctrico
- CO:
  45 g/MWh eléctrico
- COV (Compuestos Orgánicos Volátiles):
  91 g/MWh eléctrico

Existen en comercio equipos que alcanzan solamente pocos kW de potencia eléctrica, de tamaño pequeño y con un nivel sonoro aceptable. Estos equipos suelen ponerse en paralelo y acoplarse a sistemas de acumulación de agua caliente, con el fin de aumentar las horas anuales de funcionamiento. Cuando se necesita parcializar, los equipos funcionan de forma escalonada, en modo todo-nada.

El nivel térmico de la energía recuperada no es suficiente para acoplar máquinas de absorción con una eficiencia aceptable.

Estos sistemas se denominan de micro-cogeneración y pueden emplearse en edificios de viviendas para cubrir las necesidades de agua caliente sanitaria y, parcialmente, de calefacción, sustituyendo, ventajosamente, los sistemas de paneles solares térmicos.

La vida media de estos equipos es de unas 35.000 horas, con intervalos de mantenimiento de unas 10.000 horas.

Los equipos de unos centenares de kW de potencia eléctrica se denominan sistemas de mini-cogeneración.

Estos equipos compiten ventajosamente, tanto desde el punto de vista técnico como económico, en edificios de viviendas con una solución basada en paneles solares térmicos más calderas de gas o gasóleo.

Los equipos de potencias de más de un megavatio se suelen emplear para grandes centrales urbanas.

Motores Stirling

Otra tecnología emergente es la de los motores de combustión externa, basados en un ciclo termodinámico cerrado y reversible, con compresiones y expansiones cíclicas de un fluido de trabajo (usualmente helio; pueden usarse también aire, nitrógeno o hidrógeno) a diferentes niveles de temperatura. Los motores de combustión internas, sin embargo, basan su funcionamiento en un ciclo abierto hacia el ambiente exterior, donde toman el aire y descargan los gases de combustión. Por

esta razón, los motores Stirling son limpios y silenciosos, ya que no hay productos de la combustión.

Un suministro de energía térmica produce energía mecánica, que normalmente se transforma en energía eléctrica, y energía de menor nivel térmico.

Por el contrario, si a un motor Stirling se suministra energía mecánica, mediante un motor eléctrico, por ejemplo, se puede producir energía térmica. De esta manera, el motor Stirling puede funcionar como una bomba de calor.

Estos motores pueden emplear fuentes renovables de energía, como la energía solar o la procedente de la biomasa.

En comercio existen algunos motores de algunas decenas de kW eléctricos.

Centrales urbanas

Las ventajas que presentan las centrales urbanas con respecto a las centrales de edificios y, en mayor medida, a las instalaciones individuales son las siguientes:

- Mayor cantidad de recursos disponibles, porque se pueden emplear combustibles de difícil aplicación en escala pequeña (por ejemplo, la biomasa).
- En caso de falta de suministro del combustible, posibilidad de cambio por otro disponible en el mercado.
- Las centrales suministran directamente la energía al usuario, que no tiene necesidad de manipular y almacenar combustible.
- Se elimina el mantenimiento de las centrales de los edificios o de las calderas individuales.
- Las centrales urbanas no afectan a las instalaciones interiores de los usuarios.
- Se garantiza el suministro de energía durante veinticuatro horas al día, todos los días del año.
- Una planta central es mucho más eficiente que una multitud de plantas pequeñas o calderas murales.
- Existe un mejor control de las emisiones por estar éstas centralizadas en un solo punto.
- En el interior de los edificios se recuperan espacios y se eliminan peligros.

El fluido portador, caliente o frío, se distribuye mediante tuberías, preferentemente preaisladas, con un sistema de bombeo de caudal variable.

En la acometida a cada usuario o edificio se instalan subcentrales térmicas, prefabricadas o no, dotadas de medidores de energía y elementos de control e interceptación.

En la figura 45 se representa esquemáticamente un intercambiador de una subcentral, para la preparación de agua caliente, agua refrigerada o agua caliente sanitaria.

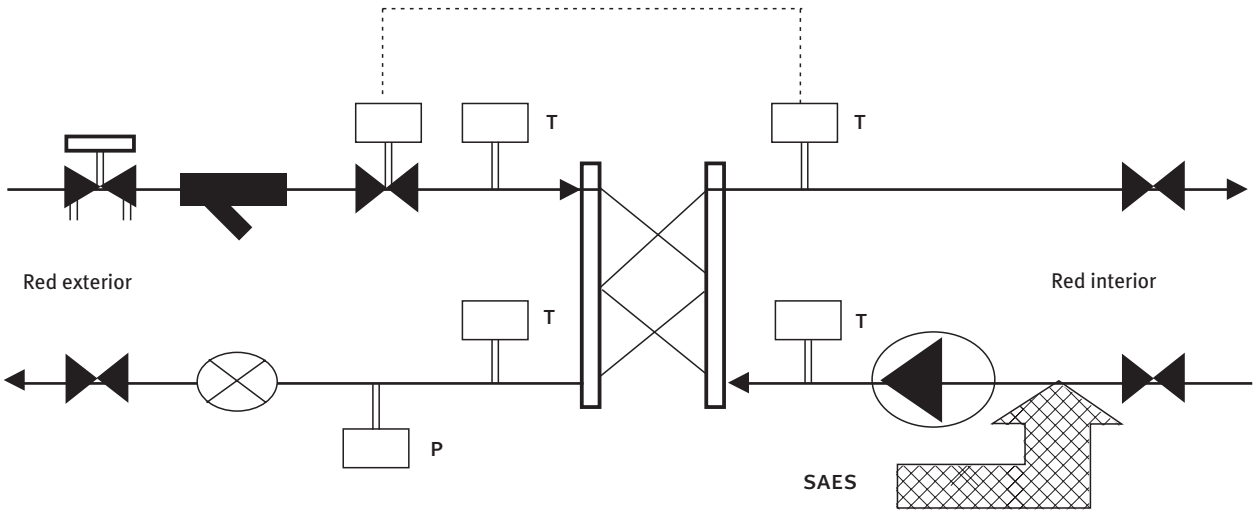


Fig. 45: Subcentral térmica

Es conveniente que a la entrada de cada edificio o de cada propiedad se interponga un intercambiador de calor entre la red urbana y la red interior, particularmente cuando la explotación de la central sea confiada a una empresa sin relación alguna con los usuarios (véase figura 45 en página anterior). De esta manera, la manipulación por parte de un usuario de sus instalaciones no afectará a la red de distribución.

La energía térmica se paga mediante un término fijo, indexado al índice de precios al consumo, y uno proporcional al consumo, indexado al precio del gas natural.

En el término fijo están comprendidos los servicios de conducción de la instalación, mantenimiento preventivo y correctivo, adquisición de la energía primaria y garantía de un servicio continuado 24 horas al día.

1.2.4.1.3 Generación de frío

El técnico deberá exigir al fabricante de los equipos frigoríficos las prestaciones energéticas de los mismos (EER para el régimen de refrigeración y COP para el de bomba de calor) al variar la carga desde el máximo hasta el límite inferior de parcialización en las condiciones de diseño.

Sobre la base de estos datos, el técnico podrá calcular las prestaciones energéticas de la central en su conjunto.

Se deberá indicar la clase de eficiencia energética de los equipos que dispongan de etiquetado energético, según la conocida escala de siete valores, de A (más eficiente) a G (menos eficiente). Por ejemplo, la etiqueta energética para una máquina de acondicionamiento de tipo doméstico deberá contener esta información:

- Parte para la identificación del fabricante
- Modelo de equipo
- Clase energética a la que pertenece (de A a G)
- Logotipo de etiquetado ecológico (en su caso)
- Consumo anual en condiciones estándar, kWh/año
- Potencia de refrigeración, kW
- Índice de eficiencia energética
- Tipo de aparato
- Clase de eficiencia energética en bomba de calor
- Ruido, dB

Esta información es válida para sistemas aire-aire y agua-aire, con potencia frigorífica hasta 12 kW, de tipo split, multi-split, compactos y portátiles, en modo frío o bomba de calor.

Como se ha comentado anteriormente (apartado 1.2.4.1.1), los criterios de selección, en fase de diseño, del salto de temperatura del agua refrigerada y, por tanto, de los niveles térmicos en entrada y salida de los equipos de producción tendrán en consideración la reducción del consumo de las plantas enfriadoras, la reducción del consumo de energía de bombeo y de las dimensiones de las conducciones. La optimización del sistema se podrá buscar simulando el comportamiento del mismo a lo largo del período de un año.

Cuando se emplee agua glicolada, se deberán tener en cuenta las características del fluido para dimensionar correctamente las conducciones y las superficies de intercambio térmico.

En la siguiente tabla se indican, como ejemplo, las características principales de una solución de etilen-glicol en agua, con inhibidores de la corrosión, al variar el porcentaje en peso y las correspondientes características del agua pura (comparación a la temperatura de 7 °C).

		Agua	Agua glicolada (%)				
Porcentaje en peso	**%**	**–**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
Temperatura de congelación	°C	0	-3,2	-7,8	-14,1	-22,3	-33,8
Densidad	kg/m³	1	1,02	1,03	1,05	1,06	1,08
Calor específico	kJ/(kg·K)	4,197	3,966	3,811	3,642	3,459	3,262
Conductividad térmica	W/(m·K)	0,582	0,528	0,486	0,447	0,411	0,377
Viscosidad dinámica	mPa·s	1,44	1,61	2,29	2,99	4,19	5,70

Los valores indicados dependen sensiblemente de la composición del producto, es decir, del fabricante y, por supuesto, de la temperatura de funcionamiento.

No es recomendable emplear concentraciones de glicol menores que el 20% en peso.

La concentración de glicol en agua debe comprobarse una vez al año.

Una vez determinada la temperatura mínima de funcionamiento del fluido, el porcentaje de producto se elegirá con un cierto margen de seguridad para compensar la eventual falta de homogeneidad de la mezcla (temperatura de protección).

La disolución de etilen-glicol, propilen-glicol o de fluidos orgánicos sintéticos en agua debe prepararse en un depósito, donde se mezclará antes de su introducción en el circuito. La reposición de las pérdidas deberá hacerse mediante una bomba que aspirará la solución del depósito (véase figura 46).

Al aumentar el porcentaje del producto en la solución aumentan la densidad y la viscosidad y disminuyen el calor específico y la conductividad térmica, como se ha visto. El conocimiento de las características del fluido es fundamental para el dimensionamiento de bombas, tuberías y superficies de intercambio térmico.

Mientras la viscosidad afecta a las pérdidas de presión, el calor específico c_e y la densidad d afectan al caudal volumétrico $\dot{v}$ de la bomba, como puede apreciarse en esta ecuación:

$$\dot{v} = \frac{P}{c_e \sum d \sum \Delta t}$$

en la que **P** es la potencia a transportar y **Δt** el salto de temperatura.

Con relación al escalonamiento de potencia, el RITE exige que, si la demanda de la instalación puede ser menor que la potencia del escalón mínimo de parcialización de la central frigorífica, se diseñe un sistema capaz de cubrir esa demanda durante su tiempo de duración a lo largo de un día.

Se podrá cumplir con esta exigencia mediante un sistema de acumulación o un equipo frigorífico capaz de suministrar la potencia mínima requerida.

Para la maquinaria frigorífica enfriada por aire, el RITE exige que el condensador de la misma se dimensione para una temperatura seca igual a la del nivel percentil más exigente (0,4% anual ó 1% estacional) más 3 °C. Este sobredimensionamiento del condensador permite que la máquina frigorífica pueda seguir suministrando la potencia frigorífica de diseño cuando se superen las condiciones extremas y, además, permitirá la disminución de la temperatura de condensación del equipo, aumentando su eficiencia.

Igualmente, la temperatura mínima de diseño de una bomba de calor será la húmeda del nivel percentil más exigente menos 2 °C.

Si la máquina fuera de tipo reversible, para el dimensionamiento del intercambiador exterior prevalecería el criterio más exigente.

El empleo de la bomba de calor cuyo sumidero sea el aire debe limitarse a zonas donde la temperatura mínima de diseño sea mayor que 0 °C, como se ha comentado con anterioridad.

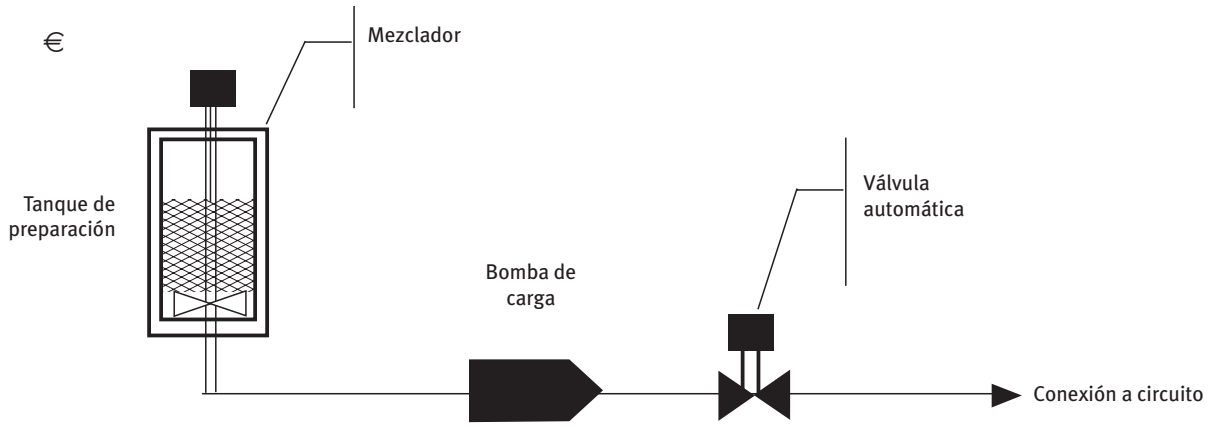


Fig. 46: Detalle de preparación y carga de agua glicolada

La bomba de calor aire-agua encuentra una excelente aplicación recuperando el calor del aire que procede de la ventilación de un edifico para el calentamiento del aire exterior, del agua caliente sanitaria o del agua de piscinas.

Para el desescarche de estos equipos se emplearán gases calientes, que es una tecnología más eficiente que la inversión de ciclo.

En lo concerniente a la maquinaria frigorífica enfriada por aire, se recomienda limitar el empleo de estos equipos a potencias no mayores que algunos centenares de kilovatios y a centrales de potencia menor que 1.200 kW, siguiendo el ejemplo de lo que se exige en otros Estados.

El peligro de proliferación de la legionela en centrales enfriadas por agua se reduce notablemente adoptando soluciones con torres de circuito cerrado, que puedan funcionar en seco durante el invierno y las medias estaciones, y siguiendo estrictamente las normas de mantenimiento exigidas en la reglamentación vigente (véase RD 865, documentación técnica oficial relacionada con el tema y norma UNE 100030).

Para las torres de refrigeración y los condensadores evaporativos, el RITE exige que la temperatura de diseño sea igual a la temperatura húmeda del nivel percentil más exigente más 1 °C. El sobredimensionamiento de estos aparatos se justifica empleando los mismos argumentos que se han empleado para los condensadores en seco.

Salto de temperatura y acercamiento en torres de refrigeración

La diferencia entre la temperatura de salida del agua de una torre y la temperatura húmeda se denomina “acercamiento”. Cuanto más grande sea el valor del acercamiento, más pequeña será la torre de refrigeración, y viceversa.

El criterio que debe guiar para la selección de los parámetros de funcionamiento de las torres de refrigeración es la reducción de la energía consumida por la maquinaria frigorífica, dentro de unas dimensiones razonables de las mismas.

En las figuras 47 y 48 se indican cuales podrían ser las temperaturas convenientes de funcionamiento del agua en unas torres en función de la temperatura húmeda aumentada con el criterio antes indicado.

El salto de temperatura empleado en la figura 43 es de 6 K, independientemente de la temperatura húmeda. Este salto se podría reducir a 5 °C para temperaturas de bulbo húmedo mayores que 24 °C, de manera que nunca se supere la temperatura de 35 °C en entrada del agua a las torres (es decir, a la salida de condensadores).

Las torres y los condensadores evaporativos se elegirán con ventiladores de bajo consumo y serán, preferentemente, de tiro inducido.

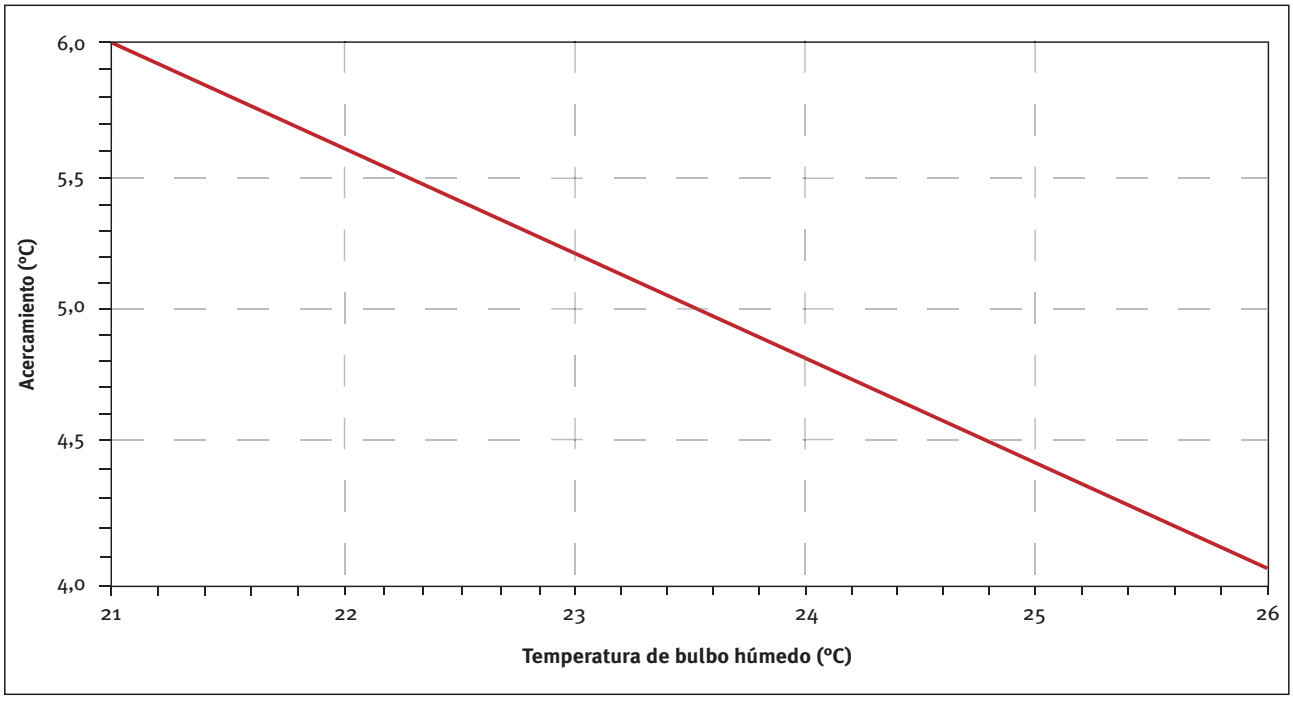


Fig. 47: Acercamiento en función de la temperatura húmeda

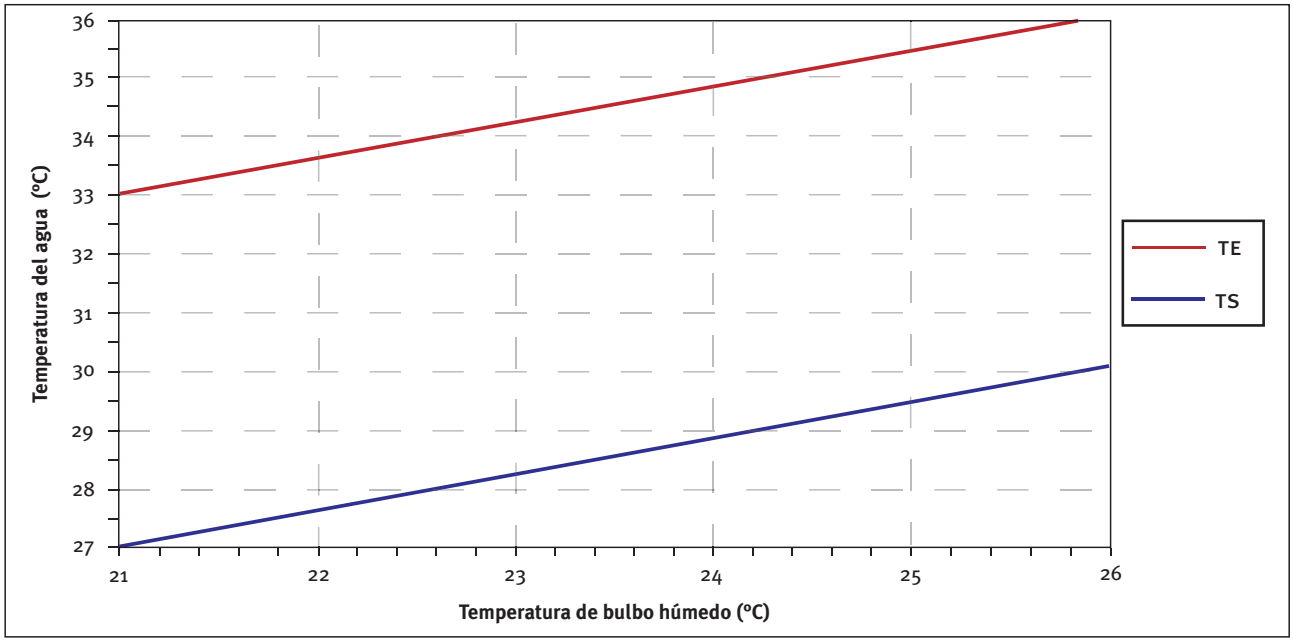


Fig. 48: Temperaturas de entrada y salida en una torre

En régimen de explotación, el nivel térmico del agua de condensación se hará disminuir al disminuir la temperatura húmeda del aire exterior hasta alcanzar el valor mínimo recomendado por el fabricante de la maquinaria frigorífica (unos 18 a 20 °C), variando la velocidad de los ventiladores, con continuidad o por escalones, y/o el número de los mismos en funcionamiento.

El esquema de un sistema de refrigeración con torres está indicado en la figura 49.

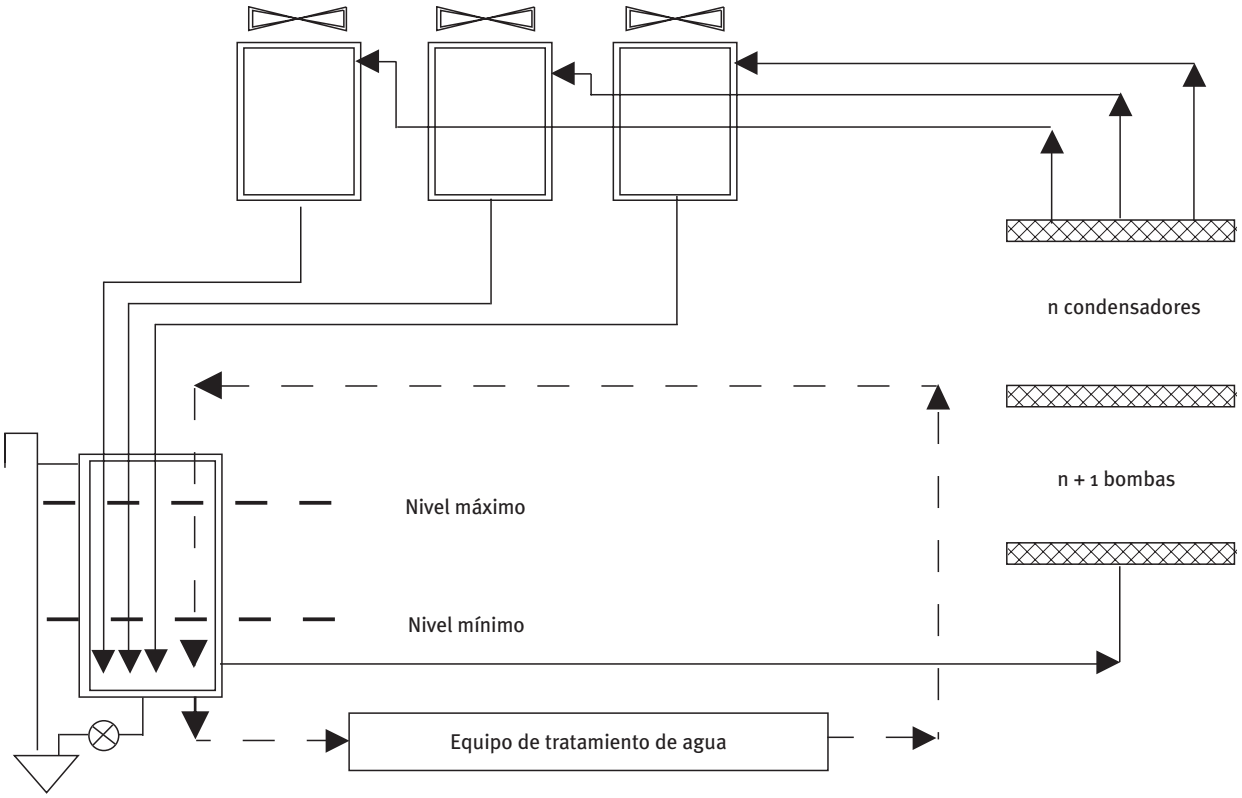


Fig. 49: Esquema de conexión a torres de refrigeración

El depósito acumulador de agua permite el funcionamiento en seco de las bandejas de las torres, evitando así las posibles heladas en invierno (sin necesidad de recurrir a resistencias eléctricas) y, además, reduciendo el grado de ensuciamiento del agua.

El depósito acumulador, donde el agua llega por gravedad, tendrá un volumen capaz de alojar el agua de los rellenos de las torres y de sus bandejas cuando estén en funcionamiento.

El depósito sirve también para conectar el circuito de tratamiento del agua y para reponer las pérdidas de agua.

Todas las entradas de agua a los tanques llegarán por debajo del nivel mínimo de agua, para evitar la mezcla entre agua y aire, como se muestra en la figura 49.

Para que exista un desacoplamiento hidráulico efectivo entre torres y equipos frigoríficos, es necesario dividir el depósito de acumulación en dos partes, una caliente y la otra fría, en comunicación entre sí, como se representa, de forma muy esquemática, en la figura 50. Se observa que se dobla el número de grupos de bombeo.

La eficiencia de un separador de gotas de una torre, parámetro muy importante para reducir el riesgo de arrastre de gotas contaminadas por legionela, se expresa mediante la relación entre el caudal de agua arrastrado por el aire y el caudal de agua en circulación en la torre; esta relación deberá ser menor que el 0,05%, según la norma UNE 100030.

En lo que se refiere a distancia entre descargas de torres de refrigeración y tomas de aire exterior de sistemas de climatización y ventanas se seguirán las instrucciones de la norma UNE 100030, apartado 6.1.3.2 o lo indicado en la norma UNE-EN 13779, considerando la calidad del aire DES 4 a la velocidad de salida del aire de la torre (se menciona que la norma europea no contempla, en su clasificación, el aire en salida de las torres de refrigeración). Todo lo anterior ha sido comentado en el apartado IT 1.1.4.3 sobre condiciones de higiene.

En cualquier caso, es recomendable superar los límites calculados de distancia, con cualquiera de los dos métodos, con cierta holgura, considerando las simplificaciones que se han hecho para llegar a ecuaciones o gráficos de fácil aplicación y otros factores de difícil evaluación.

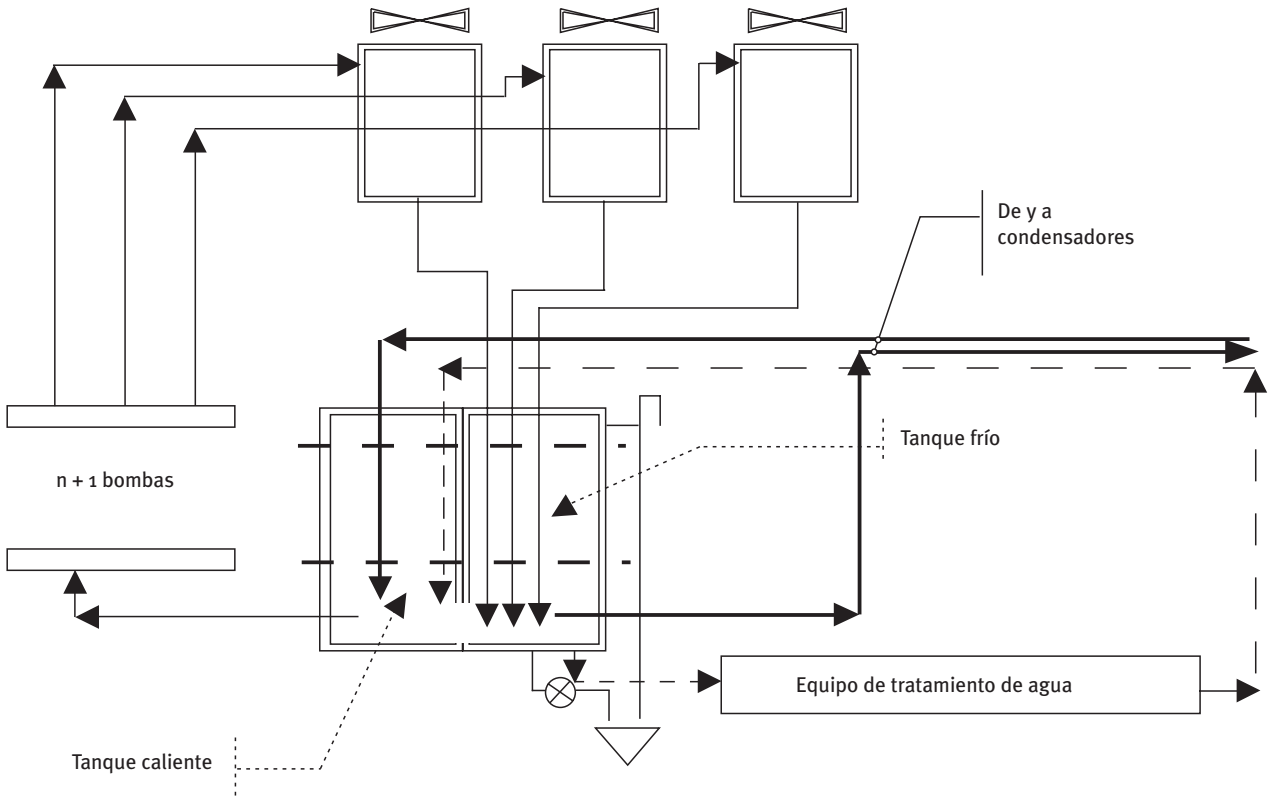


Fig. 50: Desacoplamiento hidráulico de torres y condensadores

Para comodidad del lector se reproduce parcialmente, por su importancia, el contenido del apartado 6.1.3.2 de la norma UNE 100030 relativo a torres de refrigeración.

- Los equipos deben instalarse en lugares aislados y alejados de lugares con riesgo de exposición, preferentemente en la cubierta de los edificios.

- Los aparatos deben situarse a sotavento de los lugares antes citados, en relación con los vientos dominantes en la zona de emplazamiento.

- Los equipos deben estar dotados de separadores de gotas de eficiencia muy elevada; el caudal de agua arrastrado será inferior al 0,05% del caudal de agua en circulación, como se ha comentado anteriormente.

- Los equipos deben situarse en lugares accesibles y deben tener puertas amplias y de fácil acceso.

- Sus superficies interiores deben ser lisas y sin obstáculos para facilitar las operaciones de limpieza y desinfección.

- Los paneles de cerramiento deben ser desmontables para facilitar las operaciones de limpieza y desinfección del material de relleno.

- La bandeja debe tener un pozo en el que se acumule la suciedad; el pozo debe estar equipado de válvula de vaciado. Se recomienda que la bandeja trabaje en seco, recogiéndose el agua por gravedad en un tanque cerrado situado en un lugar resguardado de la intemperie (la sala de máquinas, por ejemplo), como se ha indicado en los esquemas de las figuras 44 y 45.

- Los materiales del aparato deben ser resistentes a fuertes concentraciones de desinfectantes, particularmente de cloro. Se recomienda evitar el empleo de materiales basados en celulosa.

En cuanto a los tratamientos del agua, la norma recomienda:

- Un sistema de filtración para eliminar la contaminación producida por sustancias sólidas procedentes del ambiente (hojas, insectos, etc).

- Un sistema de tratamiento químico, físico-químico o físico con el fin de reducir la acumulación de depósitos calcáreos.

- Un sistema de tratamiento químico, físico-químico o físico para evitar la acción de la corrosión sobre las partes metálicas del circuito.

- Un sistema permanente de tratamiento por medio de agentes biocidas, sistema físico o químico-físico.

Además, las torres deben estar dotadas de un sistema de purga automática para controlar la concentración de sales en el circuito.

Es recomendable que en los tubos del condensador se instale un sistema de limpieza automática.

IT 1.2.4.2 Redes de tuberías y conductos

Aislamiento térmico

El reglamento exige que todos los aparatos, equipos y conducciones de las instalaciones de climatización y agua caliente para usos sanitarios estén térmicamente aislados, con los niveles indicados más adelante.

Para los equipos o aparatos que vengan aislados de fábrica se aceptarán los espesores calculados por el fabricante.

Se recuerdan aquí unos conceptos expresados también en otras partes de estos comentarios, relativos a las pérdidas por disponibilidad de servicio y, por tanto, a la importancia del aislamiento térmico.

En términos de potencia térmica se puede decir que la suma de la demanda del sistema más las pérdidas en las redes (o ganancias, si el fluido portador estuviera frío) igualan la potencia requerida en la central de producción térmica.

Además, en las redes tiene lugar una ganancia de calor debida a la energía absorbida por los equipos de transporte (bombas o ventiladores). Esta ganancia es beneficiosa solamente si el fluido portador es caliente.

La cuantía de las pérdidas o ganancias depende del diseño del sistema, es decir, del recorrido, selección de diámetros y nivel de aislamiento térmico.

En todos los casos, las pérdidas o ganancias de equipos y tuberías debidamente aisladas son una fracción relativamente pequeña de la potencia transportada. Sin embargo, la energía perdida por disponibilidad de

servicio a lo largo de un año es muy elevada, proporcional al tiempo de funcionamiento de la instalación.

Se puede afirmar, con cierta aproximación, que:

- Si el sistema está diseñado para caudal variable y temperatura constante del fluido portador, las pérdidas (o ganancias) por bombeo serán proporcionales a la demanda, mientras que las pérdidas por transmisión de calor serán (casi) constantes.

- Si el sistema está diseñado para caudal constante y temperatura variable, las pérdidas por bombeo serán constantes, mientras que las pérdidas por transmisión de calor serán proporcionales a la demanda.

- Si el sistema está diseñado para caudal y temperatura constante, ambas pérdidas serán constantes a lo largo del período de explotación.

Caudal	Variable	Constante	Constante
Temperatura	Constante	Variable	Constante
Pérdida			
Pérdida			

Es evidente que, para mejorar las prestaciones anuales del sistema, es necesario proceder al aislamiento térmico de conducciones y aparatos y recurrir al empleo del bombeo con caudal variable.

Todas las conducciones, equipos, aparatos, depósitos y elementos accesorios estarán térmicamente aislados cuando contengan o transporten fluidos con:

- Temperatura menor que la del recinto en el que están instalados los equipos o por el que discurren las conducciones; se evitan las ganancias de calor y la posible formación de condensaciones.

- Temperatura mayor que 40 ºC, cuando están instalados en recintos no calefactados (pasillos, patinillos, galerías, salas de máquinas, aparcamientos, falsos techos y suelos técnicos); se evitan las pérdidas de calor.

Quedan excluidas las tuberías de impulsión y retorno que conducen agua a las torres de refrigeración, evidentemente.

Igualmente, quedan excluidas las tuberías de descarga de compresores frigoríficos, salvo cuando su posición esté al alcance de las manos, por razones de seguridad.

Si las conducciones y los equipos, aparatos, depósitos y sus accesorios están a la intemperie, será necesario aumentar el nivel de aislamiento térmico al mismo tiempo que se procederá a su protección contra la lluvia y la radiación solar.

Las conducciones que estén en un aparcamiento tendrán el mismo nivel de aislamiento térmico que las conducciones instaladas al exterior, aún cuando las condiciones del entorno sean menos extremas que las de las conducciones dispuestas en el ambiente exterior (véanse algunas consideraciones más adelante).

En patinillos y falsos techos podrán aplicarse los niveles de aislamiento exigidos para conducciones interiores.

Lo anterior es válido cuando se aplique el método prescriptivo. Sin embargo, con el método prestacional, se elegirán las condiciones indicadas más adelante.

Cuando una conducción esté a la intemperie, se debe llamar la atención sobre estos hechos:

- Los conductos de forma rectangular tienden a formar en la parte superior una concavidad donde se estanca el agua de lluvia. Este agua oxida la protección, aún cuando sea de aluminio. La solución está en emplear conductos de forma circular u ovalada.

- Algunos tipos de aislamiento térmico o protecciones de material plástico no soportan la acción de la radiación ultravioleta. Se deberá montar una protección que sea resistente a la radiación solar.

- Las juntas de unión en la protección exterior deben ser ejecutadas de forma cuidadosa, para evitar que el agua penetre en el interior de la protección, mojando el material aislante. Un material aislante mojado, sobre todo si es de fibras, no cumple con su función.

- Muchas veces se observa que la protección y el aislamiento térmico están dañados de forma irreparable por pisadas; se deben diseñar e instalar lugares para el paso de las personas por encima de las conducciones.

El cálculo del aislamiento térmico podrá realizarse con las ecuaciones de la norma UNE-EN ISO 12241.

La norma determina los métodos de cálculo de:

- La transmisión de calor (capítulo 4)
- La prevención de condensaciones superficiales (capítulo 4; hay tablas preparadas en el capítulo 9)
- El cambio longitudinal de temperatura de una conducción (capítulo 5)
- El tiempo de enfriamiento de líquidos en reposo (capítulo 6)
- Pérdidas debidas a accesorios, como válvulas, bridas y soportes (capítulo 7)
- Pérdidas de conducciones enterradas (capítulo 8)

La dificultad de estos cálculos reside, únicamente, en la definición de las condiciones de contorno, enumeradas en el apartado 1.2.4.2.1.3, punto 2 del RITE. A este respecto se hacen las siguientes consideraciones.

Para los puntos a) y f) no hay observaciones.

Para la temperatura de la tubería del punto b), se tomará la temperatura mínima en caso de fluido frío y la máxima en caso de fluido caliente, tanto para las tuberías de impulsión como por las de retorno.

Para el punto d) se recalca que se debe emplear la conductividad térmica del material a la temperatura media de funcionamiento. Por temperatura media se debe entender la media entre la temperatura mínima o la máxima de impulsión (según se trate de fluido frío o caliente) y la correspondiente temperatura de retorno.

En el punto g) se debe comentar que la resistencia térmica del material de la tubería tiene pocos efectos en el cómputo de la resistencia total de la tubería aislada. Su valor se podrá considerar si se hace un cálculo por el método prescriptivo y, por supuesto, se deberá considerar cuando la tubería no está aislada.

Los puntos c) y e) merecen algunas consideraciones y recomendaciones.

Fluido frío en ambientes interiores

Condiciones máximas del entorno igual a 25 °C y 50% HR en ambientes climatizados y 28 °C y 40% HR en ambientes sin climatizar; 32 °C y 40% HR en aparcamientos y en patinillos ventilados; 27 °C y 40% HR en falsos techos y patinillos sin ventilar.

Temperatura radiante media igual a la seca.

Velocidad del aire: 0,2 m/s (convección libre en el exterior de la tubería).

Fluido frío en ambiente exterior

Condiciones máximas del entorno igual a las condiciones extrema de diseño al nivel percentil más exigente, redondeando en exceso unos 2 a 3 °C.

Velocidad del aire: 1 m/s.

Radiación solar: 600 W/m^2; la emitancia superficial se podrá tomar igual a 0,9, ya que los materiales reflectantes, al ensuciarse, se comportan como un material negro.

Fluido caliente en ambientes interiores

Condiciones mínimas del entorno igual a 18 °C y 50% HR si se trata de ambientes climatizados y 12 °C y 50% HR si se trata de ambientes sin climatizar; 5 °C y 60% HR en aparcamientos y en patinillos ventilados; 18 °C en falsos techos y en patinillos sin ventilar.

Temperatura radiante media igual a la seca.

Velocidad del aire: 0,2 m/s (convección libre en el exterior de la tubería).

Fluido caliente en ambiente exterior

Condiciones mínimas del entorno igual a las condiciones extremas de diseño al nivel percentil más exigente, menos 2 a 3 °C de redondeo.

Velocidad del aire: 4 m/s.

Temperatura radiante media igual a la temperatura seca

Estos datos servirán para calcular los coeficientes de transmisión superficial exteriores, convectivo y radiante. El coeficiente de transmisión superficial interior se calculará con conocidas ecuaciones de convección forzada del fluido portador. Su valor no tiene mucha influencia sobre la resistencia térmica global.

Si se desea, podrá tenerse en cuenta el espesor del material de la misma tubería y su correspondiente coeficiente de transmisión de calor a la temperatura media de funcionamiento, como se ha comentado con anterioridad.

Los espesores hallados por cálculo deberían aumentarse para tener en cuenta las imperfecciones de montaje; podría ser suficiente adoptar el espesor inmediatamente mayor al calculado entre los espesores comercialmente disponibles.

Es muy importante que entre las tuberías y sus soportes se interponga un material aislante, con el fin de evitar puentes térmicos.

Todos los accesorios de una red de conducciones deberán estar aislados con el mismo nivel que la conducción contigua.

Se recomienda reducir al mínimo la extensión de redes de tuberías (y conductos) en el ambiente exterior. Sería conveniente que todos los equipos, aparatos y tuberías que se instalen en cubierta estén protegidos contra los elementos mediante una cubierta ligera; los lados podrán estar totalmente libres o llevar una protecciones para reducir la visibilidad desde el exterior y, en su caso, reducir también el nivel sonoro.

Para el aislamiento de tuberías el RITE permite la aplicación de un procedimiento simplificado o alternativo. En este caso, las pérdidas térmicas o ganancias máximas instantáneas deberán ser menores que el 4% de la potencia máxima transportada y, además, deberán ser menores que las pérdidas o ganancias obtenidas con la aplicación de los niveles de aislamiento exigidos por el método simplificado.

El método simplificado está descrito en detalle en el apartado 1.2.4.2.1.2 “Procedimiento simplificado”, prácticamente igual al de la versión anterior del RITE. Las tablas 1.2.4.2.1 a 1.2.4.2.4. están dimensionadas para una conductividad térmica (de referencia) de 0,04 W/(m·K) a 10 °C. Para otras conductividades térmicas se emplearán las ecuaciones indicadas en 1.2.4.2.1.2, punto 8, o las de la norma UNE-EN ISO 12241.

Nota: Se hace notar que existe una errata en el encabezamiento de las tablas del RITE 1.2.4.2.3 y 1.2.4.2.4 para fluidos fríos. Debería decir: “Temperatura mínima del fluido (°C)”. Y los intervalos de temperatura serían: >-10...0, >0...10 y >10.

Se hace hincapié en estas obligaciones para la aplicación del procedimiento simplificado:

- Las redes se dimensionarán para la temperatura máxima o mínima del fluido; el mismo valor se empleará tanto para las tuberías de impulsión como para las de retorno.

- Las redes de tuberías que tengan un funcionamiento continuo (como, por ejemplo, las redes de tuberías de agua caliente sanitaria) estarán aisladas con un espesor 5 mm mayor que el indicado en las tablas, para reducir las pérdidas de energía por disponibilidad de servicio.

- El nivel de aislamiento de las redes de tuberías que conduzcan fluido caliente o frío será el que se obtenga para las condiciones de trabajo más exigentes.

- Para los ramales de tuberías empotradas o instaladas en canaletas, de diámetro menor o igual que 20 mm y de longitud no mayor que 5 m, que alimentan unidades terminales, el espesor de aislamiento puede ser de tan solo 10 mm. En caso de fluido frío, el material deberá impedir las condensaciones superficiales.

Estas instrucciones se deben seguir también cuando se aplique el procedimiento alternativo.

Para los espesores de los conductos se procederá de la misma manera que la indicada para las tuberías (véase apartado 1.2.4.2.2), con el límite de 70 kW de potencia térmica transportada entre el procedimiento simplificado o alternativo.

De nuevo se recomienda reducir al mínimo el recorrido de las conducciones al exterior. Una solución aceptable está en proteger todos los equipos y conducciones mediante una cubierta ligera, como se ha comentado con anterioridad.

Estanquidad de redes de conductos

Las normas UNE-EN 13779 y UNE-EN 12237 establecen cuatro clases de estanquidad para las redes de conductos.

La norma UNE-EN 12237 es aplicable también a conductos rectangulares y, por supuesto, ovales, y es una norma de ensayo de resistencia y fugas.

Se debe considerar que una red de conductos rectangulares tiene fugas mayores que una red de conductos circulares u ovales, a paridad de otras condiciones.

Las fugas de aire constituyen uno de los factores que más contribuyen a la reducción de la eficiencia de las redes de transporte de los fluidos portadores.

La clase de estanquidad se define con el coeficiente "c" de esta ecuación:

$$f = c \bullet p^{0,65} \bullet 10^{-3}$$

donde

- **f** son las fugas de aire, $m^3/(s \cdot m^2)$
- **p** es la presión estática, Pa
- **c** es el coeficiente de fugas
- el exponente 0,65 es universalmente aceptado para el cálculo teórico del paso de aire a través de aperturas de pequeño tamaño

Las cuatro clases están indicadas en esta tabla:

A	0,027

La norma UNE-EN 12237 exige que:

- La clase A se aplique a conductos con presiones, positivas o negativas, de hasta 500 Pa.
- La clase B se aplique a conductos con presiones de hasta 1.000 Pa positivos y 750 Pa negativos.
- La clase C se aplique a conductos con presiones de hasta 2.000 Pa positivos y 750 Pa negativos.
- La clase D se aplique en redes de conductos para aplicaciones especiales, con presiones de hasta 2.000 Pa positivos y 750 Pa negativos.

El RITE exige, en general, que la estanquidad de una red de conductos sea de la clase B. El técnico aplicará las diferentes clases según las indicaciones arriba mencionadas.

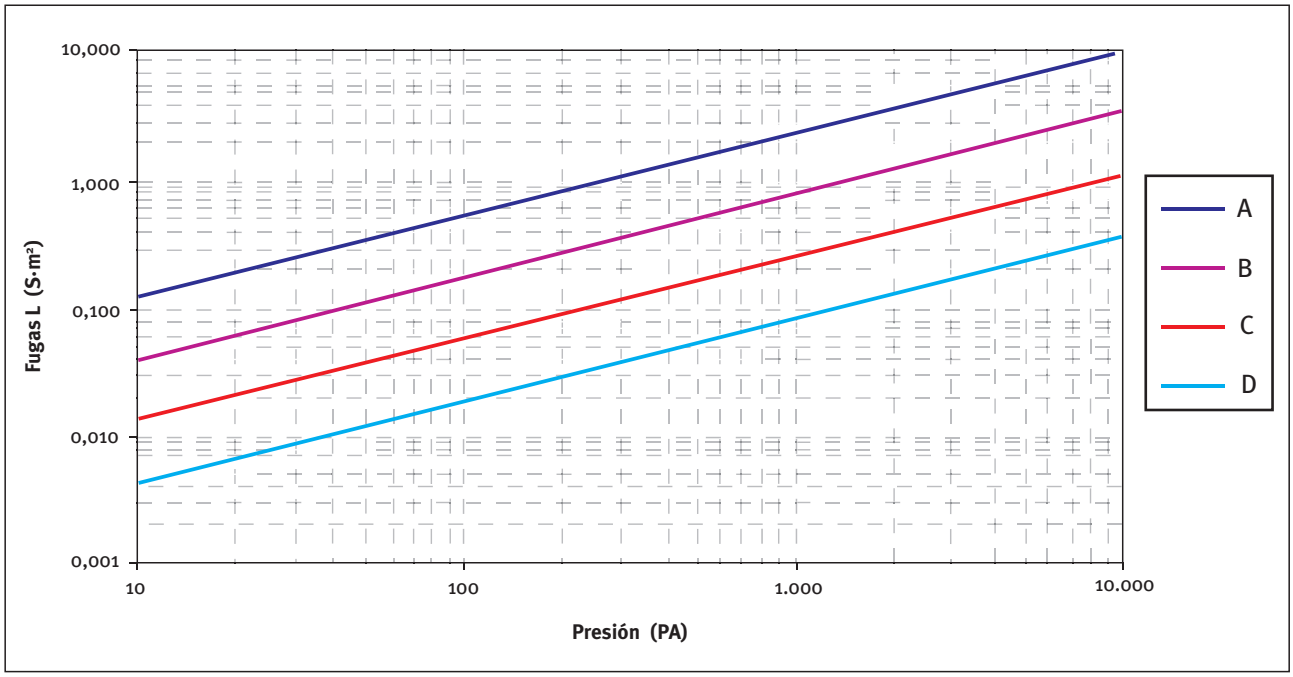


Fig. 51: Fugas de aire según clase de estanquidad de la red de conductos

En el gráfico de la figura 51 (página anterior) se han calculado las fugas de aire en función de la presión en el interior del conducto para las diferentes clases de estanquidad (la escala de ordenadas está con tres decimales).

Las fugas de aire para las presiones máximas permitidas son las siguientes:

Clase	Coeficiente	Pa	L/(s·m²)
A	0,027	500	1,53
B	0,009	1000	0,80
C	0,003	2000	0,42
D	0,001	2000	0,14

Se debe reflexionar sobre el hecho de que un conducto de la clase B, con 300 Pa de presión disponible a la salida de la UTA, tiene unas fugas de aire de 0,37 L/(s·m²). Por ejemplo, para una red que transporta 1,5 m³/s y tiene una superficie de 200 m², las fugas representan casi el 5% del caudal transportado.

Las pruebas de estanquidad de las redes de conductos se podrán llevar a cabo siguiendo el procedimiento indicado en los comentarios al apartado IT 2.2.5 (antigua norma UNE 100104, Anexo A), a la espera de la correspondiente norma europea.

Las redes de conductos deberán disponer de registros de inspección para la limpieza, según se indica en la norma UNE-ENV 12097.

Estos registros deben ser construidos con gran precisión y dotados de juntas de estanquidad, para no aumentar las fugas de aire.

Otras normas europeas relativas a conductos de chapa son las siguientes: UNE-EN 1505, UNE-EN 1506, prEN 1507 y UNE-EN 12236.

Caída de presión en componentes

Se recuerda que en un sistema de ventilación y acondicionamiento la energía consumida por los ventiladores es la parte más importante de la energía consumida por todo el sistema.

Los valores indicados en el apartado IT 1.2.4.2.4, punto 1, están para indicar que los componentes de un sistema (aparatos y unidades terminales) se deben seleccionar con bajas pérdidas de presión lado aire, teniendo el técnico cierta libertad para moverse por encima (un 5%) de esos valores, aquí indicados.

Baterías de calentamiento	40	Pa
Baterías		
Baterías de refrigeración y deshumectación	120	Pa
Recuperadores de calor	80 a 120	Pa
Atenuadores acústicos	60	Pa
Unidades terminales de aire	40	Pa
Elementos de difusión de aire	40 a 200	Pa dependiendo del tipo de difusor
Rejillas de retorno de aire	20	Pa
Secciones de filtración	–	menor que la admitida por el fabricante, según tipo de filtro

La prohibición del uso de separadores de gotas va en el mismo sentido. El RITE admite el uso de separadores en casos especiales, como pueden ser, por ejemplo, aguas abajo de secciones de humectación o enfriamiento adiabático efectuado mediante boquillas pulverizadoras.

Para los filtros, cuando haya dos o más secciones de filtración en serie, se adoptará la pérdida de presión a filtro sucio (recomendada por el fabricante) del filtro de mayor calidad más la pérdida de presión del otro filtro, como se ha comentado en otra parte.

Eficiencia de los equipos de transporte

Para cada uno de los circuitos que componen el sistema de climatización, de aire, agua o cualquier otro fluido, se deberá calcular la potencia específica de transporte, definida como la potencia absorbida por el motor del equipo dividida por el caudal del fluido transportado, medida en W/(m³/s) para aire y en W/(L/s) para líquidos.

Para los ventiladores, en particular, el valor de la potencia específica de cada ventilador se escogerá de la tabla 2.4.2.7, aquí reproducida.

Categoría	Potencia específica W/(m³·s)		
SFP 1		$W_{esp} \leq$	500
SFP 2	500	$< W_{esp} \leq$	750
SFP 3	750	$< W_{esp} \leq$	1.250
SFP 4	1.250	$< W_{esp} \leq$	2.000
SFP 5	2.000	$< W_{esp}$	

Para los equipos de bombeo será suficiente equilibrar el circuito por diseño y emplear, en su caso, válvulas de equilibrado. Posteriormente, se calculará la potencia específica, en W/(L·s).

Se recuerda que se debe evitar el empleo de válvulas de reducción del caudal en impulsión de bombas.

Para los motores eléctricos, de las características indicadas en el apartado 1.2.4.2.6, punto 2, la tabla 2.4.2.8, aquí repetida, indica el rendimiento mínimo en función de la potencia para motores de 2 y 4 polos (de 1,1 a 90 kW; clase de rendimiento eff2 del acuerdo CEMEP, que será indicado en la placa de características):

kW	1,1	1,5	2,2	3,0	4,0	5,5	7,5	11	15	18,5	22	30	37	45	55	75	90
%	76,2	78,5	81,0	82,6	84,2	85,7	87,0	88,4	89,4	90,0	90,5	91,4	92,0	92,5	93,0	93,6	93,9

Los motores excluidos de la lista están indicados en el apartado 1.2.4.2.6, punto 3.

Cuando se recurra al método prestacional, se invita a emplear motores de alta eficiencia, de la clase eff1, que, para motores de 4 polos, es la siguiente:

kW	1,1	1,5	2,2	3,0	4,0	5,5	7,5	11	15	18,5	22	30	37	45	55	75	90
%	83,8	85,0	86,4	87,4	88,3	89,2	90,1	91,0	91,8	92,2	92,6	93,2	93,6	93,9	94,2	94,7	95,0

y para motores de 2 polos:

kW	1,1	1,5	2,2	3,0	4,0	5,5	7,5	11	15	18,5	22	30	37	45	55	75	90
%	82,8	84,1	85,6	86,7	87,6	88,6	89,5	90,5	91,3	91,8	92,2	92,9	93,3	93,7	94,0	94,6	95,0

Los motores de eficiencia menor que la de la clase eff2 son de la clase eff3.

Los motores de la clase de eficiencia eff2 puede presentar un ahorro anual de hasta el 20% sobre la base de 2.000 horas al año de funcionamiento. El ahorro sería aún más espectacular si se emplearan motores de la clase de eficiencia eff1. Para más información el técnico podrá consultar, vía Internet, los programas y la base de datos euro DEEM (*Database of Efficient Electric Motor*).

Las redes de transporte de agua estarán equilibradas por diseño. Las columnas y los ramales se dotarán de válvulas de aislamiento para facilitar las operaciones de mantenimiento.

IT 1.2.4.3 Control

El apartado 1.2.4.3.1 no necesita aclaraciones.

La clasificación indicada en la tabla 2.4.3.1 del apartado 1.2.4.3.2 ha sido comentada en “Control de las condiciones termohigrométricas”.

El apartado 1.2.4.3.3 ha sido comentado en los comentarios a IT 1.1.4.2.

El apartado 1.2.4.3.4 no necesita aclaraciones. Sólo se recuerda que la temperatura de acumulación se controlará de manera que la temperatura del agua de retorno al sistema de acumulación sea, como mínimo, de 50 °C (véanse comentarios a 1.1.4.3).

IT 1.2.4.4 Contabilización de consumos

Los principios establecidos en este apartado son muy claros y se resumen en estas exigencias:

- Cada usuario deberá disponer de sus propios contadores de energía, de cualquier tipo (eléctrica y térmica). Esta es una manera muy eficaz de ahorrar energía, obligando a los usuarios a pagar por lo que consumen.

- Para instalaciones de más de 70 kW térmicos se exige que se mida la energía consumida por la instalación de climatización. El fin es el de tener los datos de los consumos eléctrico y térmico para, al cabo de un cierto tiempo, poder efectuar intervenciones que mantengan o mejoren la eficiencia energética de la instalación.

- Con el mismo fin, se exige que las centrales frigoríficas de más de 400 kW térmicos dispongan de dispositivos de medición y registro del consumo de energía eléctrica de las máquinas frigoríficas y sus accesorios, incluidas las torres, en su caso.

- Los generadores de calor y frío de potencia mayor que 70 kW dispondrán de un registrador de las horas de funcionamiento, así como del número de arrancadas de los compresores frigoríficos. Este dato es muy importante para el mantenimiento de los equipos.

La figura 52 muestra el esquema de un sistema de medición de la energía térmica en las conducciones directas de entrada y salida de un usuario, constituido por un medidor de caudal, protegido por un filtro, en su caso, dos sondas de temperatura, en entrada y salida, y un microprocesador que recibe las señales, hace los cálculos y los guarda.

La potencia entregada P (kW) en cada instante por el fluido portador será igual a:

$$P = c_p \bullet C \bullet (T_e - T_s)$$

donde:

c_p es el calor específico del fluido a la temperatura media de funcionamiento, kJ/(kg·K)

C es el caudal del fluido (medido), kg/s

T_e es la temperatura del fluido a la entrada, K o °C

T_s es la temperatura del fluido a la salida, K o °C

Considerando constante el calor específico, la integral en el tiempo de la potencia, efectuada por el microprocesador, será la demanda de energía del usuario en el período de tiempo considerado:

$$E = \int_{t_i}^{t_f} P = c_p \bullet \int_{t_i}^{t_f} C \bullet (T_e - T_s)$$

Naturalmente, en la práctica, la integral se transforma en una sumatoria.

La norma relacionada con la medición de energía es la UNE-EN 1434, cuyo contenido se divide en 6 partes.

Existe una guía técnica del IDAE, titulada "Contabilización de consumos", que podrá ser convenientemente consultada.

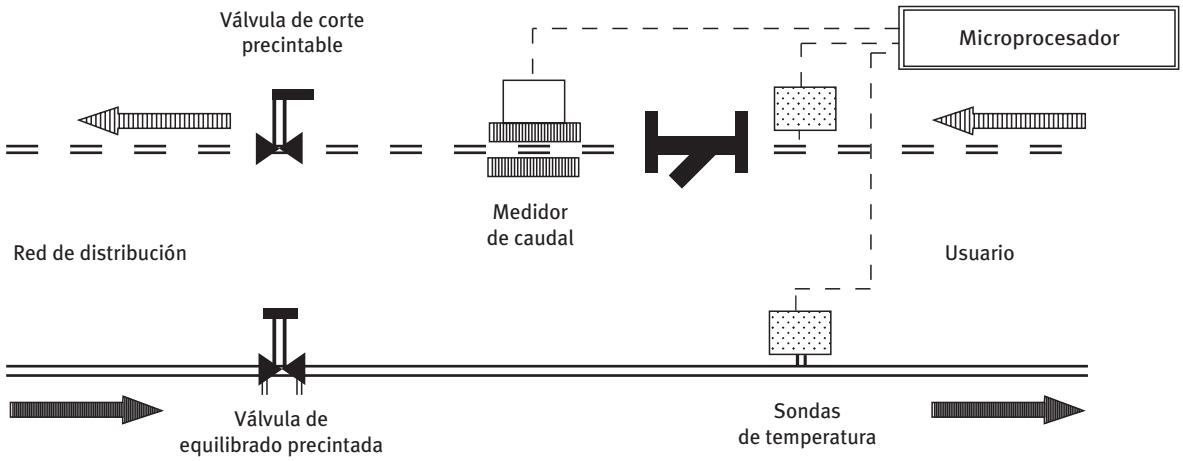


Fig. 52: Equipo de medida

1.2.4.5 Recuperación de energía

1.2.4.5.1 Enfriamiento gratuito por aire exterior

Enfriamiento gratuito directo por aire

Todos los sistemas de más de 70 kW de potencia frigorífica dispondrán de un sistema de enfriamiento gratuito.

El reglamento obliga al uso del sistema de enfriamiento gratuito por aire exterior para aquellos subsistemas de climatización de potencia térmica nominal mayor que 70 kW.

Cabe resaltar la importancia de este dispositivo, desde el punto de vista del ahorro de energía, en una climatología suave como la que existe en casi todas las regiones de la geografía española. Además, este dispositivo contribuye de forma considerable a una mejora de la calidad del aire interior, como se ha comentado.

El tiempo de funcionamiento de este dispositivo puede alargarse de forma notable si se adoptan los sistemas de enfriamiento adiabático, que se comentarán más adelante, en acoplamiento con unos recuperadores de calor.

El proyectista deberá considerar que los caudales de aire en juego pueden ser diferentes en las dos posiciones extremas del dispositivo, así como en cualquier posición intermedia. En efecto, la compuerta de retorno está en serie sobre los ventiladores de retorno e impulsión de la UTA, mientras que las otras dos están en paralelo con la primera: la de expulsión en el circuito del ventilador de retorno y la de toma de aire exterior en el circuito del ventilador de impulsión (véase la figura 53, en la que no están representados los ventiladores).

La norma UNE-EN 13053 especifica los requerimientos y las prestaciones de una unidad de tratamiento de aire como un conjunto, así como de sus componentes específicos y secciones, como, en particular, la sección compuesta por una terna de compuertas para efectuar el enfriamiento gratuito.

Las compuertas y las válvulas se ensayarán como indicado en la norma UNE-EN 1751.

La estanquidad de la carcasa de las compuertas en función de la presión estática se determinará de acuerdo a la estanquidad que se haya fijado para la red de conductos, según la clasificación del Anexo C de la citada norma.

Para la estanquidad de las compuertas con lamas cerradas en función de la presión estática no se admitirán las clases o y 1 del Anexo C de la norma.

Para un perfecto equilibrado es necesario instalar, en serie con la compuerta de retorno, una chapa perforada de características adecuadas.

En general, la admisión de aire exterior deberá basarse en la comparación de entalpías entre el aire de retorno y el mismo aire exterior. Sin embargo, en climas secos o cuando se admita que la humedad relativa en el interior de los locales pueda, esporádicamente, superar los valores normales (hasta un 60%), será suficiente comparar temperaturas.

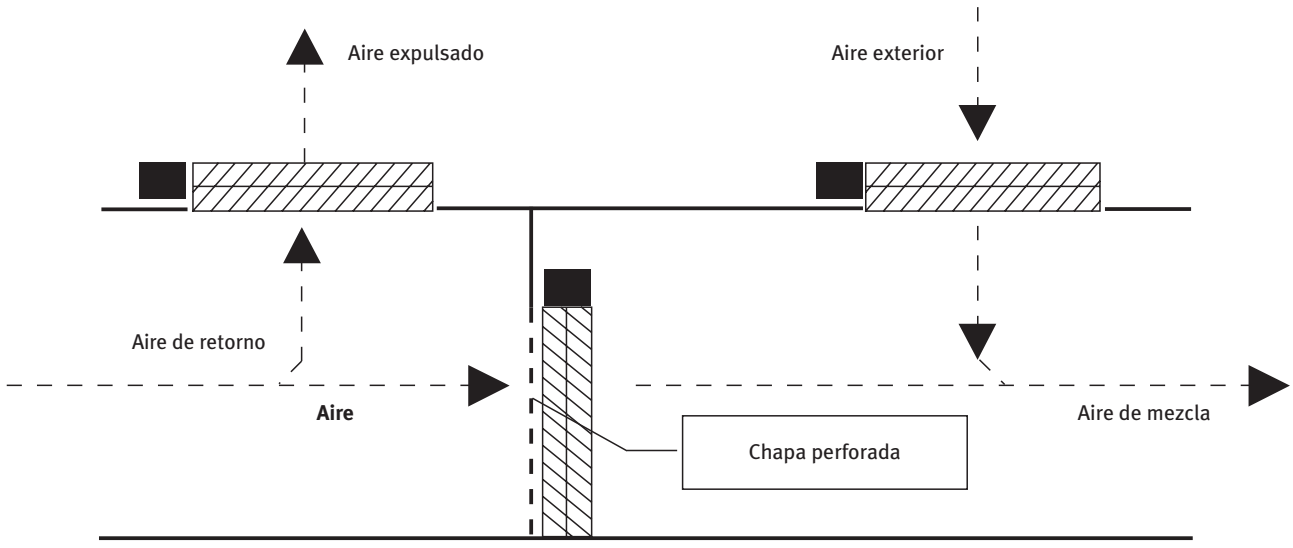


Fig. 53: Terna de compuertas para enfriamiento gratuito

El gráfico de la figura 54 muestra las zonas de trabajo en el diagrama del aire húmedo con la estrategia de control por entalpía.

El gráfico de la figura 55 muestra las zonas de trabajo en el diagrama del aire húmedo con la estrategia de control por temperatura.

La comparación por temperatura abarca una superficie mayor y, por tanto, un mayor número de horas disponibles de funcionamiento al año; por ello, toda vez que sea posible, el control por temperatura será preferido.

El RITE exige que la eficiencia de la mezcla de temperatura sea mayor que el 75% (clase M3 de la norma UNE-EN 13053) y que la velocidad de paso de aire sea de 6 m/s como máximo.

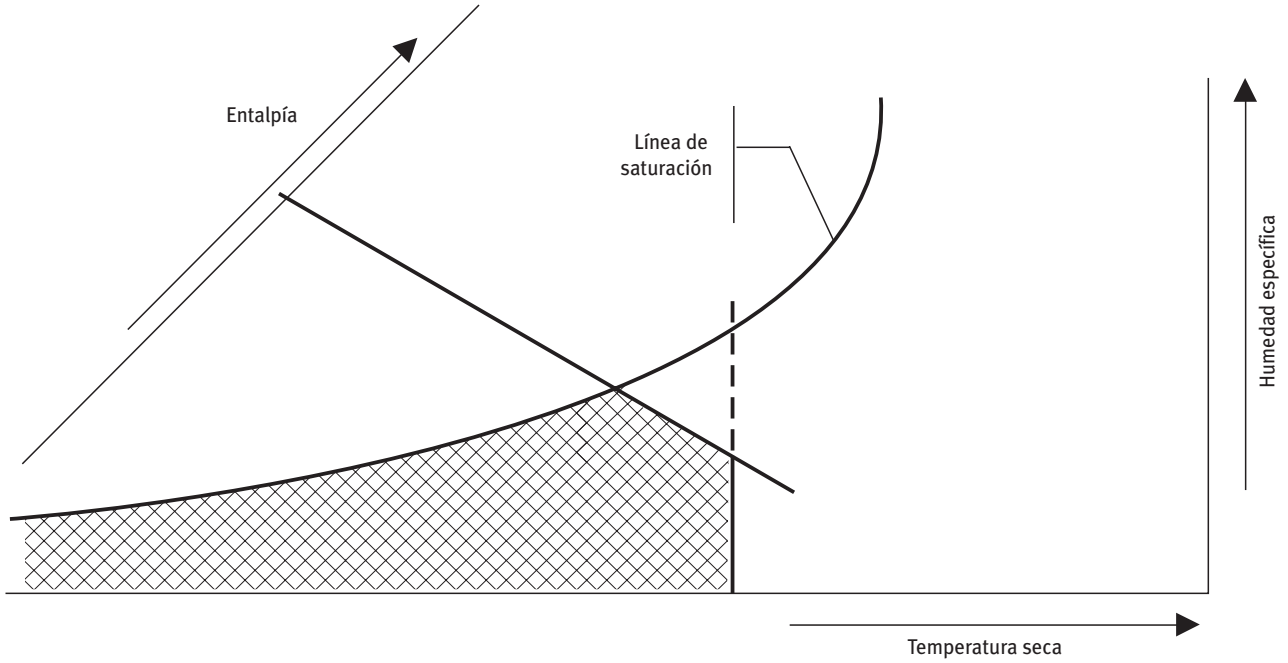


Fig. 54: Control por entalpía

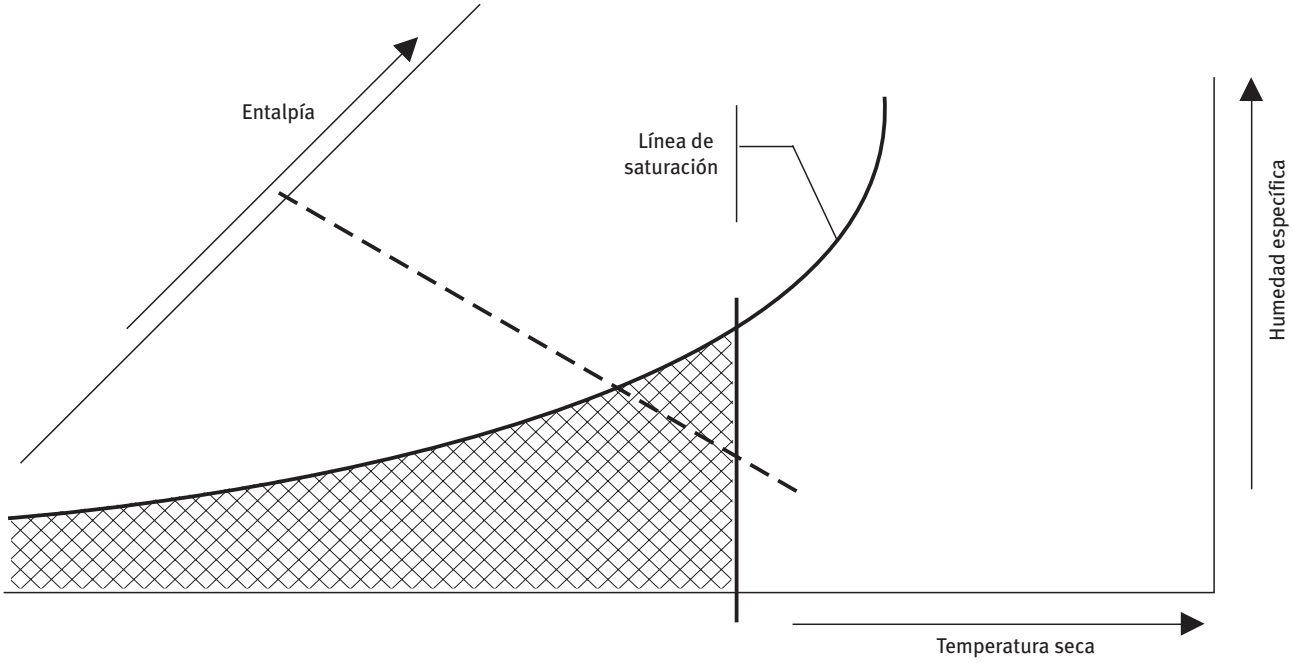


Fig. 55: Control por temperatura

Según la citada norma, la eficiencia de la mezcla entre dos caudales de aire (normalmente aire exterior y aire de retorno) está definida por la siguiente expresión:

$$\eta_{mix} = (1 - \frac{t_{\max} - t_{\min}}{t_H - t_L}) \bullet 100$$

donde:

	La eficiencia de la mezcla
	La temperatura más grande
	La temperatura más pequeña
	La temperatura más elevada
	La temperatura más pequeña

La citada norma clasifica la eficiencia de mezcla de temperatura en estas categorías:

Clase			
M1	95	≥ η	
M2	85	≥ η <	95
M3	70	≥ η <	85
M4	50	≥ η <	70
M5		η <	50

En climas muy frío, cuando las temperaturas puedan llegar por debajo de cero grados, la falta de uniformidad de temperatura en una sección de mezcla puede conducir a congelación del agua en las baterías.

Por tanto, se recomienda seleccionar la eficiencia en función de la SCI (Severidad Climática de Invierno; véase CTE, HE, Apéndice A, Terminología) de acuerdo a la siguiente tabla:

Clase	SCI
M1	–
M2	E
M3	D
M4	C y B
M5	A

Cuando las pérdidas de presión en una sección de mezcla sean mayores que el 20% de la presión estática del ventilador, con el fin de que la variación de los caudales de aire sea lineal al variar la posición de la terna de compuerta, las compuertas deberán tener las lamas paralelas, no en oposición.

En sistemas mixtos agua-aire el RITE exige que el enfriamiento gratuito se realice mediante el agua procedente de torres de refrigeración, preferentemente de circuito cerrado o, en caso de empleo de plantas enfriadoras aire-agua, mediante el empleo de baterías puestas hidráulicamente en serie con el evaporador.

En todos los casos, será conveniente aumentar la temperatura del agua refrigerada para alargar el tiempo de funcionamiento en régimen gratuito, aprovechando el hecho de que la carga térmica, en particular la carga latente, suele ser bastante menor.

Enfriamiento gratuito con equipos agua-agua (por medio de torres de refrigeración)

El uso de las torres de refrigeración para el enfriamiento gratuito requiere la adopción de algunas precauciones.

En primer lugar, cuando la temperatura exterior sea baja será posible disminuir el nivel térmico del agua refrigerada, porque, en estas condiciones, las necesidades de deshumectación habrán desaparecido. Por ejemplo, la temperatura de impulsión del agua podría estar entre 10 y 12 °C, siempre que no exista algún usuario que necesite una temperatura constante de agua refrigerada.

En segundo lugar, se debe evitar la entrada de agua sucia en el circuito de refrigeración. Por tanto, será necesario emplear torres de circuito cerrado, lo que da lugar a un enfriamiento gratuito de tipo indirecto.

Un esquema de enfriamiento gratuito mediante una torre de circuito cerrado se representa en la figura 56 (página siguiente).

La batería de la torre, así como las tuberías expuestas al exterior, deben estar adecuadamente protegidas contra la congelación.

Al no poder contar, posiblemente, con la aportación del calor de la carga durante todas las horas del día, y considerando que el mantenimiento del agua en circulación no puede garantizar que no se alcance el punto de congelación (depende de la potencia absorbida por la bomba y de las pérdidas de calor de las tuberías), será necesario adoptar uno de estos recursos:

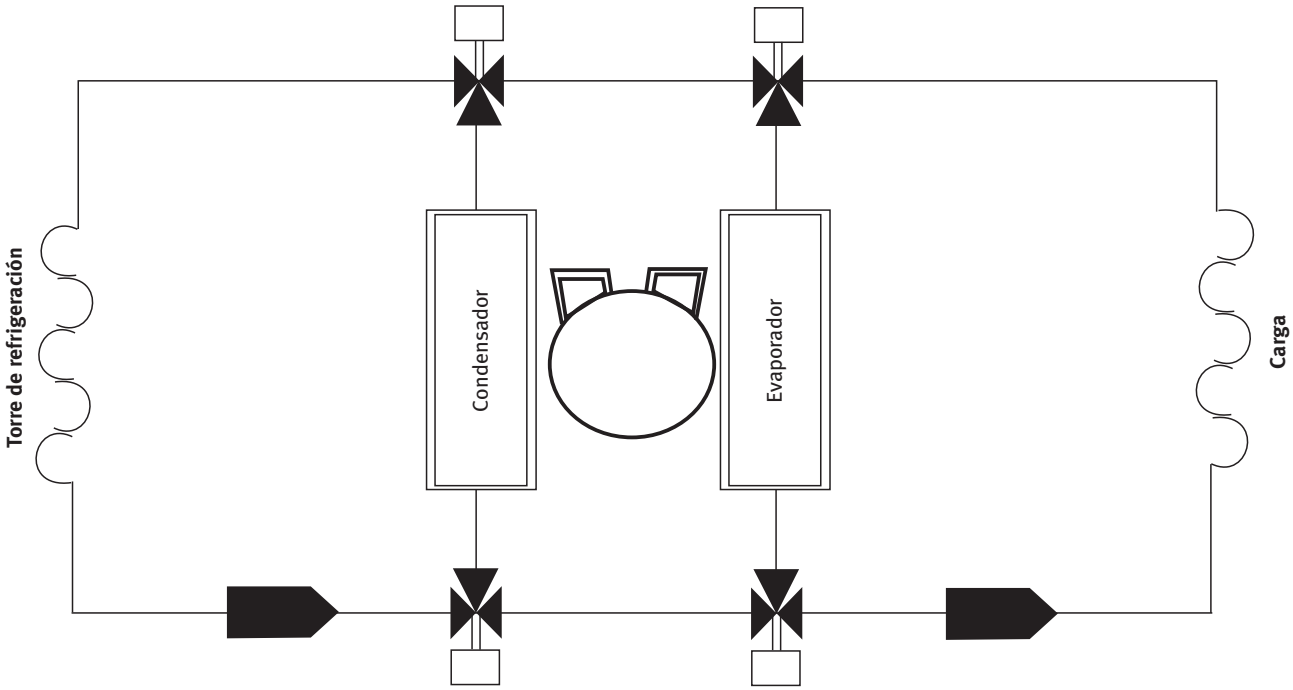


Fig. 56: Enfriamiento gratuito con torre de circuito cerrado

– Empleo de agua glicolada en el circuito; el agua glicolada, además de complicar las tareas de mantenimiento, implica un mayor dimensionamiento de las superficies de intercambio térmico y de la bomba de circulación, como se ha indicado antes.

– Vaciado de la parte del circuito expuesta al riesgo de congelación cuando la carga térmica sea nula.

– Empleo de cables especiales para "traceado" de tubería y/o tanques con resistencias eléctricas. Es un recurso que se debe usar con parsimonia, por evidentes razones de ahorro de energía.

– La técnica de dejar circular el agua no asegura en absoluto la eliminación del riesgo de congelación (véase IT 1.2.4.2.1.1, punto 4). En efecto, cuando la potencia absorbida por la bomba y vertida al agua sea menor que las pérdidas de calor de la red de tuberías, el agua se congelará, antes o después.

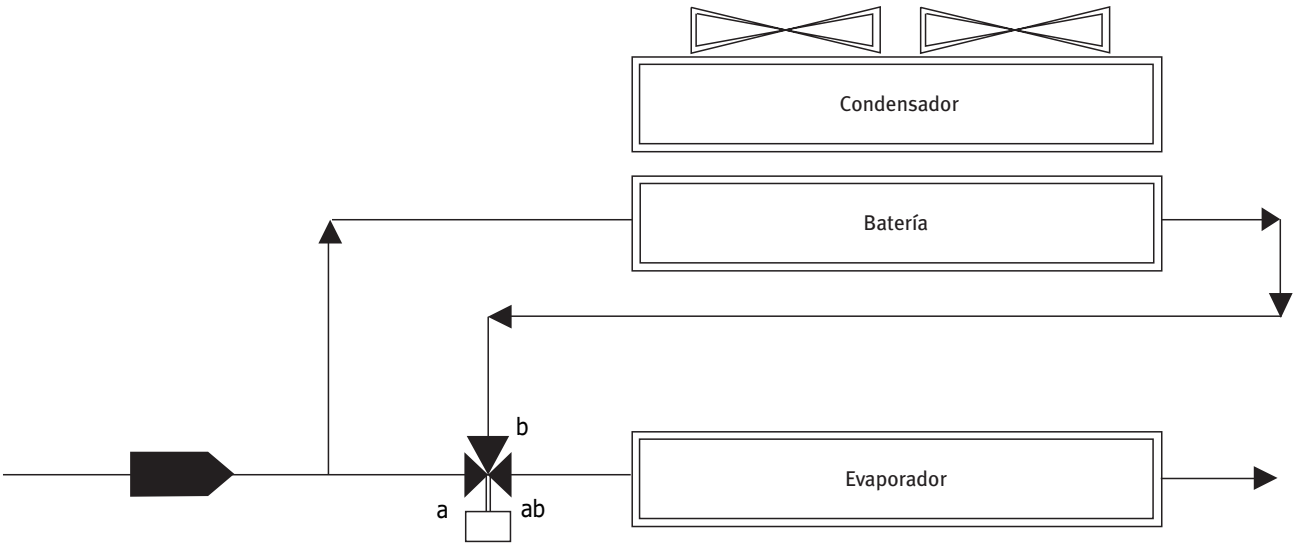


Fig. 57: Enfriamiento gratuito con plantas aire-agua

El agua de pulverización de las torres se guardará, oportunamente, en un depósito auxiliar situado en un lugar sin riesgo de alcanzar temperaturas bajo cero como, por ejemplo, la sala de máquina.

Enfriamiento gratuito con equipos aire-agua

Se trata, esencialmente, de poner en serie al evaporador una batería, según se indica, de forma muy esquemática, en la figura 57 (página anterior).

Al disminuir la temperatura del aire exterior, por ejemplo, por debajo de 15 °C, se podrá aumentar la temperatura del agua de impulsión. Cuando la temperatura del aire exterior sea menor que la temperatura de retorno del agua refrigerada se cerrará la vía (a) de la válvula y se abrirá la vía (b), de tal manera que el agua se enfriará, total o parcialmente, de forma gratuita antes de entrar en el evaporador. El evaporador llevará el agua, en su caso, a la temperatura requerida.

La batería de enfriamiento gratuito y el condensador de la planta enfriadora están en serie sobre los ventiladores.

El control de la temperatura del agua de impulsión se hará mediante la modulación de la velocidad de los ventiladores.

Para proteger el sistema de la congelación, se pueden emplear los métodos descritos anteriormente.

Otro método consiste en instalar, entre el circuito y la batería de enfriamiento gratuito un intercambiador de calor, como se muestra, muy esquemáticamente, en la figura 58.

Solamente el circuito entre la batería de enfriamiento gratuito y el intercambiador deberá estar cargado con agua glicolada.

Es evidente que la presencia de un intercambiador reduce las horas anuales en las que se pueda aprovechar el enfriamiento gratuito, debido al aumento del nivel térmico del agua refrigerada.

El ahorro de energía de estos sistemas, largamente empleados en la refrigeración de centros de proceso de datos, es muy elevado, dependiendo de las horas anuales en las que la temperatura exterior se sitúa en valores menores que 15 °C (más de 5.000 horas en Madrid).

En los esquemas de las figuras 57 y 58 no se ha representado ningún accesorio (válvulas, SAES, antivibradores, etc.) para simplificarlos.

1.2.4.5.2 Recuperación de calor del aire de extracción

La energía contenida en el aire expulsado por medios mecánicos de un sistema de climatización será parcialmente recuperada cuando el caudal de aire sea mayor que 0,5 m^3/s.

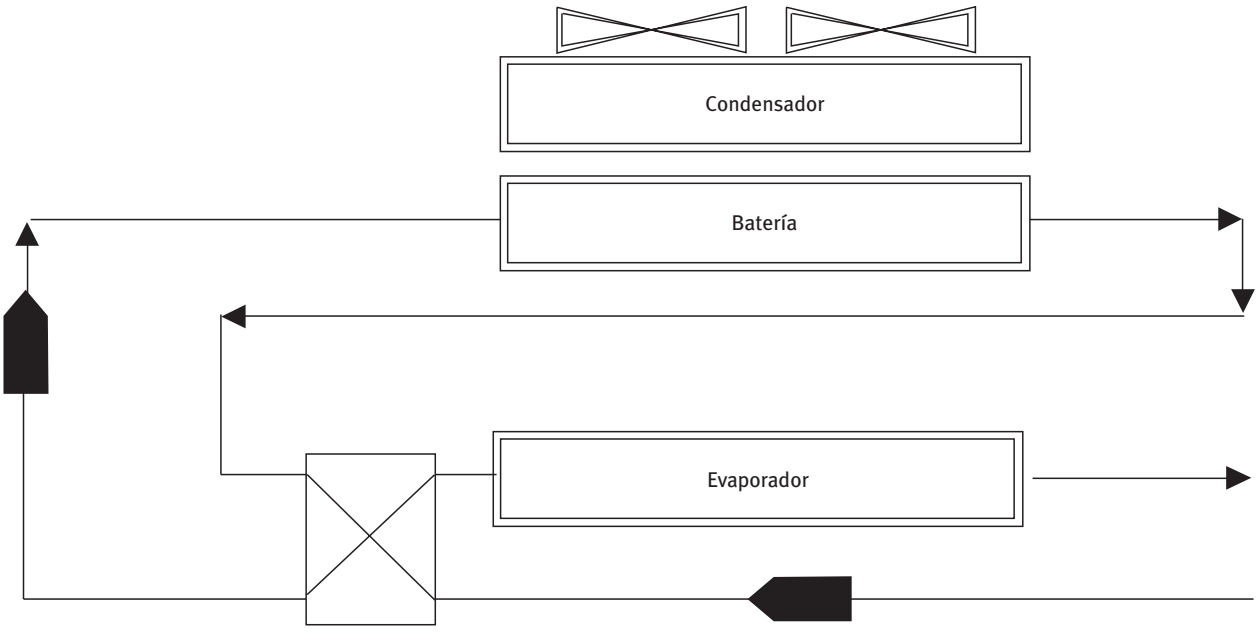


Fig. 58: Enfriamiento gratuito con agua glicolada

Para aumentar la eficiencia de la recuperación sobre el aire a expulsar se dispondrá de un aparato de enfriamiento adiabático EAi.

Estos conceptos se exponen, de forma muy esquemática, en la figura 59, donde se representan un recuperador rotativo y un aparato de enfriamiento adiabático de pulverización.

El RITE indica, en la tabla 2.4.5.1, la eficiencia mínima en calor sensible sobre el aire exterior y las pérdidas de presión máximas en función del caudal de aire exterior y de las horas anuales de funcionamiento del sistema.

En instalaciones industriales la recuperación de calor tiene unas características de explotación favorables que la hacen, casi siempre, rentable. Estas características se resumen en estos conceptos:

- Se aplica de forma independiente de las condiciones climatológicas del lugar
- La duración anual de explotación del sistema suele ser mucho mayor que 2.000 horas, valor típico de instalaciones de acondicionamiento de aire
- La diferencia de temperatura entre los fluidos es, en general, elevada

No puede afirmarse lo mismo para las instalaciones de acondicionamiento de aire; por esta razón el RITE obliga a la recuperación, fijando unos rendimientos mínimos y unas pérdidas de presión máximas.

Se examinará a continuación el caso, muy común, de un edificio comercial, bien aislado de la transmisión de calor y con ganancias de calor, debidas a las cargas interiores, muy elevadas, y se estudiará el comportamiento de un sistema de recuperación de calor durante las estaciones extremas de invierno y verano.

El tipo de sistema de recuperación (placas, rotativo, tubos de calor, etc.) no tiene relevancia en las consideraciones que siguen. Por supuesto, el sistema estará dotado del correspondiente lazo de control automático.

Durante muchas horas a lo largo del año, las ganancias interiores superan a las pérdidas a través de la envolvente del edificio; en consecuencia, es necesario enfriar el edificio.

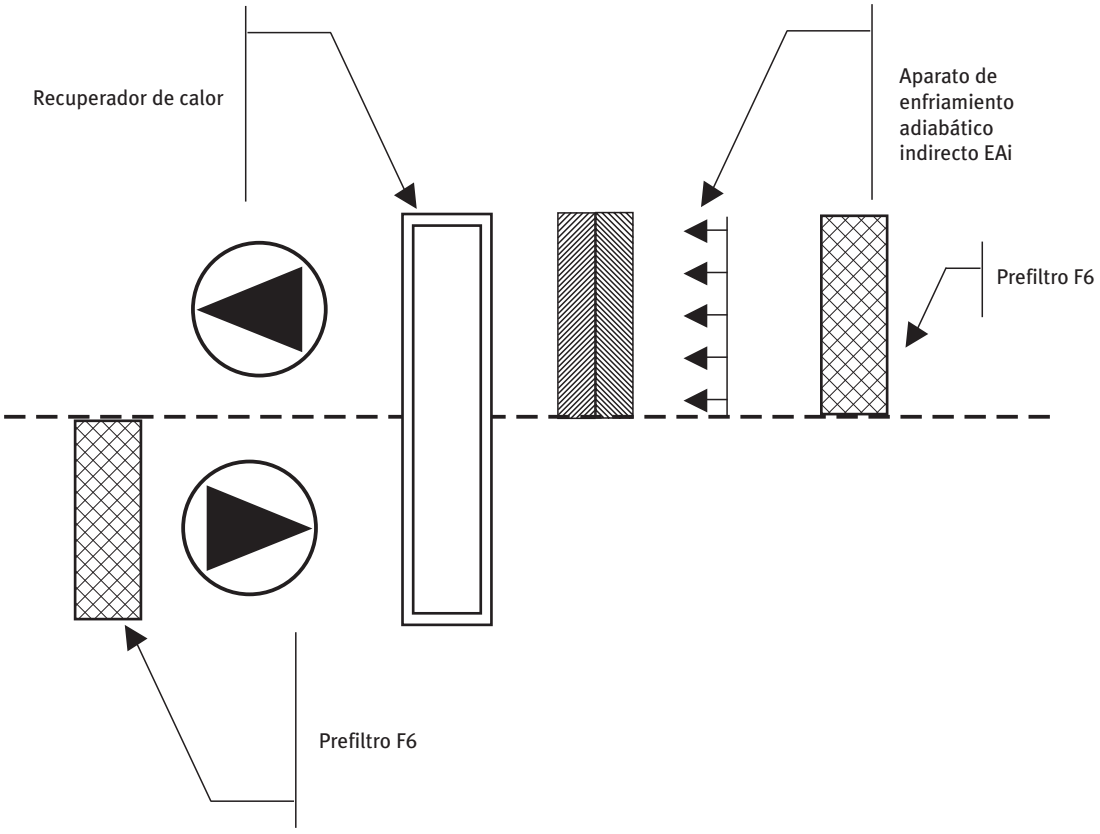


Fig. 59: Recuperación de calor

Probablemente, se necesitará calor solamente durante los arranques a primeras horas de las mañanas, particularmente después de un largo período de interrupción, y, posiblemente, sólo cuando la temperatura exterior haya bajado de los 15 °C.

Con estas premisas, es evidente que el sistema de control deberá intervenir en el sentido de reducir la cantidad de calor recuperada durante el régimen de funcionamiento normal.

Durante la estación veraniega, debido a que la diferencia de temperatura entre el aire expulsado y el aire exterior es inferior a la del invierno (típicamente, unos 25 °C en invierno y 10 °C en verano), a paridad de sistema de recuperación, la cantidad de energía térmica recuperada es bastante menor.

En la siguiente tabla se indican los resultados de los cálculos basados en un aparato de tipo de placas de aluminio de 65 m² de superficie de intercambio (cálculos efectuados a o m s.n.m.).

Recuperador de placas		Régimen de invierno		Régimen de verano	
	Fluidos	Exterior	Retorno	Exterior	Retorno
Caudales					
– Másico	kg/s	2,0	1,9	2,0	1,9
– Volumétrico (medio)	L/s	1560	1560	1760	1640
Velocidad media de paso	m/s	6,3	6,3	7,1	6,6
Pérdida de presión	Pa	183	178	211	189
Eficiencia de temperatura	%	53,2	48,0	50,0	53,0
Condiciones de entrada					
Temperatura seca	°C	-5,0	21,0	35,0	25,0
Temperatura húmeda	°C	-5,4	13,2	22,0	17,9
Humedad relativa	%	90	40,0	32,0	50,0
Entalpía	kJ/kg	0,55	36,87	64,23	50,45
Condiciones de salida					
Temperatura seca	°C	8,8	8,5	30,0	30,3
Temperatura húmeda	°C	2,9	6,8	20,6	19,7
Humedad relativa	%	31,9	78,5	42,4	36,7
Entalpía	kJ/kg	14,51	22,22	59,08	55,89
Potencia recuperada					
Total	kW	27,9		10,3	
Latente	kW	3,7		0	
Eficiencia energética	**%**	**40,4**		**39,3**	

La situación en régimen de verano puede mejorarse notablemente si, como exige el RITE en 1.2.4.5.2, punto 2, se dispone de un sistema de enfriamiento evaporativo a la entrada del aire de expulsión en el sistema de recuperación (Enfriamiento Adiabático indirecto EAi; véase figura 59). En este caso, la temperatura del aire de retorno a la salida del sistema de enfriamiento evaporativo se acerca a la de bulbo húmedo, tanto más cuanto más eficiente sea el mismo. Típicamente, la temperatura del aire baja hasta unos 17 a 19 °C; el diferencial de temperatura entre los dos fluidos aumenta, así como la energía recuperada. Esta configuración sería aún más favorable si se dispusiera de un sistema de recuperación de tipo entálpico.

En la tabla de la página siguiente se comparan los resultados para el régimen de verano en las mismas condiciones que el ejemplo anterior y con el mismo tamaño de aparato, precedido por un dispositivo de enfriamiento adiabático sobre el aire a expulsar que tiene un 90% de eficiencia.

Recuperador de placas		Con enfr. evap.		Sin enfr. evap.	
	Fluidos	Exterior	Retorno	Exterior	Retorno
Caudales					
– Másico	kg/s	2,0	1,9	2,0	1,9
– Volumétrico (medio)	L/s	1760	1630	1760	1640
Velocidad media de paso	m/s	7,1	6,5	7,1	6,6
Pérdida de presión	Pa	211	186	211	189
Eficiencia de temperatura	%	50,1	52,7	50,0	53,0
Condiciones de entrada					
Temperatura seca	°C	35,0	18,6	35,0	25,0
Temperatura húmeda	°C	22,0	17,9	22,0	17,9
Humedad relativa	%	32,0	93,6	32,0	50,0
Entalpía	kJ/kg	64,23	50,71	64,23	50,45
Condiciones de salida					
Temperatura seca	°C	26,8	27,3	30,0	30,3
Temperatura húmeda	°C	19,6	20,7	20,6	19,7
Humedad relativa	%	51,1	55,4	42,4	36,7
Entalpía	kJ/kg	55,77	59,62	59,08	55,89
Potencia recuperada					
Total	kW	16,9		10,3	
Latente	kW	0		0	
Eficiencia energética	%	65,9		39,3	

Se observa que la potencia recuperada y la eficiencia energética aumentan en un 60%, mientras que la eficiencia de temperatura, obviamente, queda casi constante.

Es necesario hacer algunas observaciones a lo anterior.

Si se dispone de un recuperador de tipo entálpico, como se ha insinuado antes, el ahorro de energía es muy elevado en invierno, porque se evitan los cuantiosos consumos de energía que se necesita para la humidificación del aire.

Para aplicaciones destinadas al confort, existen, fundamentalmente, dos tipos de aparatos de enfriamiento adiabático (o humectación).

- Aparatos con riego de agua sobre relleno de fibra de vidrio u otros materiales resistentes a la acción del agua (no se deben emplear rellenos de celulosa, a pesar de sus excelentes propiedades de intercambio de masa, por ser un material que favorece el desarrollo de la legionela).

  Estos aparatos pueden funcionar con agua recirculada o con agua perdida. En el segundo caso el consumo de agua es muy elevado, porque el caudal de riego del relleno es elevado.

  Por el contrario, en la bandeja de los aparatos con recirculación de agua se reduce el consumo de agua, pero se produce una proliferación de microorganismos. Aunque el riesgo de transmisión de enfermedades sea prácticamente nulo, ya que no hay pulverización de agua, el RD 865 prescribe que el agua de la bandeja sea tratada contra la proliferación de la legionela.

  La regulación de estos aparatos es del tipo todonada ya que la modulación del agua de riego no es técnicamente aceptable.

- Aparatos basados en la pulverización de agua en una corriente de aire. Para aumentar la eficiencia de pulverización se emplean boquillas para altas presiones de agua o boquillas de pulverización de agua auxiliadas por aire a presión. La elevada nebulización del agua que se obtiene con estas boquillas hace que la eficiencia de los aparatos sea muy alta. Por razones de seguridad, es recomendable disponer de un separador de gotas al final de la sección.

  La regulación de estos aparatos es continua, dentro de ciertos límites.

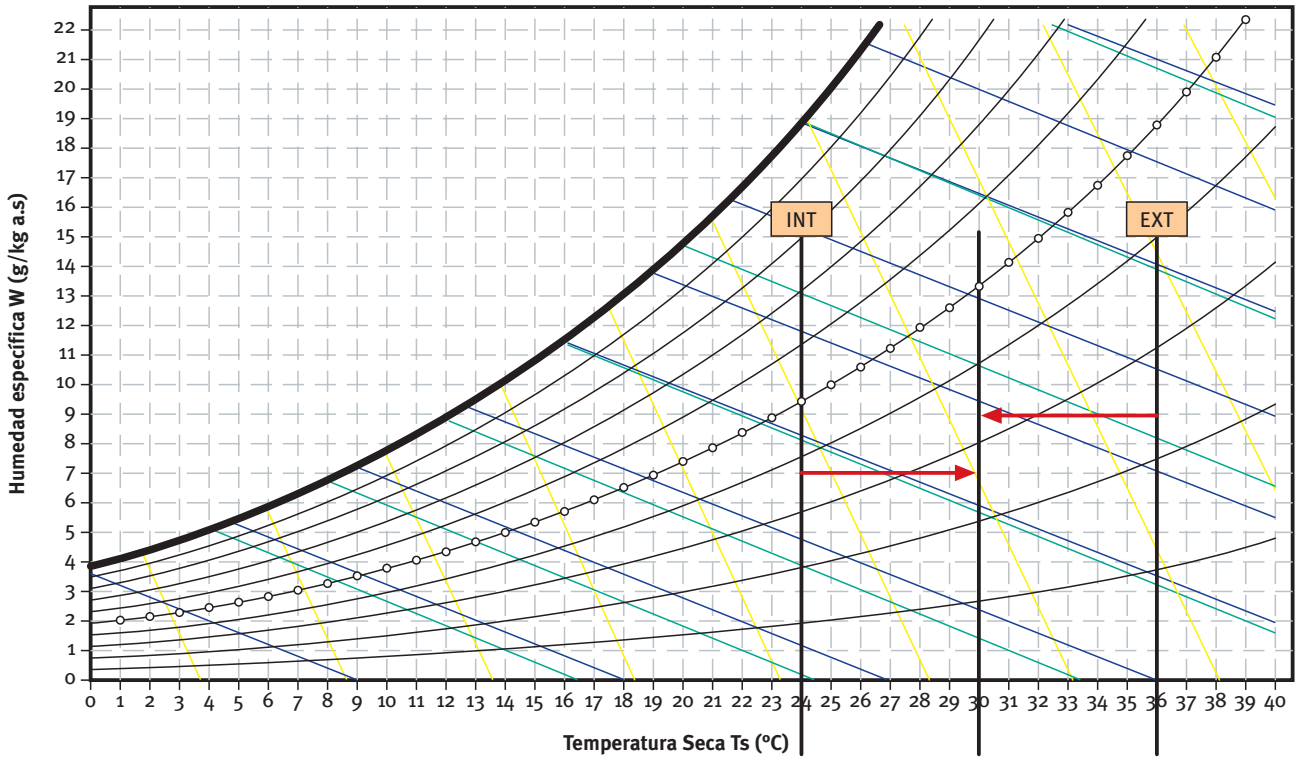


Fig. 6oa: Recuperación de calor sensible

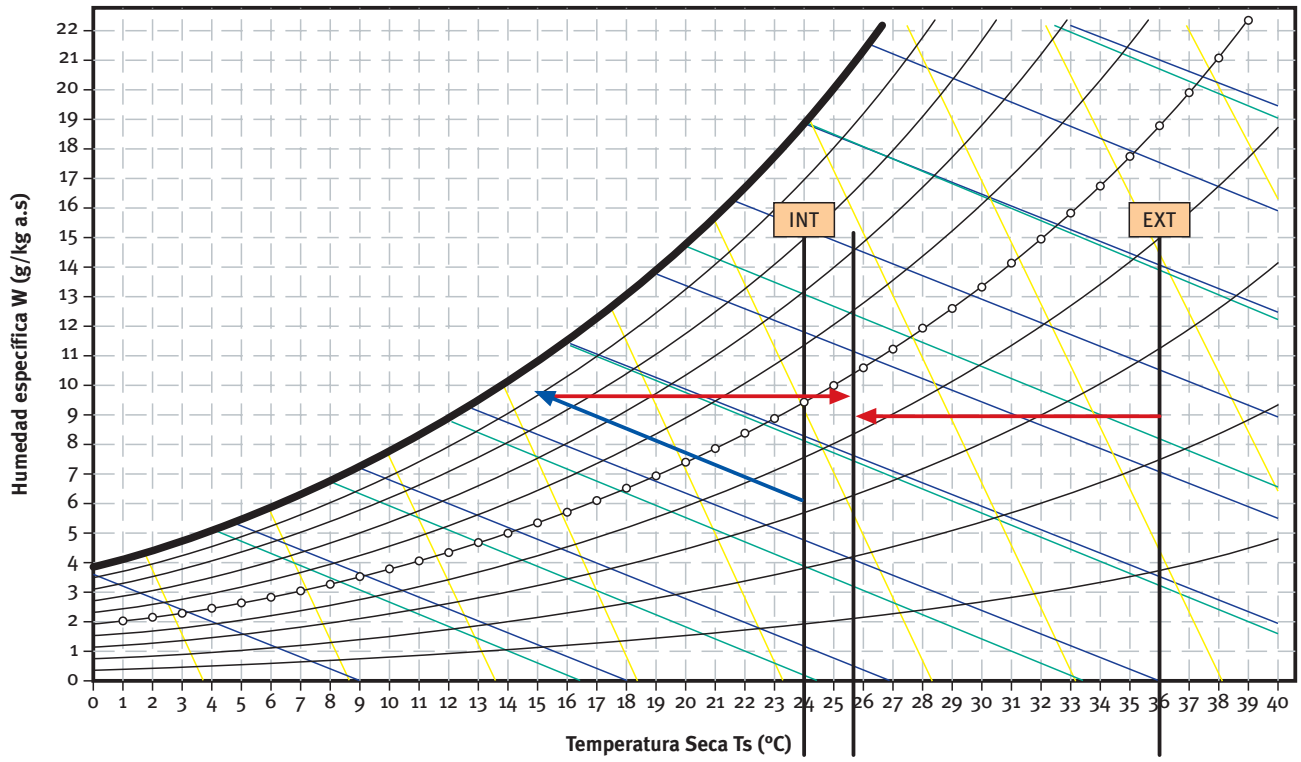


Fig. 6ob: Recuperación de calor sensible con EAi

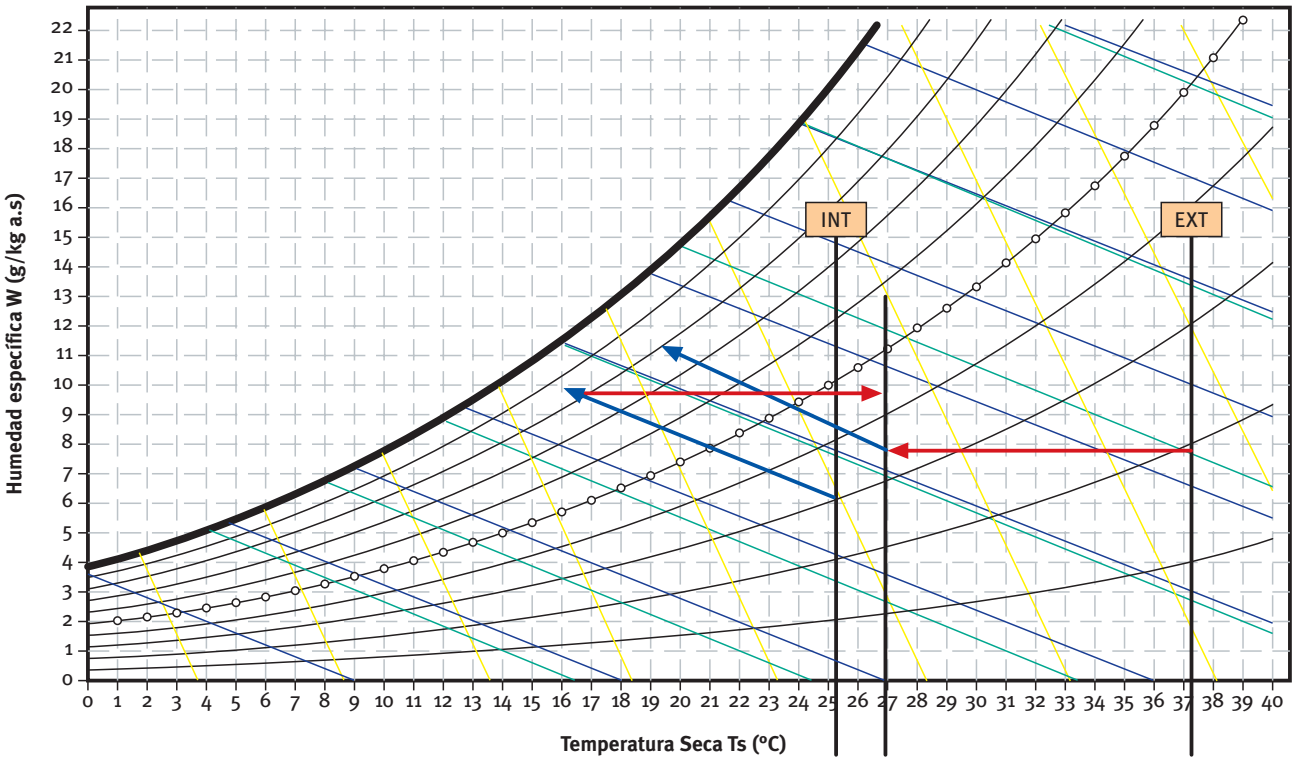


Fig. 60c: Recuperación de calor sensible con EAi y EAd

En los diagramas de aire húmedo de las figuras 60 (a, b y c) se representan las transformaciones de recuperación y de enfriamiento adiabático indirecto (EAi) y directo (EAd) entre dos caudales volumétricos de aire iguales, durante la estación calurosa, con aparatos de enfriamiento adiabático de un 90% de eficiencia.

La figura 60b indica el extraordinario aumento de eficiencia que provoca un aparato de EAi.

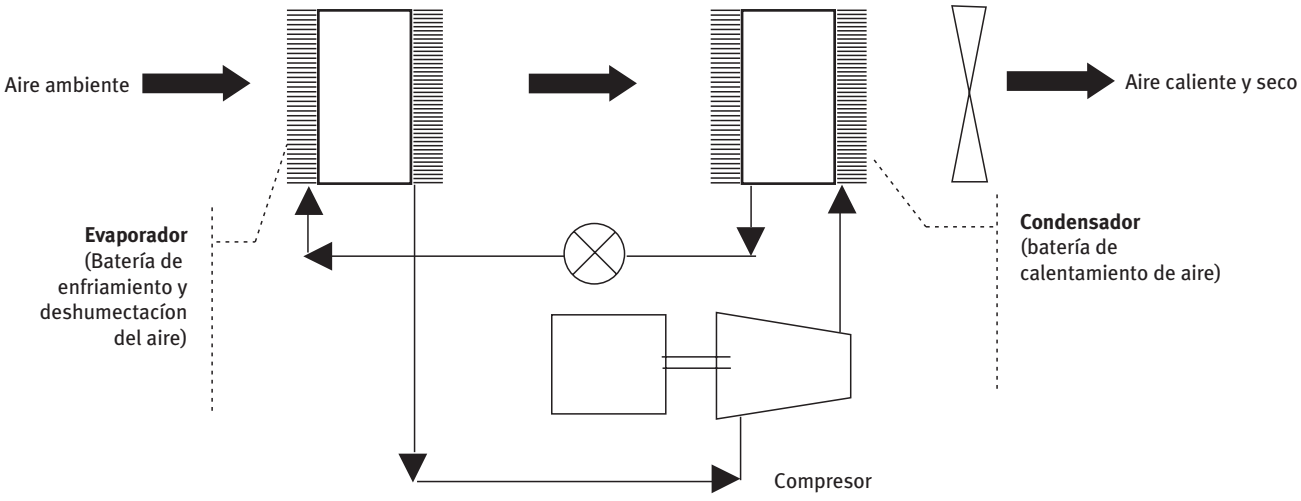


Fig. 61: Bomba de calor para el secado de aire en piscinas

En la figura 60c se puede ver cómo el EAd produce grandes beneficios especialmente cuando las condiciones exteriores son secas.

Dado el elevado contenido energético del aire de las piscinas cubiertas, el RITE exige que el dimensionamiento de la recuperación de calor se haga con los parámetros correspondientes a la fila de la tabla 2.4.5.1 correspondiente a más de 6.000 horas anuales de funcionamiento.

El RITE incide en que, independiente y alternativamente al uso del aire exterior como medio para reducir la humedad del ambiente de las piscinas, se puede emplear una bomba de calor que haga pasar el aire interior primero por la batería evaporadora, donde el aire se enfría y se deshumecta, y, luego, por la batería condensadora, donde el aire se calienta recuperando el calor de enfriamiento, sensible y latente, más el equivalente energético de la potencia eléctrica consumida por el motor del compresor y por el motor del ventilador de circulación del aire (figura 61).

1.2.4.5.3 Estratificación

La climatización de locales de gran altura, mayor que 4 m, debe ser estudiada con cuidado para favorecer o contrarrestar, según los casos, la acumulación de aire caliente en la parte superior del local.

Un caso típico de estratificación provocado por un convector está representado en la figura 62.

Siendo necesario acondicionar solamente la zona ocupada por las personas, hasta dos metros de altura sobre el suelo, la estratificación es favorable cuando se necesita enfriar el local, siempre dentro de límites razonables para la conservación de los materiales de cobertura, y, por el contrario, es perjudicial cuando el local deba ser calentado.

El problema se resuelve con múltiples soluciones.

- Si la carga es solamente de refrigeración, es decir, se debe favorecer la estratificación, se pueden emplear sistemas de difusión por desplazamiento, incluyendo en esta categoría también aquellos que están diseñado para ser incorporados en elementos de decoración o los difusores de suelo o peldaños. El gradiente vertical de temperatura podrá ser, como máximo, de 2 ºC entre cabeza y pies (véase figura 63).

Los símbolos de la figura 63 tienen el siguiente significado:

t_i Temperatura de aire en impulsión

t_s Temperatura de aire en suelo

t_z Temperatura en zona ocupada

t_t Temperatura de aire en techo

- Si la carga es solamente de calefacción, es decir, se debe romper la estratificación, cabe emplear diferentes sistemas para eliminar la estratificación o alguna combinación de ellos:

  1 Difusión por mezcla, que tiende a uniformar la temperatura en altura, arrastrando el aire caliente de la parte alta del local en la zona ocupada.

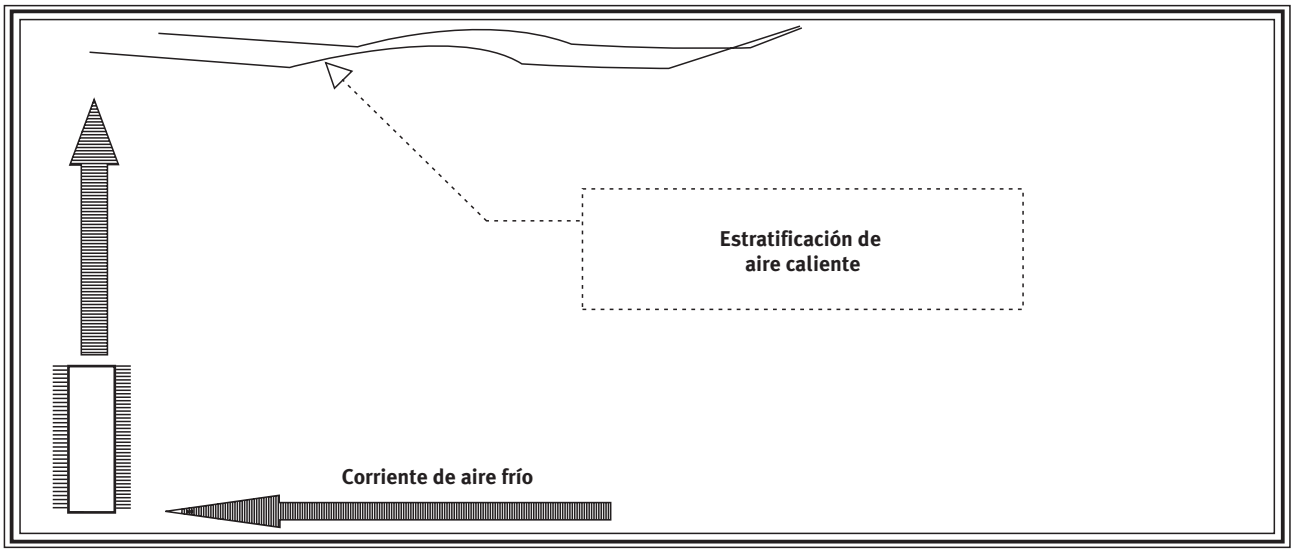


Fig. 62: Estratificación de aire caliente

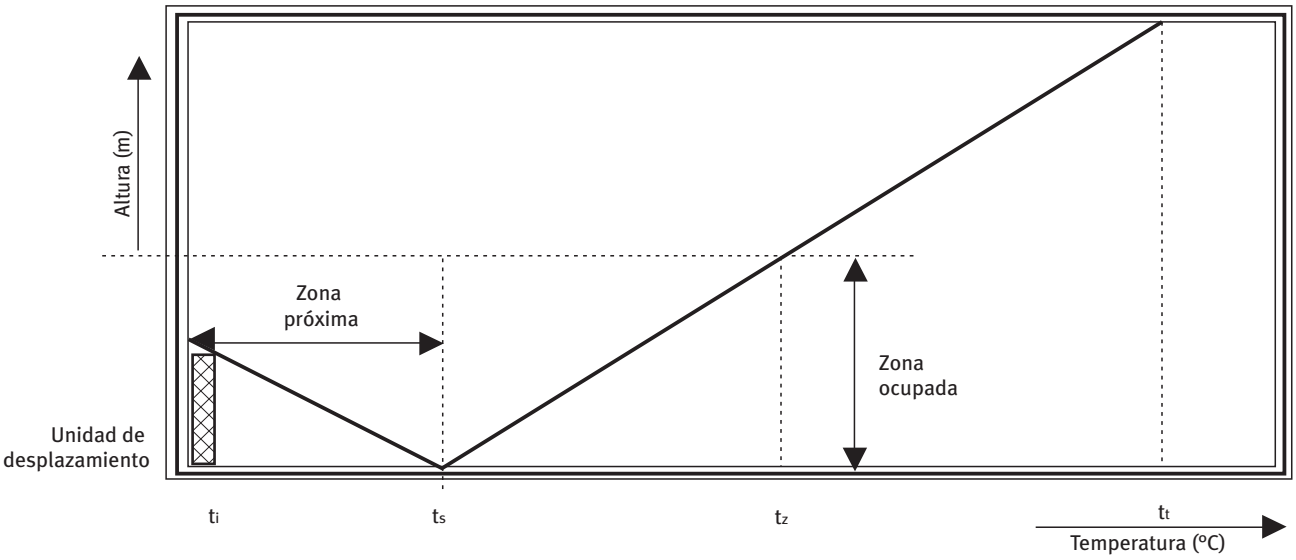


Fig. 63: Difusión por desplazamiento

2 Calefacción radiante, por suelo o techo (el aire, prácticamente, no se calienta).

3 Convección en la parte baja de los cerramientos en contacto con el exterior, siempre que se disponga oportunamente la sonda de control de la temperatura.

4 Difusores con ventilador incorporado, que recogen e impulsan el aire caliente de la parte alta del local enviándola a la zona ocupada. Es un sistema conceptualmente similar al sistema de difusión por mezcla: ahora la fuerza motriz es el mismo aire primario impulsado por el ventilador incorporado en el difusor.

5 Distribución de aire por venas secundarias que tienen la función de dirigir el flujo principal de aire en la zona ocupada (toberas).

- Si están presentes ambas cargas, de refrigeración y calefacción, caben las siguientes posibilidades:

1 Diseñar dos sistemas independientes, cada uno con los criterios antes indicados.

2 Emplear un sistema radiante que pueda contrarrestar eficazmente las dos cargas térmicas, por lo menos de forma parcial.

3 Buscar la solución energéticamente más eficiente entre las apropiadas para combatir las cargas de refrigeración y de calefacción, dependiendo del signo de la carga del local.

4 Eliminar la carga procedente del exterior, por ejemplo efectuando un barrido con aire, frío o caliente, desde abajo en las zonas en contacto con cerramientos exteriores, y tratar el resto de la carga, de signo positivo, como se ha indicado antes.

5 Impulsar el aire desde arriba mediante difusores de geometría variable, en función de la temperatura del aire de impulsión.

6 Distribución de aire por venas secundarias, dirigiendo el flujo principal de aire en la zona ocupada mediante toberas.

1.2.4.5.4 Zonificación

La zonificación de los sistemas de climatización se diseñará considerando la compartimentación de los espacios interiores, así como su orientación y las características funcionales y ocupacionales de los diferentes recintos.

El concepto de zonificación se seguirá no solamente para las unidades terminales a servicio de los locales, sino también para diseñar la circuitación de los sistemas de distribución de energía térmica.

1.2.4.5.5 Ahorro de energía en piscinas

En este apartado se comenta también el contenido del apartado IT 1.1.4.3.2.

La temperatura del agua de una piscina, salvo las de usos terapéuticos, se mantendrá entre 24 y 30 ºC.

La temperatura a mantener debería variar con el uso, es decir, con la actividad metabólica de los bañistas. Para actividades deportivas de entrenamiento y competición, el agua debería estar entre 24 y 25 °C y uno o dos grados más para actividades de recreo, enseñanza y chapoteo.

En piscinas privadas debería mantenerse una temperatura de 26 a 27 °C, aunque, con frecuencia, se pida mantener una temperatura de hasta 30 °C.

La tolerancia de temperatura en el espacio, horizontal y verticalmente, no debe ser mayor que ±1,5 °C.

Con el fin de evitar el desagradable efecto de la estratificación de temperatura, el agua caliente debe inyectarse en la piscina desde la parte baja de las paredes de la misma.

Se recuerda que las boquillas de impulsión del agua tratada se sitúan cerca de la superficie, de tal manera que se haga un barrido de la lámina de agua, con el fin de arrastrar las impurezas superficiales hacia el rebosadero (o los skimmers de las piscinas antiguas). Por tanto, la red de distribución de agua caliente debe ser independiente de la de tratamiento sanitario (filtración y tratamientos químicos o físicos).

La temperatura del aire de las piscinas cubiertas debe ser de 2 a 3 °C mayor que la del agua, para compensar el efecto de enfriamiento que provoca la evaporación del agua de un cuerpo mojado, con un mínimo de 26 °C y un máximo de 28 a 29 °C. Por tanto, es evidente que estas condiciones son incompatibles con temperaturas del agua mayores que 27 °C.

Condiciones interiores de 30 °C o más con el 60% de humedad relativa son inaceptables desde el punto de vista del bienestar e, incluso, sanitario.

La humedad relativa se mantendrá por debajo del 60 al 65%, con el fin de evitar condensaciones sobre las paredes en contacto con el exterior.

Las piscinas se ponen en temperatura al comienzo de la temporada; la puesta en marcha puede durar hasta tres días. Durante toda la temporada, tanto la temperatura del agua como, en su caso, la del ambiente deben mantenerse constantes, debido a la gran inercia térmica de todo el sistema.

El RITE exige que, cuando la piscina esté a régimen pero no esté en uso, la lámina de agua esté protegida con una barrera térmica. Esta obligación debe entenderse para piscinas cubiertas, para las que se permite el uso de energías convencionales, y es muy recomendable también para las piscinas al aire libre, aún cuando para su calentamiento se deban emplear solamente energías renovables o residuales.

La producción de calor para piscinas se obtendrá de las maneras que se describen a continuación, no sin antes recordar que el circuito de distribución de calor para el calentamiento del agua y la climatización de la piscina debe ser independiente de otras instalaciones térmicas.

Se debe distinguir entre piscinas cubiertas y piscinas al aire libre.

Para piscinas cubiertas, el CTE, en la sección HE 4, exige una contribución solar mínima del 30 hasta el 70%, según la zona climática (de I a V).

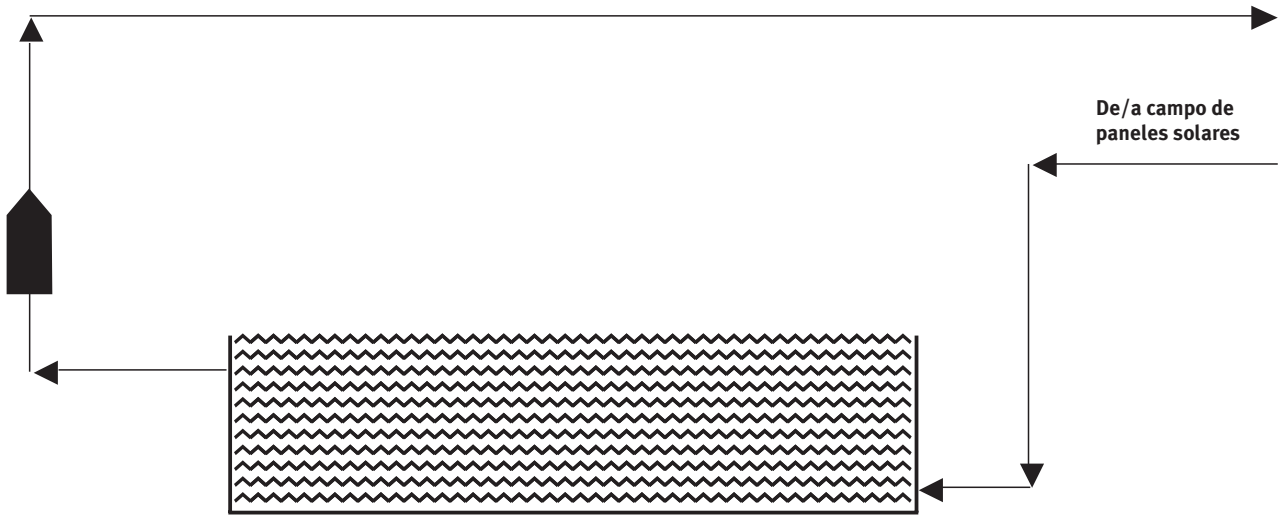


Fig. 64: Calentamiento de agua de piscina con campo de paneles solares

Un esquema puede ser el indicado en la figura 64 (página anterior), donde el vaso funciona como depósito de almacenamiento de energía.

La instalación deberá disponer de un sistema de disipación de los excedentes energéticos, considerando que la aportación de calor durante los meses de verano excede, con mucho, la demanda.

Para el calentamiento del agua de piscinas al aire libre sólo podrán emplearse fuentes de energía renovables (energía solar) o residuales (biomasa). Por tanto, está terminantemente prohibido el uso de energía convencional, aunque sea con un equipo bomba de calor.

1.2.4.6 Aprovechamiento de energías renovables

1.2.4.6.1 Contribución solar para la producción de agua caliente sanitaria

Se trata del cumplimiento de la sección HE 4 del CTE "Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria" (debe entenderse "Contribución solar mínima para la producción de agua caliente sanitaria").

En el apartado 3 se fija el grado de cumplimiento en función de la zona climática y el consumo de agua (tabla 2.1), considerando, incluso, la energía eléctrica por efecto joule como apoyo (tabla 2.2).

Se desaconseja el empleo de la energía eléctrica por efecto joule para demandas de más de 1.000 litros diarios.

La mayoría de los fabricantes de paneles solares térmicos disponen de programas de selección que, si bien no reconocidos por la Administración, son necesarios para hallar la superficie que, supuestamente, cubre las exigencias del CTE con esa determinada marca de paneles.

Los sistemas de paneles solares térmicos podrán ser sustituidos por otras técnicas de energías renovables, como sistemas de cogeneración o calderas de biomasa (método prestacional), siempre que no venga superada la producción de CO_2 del sistema exigido por la Administración (método prescriptivo) sobre una base anual:

Producción CO_2 de método prestacional ≤ Producción CO_2 de método prescriptivo

Se muestra un ejemplo que explica lo anterior.

Se considera un edificio destinado a viviendas, cada una de unos 100 m² de superficie.

Las demandas anuales de energía por vivienda han sido estimadas en estos valores:

Calefacción	5.000 kWh	Valor calculado y redondeado ligeramenteen exceso
ACS	2.000 kWh	Valor estimado como valor medio
Electricidad	2.500 kWh	Valor estimado como valor medio

Nota: los datos de consumos para edificios de diferentes usos pueden hallarse en las páginas web del MITYC (Ministerio de Industria, Transporte y Comercio) y del IDAE.

Se consideran tres sistemas:

- Solución básica (prescripción del CTE y del RITE): sistema de calefacción con caldera de gas y sistema de preparación de ACS con 70% de grado de cubrimiento mediante paneles solares térmicos. Este sistema necesita de acumulación de agua caliente de paneles solares.

- Solución con equipos de micro-cogeneración: cubrimiento de las demandas de ACS y de calefacción hasta igualar la producción de CO_2 del sistema base. Este sistema necesita acumulación de agua caliente y apoyo mediante caldera de gas.

- Solución con caldera de biomasa: cubrimiento total de las demandas de calefacción y agua caliente sanitaria (no es económicamente viable cubrir parte de la demanda con caldera de biomasa y parte con caldera de gas natural).

Las hipótesis de partida para los cálculos han sido las siguientes:

– Producción de CO_2 por combustión de gas natural: 0,204 kg/kWh

– Producción de CO_2 para la producción de electricidad (mezcla de diferentes fuentes de energía primaria): 0,370 kg/kWh

– Rendimiento medio estacional de calderas de gas: 80%

– Rendimiento de los equipos de cogeneración: eléctrico 26%; térmico 60%; (total 86%)

Sobre el valor de la producción de CO_2 por parte de la electricidad, cabe decir que el valor variará de año en año, dependiendo de la proporción de producción entre centrales térmicas de carbón y gas natural, centrales hidráulicas y centrales nucleares.

La administración deberá fijar cada año el valor a considerar en estos cálculos, por lo que este ejemplo habrá que revisarlo en función del factor de emisión de CO_2 que se fije oficialmente.

Los datos de rendimiento proceden de simulación de sistemas a partir de datos suministrados por los fabricantes.

Los cálculos arrojan los siguientes resultados:

1 Solución básica con Paneles Solares Térmicos PST

Paneles Solares Térmicos		Cobertura	
PST	kWh/año	%	$kgCO_2$/año
Demanda eléctrica	2.500	100,0	925
Calefacción con caldera	5.000	100,0	1.275
ACS con paneles solares	1.400	70,0	0
ACS de caldera	600	30,0	153
Total			**2.353**

2 Solución con equipos de cogeneración (*CHP Combined Heat and Power*)

Combined Heat and Power		Cobertura	
CHP	kWh/año	%	$kgCO_2$/año
ACS con CHP	2.000	100,0	680
Calefacción con CHP	3.770	75,4	1.282
Calefacción con caldera	1.230	24,6	314
Demanda eléctrica	2.500	100,0	0
Resto eléctrica	0	0,0	0
Total			**2.275**

Se observa que para igual producción de CO_2 de la solución básica es necesario cubrir el 55% de la demanda del sistema, y que la producción de energía eléctrica anula la producción de CO_2 por este concepto.

3 Solución con calderas de biomasa

		Cobertura	
Biomasa	kWh/año	%	$kgCO_2$/año
Demanda eléctrica (100% red)	2.500	0,0	925
Calefacción (cobertura 100%)	5.000	100,0	0
ACS (cobertura 100%)	2.000	100,0	0
Total			**925**

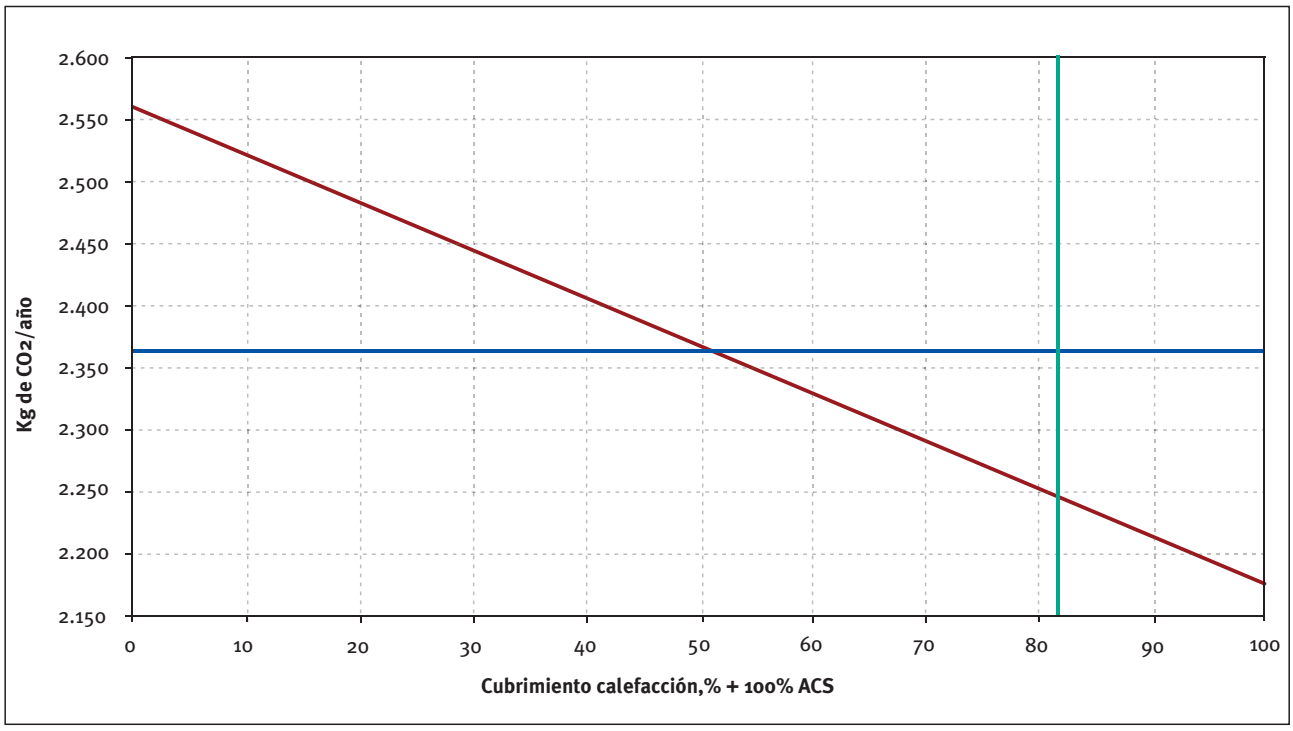


Fig. 65: Producción de CO_2 de sistemas PST y CHP

La solución con biomasa anula la producción de CO_2 por calefacción y agua caliente sanitaria.

Se deben recordar los inconvenientes del sistema de biomasa en edificios situados en casco urbano:

- Aumento del tráfico de vehículos pesados
- Aumento de las medidas de seguridad contra incendios
- Elevada calidad del sistema de depuración de humos

En el gráfico de la figura 65 (página anterior) se comparan las prestaciones del sistema convencional de paneles solares PST con la del sistema CHP.

La línea azul representa la producción del CO_2 por el sistema básico PST.

La línea roja representa la producción de CO_2 en función del tamaño de la instalación CHP. En abscisas se representa el cubrimiento del sistema de calefacción, más el cubrimiento total de la demanda de ACS.

La línea amarilla representa el cubrimiento del 100% de la demanda eléctrica.

En el apartado 3.4.7.1 del CTE se admite la presencia de vasos de expansión abiertos como componentes del sistema de captación de energía solar.

Los vasos de expansión abiertos no deben emplearse por estas razones:

- En los vasos abiertos se pone en contacto el agua o la disolución de glicol en agua con el aire de la atmósfera, aumentando el riesgo de corrosión de los materiales de la instalación.
- Los vasos abiertos deben situarse a una cota mayor a la de los paneles solares térmicos, suficiente para presurizar el sistema en su punto más elevado, dos a tres metros de columna de agua, por lo menos.

Por tanto, es necesario emplear siempre vasos de expansión cerrados.

1.2.4.6.2 Contribución solar para el calentamiento de piscinas cubiertas

En la tabla 2.3 del apartado HE 4 "Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria" del CTE se indica la contribución solar mínima para el calentamiento de agua de piscinas cubiertas (véanse también los comentarios al apartado 1.2.4.5.5).

En este tipo de instalación, obviamente, se aprovechará el volumen de agua de la piscina como medio de almacenamiento (véase un esquema en la figura 66 y la figura 64).

1.2.4.6.3 Contribución solar mínima para el calentamiento de piscinas al aire libre

Para la piscina al aire libre sólo está permitido el uso de energía renovables (solar, biomasa) o residuales. Es válido el esquema de la figura 66.

No se puede emplear energía eléctrica en forma de bomba de calor.

1.2.4.6.4 Climatización de espacios abiertos

La climatización de espacios abiertos sólo está permitida si se utilizan energía renovables o residuales.

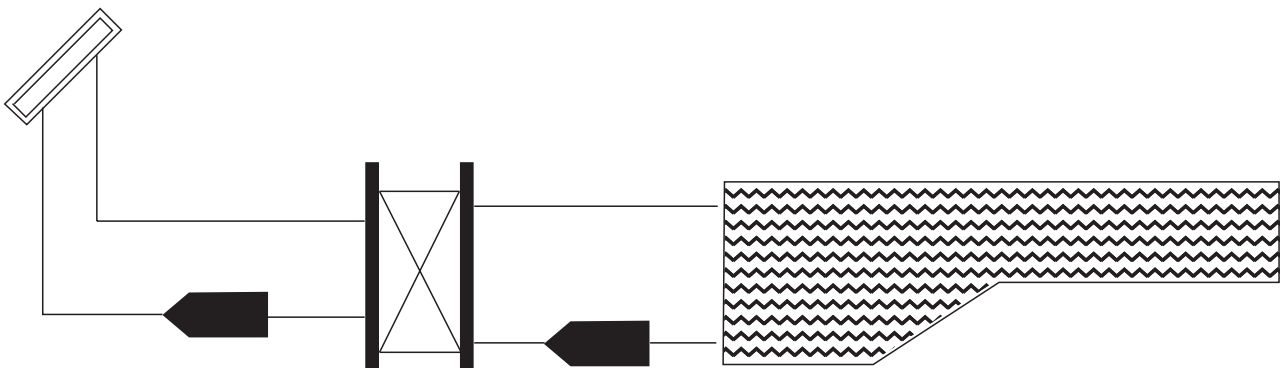


Fig. 66: Paneles solares en piscina

1.2.4.7 Limitación de la utilización de energía convencional

La limitación de la energía eléctrica como fuente de calor por efecto joule en instalaciones centralizadas está permitida solamente en estos casos:

- En apoyo a bombas de calor
- En apoyo a sistemas de energía renovable o residual
- En sistemas de acumulación de calor que consuman energía en horas valle

Los locales no habitables no se climatizarán, salvo cuando se empleen fuentes de energía renovable o residual.

Para el mantenimiento de las condiciones termohigrométricas de los recintos acondicionados no está permitida la acción simultánea de fluidos de temperatura opuesta (con respecto al local acondicionado) o los procesos sucesivos de enfriamiento y calentamiento del aire, salvo en los casos siguientes, que deberán justificarse en la memoria del proyecto:

- Cuando uno de los fluidos proceda de un proceso de recuperación (recuperador de calor del aire de extracción, condensador de un equipo frigorífico, etc.) o de una fuente de energía gratuita.
- Sea imperativo el mantenimiento de la humedad relativa dentro de márgenes muy estrechos (por ejemplo, en algunos laboratorios).
- Se necesite mantener los recintos acondicionados con presión positiva con respecto a los recintos adyacentes (por ejemplo: laboratorios, quirófanos, etc.).
- Se necesite simultanear la entrada de aire caliente y aire frío para mantener el caudal mínimo de aire de ventilación (por ejemplo, sistema de doble conducto); también cuando la carga térmica demandada es menor que la ofrecida por el caudal de aire mínimo de ventilación. Además, deben considerarse incluidos también los sistemas mixtos, con aire mínimo de ventilación a temperatura casi constante, cercana a la neutralidad térmica con respecto al recinto a acondicionar, y el fluido portador a la temperatura requerida por la carga térmica.
- La mezcla de aire tenga lugar en dos zonas diferentes del mismo recinto (por ejemplo, zona periférica y zona central).

También puede considerarse viable la aplicación del sistema de caudal variable con post-calentamiento cuando haya una gran diversidad de demandas térmicas desde una sola UTA, teniendo en cuenta que el post-calentamiento es usado solamente en algunos puntos y a tiempo parcial. En estos casos, se debe limitar el poscalentamiento a un caudal de aire del 35 a 40% del caudal máximo de diseño que, además, suele coincidir con el caudal mínimo admitido por la caja y/o el difusor y es un poco mayor que el caudal mínimo de ventilación.

En estos casos el aire caliente no debe ser nunca descargado a una temperatura mayor que la temperatura a mantener en el ambiente más 8 °C, porque la difusión de aire en el ambiente puede crear graves problemas de estratificación o de cortocircuitos con las rejillas de retorno.

Se puede constatar que temperaturas del aire de impulsión iguales o menores que 30 °C satisfacen con holgura las máximas demandas térmicas negativas de las zonas periféricas de los recintos, en la gran mayoría de los casos. Con estas temperaturas es suficiente impulsar un caudal de aire de unos 5 L/(s·m²) en las zonas periféricas.

De no ser así, se deben revisar los coeficientes de transmisión de calor de la envolvente del recinto, sobre todo de las superficies encristaladas.

IT 1.3 Exigencia de seguridad

IT 1.3.1 Ámbito de aplicación

IT 1.3.2 Procedimiento de verificación

IT 1.3.3 Documentación justificativa

IT 1.3.4 Caracterización y cuantificación de la exigencia de seguridad

IT 1.3.4.1 Generación de calor y frío

En el apartado 1.3.4.1.1 “Condiciones generales” se destacan los siguientes puntos:

- Los generadores de calor y frío dispondrán de un dispositivo que permita detectar la circulación del fluido portador en su interior. El dispositivo será, en general, un interruptor de flujo; se preferirá un presostato diferencial en el caso de

equipos con una pérdida de presión relevante, como, por ejemplo, una maquina frigorífica. Quedan excluidos los generadores de calor que, según especificación del fabricante, no requieran una circulación mínima de agua como, por ejemplo, las calderas de elevado contenido de agua. Estos criterios han sido ya comentados en al apartado 1.2.4.1.1.

- Todos los tipos de generadores de combustible gaseoso tendrán la certificación de conformidad del RD 1428/1992.

- Los generadores de combustibles líquidos dispondrán de un dispositivo de interrupción del funcionamiento del quemador en caso de retroceso de los productos de la combustión y otro, de rearme manual, que impida que se alcancen temperaturas mayores que la máxima de diseño.

- Los generadores de biocombustibles sólidos deberán tener:

  – Un dispositivo de interrupción de funcionamiento del sistema de combustión en caso de retroceso de los productos de la combustión.

  – Un sistema que evite la propagación del retroceso de la llama hasta el silo de almacenamiento del combustible.

  – Un dispositivo, de rearme manual, que impida que se alcancen temperaturas mayores que la máxima de diseño.

  – Cuando se interrumpa el funcionamiento del sistema de combustión, las bombas de circulación, primarias y secundarias, deberán seguir funcionando hasta tanto se haya eliminado el calor residual. Alternativamente, se podrá emplear un intercambiador de calor que evacue el calor residual al exterior, siendo éste uno de los circuitos secundarios.

  – Una válvula de seguridad tarada a 1 bar (o,5 bar sería más acertado) por encima de la presión de trabajo del generador.

Cuando en una caldera de combustible sólido (biomasa, por ejemplo) se deba evacuar el calor producido por un exceso de combustible, se pueden emplear estos métodos:

- Dejar que las bombas primarias y las secundarias sigan funcionando, de manera que los usuarios reciban el calor, si es posible; con la práctica adquirida con el transcurrir del tiempo, se conocerá el tiempo necesario para cesar con antelación la alimentación de combustible a la caldera.

- Instalar, en paralelo a los circuitos secundarios, una batería que disipe el calor hacia el exterior.

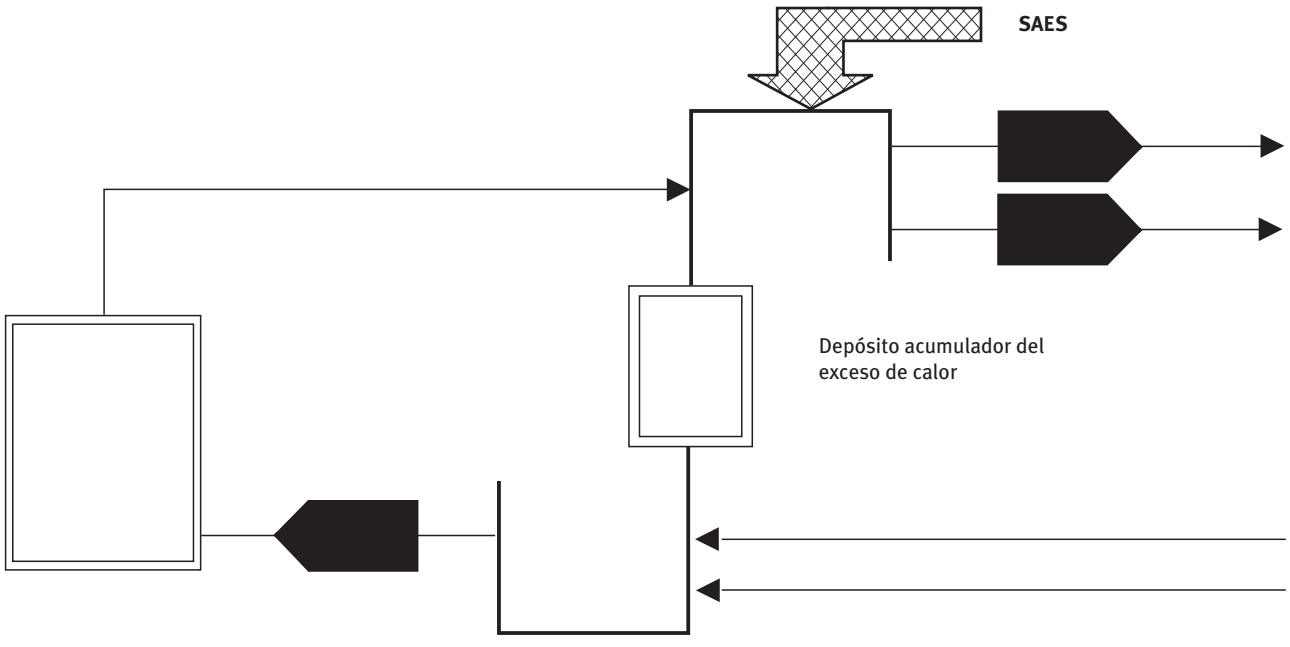


Fig. 67: Esquema de una central térmica

- Acumular el calor en un depósito situado, por ejemplo, en el tramo equilibrador del colector.

La figura 67 representa un esquema de una central térmica. En él se representa un generador de calor y dos circuitos secundarios, uno de los cuales puede ser el disipador de calor (normalmente una batería agua-aire).

No se deben emplear recipientes de expansión abiertos para evitar el contacto entre el aire y el agua del circuito.

Cuando la evacuación del calor residual no tenga lugar con alguno de los tres métodos anteriores, la temperatura en la caldera subirá hasta que se alcance la temperatura correspondiente a la presión de disparo de la válvula de seguridad.

Por ejemplo, si la presión de referencia, determinada por el vaso de expansión, es de 3,2 bar relativo (4,2 bar absoluto) y la válvula de seguridad está tarada a 3,5 bar (4,5 bar absoluto), la temperatura que se puede alcanzar en la caldera, sin formación de vapor, es de 148ºC. Si se sigue suministrando calor, la presión aumentará y la válvula de seguridad abrirá.

Conviene siempre instalar dos válvulas de seguridad en cada caldera, con diferencia en las presiones de disparo de 0,2 a 0,3 bar.

- La descarga de las válvulas de seguridad será siempre conducida hasta un sumidero y deberá quedar a la vista.

- En recintos destinados a almacenes, talleres, naves industriales u otros recintos similares, se podrán emplear equipos de generación de calor de hogar abierto o que viertan los productos de la combustión en el mismo recinto a calentar. Se deberá justificar que la calidad del aire en la zona ocupada se mantiene en los límites fijados por la Autoridad Sanitaria. Más acertado sería medir algunos parámetros ambientales, como CO, CO2 y NOx, antes y después del funcionamiento del equipo.

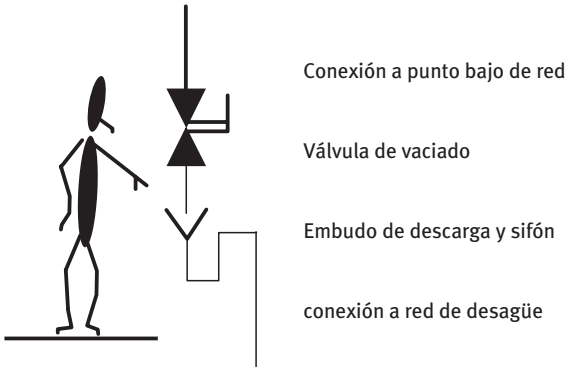


Fig. 68: Vaciado de un circuito

IT 1.3.4.1.2 Salas de máquinas

Las salas de máquinas son recintos donde se alojan los generadores térmicos y otros equipos auxiliares, así como los accesorios necesarios para su funcionamiento.

Un recinto tendrá la consideración de sala de máquina cuando la suma de las potencias térmicas nominales instaladas de los generadores sea mayor que 70 kW.

Se consideran parte de la sala de máquinas los locales a los que se acceda desde la misma sala, que comuniquen con el resto del edificio o con el exterior.

No tendrán consideración de salas de máquinas:

- Los recintos que contengan equipos cuya suma de potencia sea menor que 70 kW.

- Los recintos con generadores de aire caliente, tubos radiantes de gas o aparatos similares, siempre que se tengan en cuenta los requisitos de ventilación de la norma UNE-EN 13410.

- Los equipos de generación de frío y calor de cualquier potencia, diseñados para ser instalados en exteriores, con fluido portador aire o agua. Alrededor de los cuatro lados de estos equipos se dejarán las distancias para ventilación y mantenimiento determinadas por el fabricante (véase también el CTE, en su apartado 2, punto 2).

La clasificación de riesgos (bajo, medio y alto) para las salas de máquinas y almacenes de combustibles está indicada en la tabla 2.1 del DB-SI del CTE, cuyo contenido se repite aquí para comodidad del lector:

- Salas de calderas: el riesgo se establece en función de la potencia
  - Riesgo bajo: potencia mayor que 70 kW y menor o igual que 200 kW
  - Riesgo medio: potencia mayor que 200 kW y menor o igual que 600 kW
  - Riesgo alto: potencia mayor que 600 kW

El RITE, en el apartado 1.3.4.1.2.4, indica que son de riesgo alto las salas de calderas de cualquier potencia que trabajen con agua a más de 110ºC y las realizadas en edificios institucionales o de pública concurrencia.

- Salas de maquinaria frigorífica con refrigerante halogenado
  - Riesgo bajo para potencia de hasta 400 kW
  - Riesgo medio para potencia mayores que 400 kW
- Salas de maquinaria frigorífica con refrigerante amoníaco
  - Riesgo medio en todo caso
- Salas de unidades de tratamiento de aire, climatizadores, ventiladores
  - Riesgo bajo en todo caso
- Almacén de combustible sólido para calefacción
  - Riesgo medio en todo caso

Las condiciones de las zonas de riesgo especial integradas en edificios están indicadas en la tabla 2.2 del DB-SI, además de los indicados en los puntos a), b) y c) del apartado 1.3.4.1.2.4 del RITE

Espacios

Toda sala de máquina tendrá un camino desde su interior hacia el exterior por el que se podrá pasar con el equipo más pesado y voluminoso contenido en la misma sin dificultad alguna y sin necesidad de tener que eliminar del camino elementos constructivos o puertas.

Los espacios libres alrededor de un generador, lateralmente, frontalmente, en la parte trasera y en altura, se deberán determinar teniendo en cuenta la necesidad de efectuar con comodidad las operaciones de manejo y mantenimiento y, en general, deberán ser tanto más grandes cuanto mayor sea la potencia del equipo. Los valores indicados por el fabricante deben considerarse valores mínimos.

Además, la distancia entre generadores de calor y entre éstos y las paredes deberá contemplar la posibilidad de abrir la puerta frontal sin necesidad de desmontar el quemador.

La distancia mínima entre equipos y entre éstos y los cerramientos que marca la normativa vigente, es decir el RITE, entre 50 y 60 cm, no permite un servicio cómodo; esta distancia no debería ser nunca menor que 80 cm.

En la parte frontal de calderas y máquinas frigoríficas deberá existir un espacio libre de longitud igual, por lo menos, a la del equipo, con el fin de poder efectuar las operaciones de limpieza de los tubos de los intercambiadores de calor. La altura de este espacio deberá ser la que marque el haz de tubos.

En cuanto a la altura libre sobre los equipos, la cota de un metro, debajo de cualquier obstáculo, parece la mínima aconsejable. La necesidad de pasar por encima de los equipos muchas tuberías, en las que, además, es necesario montar el aislamiento térmico, o instalar un elemento elevador para mover el equipo o una parte de él, hace necesario considerar alturas de la sala de máquinas de varios metros. En este caso, puede considerarse la conveniencia de construir forjados intermedios en la parte donde se sitúan los equipos de bombeo y otros aparatos, para compactar la sala de máquinas, reduciendo la superficie en planta, sin perder la facilidad de acceso a sus componentes.

En cualquier caso, una sala de máquinas no debe tener nunca una altura menor que 2,5 m, lo que, desde luego, debe aplicarse sólo cuando se trate de una sala de pocas decenas de kW de potencia.

En caso de sala de máquinas para calderas de combustible sólido, el diseño de la situación de los generadores y el silo de almacenamiento y de los espacios alrededor de los diferentes componentes se hará siguiendo las instrucciones del fabricante.

Para el mejor aprovechamiento del espacio en las salas de máquinas es necesario que se estudie con esmero la disposición de los pilares, cuando sea posible.

La norma UNE-EN 13779, en el apartado 13 del Anexo A, indica unos requisitos de espacio para salas de UTAs (A.13.2) y para salas de máquinas frigoríficas (A.13.3).

Igualmente, la norma indica requisitos mínimos de espacio para patinillos (A.13.4) y falsos techos (A.13.5). A este respecto debe decirse que la norma no menciona que las dimensiones de estos espacios dependen de la superficie servida por los mismos.

Ventilación

Los requisitos mínimos de ventilación de las salas de máquinas están indicados en el RAP (Reglamento de Aparatos a Presión, MIE-AP1 capítulo 5) para los generadores de calor y en el RSF (Reglamento de Seguridad para plantas e instalaciones Frigoríficas, MI IF 007) para generadores de frío. Ambos reglamentos están actualmente en fase de revisión.

La repetición de las mismas instrucciones en diferentes reglamentaciones (RITE y normas UNE) sólo genera confusión y, probablemente, contradicciones.

Como regla general, se recomienda que las salas de máquinas estén situadas en contacto con el ambiente exterior, de manera que la ventilación tenga lugar siempre por medios naturales (ventilación natural directa por aperturas).

Esta recomendación es muy fácil de cumplir cuando la sala de máquinas se sitúa en la cubierta de un edificio o, incluso, en un edificio independiente; además, en estos casos, se facilita la salida de los productos de la combustión hacia el exterior.

En cualquier caso, todas las aberturas de ventilación deberán estar protegidas por medio de rejillas y mallas metálicas antiinsectos.

El aire de ventilación de las salas de generadores de calor sirve para un doble propósito: ventilar el local con el fin de evacuar parte del calor desprendido por los equipos y las tuberías y suministrar el aire necesario para la combustión.

Las entradas de aire se harán en la parte inferior de las paredes, con área libre mínima de 5 cm² por cada kW de potencia térmica instalada.

Además, en la parte superior de las paredes se practicarán aberturas de superficie igual, por lo menos, a una milésima parte de la superficie en planta de la sala de máquinas.

Cuando sea posible, las aberturas se practicarán en diferentes fachadas, para favorecer la creación de corrientes de aire por efecto de los vientos.

En la figura 69 se indica la posición de las aberturas.

Los mismos criterios se seguirán para el diseño de los equipos autónomos de generación de calor.

La envolvente se diseñará de tal manera que el aire entre por el suelo de la unidad (construido con un tramex metálico de resistencia suficiente para soportar el peso de los equipos) y salga por unas rejillas situadas en la parte superior de las paredes laterales, según se indica en la figura 70.

Las paredes laterales serán fácilmente desmontables para poder acceder a todos los equipos situados en su interior.

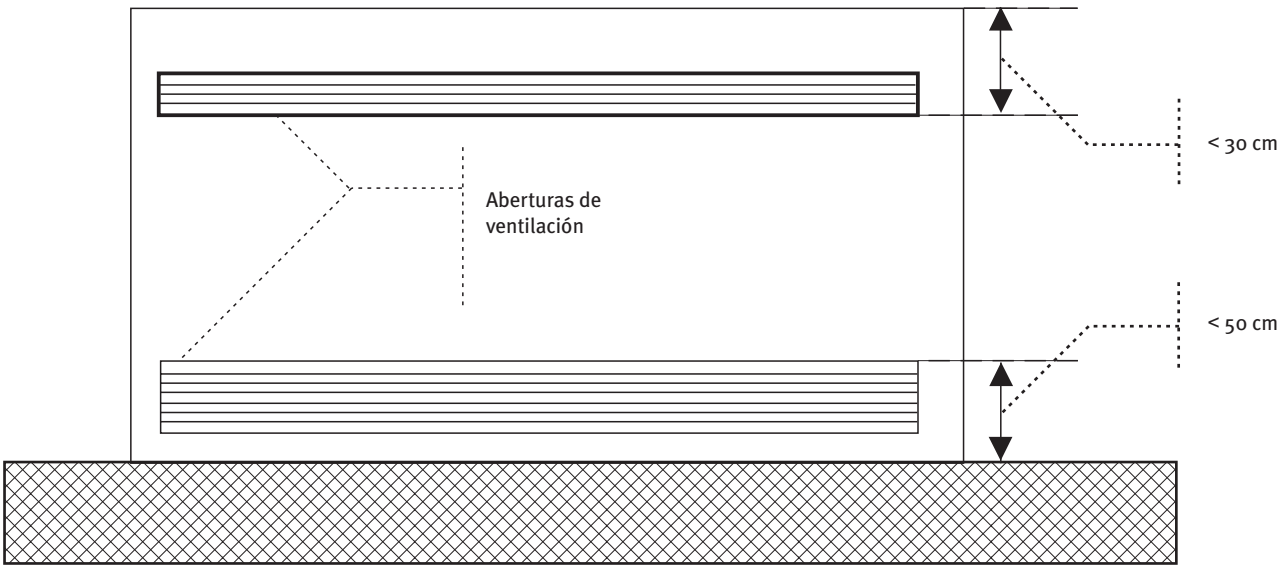


Fig. 69: Ventilación natural de una sala de máquinas

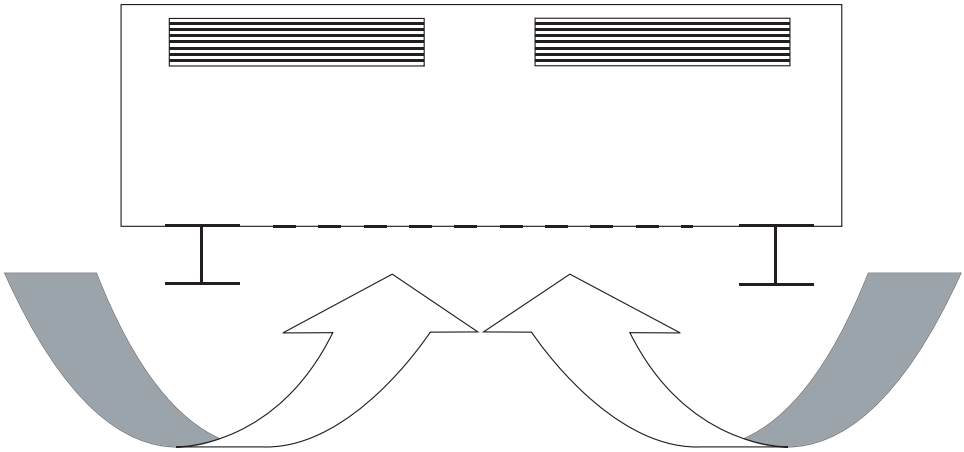


Fig. 70: Unidad compacta de generación de calor

Para las salas de calderas se recomienda evitar la ventilación natural directa por conducto, así como la ventilación forzada.

En lo que respecta a la ventilación de las salas con generadores de frío, podrán seguirse las indicaciones de la norma EN 378, parte III, capítulos 4, 5, 6, 7 y 8, además de los que se diga en el nuevo RSF.

La ventilación para las condiciones normales de funcionamiento deberá asegurar un caudal no menor que 4 renovaciones horarias.

La superficie total mínima de abertura libre para la ventilación natural será de:

$$A = 0{,}14 \bullet m^{1/2}$$

donde:

– A es la superficie libre mínima de las aberturas, m²

– m es la masa de refrigerante existente en el sistema de refrigeración que cuente con mayor carga, cualquiera que sea la parte del mismo que esté en la sala de máquinas, kg

La ventilación mecánica de emergencia en caso de fuga de refrigerante será la que resulte de aplicar la siguiente ecuación:

$$V = 0{,}014 \bullet m^{2/3}$$

donde:

– V es el caudal de aire, m³/s

El caudal de ventilación resultante de la aplicación de la ecuación anterior no debe ser mayor que 15 renovaciones horarias. Si lo fuera, deberá aumentarse el volumen de la sala de máquinas.

1.3.4.1.3 Chimeneas

La evacuación de los productos de la combustión se realizará siempre por la cubierta del edificio, salvo en los casos previstos en el apartado 1.3.4.1.3.1, párrafo d), que estarán debidamente autorizados por la Comunidad Autónoma.

Al respecto, debe comentarse que no se puede garantizar la calidad del aire en los patios y fachadas afectados por la salida de los productos de la combustión y, tampoco, la del aire en los locales contiguos a tales salidas.

El apartado 1.3.4.1.3.2 exige que cada generador de más de 400 kW de potencia térmica tenga su propio conducto de evacuación de los productos de la combustión.

Se recomienda extender esta práctica a generadores de cualquier potencia, con el fin de garantizar el funcionamiento correcto del generador bajo cualquier condición de carga y con diferentes temperaturas exteriores.

Se recomienda emplear siempre una chimenea metálica prefabricada, de sección circular, debidamente aislada cuando se trate de calderas convencionales y de baja temperatura.

El cálculo de la chimenea podrá hacerse según los criterios marcados en la norma UNE 123001.

Otras normas de interés relativas a chimeneas son las siguientes: UNE 123002; UNE-EN 13384, Partes 1 y 2; UNE-EN 1856, Partes 1 y 2.

Para calderas de condensación, con temperaturas de humos que no superan los 90 °C, podrán emplearse conductos de evacuación de materiales plásticos, rígidos

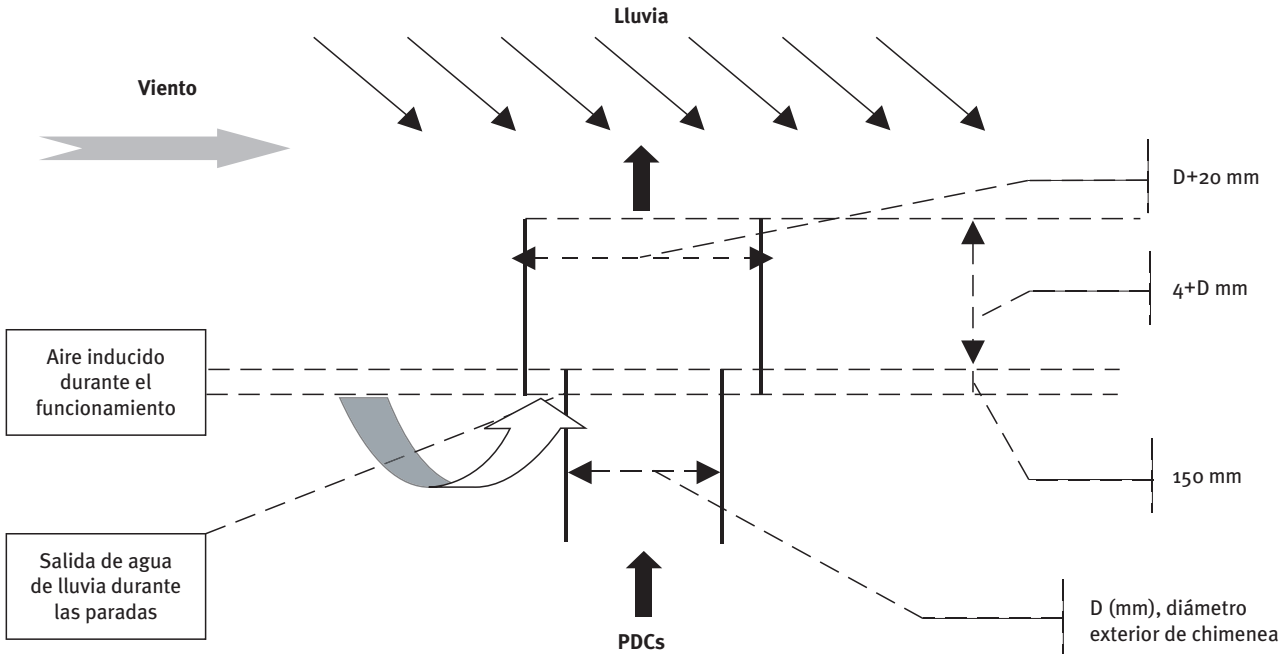


Fig. 71: Terminación de chimenea: 1ª solución

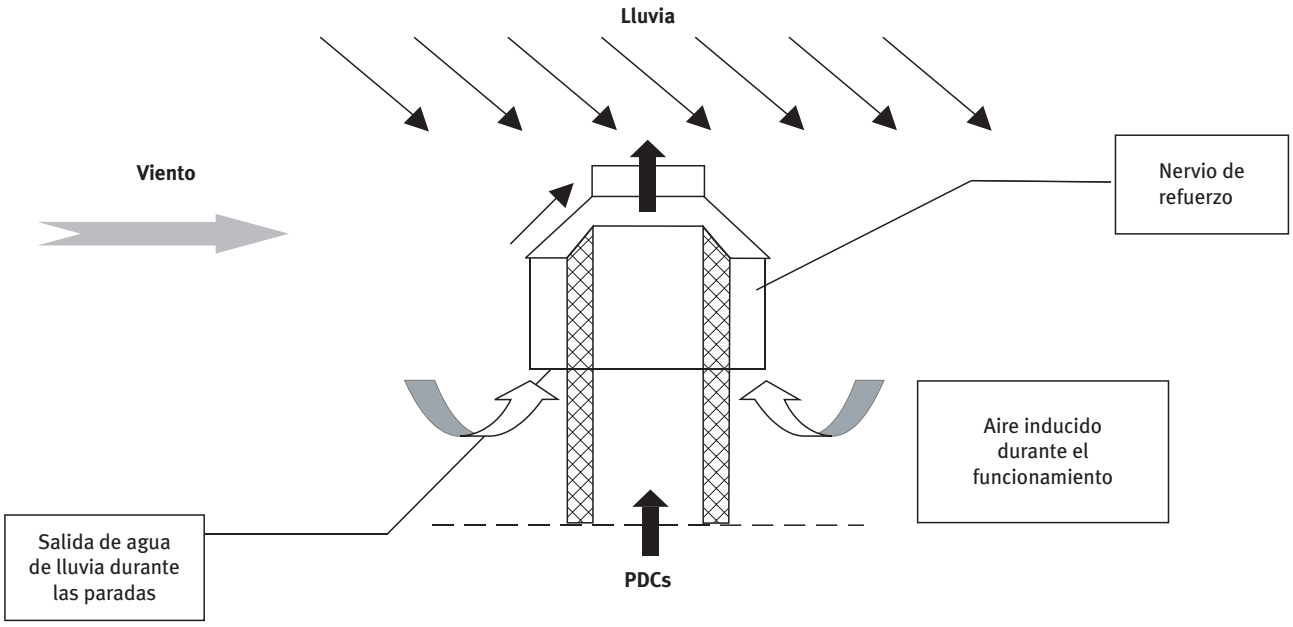


Fig. 72: Terminación de chimenea: 2ª solución

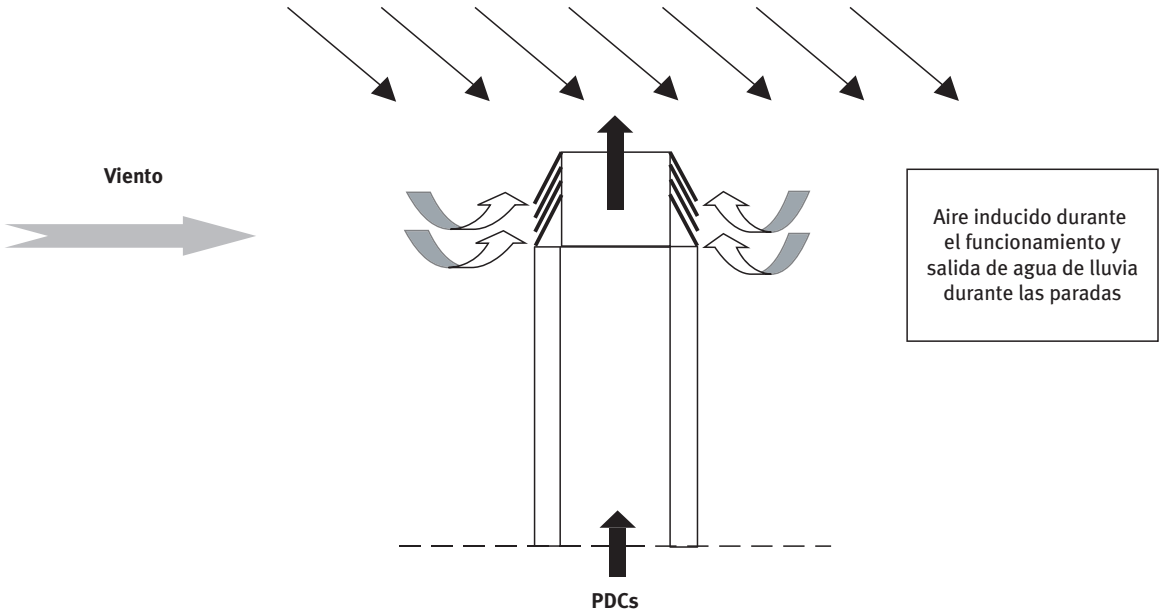


Fig. 73: Terminación de chimenea: 3ª solución

o flexibles, adecuado para la temperatura de trabajo. El aislamiento térmico se deberá emplear solamente para aquellos tramos del conducto de evacuación con los que las personas puedan entrar en contacto.

Las terminaciones de las chimeneas deben diseñarse de manera que se favorezca la dispersión de los productos de la combustión al exterior y, al mismo tiempo, se minimice la entrada del agua de lluvia.

En las figuras 71, 72 y 73 se indican algunas soluciones muy válidas.

Si se desea tener una mayor proyección de los PDCs hacia arriba, todas las chimeneas deberán terminar con un cono con el fin de aumentar la velocidad de salida.

La presencia de sombreretes impide la libre difusión de la pluma de gases en la atmósfera.

En cualquier caso, es conveniente dejar en el fondo de la vertical de la chimenea un fondo de saco de unos 200 a 300 mm de altura, dotado de un grifo de desagüe.

1.3.4.2 Redes de tuberías y conductos

1.3.4.2.1 Tuberías

1.3.4.2.1.1 Generalidades

Para el diseño del sistema de soportes de la red de tuberías se deberá consultar al fabricante de la misma, considerando, además del material empleado para la fabricación de la tubería, la colocación (enterrada o aérea, horizontal o vertical).

El RITE exige que las conexiones entre tuberías y equipos accionados por motor de potencia mayor que 3 kW se efectúen mediante elementos flexibles. Esta exigencia es válida para equipos (por ejemplo, bombas) aislados del resto de equipos.

No es necesario poner elementos que eliminen vibraciones antes y después de cada uno de los equipos en movimiento. En una sala de máquinas, concretamente, los elementos antivibratorios se deberán instalar a la salida de las tuberías de la misma.

Entre los soportes y las tuberías se interpondrán siempre elementos que puedan absorber las vibraciones.

Los elementos de conexión entre maquinaria en movimiento y tuberías deberán ser flexibles para reducir o suprimir los ruidos y absorber eficazmente las vibraciones horizontales, verticales y angulares; servirán también, dentro de ciertos límites, para compensar las desalineaciones entre ejes de los elementos contiguos acoplados, así como las dilataciones o contracciones de las tuberías.

Cuando se diseñen centrales de producción térmica a servicio de diferentes edificios, se interpondrán intercambiadores de calor para la separación hidráulica de las redes exteriores de distribución de los fluidos portadores y las redes interiores de los edificios.

Esta exigencia se cumple con facilidad en el caso de fluidos portadores calientes, porque la disminución del nivel térmico no supone, normalmente, dificultad alguna.

En el caso de fluido portador frío, el aumento del nivel térmico se puede reducir a un valor aceptable solamente a expensas de aumentar la superficie de intercambio.

La presencia de un elemento que rompa la continuidad hidráulica entre la red exterior y la interior es obligatoria cuando se trate de diferentes usuarios.

Se puede considerar admisible la conexión directa de agua refrigerada entre la red exterior y la interior solamente en el caso de un único usuario.

Los servicios que pueden estar incluidos en una subcentral térmica son los siguientes:

- Agua caliente para calefacción
- Agua caliente para usos sanitarios
- Agua refrigerada

Para cada servicio habrá, en general, un intercambiador de calor y, por lo menos, los accesorios indicados en la figura 74.

1.3.4.2.1.2 Alimentación

En el apartado 1.2.4.1.1 se ha comentado la conveniencia de unificar en un solo elemento, denominado SAES, Sistema de Alimentación, Expansión y Seguridad, las tres funciones mencionada en el acrónimo. El esquema del SAES se repite en la figura 75.

La situación del SAES será siempre en la aspiración de un grupo de bombeo, de acuerdo a lo indicado en los esquemas de los comentarios al apartado 1.2.4.1.1.

Se recuerda la obligatoriedad de instalar un dispositivo (desconector) que evite el reflujo del agua del circuito hacia la red pública, por razones sanitarias. El desconector deberá ser automático.

El diámetro mínimo de las conexiones de alimentación en función de la potencia térmica nominal de la instalación está indicado en la tabla 3.4.2.2.

Para reducir el coste de inversión, se puede instalar, en paralelo al desconector, una válvula de llenado rápido, de cierre hermético, del tamaño indicado en la tabla 3.4.2.2 del RITE, e instalar un desconector de diámetro nominal DN 15 ó 20, como está representado en la figura 75.

Tabla 3.4.2.2 Diámetro de la conexión de alimentación

Potencia térmica nominal KW					Calor DN	Frío DN
		P	≤	70	15	20
70	<	P	≤	150	20	25
150	<	P	≤	400	25	32
400	<	P			32	40

La válvula de llenado rápido, posiblemente de esfera, funcionará solamente durante el período de puesta en marcha de la instalación, dos o tres veces para la limpieza de la red de tuberías y la última para el llenado definitivo.

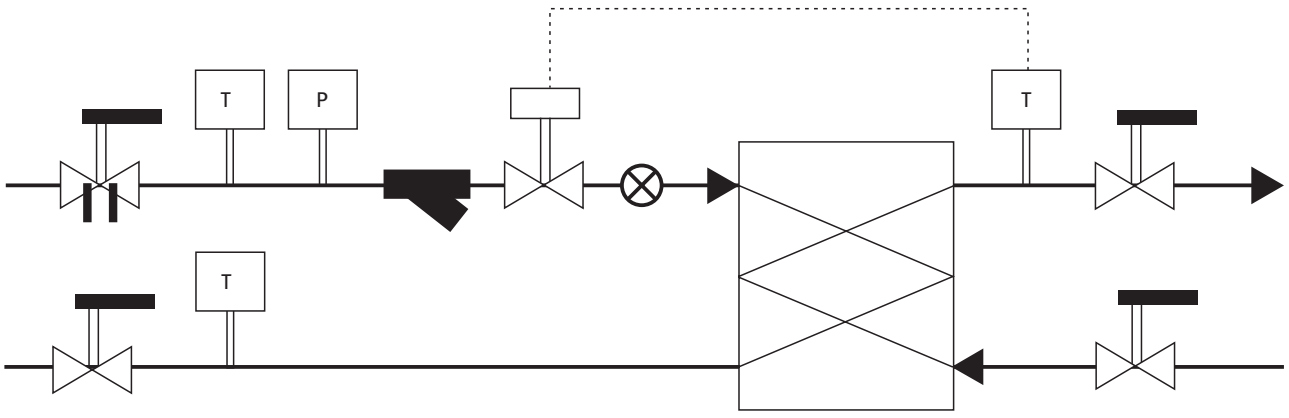


Fig. 74: Subestación térmica

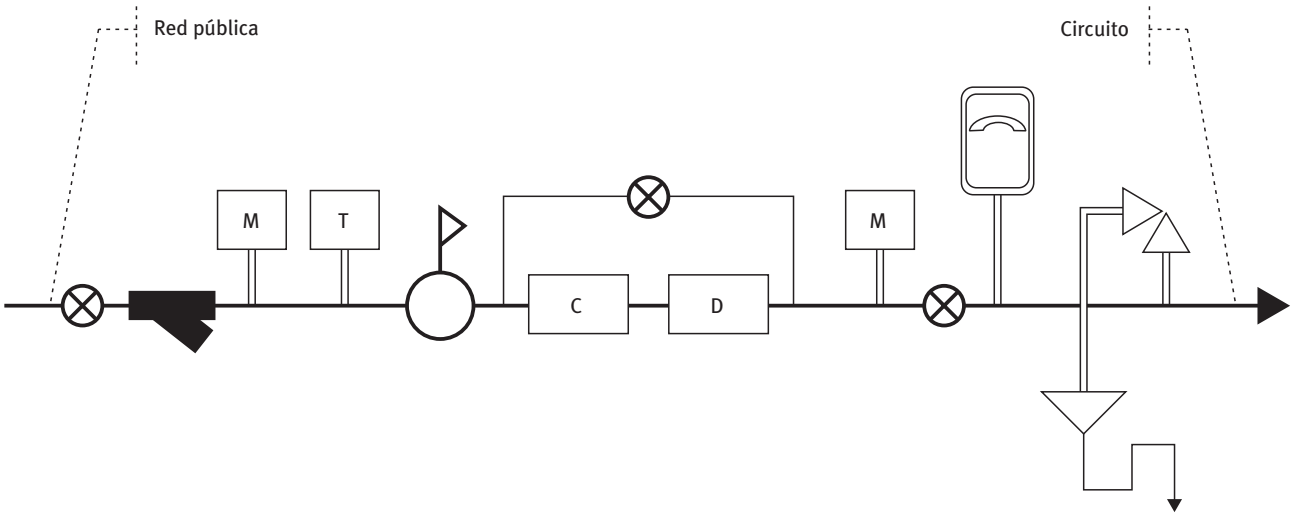


Fig. 75: Esquema de SAES

En el gráfico de la figura 76 se muestra la relación entre las diferentes presiones relativas presentes en un circuito:

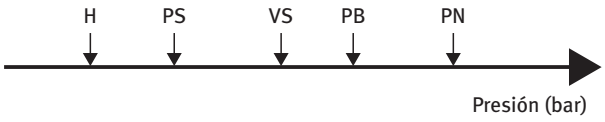


Fig. 76: Relación de presiones entre circuitos

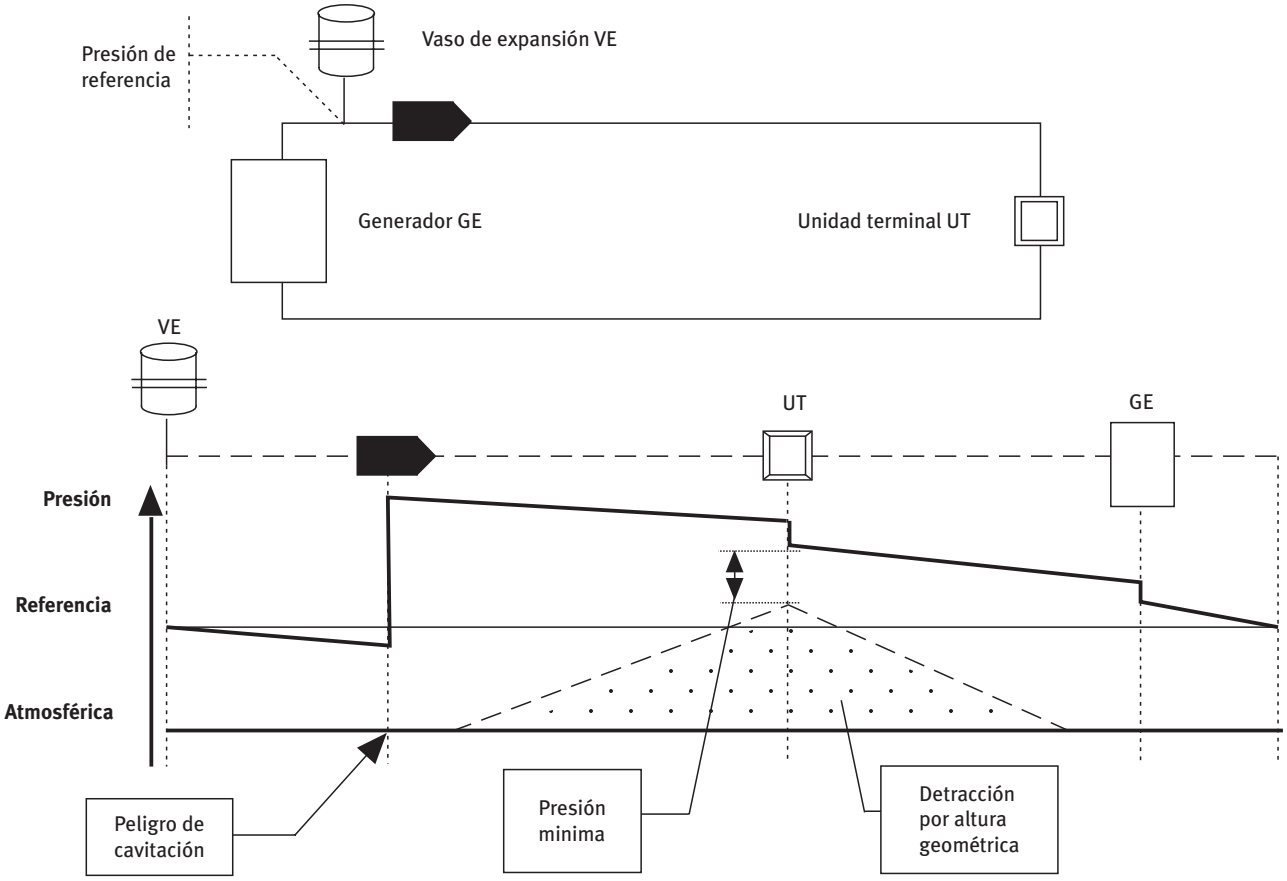


Fig. 77: Diagrama de presiones en un circuito cerrado

donde:

H	m	Altura manométrica del circuito en correspondencia del vaso de expansión
PS	bar	Presión de servicio del circuito PS = H/10 + 0,2...0,3, determinada por el vaso de expansión, o presión de referencia
VS	bar	Presión de apertura de la válvula de seguridad VS = PS + 0,3...0,5 bar
PB	bar	Presión de prueba PB ≥ 1,5 · PS
PN	bar	Presión nominal, presión mínima entre las presiones nominales de todos los aparatos y equipos

Se recuerda que la presión nominal PN de un equipo o aparato disminuye al aumentar la temperatura de funcionamiento.

El punto de conexión del vaso de expansión representa la presión de referencia del circuito (figura 77). Esta presión deberá ser suficiente para que en el punto más elevado del circuito y, por tanto, en todos los puntos, exista una presión superior a la presión atmosférica, para evitar la entrada de aire. La presión mínima en el punto más elevado deberá ser de 0,2 a 0,3 bar, por lo menos, como se ha indicado.

Se insiste nuevamente en que un circuito cerrado debe tener una sola presión de referencia.

El agua mezclada con un aditivo (por ejemplo, glicol) se preparará en un depósito y se introducirá en el circuito mediante un grupo de bombeo, manual o automáticamente, según se indica en la figura 78.

1.3.4.2.1.3 Vaciado y purga

Todos los circuitos se podrán vaciar de forma total o parcial desde los puntos más bajos.

Los vaciados parciales se harán por medio de válvula DN 20, como mínimo.

El vaciado total se hará mediante válvulas de diámetro nominal mínimo, en función de la potencia, según lo indicado en la tabla 3.4.2.3 del RITE.

Tabla 3.4.2.3 Diámetro de la conexión de vaciado

Potencia térmica nominal					Calor	Frío
		P	≤	70	20	25
70	<	P	≤	150	25	32
150	<	P	≤	400	32	40
400	<	P			40	50

La conexión entre la válvula de vaciado y el desagüe se hará de manera que el paso de agua resulte visible; las válvulas deberán estar protegidas contra maniobras accidentales.

El vaciado de agua con aditivos peligrosos para la salud deberá hacerse en un depósito de recogida, para permitir su vertido en lugar seguro o después de un tratamiento de neutralización.

En todos los puntos altos de los circuitos se instalarán dispositivos de purga de aire, manuales o automáticos.

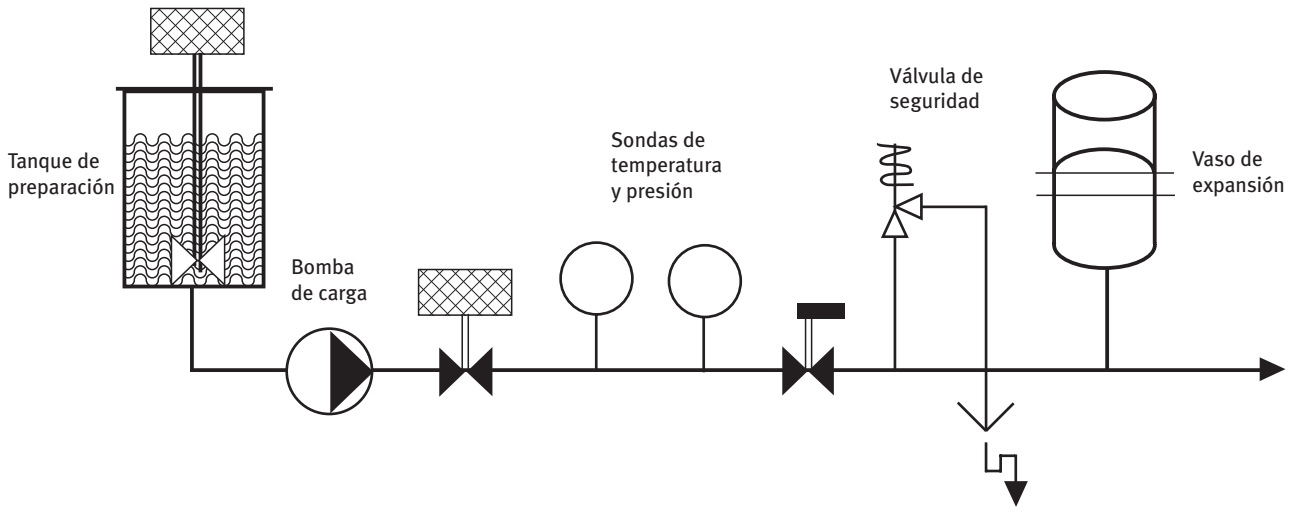


Fig. 78: Detalle de preparación de agua aditivada

1.3.4.2.1.4 Expansión

Todos los circuitos cerrados de agua o soluciones acuosas estarán equipados de vasos de expansión cerrados para absorber las variaciones de volumen del fluido, sin o con transferencia de masa de aire con compresores.

Está prohibida la instalación de vasos de expansión abiertos, salvo casos muy especiales, que deberán ser justificado en la memoria del proyecto, en los que se deba emplear la transferencia de masa de agua en circuitos con volúmenes muy grandes.

Para el diseño del sistema se pueden seguir los criterios indicados en el apartado 9 de la norma UNE 100155 y el apartado 7 de la misma norma para los dispositivos de seguridad.

Cuando la red no alcance la presión de ejercicio indicada en proyecto, un dispositivo de seguridad impedirá la puesta en marcha de las bombas y de los generadores térmicos. Este dispositivo puede ser una sonda de presión dispuesta en el SAES, junto al vaso de expansión.

1.3.4.2.1.5 Circuitos cerrados

La redacción del texto está muy clara y no se necesitan más aclaraciones a lo que ha sido comentado anteriormente.

Se reitera que un circuito cerrado debe tener una sola presión de referencia. Por tanto, no se deben instalar vasos de expansión en circuitos primarios de calderas, porque la seguridad del circuito está garantizada, en última instancia, por la válvula de seguridad (o la pareja de válvulas de seguridad) de la que está equipada cada caldera.

La situación de que un generador de calor siga funcionando a pesar de no tener circulación de agua no puede darse.

Se hace notar que entre el sistema de expansión y cada uno de los generadores puede existir un elemento de corte de la circulación de agua.

En efecto, en el siguiente croquis se representa, nuevamente, el caso de una central de producción de calor. En la acometida eléctrica del circuito de mando al quemador estarán los contactos de la válvula motorizada (VM; del servomotor o del fin de carrera), la bomba primaria (BP) y, eventualmente, el interruptor de flujo (IF; o presostato diferencial PD).

Circuito eléctrico de mando a bomba

Circuito eléctrico de mando a quemador

Los tres contactos eléctricos indicados en el croquis estarán cerrados solamente cuando la válvula esté abierta, la bomba esté funcionando y el interruptor de flujo detecte circulación de agua.

Después de un cierre, voluntario o accidental, de la válvula de corte VM, que puede ser manual o motorizada, la secuencia de funcionamiento de los elementos es la siguiente: se abre el contacto de la válvula motorizada, se para la bomba y, en consecuencia, se para el quemador porque abren los tres contactos en serie VM, BP e IF o, por lo menos, uno de ellos. Por tanto, es imposible que haya un fallo simultáneamente en tres contactos eléctricos.

Si no hay circulación de agua debido a una obstrucción de la tubería o de una válvula manual sin final de carrera, estando la bomba en funcionamiento, el interruptor de flujo IF cortaría la alimentación al quemador.

Si, a pesar de todos estos enclavamientos eléctricos, el quemador siguiera funcionando, intervendría la válvula de seguridad del generador (seguridad mecánica), instalada para tal fin.

1.3.4.2.1.6 Dilatación

Las dilataciones de las tuberías por cambios de temperatura se deben compensar para evitar roturas en los puntos de anclaje o en las conexiones a los equipos.

La norma UNE 100156 puede ser de ayuda para el diseño y cálculo de los elementos de dilatación.

Para el estudio de las dilataciones de grandes redes de distribución, aéreas o enterradas, es muy recomendable recurrir a programas de cálculo.

Para tuberías de materiales plásticos son válidos los códigos de buena práctica emitidos por el CTN 53 de AENOR.

1.3.4.2.1.7 Golpe de ariete

Se deben evitar los golpes de ariete en cualquier tipo de circuito, cerrado o abierto.

Para ello, se podrán instalar elementos amortiguadores del golpe de ariete cercanos al aparato que lo provoca.

En cualquier caso, se evitará el empleo de válvulas de retención del tipo de clapetas, por lo menos en diámetros mayores que DN 32.

Para diámetros mayores que DN 100 se instalarán válvulas motorizadas.

1.3.4.2.1.8 Filtración

Se prescribe que el elemento filtrante general dejará un paso de agua de 1 mm como máximo (designación ISO del tamiz 1 mm, equivalente al "mesh" ASTM nº 18; superficie libre 76,1%) y, cuando el elemento filtrante esté protegiendo válvulas automáticas, contadores, válvulas reductoras de presión y aparatos similares, el paso será de 0,25 mm como máximo (designación ISO del tamiz 250 μm, equivalente al "mesh" ASTM nº 60; superficie libre 70,9%). Existe una lista de 57 designaciones de tamices ISO, con aperturas que van desde 125 mm hasta 20 μm (véase norma ISO 3310, 3 partes).

El técnico podrá variar dentro de unos límites el tamaño de esos tamices, debiendo indicar su selección en la memoria.

Con el fin de disminuir las pérdidas de presión, los elementos filtrantes tendrán una superficie libre de paso tal que, a filtro limpio, la velocidad del fluido sea menor o igual que la velocidad en la tubería contigua.

Los aparatos de filtración se dejarán permanentemente en su sitio y deberán limpiarse con una cierta frecuencia al momento de la puesta en marcha de la instalación y durante los primeros meses de funcionamiento de la instalación. Antes del llenado definitivo y sucesiva puesta en marcha la instalación habrá sido limpiada a fondo.

1.3.4.2.2 Conductos

1.3.4.2.2.1 Generalidades

Las normas actualmente emitidas por el CEN sobre conductos de chapa metálica son las siguientes: UNE-EN 1505, UNE-EN 1506, UNE-EN 1507, UNE-ENV 12097, UNE-EN 12236 y UNE-EN 12237. La norma UNE-EN 13403 trata de conductos de materiales no metálicos.

Todas las normas sobre conductos del CTN 100 de AENOR han sido anuladas. Debería haberse conservado la norma UNE 100-104-88, ya que todavía no ha salido la correspondiente norma europea, para efectuar las pruebas de las redes de conductos.

Deberá tenerse en cuenta también la norma UNE 100012, sobre higienización de redes de conductos.

A este propósito, cabe destacar el contenido del apartado 4.7.1 de la norma UNE-EN 13403, sobre conductos de materiales no metálicos, titulado "Salud y Seguridad":

"Los materiales aislantes utilizados para las planchas no deben estar incluidos en el anexo 1 de la Directiva 67/548/CEE. Los productos MW incluidos en esta norma deben estar clasificados como no carcinógenos, cumpliendo los requisitos especificados en el artículo 1 de la Directiva 97/69/CE."

Igualmente, se destaca el apartado 4.7.2, titulado "Proliferación microbiana": "Los materiales utilizados no deben facilitar (o ser nutrientes para) la proliferación microbiana de acuerdo con el método de ensayo del apartado 7.4. Todo tipo de materiales utilizados en las planchas de material aislante debe cumplir los requisitos especificados en el apartado 7.4 después de haber sido expuestos a veinte simulaciones de limpieza."

Estos criterios deben trasladarse en su totalidad a los revestimientos interiores de los conductos de chapa, cuando se apliquen.

1.3.4.2.2.2 Plenums

Se debe recalcar solamente que los plenums entre forjados y falsos techos o entre forjados y suelos elevados pueden ser empleados como conductos de retorno o impulsión, siempre que cumplan con los requisitos indicados en este apartado del RITE (figura 79).

Los plenums deben ser accesibles para las operaciones periódicas de limpieza y desinfección, así como para el mantenimiento de las unidades terminales.

1.3.4.2.2.3 Aperturas de servicio

Sobre el diseño de las aperturas de servicio en conductos se aplicará la norma UNE-ENV 12097.

Las aperturas de servicio se realizarán en la red de conductos durante su montaje.

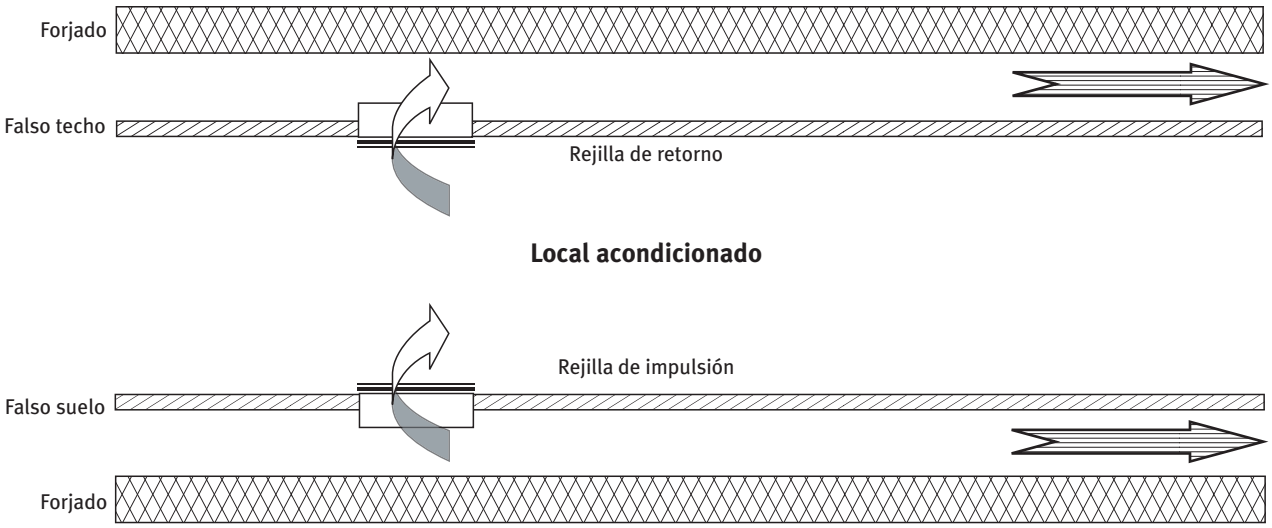


Fig. 79: Plenums de falso techo y falso suelo

Se destaca la importancia que, en la norma UNE 100012, se otorga a la limpieza periódica de las redes de conductos, además de la limpieza de otros componentes de las instalaciones de climatización.

1.3.4.2.2.4 Conductos flexibles

Los conductos flexibles deben cumplir con la norma UNE-EN 13180.

El RITE limita la longitud de los conductos flexibles desde una red de conductos a las unidades terminales a un valor máximo de 1,2 m, con el fin de reducir las pérdidas de presión y además, exige que estos conductos se monten totalmente extendidos.

Según ASHRAE (2005 Handbook, Fundamentals, página 35.7), las rugosidades absolutas a considerar para diferentes tipos de conducciones son, de menos a más, las siguientes:

- Conductos de aluminio: 0,03 mm
- Conductos de chapa de acero galvanizado: desde 0,09 a 0,15 mm
- Conductos rígidos de fibra o revestimientos interiores de conductos: 0,9 mm
- Conductos flexibles de cualquier tipo, totalmente extendidos: 3 mm

El aumento en más de veinte veces de la rugosidad absoluta con respecto a los conductos de chapa de acero significa que las pérdidas de presión sean más del doble de la que tendría un conducto de chapa.

1.3.4.2.2.5 Pasillos

Los pasillos y los vestíbulos pueden emplearse como recintos de paso para extraer directamente el aire o para la extracción del aire de ventilación desde los locales de servicio.

El esquema de la figura 80 ilustra estos conceptos.

Especial atención deberá prestarse a las zonas de incendios de los locales servidos por el sistema.

1.3.4.2.3 Tratamiento del agua

Para prevenir fenómenos de corrosión e incrustaciones calcáreas en las instalaciones se pueden seguir los criterios indicados en las normas UNE-EN 12502-2, UNE-EN 12502-3 y UNE 112076 IN.

El informe UNE 112076 IN tiene los siguientes capítulos básicos:

Cap. 4 Aspectos básicos sobre la corrosión

Cap. 5 Corrosión exterior

Cap. 6 Corrosión interior

Cap. 7 Mantenimiento

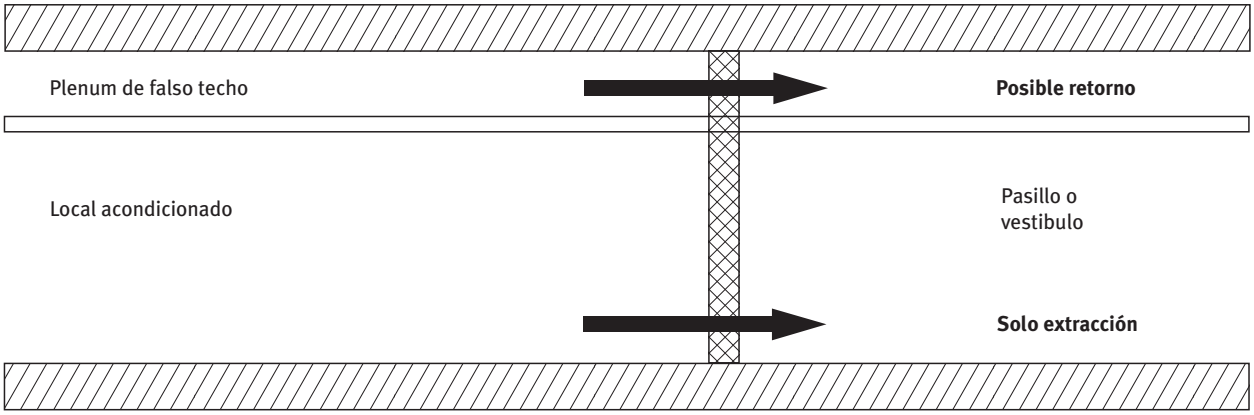


Fig. 80: Paso de aire en pasillos y vestíbulos

Se recomienda seguir estrictamente las prescripciones de esta norma. Además, se recomienda el estudio de dos Anexos informativos, con los siguientes títulos:

Anexo A Causas de formación de ánodos y cátodos

Anexo B Materiales y su problemática

1.3.4.2.4 Unidades terminales

Las unidades terminales de sistemas mixtos de cualquier tipo (ventiloconvectores, inductores, consolas de equipos partidos, radiadores, aerotermos, paneles radiantes, etc.) tendrán válvulas de cierre a la entrada y a la salida del fluido portador para poder efectuar cambios de distribución u operaciones de mantenimiento.

Una de las válvulas de las unidades terminales por agua será específicamente destinada al equilibrado del sistema, salvo cuando la red de distribución esté perfectamente equilibrada por diseño.

Cualquier tipo de unidad terminal deberá ser fácilmente accesible para su limpieza, desinfección, mantenimiento y reparación o sustitución. Con el fin de facilitar estas labores y evitar molestias para los usuarios, las unidades terminales pueden situarse en un recinto que no sea permanentemente ocupado por las personas, como, por ejemplo, en pasillos.

La norma UNE-EN 1751 trata de los ensayos aerodinámicos de compuertas y válvulas.

1.3.4.3 Protección contra incendios

Las instalaciones térmicas están sometidas a las exigencias del CTE en materia de protección contra incendios.

En la figura 81 se recuerda la necesidad de instalar correctamente las compuertas cortafuegos al paso a través de elementos delimitadores de zonas de fuego (muros o forjados).

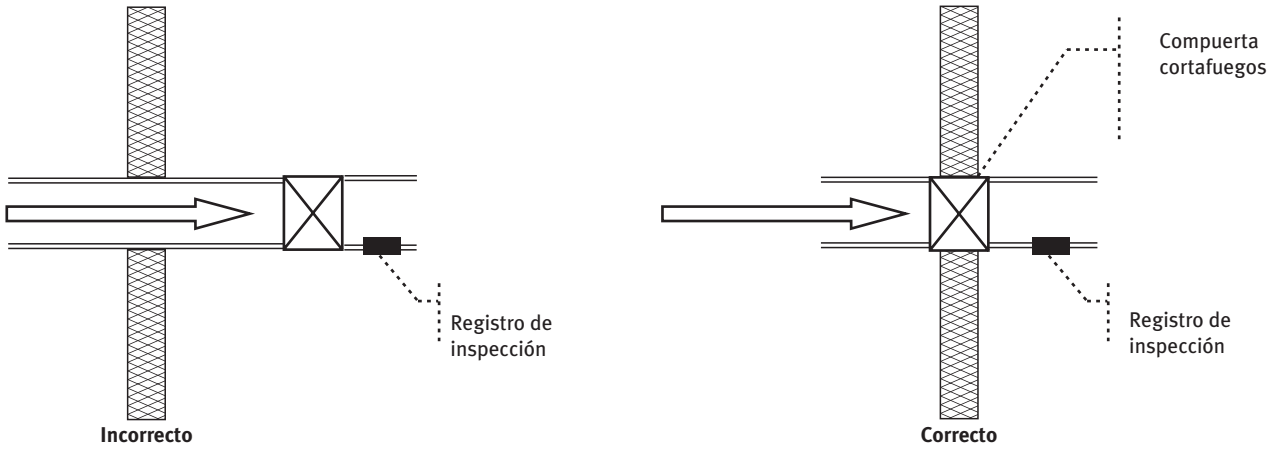


Fig. 81: Situación de compuerta cortafuegos

Si la posición representada en la figura de la derecha no fuera posible, por ejemplo porque el espesor del elemento delimitador es insuficiente, la parte de la compuerta o del conducto que sobresalga se revestirá con un material resistente al fuego, de resistencia igual a la del elemento delimitador, como se representa en la figura 82.

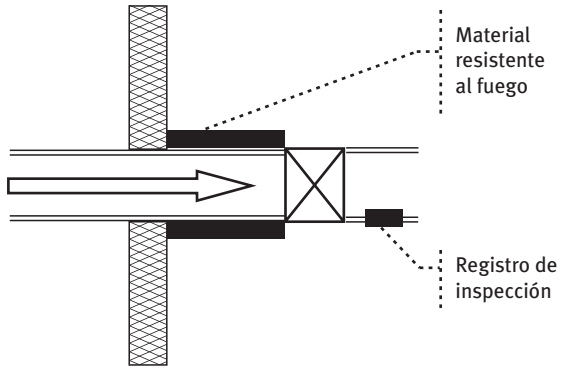


Fig. 82: Compuerta cortafuegos

El marco de la compuerta quedará fijado firmemente al elemento delimitador, directamente o a través de un manguito, de manera que la dilatación de los conductos no afecte a la posición de la compuerta y a su integridad.

La lama (o lamas) de la compuerta, cuando está cerrada, deberá ajustarse al marco mediante un elemento de solape de, al menos, 20 mm. El juego entre lama y marco será suficiente para permitir la libre dilatación de la lama y será igual a una centésima parte del lado o diámetro de la compuerta, por lo menos.

Todos los componentes de las compuertas deberán estar protegidos contra la corrosión mediante la selección de materiales adecuados o la aplicación de barreras protectoras (pinturas o galvanizado).

En el conducto que acomete a la compuerta del lado del mecanismo se practicará un registro de inspección de medidas adecuadas para efectuar pruebas y facilitar las operaciones de mantenimiento.

Bajo ningún concepto se instalarán compuertas, de cualquier tipo, en conductos de extracción de aire de aparcamientos, de evacuación de humos de cocinas y de evacuación de productos de la combustión, por evidentes razones de seguridad.

Por tanto, estas conducciones deberán estar totalmente situadas en una misma zona de fuego.

Los revestimientos de los conductos, interiores o exteriores, deben interrumpirse donde está instalada una compuerta, para no interferir con su funcionamiento.

1.3.4.4 Seguridad de utilización

1.3.4.4.1 Superficies calientes

Las superficies calientes de los emisores de calor accesibles a los usuarios tendrán una temperatura menor que 80 °C, salvo cuando estén protegidas contra contactos (figura 83).

La tendencia actual para la elección la temperatura de entrada del agua de radiadores es la de fijar un valor no mayor que 70 °C para poder aprovechar fuentes de energía de bajo nivel térmico, como bombas de calor, paneles solares, cogeneración, etc.

En cualquier caso, la temperatura de las superficies con las que exista posibilidad de contacto no será mayor que 60 °C.

1.3.4.4.2 Partes móviles

El material aislante instalado en tuberías, conductos y equipos no debe interferir con partes móviles de los componentes de la instalación.

Las partes móviles de equipos como ventiladores y bombas estarán protegidas contra contactos accidentales.

1.3.4.4.3 Accesibilidad

Todos los equipos y aparatos de una instalación deberán ser accesibles para su limpieza, desinfección, mantenimiento y reparación o sustitución.

Para ello, además de cumplir con los requisitos mínimos impuestos por la normativa, se deberán seguir las instrucciones del fabricante.

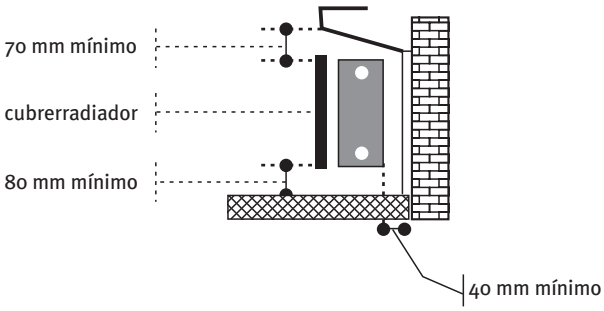


Fig. 83: Cubrerradiador

Igualmente, para las unidades terminales que queden ocultas en falsos techos o suelos elevados, se debe prever un acceso que sea cercano al aparato y se pueda abrir sin recurrir a herramientas. Como se ha dicho, es conveniente que tales unidades terminales se sitúen en recintos adyacentes a los locales a climatizar, como los pasillos, para que las operaciones de mantenimiento puedan llevarse a cabo con más facilidad y evitando molestias para los usuarios.

También importantes son la accesibilidad y visibilidad de los instrumentos de medida, control, protección y maniobra.

Las unidades exteriores de los equipos autónomos deben quedar ocultas a la vista en edificios de nueva construcción.

Los edificios multiusuarios con instalaciones térmicas situadas en el interior de sus locales (por ejemplo, edificios de viviendas), deberán disponer de patinillos verticales accesibles para alojar todas las conducciones correspondientes, con la holgura necesaria para poder efectuar las operaciones de mantenimiento.

La norma UNE-EN 13779 (Anexo A, capítulo 13, apartado A.13.2) indica unos requerimientos de espacio para las unidades de tratamiento de aire y las plantas de producción de agua refrigerada (no están indicados los espacios para salas de calderas), así como el espacio necesario en patinillos y en techos suspendidos.

Los requerimientos de espacio para las unidades de tratamiento de aire son discutibles, debido a la gran variedad de composición de las UTAs, pero pueden servir de guía.

1.3.4.4.4 Señalización

En la sala de máquinas deberá figurar el esquema de principio de la instalación, dividido en uno o más planos, según el tamaño de los mismos.

Las instrucciones de seguridad, manejo y mantenimiento de la instalación deberán estar disponibles en cualquier momento, junto con la memoria técnica, los planos *"as built"* y los manuales de todos los equipos.

La señalización de las conducciones deberá hacerse de acuerdo a la norma UNE 100100.

1.3.4.4.5 Medición

Este apartado suministra las instrucciones para situar los instrumentos de medida de las magnitudes físicas afectadas por los procesos térmicos.

No hay nada que añadir a lo indicado, salvo poner de manifiesto la importancia que tiene la medida, no mencionada en este apartado, de estas magnitudes:

- La energía térmica demandada.
- La energía térmica consumida.
- La energía eléctrica consumida por la instalación de acondicionamiento de aire, independientemente del consumo eléctrico de otras instalaciones del edificio.

  Además, es necesario medir de forma independiente la energía eléctrica consumida por la central de producción de frío (maquinaria frigorífica, torres, bombas, etc.), por lo menos para centrales de potencia térmica mayor que 400 kW.
- La energía térmica, calorífica y frigorífica y, en su caso, la energía eléctrica demandada por cada uno de los usuarios.

Instrucción Técnica IT.2: Montaje

IT 2.2 Pruebas

Para cada equipo y aparato deberá realizarse una ficha técnica en la que sean incluidos todos los parámetros de funcionamiento del equipo o aparato y, en su caso, sus accesorios.

Se deberán indicar las magnitudes previstas en proyecto y, al lado, las magnitudes medidas en obra. Las diferencia entre las dos servirán para efectuar el ajuste y equilibrado de la instalación, particularmente de los circuitos hidráulicos.

Es de fundamental importancia dejar constancia de los datos de proyecto y de los datos de los ensayos en obra para la empresa o persona que se hará carga del mantenimiento de la instalación.

A título de ejemplo, se indica que forma podrían tener las fichas técnicas de algunos equipos y sus accesorios. La lista no es completa; el técnico podrá diseñar sus propias fichas técnicas, estén o no incluidas en la lista.

Entre las guías técnicas de ahorro y eficiencia energética editadas por el IDAE, la nº 1 de mantenimiento de las instalaciones térmicas contiene una lista muy amplia de fichas técnicas.

No es necesario rellenar totalmente los datos indicados en las fichas; además, algunos de ellos sólo pueden determinarse mediante cálculo (por ejemplo, los parámetros del diagrama psicrométrico).

Bomba		Proyecto	Prueba	Notas
Identificación del circuito				
Marca				
Modelo				
Marcado CE				
Materiales				
	Rodete			
	Carcasa			
Diámetro de boca de aspiración	mm			
Diámetro de boca de descarga	mm			
Fluido	–			Agua, agua glicolada, etc.
Caudal	L/s			
Altura manométrica	kPa			
Altura a caudal nulo	kPa			Curva característica
Diámetro de rodete	mm			
Rendimiento hidráulico	%			
Potencia absorbida al eje	kW			
Presión de prueba (relativa)	bar			
Presión de trabajo (relativa)	bar			
NPSH	kPa			

(Continuación)

Bomba		Proyecto	Prueba	Notas
Motor				
Marca y modelo				
Polos	–			
Velocidad de giro	rpm			
Número de fases	–			
Tensión	V			
Consumo	A			
Cos φ	–			
Rendimiento del motor	%			
Potencia	kW			
VFD				Variador de frecuencia
Protección térmica interna				Clixon
Taradura de relé térmico	A			
Cableado	mm²			
Tipo de arranque				
Accesorios				
Válvula en aspiración DN	mm			Tipo:
Válvula en descarga DN	mm			Tipo:
Válvula automática DN	mm			Tipo:
Filtro DN	mm			Tipo:
Notas:				

Bombas Gemelas		Proyecto	Prueba	Notas
Identificación del circuito				
Marca				
Modelo				
Marcado CE				
Materiales				
	Rodete			
	Carcasa			
Diámetro aspiración	mm			
Diámetro descarga	mm			
Caudal	L/s			
Altura manométrica	kPa			
Altura a caudal nulo	kPa			Curva característica
Diámetro de rodete	mm			
Rendimiento	%			
Potencia absorbida al eje	kW			
Presión de prueba (relativa)	bar			
Presión de trabajo (relativa)	bar			
NPSH	kPa			

(Continuación)

Bombas Gemelas		Proyecto	Prueba	Notas
Motor				
Marca y modelo				
Polos	–			
Velocidad de giro	rpm			
Fases	–			
Tensión	V			
Consumo	A			
Cos φ	–			
Rendimiento	%			
Potencia	kW			
Variador de frecuencia				
Protección térmica interna				
Taradura de relé térmico	A			
Cableado	mm^2			
Arranque				
Accesorios				
Válvula en aspiración DN	mm			Tipo:
Válvula en descarga DN	mm			Tipo:
Válvula automática DN	mm			Tipo:
Filtro DN	mm			Tipo:
Notas:				

Ventilador		Proyecto	Prueba	Notas
Identificación				
Marca				
Marcado CE				
Tipo				
Serie				
Ejecución				
Tamaño				
Caudal	L/s			
Densidad	kg/m^3			
Temperatura media del aire	ºC			
Presión estática	Pa			
Presión dinámica	Pa			
Presión total	Pa			
Velocidad de giro	rpm			
Rendimiento	%			
Potencia absorbida al eje	kW			
Potencia sonora	dB(A)			

(Continuación)

Ventilador		Proyecto	Prueba	Notas
Accesorios				
Dispositivo de medición de caudal				
Variador de frecuencia				
Protección para oídos de aspiración				
Protección del eje libre				
Protección de la transmisión				
Bastidor con carriles tensores				
Motor				
Acoplamiento				Directo/Poleas y correas
Potencia	kW			
Rendimiento	%			
Consumo	A			
Número de polos	–			
Velocidad de giro	rpm			
Tensión	V			
Número de fases	–			
Protección térmica interna	–			Clixon
Taradura de relé térmico	A			
Cableado	mm^2			
Tipo de arranque				
Transmisión				
1- Directa				
Reserva de velocidad	%			
2- Por correas				
Tipo de sección	–			
Diámetro de polea de ventilador	mm			
Diámetro de polea de motor	mm			
Distancia entre ejes	mm			
Número de correas	–			
Longitud de correas	mm			
Notas:				

Batería de Refrigeración		Proyecto	Pruebas	Notas
Identificación				
Altitud s. n. m.	m			
Potencia térmica total	kW			
Potencia térmica sensible	kW			
Fluido primario: aire				
Caudal másico	kg/s			
Pérdida de presión	Pa			

(Continuación)

Batería de Refrigeración		Proyecto	Pruebas	Notas
Condiciones en		Entrada/Salida	Entrada/Salida	
Caudal volumétrico	L/s	/	/	
Temperatura seca	ºC	/	/	
Temperatura húmeda	ºC	/	/	
Temperatura de rocío	ºC	/	/	
Humedad relativa	%	/	/	
Humedad específica	g/kg	/	/	
Masa específica	kg/m³	/	/	
Presión parcial del vapor	Pa	/	/	
Entalpía	kJ/kg	/	/	
Fluido secundario: agua				
Caudal másico	kg/s			
Pérdida de presión	kPa			
		Entrada/Salida	Entrada/Salida	
Temperatura	ºC	/	/	
Caudal volumétrico	L/s	/	/	
Presión máxima de servicio	bar			
Características físicas				
Longitud aleteada	mm			
Número de tubos en altura	–			
Altura aleteada	mm			
Número de rangos	–			
Profundidad aleteada	mm			
Superficie frontal	m²			
Número de circuitos	–			
Número de tubos por circuito	–			
Paso entre aletas	mm			
Diámetro de colectores	mm			
Materiales				
Tubos				
Aletas				
Colectores				
Marco				
Notas:				

Batería de Calentamiento	Proyecto			Pruebas	Notas
Identificación					
Altitud s. n. m.	m				
Potencia térmica total	kW				
Potencia térmica sensible	kW				
Fluido primario: aire					
Caudal másico	kg/s				
Pérdida de presión	Pa				
Condiciones en		Entrada/Salida	Entrada/Salida		
Caudal volumétrico	L/s	/	/		
Temperatura seca	ºC	/	/		
Temperatura húmeda	ºC	/	/		
Temperatura de rocío	ºC	/	/		
Humedad relativa	%	/	/		
Humedad específica	g/kg	/	/		
Masa específica	kg/m³	/	/		
Presión parcial del vapor	Pa	/	/		
Entalpía	kJ/kg	/	/		
Fluido secundario: agua					
Caudal másico	kg/s				
Pérdida de presión	kPa				
		Entrada/Salida	Entrada/Salida		
Temperatura	ºC	/	/		
Caudal volumétrico	L/s	/	/		
Presión máxima de servicio	bar				
Características físicas					
Longitud aleteada	mm				
Número de tubos en altura	–				
Altura aleteada	mm				
Número de rangos	–				
Profundidad aleteada	mm				
Superficie frontal	m²				
Número de circuitos	–				
Número de tubos por circuito	–				
Paso entre aletas	mm				
Diámetro de colectores	mm				
Materiales					
Tubos					
Aletas					
Colectores					
Marco					

(Continuación)

Filtro: DN	
Notas:	

Caja de Caudal Constante				
Identificación				
Situación				
Marcado CE				
Función				
Marca				
Modelo				
			Proyecto	**Pruebas**
Caudal				
	De diseño	L/s		
	Máximo	L/s		
	Mínimo	L/s		
Temperatura de salida del aire	ºC			
Caída de presión				
	De diseño	Pa		
	Máxima	Pa		
	Mínima	Pa		
Nivel sonoro				
	Máximo	dB(A)		
	Mínimo	dB(A)		
Dimensiones				
	Anchura	mm		
	Altura	mm		
	Longitud	mm		
Atenuador acústico				
	Longitud	mm		
	Atenuación	dB(A)		
Servomotor				
Notas:				

Caja de Caudal Variable				
Identificación				
Situación				
Marcado CE				
Función				
Marca				
Modelo				

			Proyecto	Pruebas
Caudal				
	De diseño	L/s		
	Máximo	L/s		
	Mínimo	L/s		
Temperatura de salida del aire		ºC		
Caída de presión				
	De diseño	Pa		
	Máxima	Pa		
	Mínima	Pa		
Nivel sonoro				
	Máximo	dB(A)		
	Mínimo	dB(A)		
Dimensiones				
	Anchura	mm		
	Altura	mm		
	Longitud	mm		
Atenuador acústico				
	Longitud	mm		
	Atenuación	dB(A)		
Servomotor				
Notas:				

Inductor				
Identificación				
Situación				
Marcado CE				
Marca				
Modelo				

			Proyecto	Pruebas
Caudal primario				
	De diseño	L/s		
	Máximo	L/s		
	Mínimo	L/s		

(Continuación)

			Proyecto	Pruebas
Presión mínima de diseño	Pa			
Temperaturas de entrada aire seca/húmeda	°C/°C			
Nivel sonoro				
	Máximo	dB(A)		
	Mínimo	dB(A)		
Relación de inducción	–			
Caudal de agua	L/s			
Pérdida de presión lado agua	kPa			
Temperatura de entrada	°C			
Temperatura de salida	°C			
Potencias térmicas sensibles				
	Lado aire	W		
	Lado agua	W		
Dimensiones				
	Anchura	mm		
	Altura	mm		
	Longitud	mm		
Servomotor				
Notas:				
Se deben confeccionar dos fichas: una para el verano y la otra para el invierno				

Viga Fría (Inductor de Techo)
Identificación
Situación
Marcado CE
Marca
Modelo

			Proyecto	Pruebas
Caudal primario				
	De diseño	L/s		
	Máximo	L/s		
	Mínimo	L/s		
Presión mínima de diseño	Pa			
Temperaturas de entrada aire seca/húmeda	°C/°C			
Nivel sonoro				
	Máximo	dB(A)		
	Mínimo	dB(A)		
Relación de inducción	–			
Caudal de agua	L/s			

(Continuación)

			Proyecto	Pruebas
Pérdida de presión lado agua	kPa			
Temperatura de entrada	ºC			
Temperatura de salida	ºC			
Potencias térmicas sensibles				
	Lado aire	W		
	Lado agua	W		
Dimensiones				
	Anchura	mm		
	Altura	mm		
	Longitud	mm		
Servomotor				
Notas:				
Se deben confeccionar dos fichas: una para el verano y la otra para el invierno				

Ventiloconvector (Fancoil)				
Identificación				
Situación				
Marcado CE				
Marca				
Modelo				

			Proyecto	Pruebas
Número de filas de la batería		–		
Número de velocidades		–		
Caudal de aire				
	A la velocidad máxima	L/s		
	A la velocidad media	L/s		
	A la velocidad mínima	L/s		
Caudal de aire exterior		L/s		
Temperaturas de entrada aire seca/húmeda		ºC/ºC		
Temperaturas de salida aire seca/húmeda		ºC/ºC		
Nivel sonoro				
	Máximo	dB(A)		
	Mínimo	dB(A)		
Caudal de agua		L/s		
Pérdida de presión		kPa		
Temperatura de entrada		ºC		
Temperatura de salida		ºC		

(Continuación)

		Proyecto	Pruebas
Potencias térmicas			
	Sensible	W	
	Total	W	
Dimensiones			
	Anchura	mm	
	Altura	mm	
	Longitud	mm	
Notas:			
Se deben confeccionar dos fichas: una para el verano y la otra para el invierno			

Techo Radiante			
Identificación			
Situación			
Marcado CE			
Marca			
Modelo			

		Proyecto	Pruebas
Temperaturas del ambiente seca/de rocío		°C/°C	
Superficie del módulo		m^2	
Longitud del serpentín del módulo		m	
Temperatura de entrada del agua refrigerada		°C	
Temperatura de salida del agua refrigerada		°C	
Potencia de refrigeración		W/m^2	
Temperatura de entrada del agua caliente		°C	
Temperatura de salida del agua caliente		°C	
Potencia de calentamiento		W/m^2	
Caudal de agua		L/s	
Pérdida de presión		kPa	
Dimensiones del panel			
	Anchura	mm	
	Longitud	mm	
	Altura	mm	
Aislamiento térmico			
Notas:			

Suelo Radiante				
Identificación				
Situación				
Marcado CE				
Marca				
Modelo				

			Proyecto	Pruebas
Temperaturas del ambiente seca/de rocío		ºC/ºC		
Temperatura de entrada del agua caliente		ºC		
Temperatura de salida del agua caliente		ºC		
Potencia de calentamiento		W/m²		
Temperatura de entrada del agua refrigerada		ºC		
Temperatura de salida del agua refrigerada		ºC		
Potencia de refrigeración		W/m²		
Caudal de agua		L/s		
Pérdida de presión		kPa		
Dimensiones del panel				
	Anchura	mm		
	Longitud	mm		
	Altura	mm		
Longitud del serpentín		m		
Aislamiento térmico				
Notas:				

Desconector			
Identificación del circuito			
Marca			
Modelo			
Marcado CE			
DN			
PN			
Presión aguas-arriba	bar		
Presión aguas-abajo	bar		
Caída de presión	kPa	A caudal máximo	
Accesorios			
Válvulas de corte	DN	PN	
Filtro de malla	DN	PN	
Separador de lodos	DN	PN	
Reductora de presión	DN	PN	
Contador de agua	DN	PN	
Tubería de by-pass	DN		
Notas:			

Chimenea			Proyecto	Pruebas
Identificación				
Marca				
Modelo				
Marcado CE				
Tipo de caldera (Convencional, Baja temperatura, Condensación)				
Potencia térmica				
	Máxima	kW		
	Mínima	kW		
Caudal de PdC				
	Máximo	kg/s		
	Mínimo	kg/s		
Temperatura de PdC				
	Mínima	ºC		
	Máxima	ºC		
Tiro térmico		Pa		
Pérdidas de presión		Pa		
Parcialización				
Esbeltez	> 200			
Estabilidad	> 1			
Diámetro		mm		
Altura		m		
Dimensiones				
	Diámetro	mm		
	Longitud horizontal	mm		
	Altura	mm		
Tipo de terminación				
Materiales				
Aislamiento térmico				
Fondo de saco				
Registros de inspección				
Notas:				

Compuerta	
Identificación	
Situación	
Marca	
Modelo	
Marcado CE	
Tipo de lamas	Perfil aerodinámico o no
Orientación de lamas	Vertical u horizontal

(Continuación)

Compuerta	
Movimiento	Paralelo u oposición
Sellado entre lamas	
Sellado entre lamas y marco	
Actuación	Automática o manual
Actuador	
Materiales	
Lamas	
Marco	

		Proyecto	Pruebas
Dimensiones	mm x mm		
Caudal	L/s		
Caída de presión	Pa		
Caudal de fuga a la caída de presión de ..... Pa	L/s		

Notas:

Difusor		
Identificación		
Situación y número		
Marca		
Modelo		
Tipo		
Marcado CE		

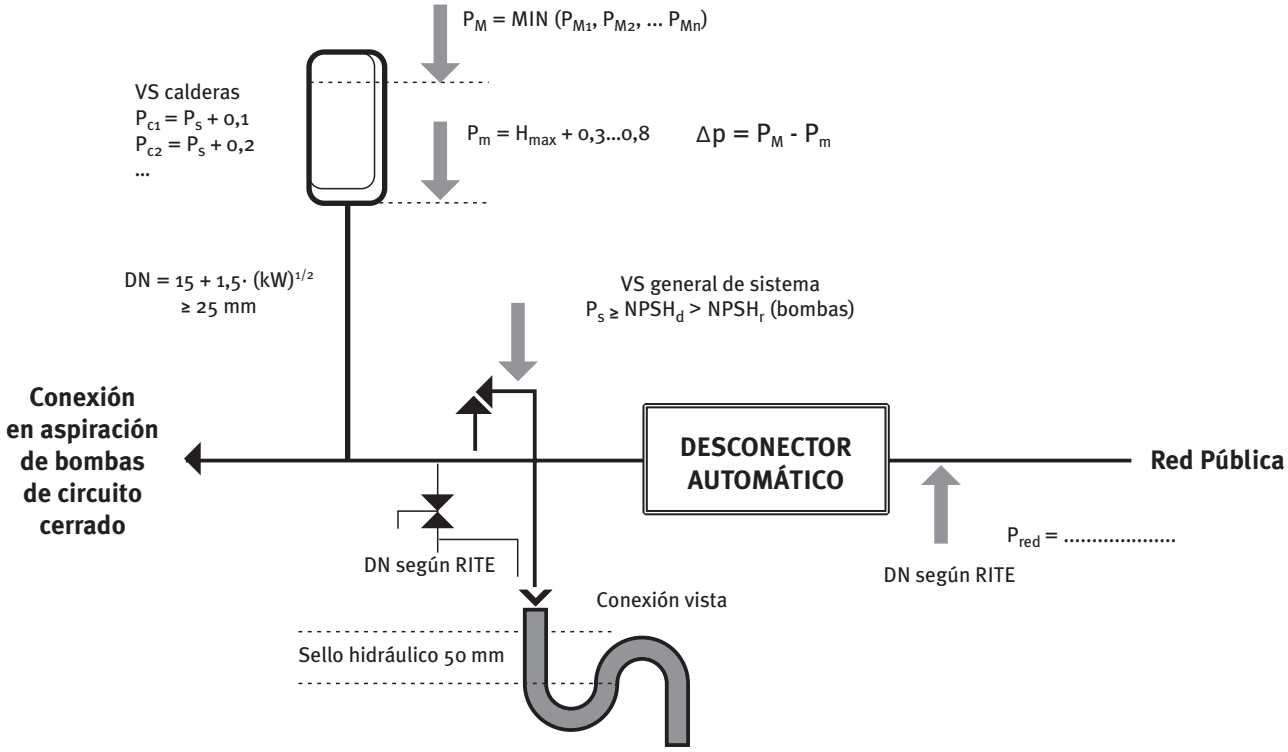
			Proyecto	Pruebas
Caudal				
	De diseño	L/s		
	Máximo	L/s		
	Mínimo	L/s		
Caída de presión				
	De diseño	Pa		
	Máxima	Pa		
	Mínima	Pa		
Nivel sonoro				
	Máximo	dB(A)		
	Mínimo	dB(A)		
Tamaño				
	Cuello	mm		
	Altura de plenum	mm		

(Continuación)

			Proyecto	Pruebas
	Anchura	mm		
	Longitud	mm		
Notas:				

Generador de Calor			Proyecto	Pruebas
Denominación				
Marca				
Modelo				
Marcado CE				
Tipo de caldera	CONV, BT, COND			
Combustible				
PCI		kJ/kg		
PCS		kJ/kg		
Densidad		kg/m^3		
Potencia térmica nominal		kW		
Potencia térmica máxima		kW		
Potencia térmica mínima		kW		
Eficiencias				
	al 100% de carga	%		
	al 30% de carga	%		
Caudal de agua		L/s		
Temperatura de retorno		ºC		
Temperatura de retorno	Mínima	ºC		
Temperatura de impulsión		ºC		
Presión de trabajo		bar		
Pérdida de presión		kPa		
Ajuste de válvula seguridad		bar		
Enclavamientos eléctricos				
Dimensiones				
	Longitud	mm		
	Anchura	mm		
	Altura	mm		
Contenido de agua		L		
Masa		kg		
Notas:				

Vaso de expansión cerrado con diafragma, sin compresor



Volumen:

$$V = \quad m^3 \text{ o } L$$

(de relación de aparatos y tuberías)

Coeficiente de expansión:

$$C_e = \frac{V_u}{V} = \qquad (t_m = \quad °C \ldots t_M = \quad °C)$$

Coeficiente de presión:

$$C_p = \frac{P_M + 1}{P_M - P_m} =$$

Volumen total mínimo del VE:

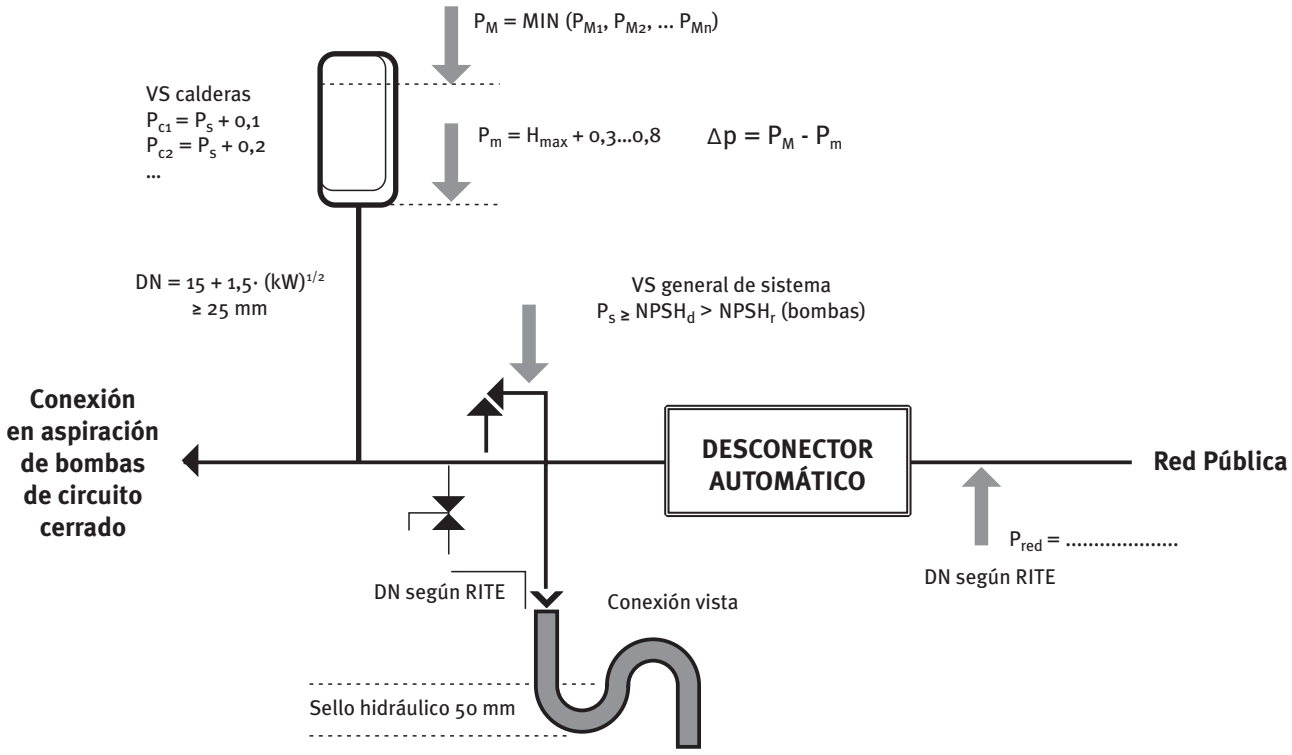
$$V_t = V \times C_e \times C_p = \quad m^3 \text{ o } L$$

Vaso de Expansión		Proyecto	Prueba
Identificación circuito			
Marca			
Modelo			
Marcado CE			
Material de membrana recambiable			
Material de carcasa			
Volumen de expansión	L		
Volumen total	L		
Diámetro	mm		
Altura	mm		
Diámetro conexión	DN		
Presión relativa de prueba	bar		

(Continuación)

Vaso de Expansión		Proyecto	Prueba
Presión relativa máxima de trabajo	bar		
Masa	kg		
Notas:			

Vaso de expansión cerrado con diafragma, con compresor



Volumen: $V =$ ..... m^3 o L
(de relación de aparatos y tuberías)

Volumen total mínimo del VE:

$$V_t = V \times C_e = \quad m^3 \text{ o } L$$

Coeficiente de expansión:

$$C_e = \frac{V_u}{V} = \qquad (t_m = \quad °C \ldots t_M = \quad °C)$$

Vaso de Expansión	Proyecto	Prueba
Marca		
Modelo		
Marcado CE		

(Continuación)

Vaso de Expansión		Proyecto	Prueba
Material de membrana recambiable			
Material de carcasa			
Potencia compresor de aire	kW		
Volumen de expansión	L		
Volumen total	L		
Diámetro	mm		
Altura	mm		
Diámetro conexión	DN		
Presión de prueba	bar		
Presión máxima de trabajo	bar		
Masa	kg		
Notas:			

Planta Enfriadora enfriada por Aire			Proyecto	Prueba
Marca				
Modelo				
Marcado CE				
Tipo de compresor	Scroll, tornillo, alternativo, turbina			
Número de compresores		–		
Parcialización		–		
Potencia térmica		kW		
Potencia térmica mínima		kW		
Evaporador				
	Caudal de agua	L/s		
	Temperatura de retorno	ºC		
	Temperatura de salida	ºC		
	Pérdida de presión	kPa		
	Presión de trabajo	bar		
Condensador				
	Caudal de aire	m^3/s		
	Temperatura de entrada del aire	ºC		
	Tipo y número de ventiladores	–		
Recuperador de calor				
	Caudal de agua	L/s		
	Temperatura de retorno	ºC		
	Temperatura de salida	ºC		
	Potencia recuperada	kW		
	Pérdida de presión	kPa		
	Presión de trabajo	bar		

(Continuación)

Planta Enfriadora enfriada por Aire			Proyecto	Prueba
Potencia absorbida		kW		
EER		–		
Acometida eléctrica	Fases/Tensión/Frecuencia	-/V/Hz		
Tipo de arranque	directo, ★-Δ, otro			
Motor				
	Potencia	kW		
	Velocidad de giro	rpm		
Seguridad				
	Alta Presión	bar		
	Baja presión	bar		
	Presión aceite	bar		
Dimensiones				
	Longitud	mm		
	Anchura	mm		
	Altura	mm		
Masa		kg		
Amortiguadores	Número y tipo			
Notas:				

Planta Enfriadora enfriada por Agua con Turbocompresor	
Marca	
Modelo	
Cumplimiento de Directivas	89/392/CEE, 73/23/CEE, 89/336/CEE, 97/23/CE
Certificado de prestaciones	
Marcado CE	
Refrigerante	R-

			Proyecto	Pruebas
Parcialización mínima		%		
Evaporador				
	Potencia térmica	kW		
	Caudal de agua	L/s		
	Caudal mínimo de agua	L/s		
	Temperatura de entrada	ºC		
	Temperatura de salida	ºC		
	Temp. de evaporación	ºC		
	Caída de presión	KPa		
	Factor de ensuciamiento	$m^2 \cdot K/kW$		
	Presión máxima de trabajo	bar		
	Número de pasos	–		

(Continuación)

		Proyecto	Pruebas
	Tipo de tubos	–	
	Material de los tubos	–	
	Diámetro interior de tubos	mm	
	Espesor de los tubos	mm	
Condensador			
	Potencia térmica	kW	
	Caudal de agua	L/s	
	Caudal mínimo de agua	L/s	
	Temperatura de entrada	ºC	
	Temperatura de salida	ºC	
	Temp. mínima de salida	ºC	
	Temp. de condensación		
	Caída de presión	KPa	
	Factor de ensuciamiento	$m^2 \cdot K/kW$	
	Presión máxima de trabajo	bar	
	Número de pasos	–	
	Tipo de tubos	–	
	Material de los tubos	–	
	Diámetro interior de tubos	mm	
	Espesor de los tubos	mm	
Motor			
Potencia absorbida		kW	
Fases/Tensión/Frecuencia		Ph/V/Hz	
Intensidades de corriente			
	Nominal	A	
	De arranque	A	
	A rotor bloqueado	A	
	Capacidad mínima de cables	A	
	Protección máxima de sobrecorriente	A	
Factor de potencia		–	
Velocidad de giro		rpm	
EER		–	
Accesorios			
	Arrancador		
	Válvulas de aislamiento de refrigerante		
	Aislamiento térmico de superficies frías		
	Carga de refrigerante y aceite		
	Módulo de control		
	Filtro, enfriador y bomba de aceite		
	Tarjeta de comunicación con sistema de control centralizado		
Notas:			

Planta Enfriadora enfriada por Agua con Compresor de Tornillo				
Marca				
Modelo				
Cumplimiento de Directivas	89/392/CEE, 73/23/CEE, 89/336/CEE, 97/23/CE			
Certificado de prestaciones				
Marcado CE				
Refrigerante	R-			

			Proyecto	Pruebas
Número de compresores		–		
Número de etapas de parcialización		–		
Evaporador				
	Potencia térmica	kW		
	Caudal de agua	L/s		
	Temperatura de entrada	ºC		
	Temperatura de salida	ºC		
	Temp. de evaporación	ºC		
	Caída de presión	KPa		
	Factor de ensuciamiento	m2·K/kW		
	Presión máxima de trabajo	bar		
	Número de pasos	–		
Condensador				
	Potencia térmica	kW		
	Caudal de agua	L/s		
	Temperatura de entrada	ºC		
	Temperatura de salida	ºC		
	Temperatura mínima de salida	ºC		
	Temp. de condensación			
	Caída de presión	KPa		
	Factor de ensuciamiento	m2·K/kW		
	Presión máxima de trabajo	bar		
	Número de pasos	–		
Motor				
Potencia absorbida		kW		
Tensión/Frecuencia		V/Hz		
Intensidades de corriente				
	Nominal	A		
	De arranque	A		
Factor de potencia		–		
Velocidad de giro		rpm		
EER		–		
Accesorios				
	Arrancador			
	Válvulas de aislamiento de refrigerante			
	Aislamiento térmico de superficies frías			
	Carga de refrigerante y aceite			

(Continuación)

		Proyecto	Pruebas
	Módulo de control		
	Filtro, enfriador y bomba de aceite		
	Tarjeta de comunicación con sistema de control centralizado		
Notas:			

Filtros
Identificación

		Proyecto	Prueba	Notas
Prefiltro				
Clase s/ UNE-EN 779				
Marca y modelo				
Situación				
Superficie filtrante		m^2		
Profundidad		mm		
Pérdida de presión				
	Inicial	Pa		
	Final	Pa		
	Seleccionada	Pa		
Composición celdas				
Filtro				
Clase s/ UNE-EN 779				
Marca y modelo				
Situación				
Superficie filtrante		m^2		
Profundidad		mm		
Pérdida de presión				
	Inicial	Pa		
	Final	Pa		
	Seleccionada	Pa		
Composición celdas				
Filtro final				
Clase s/ UNE-EN 779 o 1882				
Marca y modelo				
Situación				
Superficie filtrante		m^2		
Profundidad		mm		
Pérdida de presión				
	Inicial	Pa		

(Continuación)

		Proyecto	Prueba	Notas
	Final	Pa		
	Seleccionada	Pa		
Composición celdas				
Notas:				

Humectador o Enfriador Adiabático por Contacto			Proyecto	Prueba
Identificación de UTA				
Caudal de aire		L/s		
Superficie frontal		m²		
Velocidad frontal		m/s		
Espesor del panal		mm		
Condiciones del aire				
Entrada	Temperatura seca	ºC		
	Temperatura húmeda	ºC		
Salida	Temperatura seca	ºC		
	Temperatura húmeda	ºC		
Eficiencia de saturación		%		
Pérdida de presión		Pa		
Materiales				
Material del panal	Cerámico o Fibra			
Bandeja				
Válvula de flotador				
Electroválvula de llenado				
Control automático de nivel				
Bomba de riego				
Tubos de riego				
Vaciado manual				
Electroválvula de vaciado				
Rebosadero				
Bastidor				
Válvula de purga continua				
Separador de gotas				
Cuadro de mando y protección				
Notas:				

Humectador o Enfriador Adiabático por Pulverización				Proyecto	Prueba
Identificación de UTA					
Caudal de aire			L/s		
Superficie frontal			m²		
Velocidad frontal			m/s		
Presión del agua			bar		
Compresor de aire					
	Potencia		kW		
	Acumulador		L		
	Presión		bar		
Condiciones del aire					
	Entrada	Temperatura seca	ºC		
		Temperatura húmeda	ºC		
	Salida	Temperatura seca	ºC		
		Temperatura húmeda	ºC		
Eficiencia de saturación			%		
Pérdida de presión			Pa		
Materiales					
Boquillas					
Bandeja					
Tubos					
Separador de gotas					
Bastidor					
Cuadro de mando y protección					
Notas:					

Humectador a Vapor				Proyecto	Prueba
Identificación					
Tipo	Electrodos o resistencias				
Marcado CE					
Marca					
Modelo					
Capacidad de humectación			g/s		
Potencia eléctrica			kW		
Caudal de aire			kg/s		
Condiciones del aire					
	Entrada	Temperatura seca	ºC		
		Humedad específica	g/kg		
	Salida	Temperatura seca	ºC		
		Humedad específica	g/kg		
Calidad del agua					
TDS (sólidos disueltos totales)			mg/L		

(Continuación)

Humectador a Vapor			Proyecto	Prueba
TH (dureza)		°F		
Residuos sólidos a 180°C		mg/L		
Conductividad eléctrica		µS/cm		
Calidad sanitaria	Agua potable			
Materiales				
Depósito	Cerámico o Fibra			
Electrodos o resistencias eléctricas				
Lanza de vapor				
Electroválvula de llenado				
Control automático de nivel				
Electroválvula de vaciado				
Cuadro de mando y protección				
Notas:				

Intercambiador de Calor
Identificación
Marca
Modelo
Tipo (placas o tubular)
Marcado CE
Materiales

			Proyecto	Pruebas
Presión de prueba		bar		
Potencia		kW		
Fluido primario				
	Caudal	L/s		
	Temperatura de entrada	°C		
	Temperatura de salida	°C		
	Factor de ensuciamiento	$m^2 \cdot K/W$		
	Pérdida de presión	kPa		
	Presión de trabajo	bar		
Fluido secundario				
	Caudal	L/s		
	Temperatura de entrada	°C		
	Temperatura de salida	°C		
	Factor de ensuciamiento	$m^2 \cdot K/W$		
	Pérdida de presión	kPa		
	Presión de trabajo	bar		

(Continuación)

			Proyecto	Pruebas
Dimensiones				
	Longitud	mm		
	Anchura	mm		
	Altura	mm		
Masa		kg		
Control				
	Sonda de temperatura	–		
	Válvula automática	–		
Notas:				

Recuperador de Calor de Placas
Identificación
Marca
Modelo
Marcado CE

				Proyecto	Pruebas
Material de placas Aluminio o acero inox			–		
Material de sellado			–		
Potencia sensible			kW		
Fluido primario					
		Caudal	L/s		
	Entrada	Temperatura	ºC		
		Humedad relativa	%		
	Salida	Temperatura	ºC		
		Humedad relativa	%		
		Pérdida de presión	Pa		
Fluido secundario					
		Caudal	L/s		
	Entrada	Temperatura	ºC		
		Humedad relativa	%		
	Salida	Temperatura	ºC		
		Humedad relativa	%		
		Pérdida de presión	Pa		
Dimensiones					
		Longitud	mm		
		Anchura	mm		
		Altura	mm		

(Continuación)

	Proyecto	Pruebas
Compuerta de by-pass: aire de expulsión o aire exterior		
Notas:		

Válvulas		
Identificación		
Marca		
Modelo		
Marcado CE		
Tipo de obturador		Asiento, mariposa, bola
Actuación		Automática o manual
Actuador		
Materiales		
Cuerpo		
Obturador		
Asiento		
Diámetro	DN	
Número de vías	–	2, 3 ó 4
Diámetro tubería	DN o mm	
Presión nominal	bar	PN
Presión de prueba	bar	mínimo 1,5xPN
Coeficiente de flujo	(métrico)	Kv
Caudal	L/s	
Caída de presión a obturador abierto	kPa	
Caudal de fuga a la presión diferencial de ..... kPa	L/s	..... % de Kv
Notas:		

Sellos hidráulicos

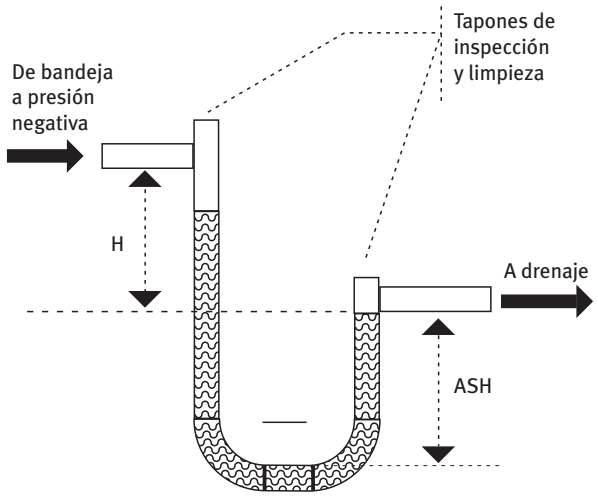
La función de un sello hidráulico en las bandejas de las UTAs es la de eliminar movimientos de aire desde o hacia el interior de las mismas, permitiendo, al mismo tiempo, el drenaje del agua de condensación.

PE	Presión Estática del ventilador	mm c.d.a.	
ASH	Altura Sello Hidráulico	mm	mín: 40 mm

H ≥ PE en aspiración + 20 mm

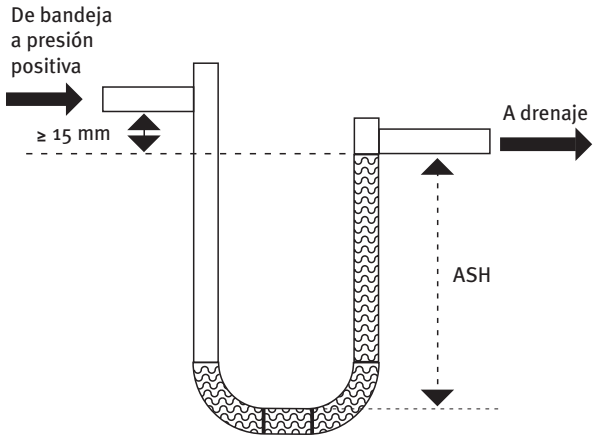
ASH ≥ H/2

Bandeja en aspiración de ventilador



ASH ≥ PE en impulsión + 10 mm

Bandeja en impulsión de ventilador



IT 2.2.2 Pruebas de estanquidad de redes de tuberías de agua

Todas las redes de tuberías deberán ser sometidas a una prueba de estanquidad.

Las pruebas de estanquidad podrán realizarse sobre la totalidad de la misma o sobre una parte de ella, cuando así lo exijan las circunstancias de la obra o la extensión de la red.

Todas las partes de la red o el tramo de red de tuberías en prueba deberán ser accesibles para la observación de fugas y su reparación; no deberá estar instalado el aislamiento térmico.

Todos los extremos de la sección de tuberías en prueba deberán sellarse herméticamente.

Antes de realizar la prueba y, por supuesto, antes del sellado de las extremidades, la red de tubería deberá limpiarse de todos los residuos procedentes del montaje, como cascarillas, aceites, barro, etc.

La limpieza se efectuará llenando la red de agua y vaciándola el número de veces que sea necesario. El agua podrá estar aditivada con algún producto detergente; esta práctica no está permitida cuando se trata de redes de agua para usos sanitarios.

En la siguiente descripción se excluyen las pruebas con gases comprimidos (aire o nitrógeno), aptas especialmente para redes especiales, no incluidas en este Reglamento, y no muy indicadas para redes de agua o vapor.

Deberá comprobarse que los equipos, aparatos y accesorios que queden incluido en la sección de la red que se prueba puedan soportar la presión a la que se les va a someter. De no ser así, tales elementos deberán quedar excluidos mediante el cierre de válvulas o la sustitución por tapones.

La fuente de presurización deberá tener una presión igual o mayor que la presión de prueba. La conexión estará dotada de los siguientes accesorios:

- Válvula de interceptación de tipo de esfera
- Filtro para agua
- Válvula de retención
- Válvula graduable reductora de presión o, en caso de no existir una fuente con presión suficiente, bomba dotada de VFD (variador de frecuencia) que aspira, de un depósito de capacidad adecuada, el volumen de agua necesario para el llenado de la red en prueba
- Manómetro calibrado y de escala adecuada
- Válvula de seguridad, tarada a la presión máxima admisible en la red
- Manguito flexible de unión con la red o la sección de red en prueba

El llenado se llevará a cabo desde la parte más baja del circuito o de la sección. Es de fundamental importancia que durante el llenado se elimine sistemáticamente todo el aire que viene desplazado por el agua, dejando abiertos los puntos altos de la red y dotándolos de válvulas de evacuación de aire. La presencia de aire en la red hace inviable la realización de la prueba, porque el aire, siendo un fluido comprimible, no permite alcanzar la estabilidad de la presión y, por tanto, dificultaría la detección de fugas.

Las fugas se detectarán por la formación de un goteo o un chorro de agua o, en caso de aberturas muy pequeñas, por la formación de superficie mojadas.

Después de haber preparado la red mediante las operaciones antes descritas, se procede a efectuar la prueba preliminar de estanquidad.

Se llenará el circuito desde su parte baja, dejando que el aire sea evacuado por los puntos altos. A continuación, bajo la presión hidrostática determinada por la altura de la red, se recorrerá ésta y se comprobará la presencia de fugas, en particular en las uniones. Se procederá a la reparación, en su caso, y se volverá a repetir esta prueba hasta tanto no se detecten fugas.

A continuación, se realizará la prueba de resistencia mecánica. Una vez llenada la red, se sube la presión hasta el valor de prueba y se cierra la acometida del agua. Si la presión en el manómetro bajara, se comprobará, primero, que las válvulas o tapones de las extremidades estén herméticamente cerrados. En caso afirmativo, se recorrerá la red para buscar señales de pérdidas de líquido.

Esta prueba tendrá la duración necesaria para verificar visualmente la estanquidad de todas y cada una de las uniones.

Si se quiere extender la prueba durante un cierto número de horas, se debe considerar que la lectura del manómetro puede verse afectada por las variaciones de temperatura del aire del ambiente o por la insolación.

La reparación de las fugas detectadas se realizará desmontando la junta, accesorio o sección donde se ha manifestado la fuga y sustituyendo la parte defectuosa o averiada con material nuevo. Se prohíbe el empleo de masillas u otros materiales o medios improvisados o provisionales.

Una vez reparadas las anomalías, se volverá a repetir las pruebas, empezando de nuevo por la prueba preliminar de estanquidad.

Al terminar las pruebas se reducirá la presión, se conectarán a la red los equipos, aparatos y accesorios que hayan sido excluidos de la prueba, se actuará sobre las válvulas de corte y las válvulas de evacuación de aire y se volverán a instalar los aparatos de medida y control.

A continuación se resumen los pasos a seguir para la realización de la prueba de estanquidad de una red.

1 Preparación de la red

- Eliminación de equipos, aparatos y accesorios que no soporten la presión de prueba.
- Cierre de todos los terminales abiertos, mediante válvula o tapones, delimitando la sección que va a ser sometida a prueba.
- Eliminación de todos los aparatos de medida y control.
- Apertura de todas las válvulas incluidas en la red en prueba.
- Comprobación de que todo los puntos altos de la red estén equipado de purgadores de aire.
- Comprobación de que la unión entre la fuente de presión y la red está fuertemente apretada.
- Antes de aplicar la presión asegurarse de que todas las personas hayan sido alejadas de los tramos de tuberías en prueba.

2 Prueba preliminar

- Llenado de la red desde la parte baja, asegurándose de que el aire se escapa por los puntos más elevados sin aplicar presión.
- Se deberá recorrer toda la red para comprobar la presencia de fugas. Si se detectan fugas se procederá a su reparación.

3 Prueba de estanquidad

- Una vez llenada toda la red y eliminado el aire eventualmente presente, se aumentará la presión hasta el valor de prueba.
- Se recorre la red para comprobar la presencia de fugas.
- Se verificará visualmente la estanquidad de todas y cada una de las uniones. La prueba tendrá la duración necesaria para recorrer toda la red. Cuando la presión del manómetro bajara sin que se manifiesten fugas, se podrá alargar la duración de la

prueba tomando nota de las variaciones de temperatura del ambiente, que pueden alterar la presión a la que está sometida la red. Habrá que tener cuidado cuando las condiciones del ambiente puedan reducir la temperatura del agua debajo del punto de congelación.

4 Reparación de fugas

- La reparación de las uniones donde se han originados las fugas se hará desmontando la parte defectuosa o averiada y sustituyéndola por otra nueva.

- Una vez reparadas las anomalías, se volverá a repetir las pruebas desde la prueba preliminar. El proceso se repetirá todas las veces que sea necesario, hasta tanto la red no sea estanca.

5 Terminación de la prueba

- Reducción de la presión.

- Conexión a la red de los equipos, aparatos y accesorios que hayan sido excluidos de las pruebas.

- Instalación de los aparatos de medida y control que hayan sido desmontado para la prueba.

Las presiones a las que se deben someter las redes de distribución del fluido portador serán las indicadas a continuación.

- Circuitos cerrados de fluidos portadores (incluidas torres de refrigeración): 1,5 veces la presión máxima de trabajo, con un mínimo de 6 bar.

- Circuitos abiertos de torres de refrigeración: 2 veces la presión hidrostática máxima, con un mínimo de 6 bar.

- Circuitos de agua para usos sanitarios: 2 veces la presión máxima de trabajo, con un mínimo de 6 bar.

- Agua sobrecalentada o vapor: 2 veces la presión máxima de trabajo, con un mínimo de 10 bar.

Para cada prueba se redactará una ficha técnica que podría tener el siguiente formato:

Ficha técnica de la prueba de redes de tuberías		
Obra		
Red de tuberías		
Aparatos de medida		
Incidencias ocurridas		
	Presión relativa	Duración
Prueba preliminar		
Prueba de estanquidad		
Empresa		
Técnico		
Fecha		
Firmas		

Las redes de agua caliente (apartado 2.2.4) deberán llevarse a la máxima temperatura de diseño para comprobar que el sistema dilata correctamente.

IT 2.2.5 Pruebas de recepción de redes de conductos de aire

Las redes de conductos se probarán de acuerdo a lo que se indica a continuación.

Las pruebas se realizarán antes de que la red de conductos quede oculta por la instalación del aislamiento térmico, el cierre de obras de albañilería o de falsos techos o suelos.

Las pruebas se realizarán sobre la totalidad de la la red de conductos. Si, por razones de ejecución de obra, se necesita ocultar parte de la red antes de su ultimación, las pruebas podrán realizarse subdividiéndola en tramos.

Las aberturas de terminación de los conductos, donde se conectarán las unidades terminales o los difusores, se cerrarán por medio de tapones de chapa metálica u otro material. El montaje de los elementos de cierre se hará al momento del montaje de los conductos para evitar la introducción de materiales extraños y de suciedad.

La pruebas se realizarán empleando un equipo como el indicado, esquemáticamente, en la figura 84.

El ventilador, directamente acoplado al motor, será capaz de suministrar un caudal entre el 2 al 3% del caudal de la red de conductos, con una presión estática igual, por lo menos, a vez y media la presión máxima de trabajo de la red o a la presión máxima de trabajo de la red más 500 Pa, la mayor entre las dos.

El acoplamiento entre la boca de descarga del ventilador y la entrada al tramo de conducto de medida es crítico; las uniones se harán mediante juntas de goma y soldadura a estaño.

La unión entre el conducto de medida y la red de conductos en prueba se sellará mediante masilla y cinta adhesiva.

El tramo de conducto de unión entre el ventilador y la red en pruebas será calandrado de chapa galvanizada de 15/10 de mm de espesor, de 80 mm de diámetro y una longitud mínima de 1,6 m. En este tramo se instalará un enderezador de flujo y una brida calibrada, con un taladro central de 22 ± 0,025 mm de diámetro (véase la figura 84).

Antes y después de la brida calibrada se soldarán al conducto dos manguitos de acoplamiento al manómetro en U. Éste, a su vez, se acoplará a los manguitos mediante dos tubos flexibles de plástico de 6 mm de diámetro interior.

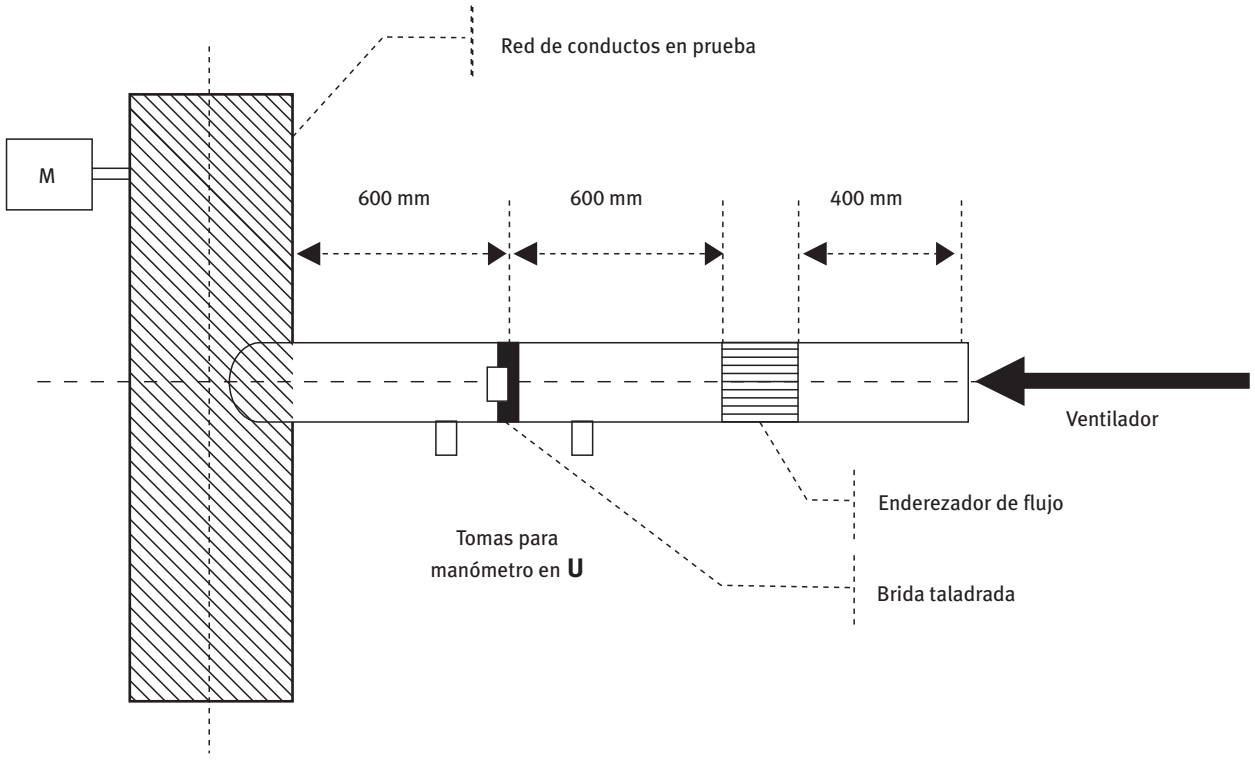


Fig. 84: Aparato para prueba de conductos

Las pruebas se realizarán de la siguiente manera.

Prueba preliminar

Se procede al reconocimiento auditivo del sistema de conductos.

Se pone en marcha el ventilador gradualmente, hasta alcanzar una presión igual a la presión máxima de trabajo más 500 Pa.

Se procede al reconocimiento auditivo de la red en prueba, detectando las fugas de aire.

Se para el ventilador y se procede al sellado de todas las uniones defectuosas.

Se dejará transcurrir el tiempo necesario para que el material sellante tenga tiempo de fraguar.

Se procede de nuevo a efectuar esta prueba hasta que hayan sido eliminadas todas las fugas.

Prueba estructural

Esta prueba sólo se debe hacer para conductos de forma rectangular.

En esta prueba se debe alcanzar una presión igual a una vez y media la presión máxima de trabajo.

Las uniones transversales y longitudinales deben ser capaces de resistir la presión sin deformarse y sin perder la estanquidad.

Para los refuerzos transversales de los conductos o sus uniones transversales, cuando éstas actúan como refuerzos, la deflexión máxima permitida es de 6 mm.

La deflexión máxima permitida para las chapas de las paredes de los conductos será la siguiente:

- Lados de hasta 300 mm: 10 mm
- Lados de hasta 450 mm: 12 mm
- Lados de hasta 600 mm: 15 mm
- Lados de más de 600 mm: 20 mm

Prueba de estanquidad

Para asegurar que el caudal de aire en las unidades terminales sea igual al de diseño, es necesario sobredimensionar el caudal del ventilador en una cantidad igual a las pérdidas por exfiltración (fugas), cuando la red de conducto trabaje con presión positiva, o a las ganancias por infiltración, cuando la red de conducto trabaje con presión negativa. En adelante, todas las pérdidas y ganancias de caudal se denominarán con la palabra “pérdidas”.

Las pérdidas son proporcionales a la longitud total de las uniones transversales y longitudinales, que, a su vez, está relacionada con la superficie exterior de los conductos y con la complejidad del sistema. A efectos prácticos, puede considerarse que las pérdidas sean proporcionales a la superficie exterior de los conductos.

Se pone en marcha el ventilador y, gradualmente, se llega a la presión máxima de servicio. En estas condiciones, la lectura del manómetro indica la pérdida de presión a través de la brida taladrada y, en consecuencia, el caudal de fugas.

La relación entre la lectura del manómetro en U (mm) y el caudal (L/s o m^3/s) es:

$$q = e^{a+b \bullet \ln h}$$

donde **a** y **b** son los parámetros característicos que dependen de la geometría del orificio.

Una vez determinado el caudal **q** (L/s) y conocida la superficie exterior de la red de conductos **S** (m^2), se podrá determinar el coeficiente de fuga **f** ($L/(s \cdot m^2)$) con esta ecuación:

$$f = \frac{q}{A}$$

El factor de fuga determinado deberá ser menor o igual que el factor de fuga impuesto en el apartado IT 1.2.4.2.3 (**p** es la presión máxima de ejercicio de la red, en Pa, igual a la presión empleada en la prueba de estanquidad):

$$f = c \bullet p^{0,65}$$

donde se impone que la red de conductos tenga la estanquidad correspondiente a la clase B, por lo menos, a la que corresponde un coeficiente **c** igual a 0,009.

Se hace notar que las redes de conductos se suelen dividir en partes relacionadas con la presión máxima que cada parte puede soportar. Este criterio es útil cuando la red de conductos es muy extensa. La tendencia actual, sin embargo, es la de hacer redes de conductos de pequeña extensión, con el fin de disminuir las pérdidas de presión y facilitar las operaciones de ajuste y equilibrado.

Cada una de las pruebas dará lugar a una ficha técnica con el siguiente formato:

Ficha técnica de la prueba de redes de conductos				
Obra				
Superficie exterior (m^2)				
Aparatos de medida				
Incidencias ocurridas durante las pruebas				
	Presión relativa (Pa)			Duración (horas)
Prueba preliminar		•	•	
		Deflexión (mm)		
Prueba estructural				
		Pérdidas (L/[s·m^2])	Clase (según IT 1.2.4.2.3)	
Prueba de estanquidad				
Empresa				
Técnico				
Fecha				
Firmas				

IT 2.2.6 Prueba de estanquidad de las chimeneas

La prueba de estanquidad de los conductos para la evacuación de los productos de la combustión se realizará de acuerdo a las instrucciones del fabricante.

IT 2.2.7 Pruebas finales

Para las pruebas finales se seguirán las instrucciones indicadas en la norma UNE-EN 12599.

Esta norma deberá ser completada, en un futuro, con otras normas para averiguar la capacidad de los sistemas de climatización de cubrir las demandas máximas en régimen de calefacción y refrigeración.

Para el subsistema solar se llevará a cabo una prueba de seguridad en condiciones de estancamiento del circuito primario.

IT 2.3 Ajuste y equilibrado

Los parámetros de funcionamiento de las instalaciones térmicas deberán ser ajustados a los valores indicados en la memoria o los planos del proyecto.

El cumplimiento de las fichas técnicas de cada uno de los equipos, aparatos y sus accesorios garantiza que todos los circuitos de la instalación han sido ajustados y equilibrados y deja constancia escrita de ello, facilitando así la labor del equipo de mantenimiento.

Particularmente importante es el ajuste del sistema de automatización y control, para el cual debe considerarse de obligado cumplimiento la norma UNE-EN ISO 16484, siete partes (tres de ellas todavía no han sido publicadas).

IT 2.4 Eficiencia energética

Se exige a la empresa instaladora que realice y documente las siguientes pruebas de eficiencia energética de la instalación:

- Comprobación del funcionamiento de los equipos de generación de calor (temperaturas, caudal, potencia, temperaturas de humos, etc.) a plena carga y a carga parcial. Será de ayuda la guía técnica nº 5 del IDAE "Procedimiento de inspección periódica de eficiencia energética para calderas".
- Comprobación del funcionamiento de los equipos de generación de frío (temperaturas, caudal, potencia, etc.) a plena carga y a carga parcial. Será de ayuda la guía técnica nº 2 del IDAE "Procedimientos para la determinación del rendimiento energético de plantas enfriadoras y equipos autónomos de tratamiento de aire" y la nº 4 "Torres de refrigeración".
- Comprobación de la aportación energética de los sistemas de generación de energía de origen renovable.
- Equipos de transferencia energética, como baterías, intercambiadores, etc. Serán de ayuda las fichas técnicas.
- Comprobación del sistema de automatización y control del edificio.
- Comprobación de caudales y temperaturas de impulsión y retorno de todos los circuitos de distribución de energía térmica y de sus pérdidas de energía. Esta comprobación está relacionada con la puesta en marcha de la instalación.
- Comprobación de los consumos energéticos en diferentes situaciones de carga térmica, lo que impone el seguimiento de la instalación durante un año completo.
- Comprobación del funcionamiento de los motores eléctricos, en particular, de su rendimiento.

Instrucción Técnica IT.3: Mantenimiento y uso

IT 3.3 Programa de mantenimiento preventivo

El funcionamiento de las instalaciones térmicas deberá asegurar la eficiencia energética, la protección del medio ambiente, la seguridad, la durabilidad y las condiciones de bienestar establecidas en el proyecto.

El mantenimiento preventivo se efectuará de acuerdo a las operaciones y periodicidades establecidas en la Tabla 3.1 para instalaciones de hasta 70 kW.

Para instalaciones de potencia mayor se seguirán las instrucciones de la guía técnica nº 1 del IDAE, titulada "Mantenimiento de instalaciones térmicas", cuyo objeto es la programación de los protocolos específicos de mantenimiento de las instalaciones térmicas de los edificios, así como los procedimientos de documentación y archivo de todas las actuaciones preventivas y de reparación que tengan lugar en cada instalación.

Se hace hincapié en que las periodicidades indicadas en la tabla 3.1 ó en la citada guía no representan valores máximos o mínimos; las frecuencias han sido establecidas sobre la base del buen criterio y la experiencia.

La frecuencia de las intervenciones depende solamente de la función del equipo; disminuir las intervenciones comporta el riesgo de provocar averías, mientras que aumentar su frecuencia significa aumentar los gastos sin provecho alguno.

Se puede consultar también la norma UNE-EN 13306 para la terminología del mantenimiento, aunque también el manual comprenda términos y definiciones relativos al mantenimiento.

El manual comprende unas fichas técnicas que se deberán rellenar, como complemento y ampliación de las que se han presentado en los comentarios al apartado IT 2.2.

IT 3.4 Programa de gestión energética

La empresa de mantenimiento deberá también llevar un registro de las mediciones de algunos parámetros de los generadores de calor (Tabla 3.2) y los de frío (Tabla 3.3), con el fin de evaluar periódicamente la eficiencia energética de estos equipos.

Para las instalaciones solares térmicas de más de 20 m^2 de superficie de captación la empresa de mantenimiento realizará mediciones del consumo de agua caliente sanitaria y de la contribución solar. Una vez al año se comprobará el cumplimiento de la exigencia de la sección HE4 del CTE.

Es importante destacar que la empresa mantenedora deberá realizar un seguimiento de la evolución del consumo de energía y de agua para instalaciones de más de 70 kW térmicos. El fin es el de detectar posibles desviaciones de los valores iniciales y tomar las medidas correctoras necesarias.

Las instrucciones de seguridad de las instalaciones térmicas de más de 70 kW serán visibles y comprenderán los aspectos relativos a paradas de equipos, indicaciones de seguridad, advertencias, cierre de válvulas, etc.

Las instrucciones de manejo y maniobra, así como las instrucciones de funcionamiento, deberán estar situadas en salas de máquinas y otros locales técnicos.

Se recuerda la obligatoriedad de efectuar la contabilización del consumo de energía de todos los usuarios (véase la guía técnica nº 6 "Contabilización de consumos" del IDAE).

Instrucción Técnica IT.4: Inspección

Esta instrucción establece los procedimientos a seguir en las inspecciones a efectuar en las instalaciones térmicas.

Las inspecciones deberán llevarse a cabo para equipos de producción de calor de más de 20 kW de potencia térmica nominal, incluida la instalación de energía solar, y para equipos de producción de frío de más de 12 kW de potencia térmica nominal.

En ambos casos, las inspecciones incluirán el análisis y evaluación del rendimiento y la revisión del registro oficial de las operaciones de mantenimiento.

Será de utilidad la aplicación de las guías técnicas nº 2 y 5 editadas por el IDAE.

Cuando la instalación térmica tenga más de 15 años de antigüedad y la potencia térmica nominal sea mayor que los valores antes indicados, se deberá realizar una inspección de toda la instalación térmica desde el punto de vista de la eficiencia energética y las operaciones de mantenimiento.

Al final, se emitirá un informe en el que se propondrá al titular de la instalación la realización de modificaciones con el fin de mejorar la eficiencia energética. Las mejoras propuestas estarán justificadas por su rentabilidad económica.

La periodicidad de las inspecciones está indicada en IT 4.3.

Normas y otros documentos

Normas citadas en los Comentarios			
UNE-EN ISO	7730	2006	Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local.
UNE-EN	28996	2005	Ergonomía del ambiente térmico. Determinación de la tasa metabólica. (ISO 8996)
UNE-EN ISO	9920	2004	Ergonomía del ambiente térmico. Estimación del aislamiento térmico y de la resistencia a la evaporación de un conjunto de ropa.
UNE-EN ISO	7933	2005	Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del estrés térmico mediante el cálculo de la sobrecarga térmica estimada.
UNE-EN	12515	1997	Ambiente calurosos. Estimación del estrés térmico del hombre en el trabajo basado en el índice de sudoración requerida.
UNE-EN ISO	11079	1998	Evaluación de ambientes fríos. Determinación del aislamiento requerido para la vestimenta.
ASHRAE	Std. 55	2004	Thermal environmental conditions for human occupancy.
UNE-EN	13779	2005	Ventilación de edificios no residenciales. Requisitos de prestaciones de los sistemas de ventilación y acondicionamiento de recintos.
UNE-EN	27243	1995	Ambientes calurosos. Estimación del estrés térmico del hombre en el trabajo basado en el índice WBGT (ISO 7243).
UNE	100713	2005	Instalaciones de acondicionamiento de aire en hospitales.
UNE-EN	779	2003	Filtros de aire utilizados en ventilación general para eliminación de partículas. Determinación de las prestaciones de los filtros.
Serie UNE-EN	1822		Filtros absolutos (HEPA y ULPA).
UNE-EN	1822-1	1999	Parte1: Clasificación, principios generales del ensayo, marcado.
UNE-EN	1822-2	1999	Parte 2: Producción de aerosol, aparatos de medición, estadísticas de contaje de partículas.
UNE-EN	1822-3	1999	Parte 3: Ensayo de medio filtrante plano.
UNE-EN	1822-4	2001	Parte 4: Ensayo de estanquidad de la célula filtrante (método de exploración).
UNE-EN	1822-5	2001	Parte 5: Medida de la eficacia de la célula filtrante.
UNE-EN	1886	1999	Ventilación de edificios. Unidades de tratamiento de aire. Rendimiento mecánico.
UNE-EN	13053	2003	Ventilación de edificios. Unidades de tratamiento de aire. Clasificación y rendimiento de unidades, componentes y secciones.

UNE	100180	2004	Requisitos mínimos exigibles a las unidades de tratamiento de aire

Serie UNE-EN	1434		Contadores de energía térmica.
UNE-EN	1434-1	2007	Parte 1: Requisitos generales.
UNE-EN	1434-2	2007	Parte 2: Requisitos de fabricación.
UNE-EN	1434-3	2007	Parte 3: Intercambio de datos e interfaces.
UNE-EN	1434-4	1998	Parte 4: Ensayos de validación del modelo.
UNE-EN	1434-5	2007	Parte 5: Ensayos de verificación inicial.
UNE-EN	1434-6	2007	Parte 6: Instalación, puesta en servicio, control del funcionamiento y mantenimiento.
UNE-EN	1751	1999	Ventilación de edificios. Unidades terminales de aire. Ensayos aerodinámicos de compuertas y válvulas.
UNE-EN	13410	2002	Aparatos suspendidos de calefacción por radiación que utilizan combustibles gaseosos. Requisitos de ventilación de los locales para uso no doméstico.
UNE	123001	2005	Chimeneas. Cálculo y diseño de chimeneas metálicas. Guía de aplicación.
UNE	123001:2005/1M	2006	Chimeneas. Cálculo y diseño de chimeneas metálicas. Guía de aplicación.
UNE-EN	1856-1	2004	Chimeneas. Requisitos para chimeneas metálicas. Parte 1: Chimeneas modulares.
UNE-EN	1856-1:2004/1M	2005	Chimeneas. Requisitos para chimeneas metálicas. Parte 1: Chimeneas modulares.
Serie UNE-EN	13384		Chimeneas. Métodos de cálculo térmicos y fluido-dinámicos.
UNE-EN	13384-1	2003	Parte 1: Chimeneas que se utilizan con un único aparato.
UNE-EN	13384-2	2005	Parte 2: Chimeneas que prestan servicio a más de un generador de calor.
UNE-EN	13384-3	2007	Parte 3: Métodos para el desarrollo de gráficos y de tablas para las chimeneas que prestan servicio a un único generador de calor.
Serie UNE-EN	1856		Chimeneas. Requisitos para chimeneas metálicas.
	1856-1	2004	Parte 1: Chimeneas modulares.
UNE-EN	1856-2	2005	Parte 2: Conductos interiores y conductos de unión metálicos.
UNE	100156 IN	2004	Climatización. Dilatadores. Criterios de diseño.
UNE	100155	2004	Climatización. Diseño y cálculo de sistemas de expansión.
UNE-EN	12236	2003	Ventilación de edificios. Soportes y apoyos de la red de conductos. Requisitos de resistencia.
UNE-EN	12237	2003	Ventilación de edificios. Conductos. Resistencia y fugas de conductos circulares de chapa metálica.
UNE-EN	13403	2003	Ventilación de edificios. Conductos no metálicos. Red de conductos de planchas de material aislante.
UNE-ENV	12097	1998	Ventilación de edificios. Conductos. Requisitos relativos a los componentes destinados a facilitar el mantenimiento del sistema de conductos.
UNE-EN	13180	2003	Ventilación de edificios. Conductos. Dimensiones y requisitos mecánicos para conductos flexibles.
Serie UNE-EN	12502		Protección de materiales metálicos contra la corrosión. Recomendaciones para la evaluación del riesgo de corrosión en sistemas de distribución y almacenamiento de agua.
UNE-EN	12502-1	2005	Parte 1: Generalidades.
UNE-EN	12502-2	2005	Parte 2: Factores que influyen para el cobre y aleaciones de cobre.
UNE-EN	12502-3	2005	Parte 3: Factores que influyen para materiales férreos galvanizados en caliente.
UNE-EN	12502-4	2005	Parte 4: Factores que influyen para el acero inoxidable.

UNE-EN	12502-5	2005	Parte 5: Factores que influyen para fundición de hierro, acero no aleado y de baja aleación.
UNE	112076 IN	2004	Prevención de la corrosión en circuitos de agua.
UNE-EN	1751	1999	Ventilación de edificios. Unidades terminales de aire. Ensayos aerodinámicos de compuertas y válvulas.
UNE	100155	2004	Climatización. Diseño y cálculo de sistemas de expansión.
UNE	100156 IN	2004	Climatización. Dilatadores. Criterios de diseño.
UNE	100100	2000	Climatización. Código de colores.
UNE-EN	14336	2005	Sistemas de calefacción en edificios. Instalación y puesta en servicio de sistemas de calefacción por agua.
UNE-EN	12599	2001	Ventilación de edificios. Procedimientos de ensayo y métodos de medición para la recepción de los sistemas de ventilación y de climatización instalados.
Serie UNE-EN ISO	16484		Sistemas de automatización y control de edificios (BACS).
UNE-EN ISO	Parte 2	2005	Parte 2: Soporte físico.
UNE-EN ISO	Parte 3	2006	Parte 3: Funciones.
EN ISO	Parte 5	2003	Parte 5: Extractores y dispositivos de salida de aire situados en los tejados.
EN ISO	Parte 6	2005	Parte 6: Conjuntos para sistemas de extracción de aire en viviendas individuales.
Serie UNE-EN	13141		Ventilación de edificios. Ensayos de las prestaciones de componentes y equipos para la ventilación en viviendas.
UNE-EN	13141-1	2004	Parte 1: Dispositivos de transferencia de aire montados en el exterior y en el interior.
UNE-EN	13141-2	2005	Parte 2: Unidades terminales de extracción e impulsión de aire.
UNE-EN	13141-3	2006	Parte 3: Campanas extractoras de aire en cocinas para uso doméstico.
UNE-EN	13141-4	2004	Parte 4: Ventiladores utilizados en sistemas de ventilación en viviendas.
UNE-EN	13141-5	2005	Parte 5: Extractores y dispositivos de salida de aire situados en los tejados.
UNE-EN	13141-6	2004	Parte 6: Conjuntos para sistemas de extracción de aire en viviendas individuales.
UNE-EN	13141-7	2004	Parte 7: Ensayos de prestaciones de unidades de impulsión y extracción mecánica (incluyendo recuperación de calor) para sistemas de ventilación mecánica destinados a viviendas individuales.
UNE-EN	13141-8	2006	Parte 8: Ensayos de prestaciones de unidades de impulsión y extracción mecánica sin conductos (incluyendo recuperación de calor) para sistemas de ventilación mecánica destinados a espacios individuales.
UNE-EN	13142	2004	Ventilación de edificios. Componentes y equipos para la ventilación en viviendas. Características de las prestaciones requeridas y opcionales.
UNE-EN	14134	2004	Ventilación de edificios. Ensayos de prestaciones y controles de instalaciones de sistemas de ventilación en viviendas.
UNE-EN	13465	2004	Ventilación de edificios. Métodos de cálculo para la obtención del caudal de aire en viviendas.
UNE-EN	13306	2002	Terminología del mantenimiento.

Otras normas de interés

UNE	20324	2000	Grados de protección proporcionados por las envolventes (código IP).
[illegible]			

UNE-EN ISO	14644-3	2006	Parte 3: Métodos de ensayo.
UNE-EN ISO	14644-4	2001	Parte 4: Diseño, construcción y puesta en servicio.
UNE-EN ISO	14644-5	2005	Parte 5: Funcionamiento.
prEN ISO	14644-6		Parte 6: Vocabulario
UNE-EN ISO	14644-7	2005	Parte 7: Dispositivos de separación (campanas de aire limpio, cajas de guantes, aisladores, minientornos).
EN ISO	14644-8	2006	Parte 8: Clasificación de la contaminación molecular transportada por el aire.
Serie UNE-EN ISO	14698		Salas limpias y ambientes controlados asociados. Control de la bio-contaminación.
UNE-EN ISO	Parte 1	2004	Principios y métodos generales.
UNE-EN ISO	Parte 2	2004	Evaluación e interpretación de los datos de la bio-contaminación.
UNE-EN	12238	2002	Ventilación de edificios. Unidades terminales. Ensayos aerodinámicos y características para aplicación en difusión por mezcla de aire.
UNE-EN	12239	2002	Ventilación de edificios. Unidades terminales. Ensayos aerodinámicos y características para aplicación en desplazamiento de aire.
UNE-EN	12589	2003	Ventilación de edificios. Unidades terminales. Ensayos aerodinámicos y evaluación de las unidades terminales con caudal de aire constante y variable.
UNE-EN	12792	2004	Ventilación de edificios. Símbolos, terminología y símbolos gráficos.
UNE-EN	14788 IN	2007	Ventilación de edificios. Diseño y dimensionamiento de los sistemas de ventilación en viviendas.
Serie UNE-EN	14511		Acondicionadores de aire, enfriadoras de líquido y bombas de calor con compresor accionado eléctricamente para la calefacción y la refrigeración de locales.
	Parte 1	2004	Términos y definiciones.
	Parte 2	2004	Condiciones de ensayo.
	Parte 3	2004	Métodos de ensayo.
	Parte 4	2004	Requisitos.
UNE-CEN/TS	14825	2004	Acondicionadores de aire, enfriadoras de líquido y bombas de calor con compresor accionado eléctricamente para la calefacción y la refrigeración de locales. Ensayos y clasificación en condiciones de carga parcial.
UNE-EN	14240	2004	Techos fríos. Ensayos y evaluación.
UNE-EN	14239	2004	Ventilación de edificios. Conductos. Medición de la superficie de los conductos.
UNE-EN	13465	2004	Ventilación de edificios. Métodos de cálculo para la obtención del caudal de aire en viviendas.
UNE-EN	14134	2004	Ventilación de edificios. Ensayos de prestaciones y control de instalaciones de sistemas de ventilación en viviendas.
UNE-EN	12170	2002	Sistemas de calefacción en edificios. Procedimiento para la preparación de documentos para manejo, mantenimiento y manejo. Sistemas de calefacción que requieren un operador especializado.
UNE-EN	12171	2003	Sistemas de calefacción en edificios. Procedimiento para la preparación de documentos para manejo, mantenimiento y utilización. Sistemas de calefacción que no requieren un operador especializado.
Serie UNE-EN	1264		Calefacción por suelo radiante. Sistemas y componentes.
	Parte 1	1998	Definiciones y símbolos.
	Parte 2	1998	Determinación de la emisión térmica.
	Parte 3	1998	Dimensionamiento.

UNE-EN	305	1997	Intercambiadores de calor. Definiciones del rendimiento de los intercambiadores de calor y procedimiento general de ensayo para establecer el rendimiento de todos los intercambiadores de calor.
UNE-EN	308	1997	Intercambiadores de calor. Procedimientos para determinar las prestaciones de los recuperadores de calor aire/aire y aire/gases de combustión.
UNE-EN	1216	1999	Intercambiadores de calor. Baterías de calentamiento y enfriamiento de aire por circulación forzada. Procedimientos de ensayos para determinar su rendimiento.
CEI	60034-2	1972	Máquinas eléctricas rotativas. Parte 2: Métodos para la determinación de las pérdidas y del rendimiento de las máquinas eléctricas rotativas a partir de ensayos (excepto las máquinas para vehículos a tracción).
ISO	3310		Test sieves. Technical requirements and testing.
		2000	Part 1: Test sieve of metal wire cloth.
		1999	Part 2: Test sieves of perforated metal plate.
		1990	Part 3: Test sieves of electroformed sheets.
Serie UNE-EN	442		Radiadores y convectores.
		2004	Parte 1: Especificaciones y requisitos técnicos.
		2004	Parte 2: Métodos de ensayo y de evaluación.
		2004	Parte 3: Evaluación de la conformidad.
Serie UNE-EN	13443		Equipos de acondicionamiento de agua en el interior de los edificios. Filtros mecánicos.
		2003	Parte 1: Partículas de dimensiones comprendidas entre 80 μm y 150 μm. Requisitos de funcionamiento, seguridad y ensayo.
UNE-EN	13741	2004	Ensayos de recepción de las prestaciones térmicas de las torres de refrigeración húmedas de tiro mecánico fabricadas en serie.
UNE-EN	14705	2006	Intercambiadores de calor. Método de medición y evaluación de las prestaciones térmicas de las torres de refrigeración húmedas.
UNE-EN	14597	2006	Dispositivos de control y limitación de temperatura para los sistemas de producción de calor.
UNE-EN	27726	1995	Ambientes térmicos. Instrumentos y métodos de medida de los parámetros físicos.
UNE-EN	13182	2003	Ventilación de edificios. Requisitos de instrumentación para medición de velocidad de aire en espacios ventilados.
UNE-EN	13313	2002	Sistemas de refrigeración y bombas de calor. Competencia del personal.
UNE-EN	14239	2004	Ventilación de edificios. Conductos. Medición de la superficie de los conductos.
UNE-EN	1050	1997	Seguridad de las máquinas. Principios para la evaluación del riesgo.
UNE-EN	1397	1999	Intercambiadores de calor. Ventiloconvectores *(fan-coils)* de agua. Procedimientos de ensayo para determinar su rendimiento.

Nota: En algunas normas (UNE-EN 1886, 13053, 1216, 1397; prEN 15315, 15240, 15239) aparece la palabra “rendimiento” como traducción del inglés “performance”; el significado correcto, en el contexto de esas normas, es “prestaciones”.

Para el cumplimiento de la Directiva “Energy Performance of Buildings Directive”, conocida como EPBD, la Comisión Europea envió un mandato al CEN (M343-EN-2004) con el fin de elaborar 31 normas.

Los Comités técnicos del CEN involucrados en la elaboración de las normas has sido:

- 89 “Termal performance of buildings and building components”
- 156 “Ventilation for buildings”
- 169 “Light and lighting”
- 228 “Heating systems in buildings”
- 247 “Buildings automation, control and building management”

La lista de normas es la siguiente:

prEN	15217	Eficiencia energética en la edificación. Métodos para expresar la eficiencia energética y para la certificación energética de edificios.
prEN	15315	Sistemas de calefacción en edificios. Rendimiento energético de los edificios. Necesidades energéticas globales, energía primaria y emisiones de CO_2.
prEN	15203	Eficiencia energética en la edificación. Evaluación de la energía utilizada y definición de los índices de eficiencia.
prEN	15378	Sistemas de calefacción en edificios. Inspección de calderas y sistemas de calefacción.
prEN	15240	Ventilación de edificios. Rendimiento energético de edificios. Directrices para la inspección de sistemas de acondicionamiento de aire.
Serie PNE-prEN	15316	Sistemas de calefacción en edificios. Método para el cálculo de los requisitos de energía del sistema y de la eficiencia del sistema.
		Parte 1: Generalidades
		Parte 2.1: Sistemas de emisión para la calefacción de recintos.
		Parte 2.3: Sistemas de distribución para la calefacción de recintos.
		Parte 3.1: Sistemas de agua caliente doméstica, caracterización de necesidades (requisitos de acometida).
		Parte 3.2: Sistemas de agua caliente sanitaria, distribución.
		Parte 3.3: Sistemas de agua caliente sanitaria, generación.
		Parte 4.1: Sistemas de generación para la calefacción de recintos, sistemas de combustión.
		Parte 4.2: Sistemas de generación para la calefacción de recintos, sistemas de bomba de calor.
		Parte 4.3: Sistemas de generación para la calefacción de recintos, sistemas solares térmicos.
		Parte 4.4: Sistemas de generación para la calefacción de recintos, calidad y prestaciones de la cogeneración eléctrica y térmica.
		Parte 4.5: Sistemas de generación para la calefacción de recintos, calidad y prestaciones de los sistemas de calefacción urbana y de los sistemas de gran volumen.
		Parte 4.6: Sistemas de generación para la calefacción de recintos, prestaciones de los sistemas de calefacción y electricidad procedentes de otras energías renovables.
		Parte 4.7: Sistemas de generación de calefacción en recintos. sistemas de combustión de biomasa.

prEN	15243	Ventilación de edificios. Cálculo de la temperatura de los recintos, de las cargas y de la energía para edificios con sistemas de acondicionamiento de recintos.
prEN	15193	Eficiencia energética en la edificación. Requisitos energéticos para la iluminación.
		Parte 1: Estimación energética de la iluminación.
prEN	13790	Eficiencia térmica de los edificios. Cálculo de las necesidades energéticas para calefacción y refrigeración de los locales (ISO/DIS 13790:2005).
prEN	15255	Prestaciones térmicas de edificios. Cálculo de la carga de calefacción sensible de un local. Criterios generales y procedimientos de validación.
prEN	15265	Prestaciones térmicas de los edificios. Cálculo de las necesidades energéticas para calefacción y aire acondicionado. Criterios generales y procedimientos de validación.
prEN	15242	Ventilación de edificios. Métodos de cálculo para la determinación de los caudales de aire en edificios, incluyendo la infiltración.
prEN	15241	Ventilación de edificios. Métodos de cálculo de las pérdidas de energía debidas a la ventilación y la infiltración en edificios comerciales.
prEN	15232	Métodos de cálculo para la mejora de la eficiencia energética mediante la aplicación de sistemas de automatización integrada en los edificios FIN IPP 2005-08-21.
prEN ISO	13786	Comportamineto térmico de los componentes y elementos de la edificación. Características térmicas dinámicas. Métodos de cálculo (ISO/DIS 13786: 2005).
prEN ISO	13789	Eficiencia térmica de los edificios. Coeficientes de transferencia de calor por transmisión y ventilación. Método de cálculo (ISO/DIS 13789:2005).
Serie prEN ISO	10077	Comportamiento térmico de ventanas, puertas y persianas. Cálculo de la transmitancia térmica.
		Parte 1: Generalidades (ISO 10077-1:2006).
prEN ISO	10456	Materiales y productos para la construcción. Propiedades higrotérmicas. Tablas de valores de concepción y procedimientos para la determinación de los valores térmicos declarados y de concepción (ISO/DIS 10456:2005).
prEN ISO	13370	Eficiencia térmica de los edificios. Transferencia de calor por el suelo. Métodos de cálculo (ISO/DIS 13370).
prEN ISO	10211	Puentes térmicos en los edificios. Flujos térmicos y temperaturas de superficie. Cálculos detallados (ISO/DIS 10211:2005).
prEN ISO	14683	Puentes térmicos en los edificios. Coeficiente de transmisión térmica lineal. Método simplificado y valores por defecto (ISO/DIS 14683:2005).
prEN ISO	6946	Componentes y elementos de la edificación. Resistencia térmica y trasmitancia térmica. Método de cálculo (ISO/DIS 6946:2005).
prEN	13779	(Revisión) Ventilación de edificios no residenciales. Requisitos de prestaciones de sistemas de ventilación y acondicionamiento de aire.
PNE-prEN ISO	15377	Sistemas de calefacción en edificios. Diseño de sistemas empotrados de calefacción y refrigeración por agua.
prEN ISO		Parte 1: Determinación de la capacidad nominal de calefacción y refrigeración.
prEN ISO		Parte 2: Diseño, dimensionamiento e instalación.
prEN ISO		Parte 3: Optimización para la utilización de fuentes de energía renovables.
PNE-EN ISO	13791	Comportamiento térmico de edificios. Cálculo de temperaturas interiores en verano de un local sin refrigeración mecánica. Criterios generales y métodos de validación (ISO 13791:2004).

PNE-EN ISO	13792	Comportamiento térmico de edificios. Cálculo de temperaturas interiores en verano de un local sin refrigeración mecánica. Métodos simplificados (ISO 13792:2005).
prEN	15459	Sistemas de calefacción en edificios. Requisitos de datos para los procedimientos normalizados de evaluación económica en relación a sistemas de energía en edificios, incluyendo fuentes de energía renovables.
prEN	15239	Ventilación de edificios. Rendimiento energético de edificios. Directrices para la inspección de sistemas de ventilación.
prEN	15251	Criterios para el ambiente interior incluyendo condiciones térmicas, calidad de aire interior, iluminación y ruido.

La gran mayoría de estas normas será publicada dentro del año 2007.

Para otras normas no incluidas en las listas anteriores véase el “Anuario de climatización y Refrigeración 2006” de ATECYR.

Títulos publicados de la serie *"Ahorro y Eficiencia Energética en Climatización"*

Guía nº 1:
Guía técnica.
Mantenimiento de instalaciones térmicas

Guía nº 2:
Guía técnica.
Procedimientos para la determinación del rendimiento energético de plantas enfriadoras de agua y equipos autónomos de tratamiento de aire

Guía nº 3:
Guía técnica.
Diseño y cálculo del aislamiento térmico de conducciones, aparatos y equipos.
Incluye CD-ROM con programa AISLAM

Guía nº 4:
Guía técnica.
Torres de refrigeración

Guía nº 5:
Guía técnica.
Procedimiento de inspección periódica de eficiencia energética para calderas

Guía nº 6:
Guía técnica.
Contabilización de consumos

Guía nº 7:
Comentarios al Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.
RITE - 2007

IDAE Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

c/ Madera, 8 - 28004 Madrid
Tel.: 91 456 49 00. Fax: 91 523 04 14
comunicacion@idae.es
www.idae.es