

GUÍA INTEGRAL DE DESARROLLO DE PROYECTOS DE REDES DE DISTRITO DE CALOR Y FRÍO

Mayo 2012

Esta Guía ha sido elaborada por la empresa COFELY (GDF SUEZ) por encargo del Institut Català d'Energia. Generalitat de Catalunya.



ADHAC agradece al Institut Català d'Energia y a la COFELY (GDF SUEZ) la autorización para la traducción y difusión de la Guía Integral de Desarrollo de Proyectos de Redes de Distrito de Calor y Frío



Esta obra está sujeta a una licencia Reconocimiento – No comercial – Sin obras derivadas 3.0 de Creative Commons.

Para consultar una copia, visite [http://creativecommons.org/licenses/by-nc-](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/)

Está permitida la copia, distribución y comunicación pública siempre que se cite la fuente (Institut Català d'Energia) y el uso concreto no incluya finalidad comercial. Debe informarse sobre las condiciones bajo las cuales este trabajo puede ser distribuido o comunicado. Tampoco pueden generarse obras derivadas.

1.	INTRODUCCION	7
2.	OBJETO DE LA GUÍA	8
3.	PROCEDIMIENTO DE DESARROLLO DE PROYECTOS DE REDES	11
3.1.	FASE PREVIA	11
3.2.	FASE PRELIMINAR Y VIABILIDAD	11
3.3.	FASE DE PREPARACIÓN Y REALIZACIÓN DEL CONCURSO	12
3.4.	FASE DE REALIZACIÓN DE LAS OBRAS	12
4.	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	14
4.1.	PLANIFICACIÓN URBANA	14
4.2.	CARACTERÍSTICAS OPERATIVAS DEL SISTEMA GLOBAL	15
4.2.1.	Referentes a la central de producción	15
4.2.2.	Referentes a las instalaciones interiores	16
4.3.	RED DE DISTRIBUCIÓN DE CALOR Y FRÍO. MATERIALES Y CARACTERÍSTICAS	16
4.3.1.	Tuberías	17
4.3.2.	Puntos de venteo y puntos de purga	22
4.3.3.	Arquetas inspección	23
4.3.4.	Sistemas de detección de fugas	23
4.3.5.	Otros	24
4.3.6.	Obra civil	24
4.4.	SUBESTACIONES	27
4.4.1.	Aspectos generales	27
4.4.2.	Diferencias entre subestaciones	32
4.5.	INSTALACIONES INTERIORES	33
4.5.1.	Regulación de instalaciones interiores	33
4.5.2.	Sistemas de bombeo	34
4.5.3.	Acumuladores de calor	36
4.5.4.	Control de la legionelosis	36
4.5.5.	Sistemas de seguridad	37
4.6.	CENTRALES ENERGÉTICAS	37

4.6.1.	Fuentes energéticas disponibles	37
4.6.2.	Equipos de las centrales energéticas	45
4.7.	MODELO DE EXPLOTACIÓN TÉCNICO DE LA RED	65
4.7.1.	Temperaturas de red	65
4.7.2.	Optimización del salto térmico	66
4.7.3.	Control del funcionamiento de la red	66
4.7.4.	Fluido de circulación	67
4.7.5.	Operación y mantenimiento del trazado de la red	68
5.	DISEÑO DE LA RED SEGÚN LA DEMANDA DE CALOR Y FRÍO.....	69
5.1.	CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA	69
5.1.1.	Factores determinantes de la demanda	69
5.1.2.	Metodología.....	71
5.2.	FACTOR DE SIMULTANEIDAD	77
5.3.	CURVA MONÓTONA DE DEMANDA	78
5.4.	DIMENSIONADO ÓPTIMO DE LA RED	78
6.	CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS.....	80
6.1.	PROGRAMACIÓN DE LAS OBRAS.....	80
6.1.1.	Tendido de red en área urbana	80
6.1.2.	Central de producción de energías.....	81
6.2.	EQUIPO DE TRABAJO, RECURSOS HUMANOS	82
7.	CARACTERÍSTICAS ECONÓMICAS	84
7.1.	INTRODUCCIÓN.....	84
7.2.	ESTRUCTURA DEL DETALLE DE LA INVERSIÓN	84
7.2.1.	Centrales de producción.....	84
7.2.2.	Red de distribución.....	87
7.2.3.	Subestaciones	88
7.3.	DETALLE DE LA FINANCIACIÓN	90
7.3.1.	Inversión pública.....	90
7.3.2.	Inversión privada	91

7.3.3.	Tabla resumen de inversión	91
7.4.	ESTRUCTURA DE LOS PRECIOS DE VENTA	92
7.4.1.	Derechos de conexión.....	93
7.4.2.	Prestación del servicio.....	93
7.4.3.	Revisión de los precios.....	95
7.5.	ESTRUCTURA DEL PLAN DE NEGOCIO	95
7.5.1.	Ingresos.....	95
7.5.2.	Gastos	96
7.5.3.	Balance provisional anual.....	96
8.	CARACTERÍSTICAS DEL SERVICIO A LOS USUARIOS DE LA RED	98
8.1.	CONEXIÓN CON LOS EDIFICIOS.....	98
8.1.1.	Consideraciones iniciales y ventajas para el Usuario.....	98
8.1.2.	Viabilidad técnica y económica de la conexión en una red	98
8.2.	ASPECTOS TÉCNICOS DE LA CONEXIÓN CON LOS EDIFICIOS	102
8.2.1.	Proyecto y ejecución de las obras	102
8.2.2.	Realización.....	103
8.2.3.	Puesta en servicio de la acometida	103
8.2.4.	Inicio de la explotación	103
8.2.5.	Condiciones técnicas del suministro.....	103
8.2.6.	Potencias contratadas	104
8.2.7.	Temperaturas	104
8.2.8.	Disponibilidad	104
8.2.9.	Límite de baterías.....	105
8.3.	CONTRATACIÓN DEL SERVICIO	105
8.3.1.	Tipologías de contrato.....	105
8.3.2.	Consideraciones sobre el contrato	106
9.	OPCIONES LEGALES Y SOCIETARIAS Y RIESGOS.....	108
10.	DESCRIPCIÓN DE TRABAJOS TÉCNICOS Y DOCUMENTACIÓN REQUERIDA.....	110
10.1.	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS DOCUMENTOS	110

10.2.	ESTUDIO DE VIABILIDAD. ANÁLISIS ENERGÉTICO, AMBIENTAL Y ECONÓMICO.....	110
10.3.	CARACTERÍSTICAS DEL PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS	111

1. INTRODUCCIÓN

Las redes de distrito para la climatización (producción de calor y/o frío) son básicamente un sistema de tuberías que permite conectar múltiples fuentes energéticas a múltiples puntos de consumo de energía. En todo el mundo, el principal motor del negocio de las redes de distrito es el uso de la energía térmica residual que, si no se aprovechara, se disiparía en el ambiente. Las redes de distrito permiten la utilización eficiente de la energía térmica de las centrales de cogeneración, las incineradoras, el calor residual de procesos industriales, las fuentes naturales geotérmicas y, en general, las fuentes renovables que son más fácilmente aprovechables en sistemas centralizados, como la biomasa o la energía solar.

La seguridad en el suministro energético puede aumentar al emplear una o más de las cinco fuentes de energía mencionadas a través de redes de distrito. La fiabilidad y flexibilidad del suministro de combustible se mejoran aumentando combustibles locales, como la biomasa o los residuos sólidos urbanos. En las redes de distrito se pueden instalar plantas de cogeneración que permiten, por un lado, reforzar la red eléctrica fomentando una generación eléctrica distribuida y, por otro lado, reducir el consumo de energía primaria global para calefacción, ACS y refrigeración.

La integración de estas fuentes de calor residual implica que las redes de distrito producen unos niveles significativamente inferiores de emisiones de efecto invernadero en comparación con el resto de opciones. Además, por igual combustible, una central de una red de distrito es sensiblemente más eficiente y, por lo tanto, produce menos emisiones que la suma de las pequeñas calderas descentralizadas equivalentes (en ausencia de una red de distrito). Esto es posible gracias al factor de escala que permite disponer de tecnologías que controlan mucho mejor las emisiones al ambiente.

Desde el punto de vista de los propietarios o gestores de edificios, las redes de distrito modernas ofrecen beneficios económicos y técnicos. Reducen los gastos de funcionamiento y mantenimiento relacionados con las calderas y las máquinas enfriadoras en cada edificio, a la vez que el consumidor recibe servicios energéticos más eficientes por parte del productor de la red de distrito y de más fiabilidad.

Las redes de distrito también facilitan la competencia entre las diferentes fuentes de calor y combustibles y, por este motivo, pueden representar un elemento importante en un mercado de energía liberalizado. Ofrecen una nueva oportunidad de negocio para las empresas operadoras del sistema y de servicio para los consumidores que se conecten a la red.

Las redes de distrito facilitan proveer una serie de servicios energéticos eficientes a toda la comunidad. Por eso, las empresas que trabajan con redes de distrito pueden llegar a ser actores importantes en el futuro de los servicios energéticos. Las redes también aportan flexibilidad de combustible para el futuro: la integración de nuevas fuentes renovables y con bajos niveles de emisiones de CO₂ es más simple comparado con su integración en instalaciones individuales, por edificio, o apartamento. La red ofrece una vía fácil para que gran número de consumidores tengan acceso a fuentes renovables.

La actual necesidad social, económica, política y medioambiental para reducir las emisiones de CO₂ supone que cada vez haya un mayor movimiento a través de la legislación y, consecuentemente, de configuración de nuevos mercados donde la eficiencia energética sea un producto en sí mismo. Como tal, las redes de distrito son una solución viable técnica y económicamente.

Dentro de este marco, la presente guía pretende promover, difundir e impulsar la ejecución de las redes de distrito para la producción de calor y/o frío con el fin de conseguir los objetivos globales de eficiencia energética y reducción de emisiones.

2. OBJETO DE LA GUÍA

El objeto de esta guía es fomentar, promover y difundir la tecnología de redes de distrito de calor y/o frío, así como asesorar a los posibles promotores de este tipo de instalaciones a partir de una metodología que establezca los criterios a considerar a la hora de plantear una red de distrito.

La guía consta de dos documentos: esta segunda Guía Integral de Desarrollo de Proyectos de Redes de Distrito de Calor y Frío y la Guía Básica de Redes de Distrito de Calor y Frío. La Guía Básica tiene un enfoque más generalista, en la que se tratan los siguientes contenidos:

- Tipología de las redes de distrito.
- Elementos de las redes de distrito.
- Fuentes energéticas.
- Beneficios, problemáticas y soluciones.
- Eficiencia energética.
- Requisitos básicos y estudio de viabilidad.
- Procedimiento para realizar una red de distrito.

El objetivo de las redes de distrito para la distribución de calor y/o frío¹, o bien, sistemas centralizados de climatización, es ofrecer un servicio de climatización (frío y calor) a los ocupantes de los diferentes edificios de la zona provista por una red, garantizando una mejor eficiencia energética y calidad de servicio que el que se obtiene con instalaciones individuales. Los usuarios pueden ser residentes, edificios de empresas (comercios, oficinas, hoteles), edificios de equipamientos (escuelas, hospitales), administración pública, etc. Estos sistemas producen energía térmica y/o frigorífica en unas instalaciones centralizadas, y la distribuyen hasta los usuarios mediante un conjunto de tuberías aisladas y subterráneas, a través de un fluido que puede ser vapor, agua caliente y/o agua fría.

¹ DH/DHC: acrónimo utilizado en el documento para hacer referencia a las redes de distrito para distribución de calor i/o frío.

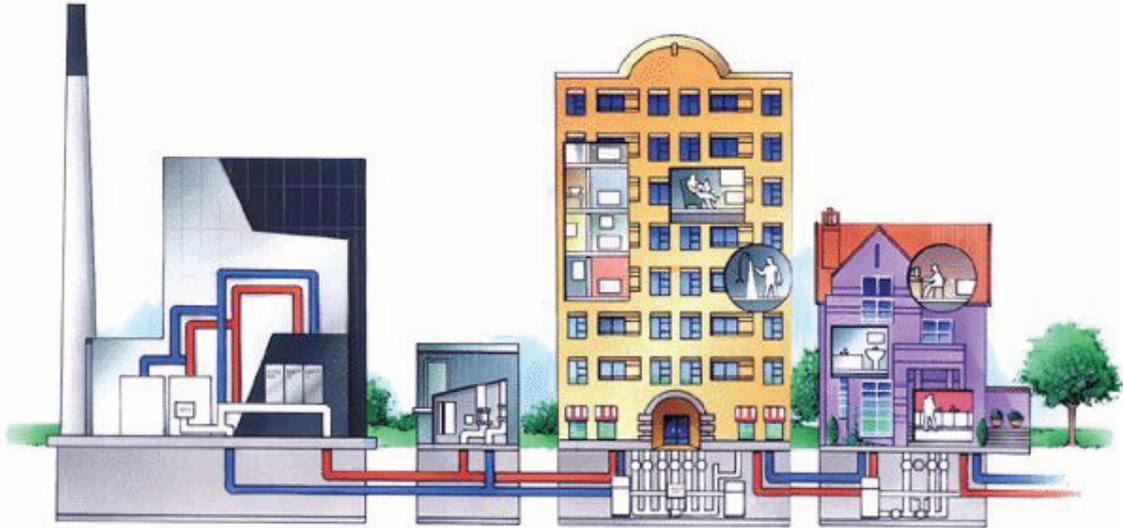


Figura 1. Esquema del sistema de calefacción centralizada.

Para que un sistema centralizado sea económicamente competitivo y ofrezca unas ventajas medioambientales, debe utilizar alguna fuente de energía residual de procesos industriales o generación de electricidad, o bien una fuente de energía renovable, y, a su vez, disponer de tecnologías de alta eficiencia energética como, por ejemplo, la cogeneración. En todo el mundo, el principal inductor para realizar instalaciones de DH/DHC en forma de negocio es el uso de energía residual que de cualquier otra forma sería desaprovechada.

El planteamiento de un sistema centralizado de distrito se lleva a cabo de manera que beneficie a todas las partes implicadas, desde el usuario que consume la energía que procede de la central para su sistema de climatización hasta la empresa que comercializa la energía.

Un sistema de estas dimensiones produce una actividad económica elevada si se tiene en cuenta la ocupación que genera durante su proceso de construcción y durante su tiempo de vida debido al mantenimiento, la supervisión del funcionamiento mediante monitorización y en la gestión de la misma, desde el suministro de materia prima para generar energía hasta el control de la facturación de la energía vendida.

Un proyecto de DH/DHC engloba diferentes fases. Actualmente, la fase más importante para el desarrollo es la fase de planeamiento de la instalación debido a la complejidad legal, social (en áreas urbanizadas) y a su magnitud.

Los principales actores implicados en un proyecto de este tipo son los políticos a nivel municipal, las empresas gestoras de estas instalaciones (normalmente empresas de servicios energéticos), los industriales de los equipos de generación de energía, los suministradores y los clientes finales.

Los ayuntamientos o entidades rectoras municipales tienen una posición muy importante e influyente en estas instalaciones ya que desde estas administraciones se pueden agilizar trámites administrativos, concediendo o denegando los planes en función de su implicación en los proyectos así como contribuyendo al desarrollo también de forma económica (inversión sobre actuaciones civiles y en edificios públicos).

El modelo actual de DH/DHC que hay en nuestro país consiste en asociaciones de entidades privadas y públicas. Un papel también muy importante lo tienen otras entidades públicas encargadas de la gestión de los recursos energéticos públicos tales como agencias, asociaciones e institutos de energía. Este papel es importante a la hora de facilitar recursos como subvenciones o la inclusión dentro de planes energéticos autonómicos o municipales.

La gestión de las instalaciones es muy importante así como buena parte de la inversión. De esta parte se encargan las empresas de servicios energéticos, entidades privadas que suelen dar el conocimiento para la creación de las instalaciones, estudios y posterior gestión de todos los recursos necesarios para el funcionamiento y los productos resultantes de las instalaciones (energía térmica, eléctrica si se trata de cogeneraciones, suministro de combustible para el funcionamiento, mantenimiento de las instalaciones, etc.).

Por último, cuando la implantación de red se realiza en un nuevo plan urbano el cliente final no tiene una implicación directa, pero en caso de ser una zona ya urbanizada y habitada, entonces en el proceso de planeamiento los usuarios finales tienen un papel muy importante y determinante siendo los que finalmente participan, junto con las entidades locales, en la toma de decisión para la realización final del proyecto.

La presente guía pretende difundir el uso de los sistemas centralizados de distrito así como establecer unas bases para conocer los diferentes sistemas de DHC que existen a nivel de generación de energía, distribución y consumo de DH/DHC, así como también los aspectos económicos. En este sentido, puede ser útil para los diferentes actores implicados en este tipo de proyectos, aportando en cada caso una información técnica genérica de aspectos constructivos, de equipos necesarios, de beneficios ambientales y de costes económicos; también unas nociones generales sobre los requisitos para ejecutar el proyecto y, finalmente, un análisis sobre aspectos legales, sociales o incluso barreras que hasta ahora se han detectado para el desarrollo de la tecnología de forma masiva. La Guía 1 tiene un enfoque más generalista, para tener unas nociones globales de estos sistemas, y la Guía 2 entra más en profundidad en los temas, con el objetivo de ser un instrumento que ayude en la toma de decisiones sobre la idoneidad de implantar un sistema centralizado de distrito en un entorno determinado.

Para la Administración pública esta guía puede ser interesante para promover este tipo de proyecto mediante programas de ayudas económicas, de formación de técnicos o de promoción propiamente de los sistemas. Debe ser también un apoyo para los técnicos de entidades públicas que tienen la responsabilidad de licitar o validar proyectos técnicos.

Para empresas del sector energético, ya sean empresas de servicios, suministradores de equipos o ingenierías, contribuirá a difundir el conocimiento. Es un primer documento para tener una visión genérica de los sistemas (Guía 1) y empezar a introducirse en los requisitos y pasos necesarios para llevar a cabo la ejecución de sistemas (Guía 2). En el caso de las empresas de equipos, el interés recae en el conocimiento de una nueva posible línea de negocio.

Finalmente, para los clientes o potenciales consumidores que ya tengan un servicio de este tipo en la zona donde están ubicados, las guías contribuirán a difundir el conocimiento, a dar garantía sobre la tecnología y a acercar al usuario final a una tecnología que es más propia de climatologías más frías que de nuestra región, y que culturalmente resulta desconocida actualmente.

3. PROCEDIMIENTO DE DESARROLLO DE PROYECTOS DE REDES

Esta sección equivale al capítulo 9 de la primera parte de esta Guía. De la misma manera que en la primera parte, en los siguientes apartados se describen las diferentes fases y actividades para el desarrollo de redes de distrito (ver

Figura 2).

En las diferentes actividades indicadas no se incluye una estimación de la duración puesto que depende en gran medida de las condiciones propias de cada proyecto. A título orientativo, y a nivel global, se pueden dar las siguientes duraciones aproximadas:

- Tendido de red en área urbana. Desde la finalización del proyecto básico hasta la puesta en servicio de una red de 4 km se estima entre 18 y 24 meses.
- Central de producción de energía. Desde la finalización del proyecto básico hasta la puesta en servicio de una central de producción completa (con obra civil) se estima entre 18 y 30 meses.

3.1. Fase previa

Corresponde a la situación de salida. Las tareas que se encuentran dentro de esta fase son:

- Promoción de los sistemas de redes. A realizar por la Administración, las agencias de la energía, las asociaciones profesionales relacionadas con las redes de distrito, etc. Consiste en difundir el concepto de las redes y las ventajas de las partes.
- Plan Parcial Urbano y proyecto básico urbanístico. En general, los motivos para promover la preparación de un Plan Parcial Urbano es independiente de que éste esté ligado a una red de distrito. La detección de la necesidad de un Plan Parcial Urbano debe ser previa a la detección de oportunidades para la creación de una red. Aun así, el mejor momento para incluir una red de distrito en la planificación, es durante la preparación del Plan Parcial Urbano.

3.2. Fase preliminar y viabilidad

En esta fase es en la que habitualmente se puede proponer la realización de una red de distrito en un ámbito determinado. Se estudian las diferentes posibilidades y la viabilidad del proyecto.

- Detección de oportunidades y estudio preliminar. Se detecta la oportunidad de situar una red urbana en un ámbito. La detección puede venir dada por la realización de un nuevo plan urbanístico o por la presencia de una fuente de energía aprovechable (residual, renovables, etc.). Se puede realizar un estudio preliminar basado en ratios para comprobar el orden de magnitud de la rentabilidad del proyecto y decidir si un estudio detallado es adecuado.
- Estudio de viabilidad detallado. Habitualmente a cargo de una ingeniería especializada, incluyendo la definición, entre otros, de los siguientes aspectos: calendario de conexiones, curvas de demanda, potencias de generación, inversiones necesarias, rentabilidades, etc. En general, el nivel de horas de dedicación necesario para un estudio de viabilidad es del orden de 10 o más veces el requerido para un pre-estudio de viabilidad.
- Decisión de continuar/no continuar. En base a los resultados del estudio detallado la Administración promotora del proyecto decide continuar o no continuar con el proyecto.

Uno de los resultados del estudio de viabilidad detallado es la estructura de inversiones del proyecto donde se desglosan, si procede, la parte de inversión pública y la privada. Esto implica que la entidad promotora del proyecto deberá gestionar la disponibilidad de fondos públicos para este proyecto.

3.3. Fase de preparación y realización del concurso

Una vez que se ha decidido emprender el proyecto, la siguiente fase consiste en preparar un concurso para ejecutar la obra y/o la prestación del servicio posterior. Esta fase también incluye la licitación del concurso y la adjudicación del mismo. Dentro de la etapa inicial de esta fase se pueden destacar dos actividades:

- Preparación del proyecto básico y del proyecto ejecutivo. La preparación de estos documentos se suele encargar a una ingeniería.
- Adecuación del proyecto urbanístico y del proyecto del sistema de red. Con el estudio de viabilidad y la ingeniería básica de la red urbana, se dispondrá de información suficiente para ver en qué grado influye sobre el proyecto urbanístico. Este último se adecuará a las nuevas necesidades, previendo espacios para el trazado de la red y para la ubicación de las centrales de producción.

Simultáneamente a la preparación del concurso, durante esta fase, la Administración debe confirmar la disponibilidad de los fondos públicos previstos para el proyecto.

Dentro de las actividades propias de los concursos, tanto para el de la red de distrito como para los de urbanización, hay que destacar:

- Preparación del Pliego de Prescripciones Técnicas (PPT) y del Pliego de condiciones administrativas.
- Acuerdos eventuales con clientes cautivos.
- Publicación del concurso.
- Análisis de las ofertas recibidas.
- Adjudicación del concurso.
- Firma del contrato con el adjudicatario.

3.4. Fase de realización de las obras

Las actividades incluidas dentro de esta fase son equivalentes a las propias de otros proyectos como, por ejemplo, los de urbanización. Como tareas generales se pueden destacar las siguientes:

- Proyecto ejecutivo de la red de frío y calor.
- Licencias y permisos.
- Ejecución de las obras.
- Puesta en marcha y pruebas.
- Inicio de la explotación.

Uno de los puntos críticos de esta fase es la obtención de licencias y permisos como, por ejemplo, las licencias de actividad y de obras. Se trata de procesos largos, con una elevada incertidumbre sobre su duración. El inicio de los trabajos está condicionado a la obtención de los permisos y licencias y, por lo tanto, suelen encontrarse en el camino crítico del proyecto.

Otro aspecto a destacar, si procede, es el aprovechamiento de las posibles sinergias en la ejecución de las obras de urbanización y las de la red de distrito. Debido a los inconvenientes que pueden causar ambas obras en la vía pública se recomienda que, en la medida que sea posible, se realicen de forma coordinada.

Actuaciones en las calles

Tanto las obras de urbanización como las de trazado de red pueden implicar cortes temporales de circulación en algunas calles y pavimentación de los viales de circulación. La coordinación de ambas obras permite reducir el tiempo total de corte de las calles.

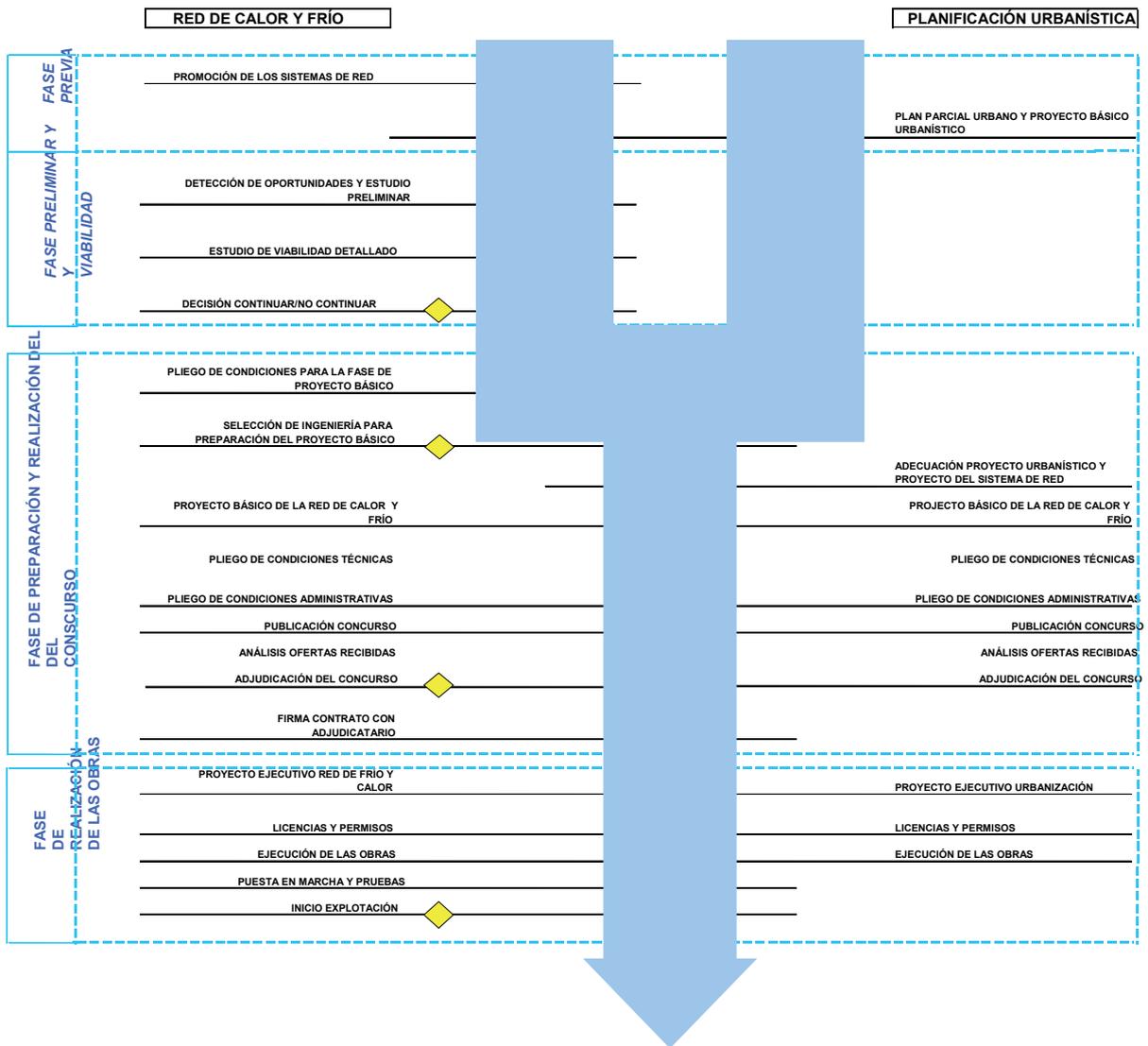


Figura 2. Esquema donde se clasifican las tareas a realizar por la propia red y las tareas a realizar por la planificación urbanística.

4. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Los criterios que se utilizan para describir los elementos de la red parten de la base de los sistemas existentes, condicionados por las legislaciones actuales en materia de instalaciones térmicas (RITE y documentos reconocidos), aunque se plantean también todos los avances e innovaciones que existen en los campos de la generación, transporte y consumo en las redes de calor.

Para la realización de las redes de distrito deben tenerse claros los parámetros de diseño y las condiciones de contorno como el tipo de central de generación, combustible, climatología, etc. El diseño de las redes está condicionado también en gran parte por las características del terreno.

4.1. Planificación urbana

Los sistemas de DH/DHC normalmente se pueden incluir en la fase del planeamiento derivado, aunque en algunas situaciones podrían estar sugeridas por planes de ordenación urbanística municipal o por planes directores urbanísticos, como es el caso del Plan director de las áreas residenciales estratégicas de la Generalitat de Cataluña, por ejemplo.

Desde el punto de vista del planeamiento urbano hay que tener en cuenta que un sistema DC/DHC puede ser interesante en tres situaciones básicas:

- Fase del planeamiento urbanístico sobre un suelo urbanizable.
- Fase del planeamiento urbanístico sobre el suelo urbano donde se prevé una transformación importante.
- Si se detecta una oportunidad desde la lógica energética, esencialmente por la presencia de una fuente de energía especialmente indicada para ser utilizada en los sistemas DH/DHC.

En el caso de planeamiento sobre un suelo urbanizable, más habitualmente desarrollado por un plan parcial urbano o una modificación del Plan General Metropolitano – PGM (como en el ámbito metropolitano de Barcelona), es la oportunidad más clara ya que plantea la construcción de una nueva zona urbana. Como en este caso se necesita proyectar y construir *ex novo* todo el abanico de los servicios urbanos, es posible realizar una ordenación y racionalización de las infraestructuras relacionadas. La topología de la red así como la ubicación de la central no tienen condicionantes apriorísticos, por lo tanto se puede promover la solución óptima desde el punto de vista de conseguir la máxima eficiencia energética del conjunto.

Cuando se trata de transformaciones del suelo urbano, sea un plan de mejora urbana o una modificación del PGM, la situación es más compleja puesto que nos encontramos con diferentes elementos ya existentes, sobre todo las infraestructuras o edificaciones bajo rasante que condicionan el paso de la red. Éstas obligan inicialmente a una exhaustiva recopilación de la información sobre su ubicación y a la hora de planificar la red pueden condicionar el trazado horizontal (en planta) y/o vertical (en sección) de la red. La ubicación de la central de generación, evidentemente, está condicionada por la disponibilidad de un solar adecuado para las necesidades del sistema planteado.

Finalmente, se puede dar la situación de identificar una fuente de energía (energía residual de los procesos industriales, una planta de tratamiento de residuos con aprovechamiento energético o una fuente de energía renovable de carácter local) que se puede aprovechar sólo mediante un sistema de DH/DHC. En este caso, la ubicación de la central de generación ya está definida y hay que plantear los posibles trazados para llegar a los clientes. Se puede plantear la redacción de un Plan Especial que defina y regule el desarrollo de las infraestructuras del DH/DHC. Destacar que en estas circunstancias la obra civil relacionada con la construcción de la red debe soportar el coste de la reparación del pavimento afectado, cosa que en situaciones previamente comentadas, siempre cuando haya una correcta coordinación de las obras, va asumido dentro del capítulo de urbanización de calles.

Si se apuesta por la incorporación del servicio de DH/DHC en un proyecto urbano, es muy conveniente conseguir que un proyecto ejecutivo de urbanización incluya la red de DH/DHC, esto es, que el proyecto ejecutivo de este sistema esté redactado con anterioridad y pueda ser incorporado al proyecto ejecutivo de urbanización. De esta forma se garantiza una optimización de los gastos de la obra civil y se evitan conflictos con otras infraestructuras.

Para ello, previamente es necesario hacer todo el proceso de planteamiento, desarrollo y toma de decisiones. Es importante que el plan correspondiente, en los documentos de aprobación inicial, tenga la reserva de los espacios necesarios para la red y para la central. Esto significa tener definido el trazado de la red, el ancho de la zanja correspondiente y el solar para la central o centrales en su caso. Estos solares se reservan en el suelo calificado para equipamientos públicos.

En cuanto a la anchura de las zanjas para la red, hay que tomar la decisión de si el sistema cubre sólo el servicio de calefacción y ACS o también incluye el suministro del frío, ya que en el primer caso habría dos tubos mientras que en el segundo serían cuatro.

Además de la solución más habitual, que es la de situar los tubos en las zanjas, también es posible plantear la integración de la red en las galerías de servicio, si ésta fuera la solución adoptada por otras infraestructuras de servicios. Esta solución es generalmente más cara. Sin embargo, la solución en galería puede ser adoptada en algunos tramos por razones constructivas. Otra situación que se puede dar puntualmente es la integración de la red DH/DHC dentro de otras infraestructuras, como pueden ser puentes o túneles.

En cuanto a la ubicación de la central, hay que tener en cuenta que éstas llevan asociadas una o varias chimeneas (siempre que haya proceso de combustión). La altura de la chimenea está relacionada con la altura de los edificios más cercanos. Hay una relación directa entre las alturas regulatorias alrededor de la central, planteadas dentro del planeamiento, y la altura necesaria para la chimenea que siempre debe ser superior a los edificios cercanos. Esta problemática se trata en la Ley 38/1972, de 22 de diciembre, de Protección del Medio Ambiente Atmosférico y posteriores reales decretos que la amplían o la modifican.

Los documentos de aprobación provisional del plan correspondiente, además de las reservas de los espacios ya mencionados, deben tener valoradas las inversiones en la infraestructura del DH/DHC, en el supuesto de que fueran imputables al proyecto de urbanización.

4.2. Características operativas del sistema global

Las redes de distrito se diseñan para que la curva de demanda a lo largo del año quede siempre cubierta, teniendo en cuenta tanto la demanda de calor en calefacción y ACS como la demanda de frío. El número de horas de funcionamiento de los equipos generadores depende de la dimensión de los propios equipos, de la curva de demanda y de los sistemas de acumulación.

La presión y las temperaturas de suministro y de retorno tienen incidencia en la eficiencia global de las redes y el coste de inversión y de explotación de las redes de distrito.

4.2.1. Referentes a la central de producción

Las centrales de producción, las cuales se describen en el punto 4.6, se diseñan para que cubran el total de las necesidades pico de la demanda prevista en la zona, así como la previsión de posibles nuevas incorporaciones, a nivel de calefacción, de ACS y de refrigeración.

El tiempo de funcionamiento de los equipos generadores depende de varios factores, entre ellos la potencia de los equipos en relación a la demanda existente y la capacidad de acumulación para la que se ha diseñado el sistema. Depende también de la climatología de la zona.

En lugares fríos, la temporada de calefacción aumenta de forma que las horas de funcionamiento de los equipos de calor se incrementa en detrimento de los equipos de frío.

Por el contrario, en lugares más cálidos, los sistemas de calefacción funcionan durante un corto período de tiempo anual, incrementándose el uso del sistema de refrigeración, en el caso de que haya.

El diseño de las centrales se hará en función de la tipología de los consumidores/usuarios y de los perfiles anuales de demanda, así como las temperaturas de funcionamiento del sistema. Se pueden prever sistemas de acumulación térmica a lo largo de la red de distrito para cubrir picos de demandas y evitar un sobredimensionado de la red, como en el caso de la central La Tour Maubourg de la red de París, con una capacidad de acumulación de hasta 17 MW.

4.2.2. Referentes a las instalaciones interiores

Se entienden por las instalaciones interiores las que se encuentran a partir de las bridas del circuito secundario de los intercambiadores de las subestaciones.

Para la distribución de calor, cuanto menor sea la temperatura de impulsión mejor es el rendimiento de la instalación al disminuir las pérdidas de calor de la red, pero exige una mayor capacidad de tubería y de bombeo puesto que se limita el salto entálpico. Por lo tanto, la temperatura de distribución se decide como un compromiso entre la eficiencia y el dimensionado de tuberías y sistema de bombeo.

El límite inferior de la temperatura de suministro de calor es de 70 °C para que los edificios que lo necesiten puedan realizar el tratamiento para la legionela.

Cuando suministramos calor, es importante trabajar con temperaturas de retorno bajas para así lograr saltos entálpicos elevados. De este modo se reducen los diámetros de las tuberías y las capacidades de bombeo y, por lo tanto, disminuye el coste de la inversión.

La única desventaja de la temperatura de retorno baja en la distribución de calor, es que necesita un área de superficie del radiador o sistema emisor de mayor tamaño. Por eso, la elección de la temperatura de retorno óptima también es un compromiso entre la eficiencia y el dimensionado de tuberías y sistema de bombeo.

En general, se detecta una tendencia a la reducción de la demanda energética para la climatización, especialmente en los nuevos edificios. Esto aumenta la relevancia de tener temperaturas de retorno más bajas, porque un índice de consumo más reducido implica radiadores más pequeños. En casas nuevas unifamiliares, el acento sobre la temperatura diferencial es todavía más importante para reducir la dimensión de la tubería de servicio, obteniendo costes de construcción más bajos y menos pérdidas de calor.

Se pueden realizar consideraciones análogas en caso de las redes de distribución de frío.

4.3. Red de distribución de calor y frío. Materiales y características

La tipología de las redes de distrito habitualmente es de tipo árbol, aunque también pueden encontrarse redes en anillo o malladas. En el momento de plantear el trazado deben tenerse presentes los elementos estándar que proporcionan todos los suministradores que son, además de los tramos rectos, como es obvio, los codos de 90° y 45° y bifurcaciones tipo T de 90°. Pueden fabricarse por encargo piezas a medida pero supone encarecer la infraestructura.

Otros aspectos importantes en las redes son los materiales de las tuberías y aislamiento, que tienen múltiples soluciones con diferentes propiedades y precios; la obra civil a realizar con diferentes soluciones posibles y demás sistemas auxiliares, como puntos de venteo y purga, arquetas de inspección y sistema de detección de fugas.

4.3.1. Tuberías

Las tuberías que forman parte de una red de distribución y transporte, por donde circula el agua desde la central de producción hasta los puntos de consumo, pueden ser de materiales muy variados dependiendo en muchos casos de las características de la aplicación particular para la que se utilizarán.

Los materiales más usados para tuberías son el acero, metales flexibles y plásticos flexibles y no flexibles. Independientemente del material de la tubería, actualmente la gran mayoría de las tuberías son pre-aisladas dadas sus bajas pérdidas térmicas, así como su gran durabilidad y facilidad de instalación respecto de lo que sería la instalación por separado de las tuberías y el aislamiento.

Considerándose unos valores estándares de análisis químico del agua de la red (ver el apartado 4.7.4. Fluido de circulación), pueden emplearse materiales de hierro no aleados, aceros inoxidables y en algunas ocasiones cobres, separados o combinados. El aluminio o las aleaciones de aluminio no deberían utilizarse en contacto directo con el agua en circulación, para evitar una posible corrosión de inducción alcalina; asimismo su uso no se considera por el elevado coste del mismo.

Las tuberías de circulación deberían tener una válvula de equilibrado hidráulico entre los diferentes ramales para garantizar los caudales correctos de la red.

Los aislamientos en las redes de distrito deben acompañar tanto las líneas de impulsión como las de retorno aunque el salto térmico sea elevado y la temperatura de retorno sea baja.

Generalmente estas tuberías se componen de tres partes:

- La tubería por donde circula el fluido.
- El aislamiento encargado de disminuir las pérdidas térmicas.
- La cubierta exterior protectora.

Las pérdidas térmicas de la red no sólo dependen de la temperatura del fluido sino que también vienen determinadas por el diámetro de la tubería. Tal y como se muestra en los siguientes gráficos, a medida que aumenta el diámetro de la tubería, mayores son las pérdidas térmicas (pero menores son las pérdidas respecto a la capacidad de transporte), tanto para la red de frío como la de calor. Es importante destacar que las pérdidas por rozamiento a lo largo de todas las tuberías van en favor de la red de calor y en contra de la red de frío puesto que con el rozamiento se libera una cierta cantidad de calor.

Red de calor. Pérdidas de calor por transmisión

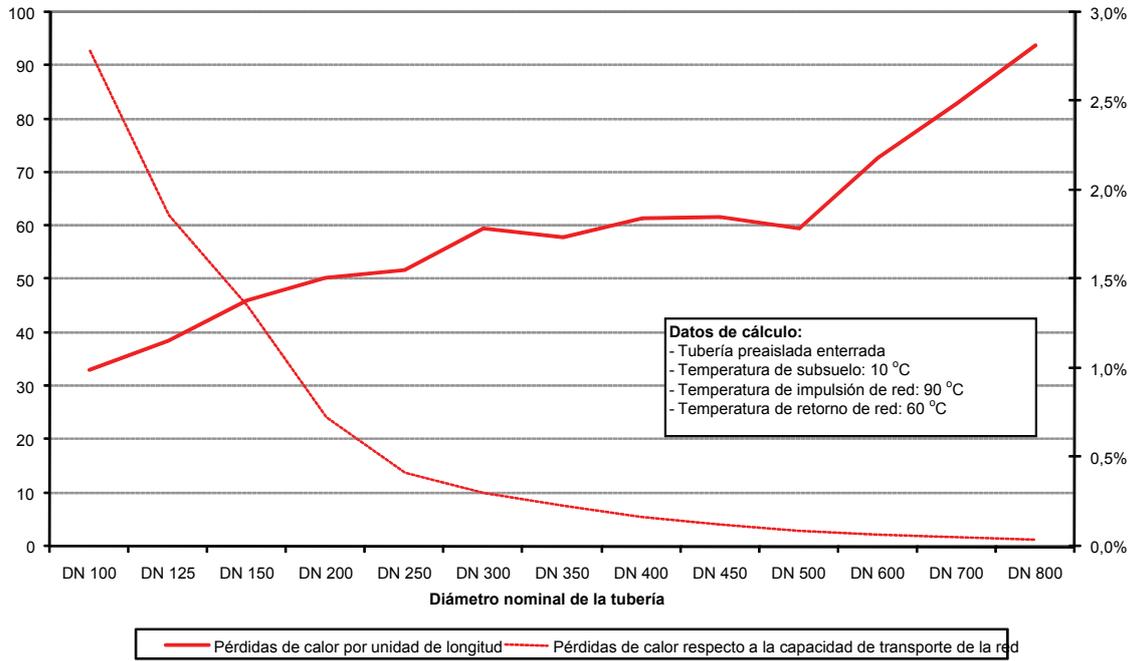


Figura 3. Pérdidas de calor en las redes de calor por los diferentes diámetros de tubería.

Red de frío. Ganancias de calor por transmisión

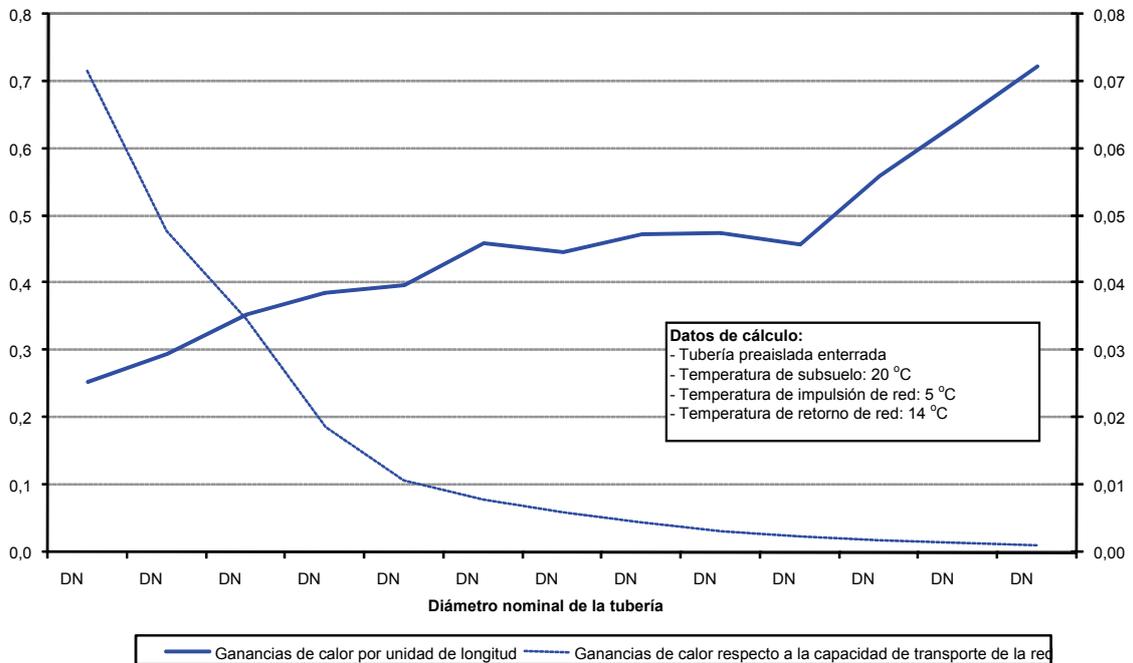


Figura 4. Pérdidas de frío en las redes de frío por los diferentes diámetros de tubería.

4.3.1.1. Tuberías de acero preaisladas con recubrimiento de material plástico

La tubería en contacto con el fluido es de acero. Una cubierta de espuma de poliuretano constituye el aislamiento térmico. La cubierta exterior es de material plástico, generalmente polietileno, y constituye la protección del medio exterior.

Las tensiones provocadas sobre la tubería en contacto con el fluido se transmiten a través de los materiales, de manera que es conveniente que estén dispuestas sobre un material no rígido y que dispongan de elementos de disipación de tensiones.

Las conexiones entre las tramas de tubería deben ser realizadas por personal especializado ya que requieren un trabajo manual complejo y que pueden ser fuente de futuras fugas que limitan su durabilidad. Las temperaturas de circulación del fluido interior para calefacción deberán ser inferiores a 148 °C pues el uso de temperaturas excesivamente elevadas es perjudicial para la espuma de poliuretano.

4.3.1.2. Tuberías de acero con recubrimiento de acero

La tubería en contacto con el fluido es de acero. El recubrimiento de aislamiento es lana mineral, teniendo una segunda cubierta de acero para separación con el medio exterior. Ésta protege contra la humedad y posibles fugas que pueda haber en el terreno, así como para aumentar la estabilidad mecánica del sistema. Este tipo de tuberías se utiliza en aplicaciones especiales.

Pueden encontrarse tuberías de este tipo en las cuales se ha creado el vacío en el espacio que existe entre el aislamiento de la tubería y la protección exterior de acero, de forma que se disminuyen las pérdidas de calor. Por contra, es una tubería más cara y, por lo tanto, aumentan los costes de la instalación.

La presión de diseño para estas tuberías puede llegar hasta los 65 bar, teniendo un rango de temperaturas que varía desde los -30 °C hasta los 200 °C como valores estándares.

4.3.1.3. Tuberías flexibles

Es el mismo concepto que se había introducido como tuberías preaisladas, pero en tuberías con un material que presenta cierto nivel de flexibilidad. La instalación de estos sistemas es sencilla, de forma que se reduce la mano de obra de la instalación. Esta técnica implica una importante reducción de gastos respecto a los sistemas de instalación de tuberías convencionales. Se pueden encontrar varios tipos en el mercado bajo denominaciones comerciales. Las diferentes tipologías de tubería flexible se pueden clasificar en función del material de la tubería por la que circula el fluido:

- **Tubería de cobre.** La tubería está rodeada con fibra de vidrio y un recubrimiento de polietileno. Este sistema se utiliza para pequeñas redes de DH o para redes secundarias con temperaturas de operación de hasta 130 °C y diámetros pequeños.

- **Tubería de acero inoxidable.** El recubrimiento aislante es de espuma de poliuretano, por encima del cual hay una cubierta de acero en forma de fuelle, que a su vez es recubierta con dos capas: una interna de alquitrán y una externa de polietileno. Este sistema permite una gran flexibilidad a disposición de las tuberías, con cada sección de gran longitud y para diámetros nominales de hasta DN200. La temperatura puede llegar a 130 °C y la presión máxima a 16 bar.
- **Tubería de plástico.** Tiene un recubrimiento de espuma de poliuretano y una cubierta exterior de plástico. Estas tuberías pueden ser utilizadas en lugar de las de acero únicamente cuando la máxima temperatura del sistema es de 90 °C y la presión máxima de 6 bar. Se suelen emplear en las interconexiones entre la red de distribución y el usuario. La limitación de temperatura y presión se debe a que el tiempo de vida de las tuberías varía en función de las condiciones de funcionamiento, a medida que la temperatura y la presión aumenta, el plástico se degrada en un nivel mucho más elevado que las tuberías de metal.

4.3.1.4. Tuberías en conducto de hormigón

Las dos tuberías (impulsión y retorno) se colocan en una misma estructura de hormigón con un recubrimiento de lana mineral u otros materiales como alquitrán. Los conductos irán enterrados a una profundidad aproximada de un metro y con registros periódicos. Esta solución sólo se utiliza en aplicaciones muy particulares.

4.3.1.5. Comparativa de tuberías

Hay varias ventajas y desventajas en el uso de sistemas de tuberías de plástico para redes de distrito en comparación con los sistemas convencionales de tubería de acero.

Ventajas de las tuberías de plástico:

- No hay corrosión en la red dada la falta de piezas de metal en los sistemas de tuberías de plástico.
- Instalación menos complicada.
- Menos juntas en el sistema de tuberías.
- Posibilidad de zanjas más pequeñas.
- Menor fricción de superficie.
- Mejor aislamiento sonoro.
- Ingeniería más sencilla.

Una importante ventaja es la ausencia de partes metálicas en la red de tuberías de plástico. Esto evita la posibilidad de corrosión en la red debido a la reacción del metal con el oxígeno y el agua. Para la vida de los sistemas de acero y cobre ésta es la mayor amenaza, aunque este riesgo se puede minimizar con un diseño adecuado del sistema de purgas y un tratamiento del agua adecuado.

Los sistemas de plástico ofrecen la posibilidad de una instalación rápida y sencilla. Gracias a la gran flexibilidad del sistema, los obstáculos y las malas condiciones del terreno son menos problemáticas que en sistemas de tuberías rígidas. La ligereza de los sistemas de plástico permite la manipulación con sólo dos personas.

Los sistemas de plástico de diámetros relativamente pequeños son producidos en bobinas de tramos largos, mientras que los sistemas convencionales de acero se suministran en longitudes de hasta 12 metros, excepcionalmente de hasta 16 metros. Un sistema de plástico puede instalarse con un número mínimo de juntas, mientras un sistema convencional requiere habitualmente una conexión cada 12 metros. El hecho de tener menos juntas implica ahorrar tiempo de montaje y reducir el margen de error, todo ello minimizando costes.

La distancia entre las tuberías de acero es normalmente de 20 cm. Este espacio es necesario para soldar las tuberías. El sistema de plástico es tan flexible que la junta de la tubería puede ser pre-montada sobre el suelo y luego moverla a su emplazamiento definitivo en una zanja. Por lo tanto, las zanjas para tuberías de plástico pueden ser más estrechas ya que no es necesaria mantener una separación para soldadura de juntas. La tubería puede instalarse directamente una junto con la otra. Esto no sólo repercute en la construcción de la zanja, sino también en la reducción de las pérdidas de calor.

Las tuberías de plástico tienen una superficie de fricción diez veces inferior al valor de las de acero. Esto implica una resistencia del material más baja y, por lo tanto, una pérdida de presión más baja por metro de tubería. Para un sistema centralizado de distrito pueden utilizarse diámetros más pequeños de tubería para conseguir la misma pérdida de carga total. Y como consecuencia, en caso de utilizarse diámetros equivalentes, el dimensionado de la bomba y su consumo es menor.

Las tuberías de plástico tienen un mejor aislamiento acústico que las de acero. La velocidad de flujo máxima que se permite en las tuberías de acero suele basarse en la generación de ruido y/o en la pérdida de presión. Por este motivo, las tuberías de plástico pueden ser indicadas para velocidades de flujo más elevadas. Esto implica también que los diámetros de las tuberías de plástico pueden ser inferiores en comparación con las tuberías metálicas.

Hay una ventaja final para usar tuberías de plástico en redes DHC. Primero, tiene pocos componentes especiales que deban detallarse en los planos constructivos. Tampoco hay que emplear los dispositivos de expansión típicos de los sistemas de acero, debido a la constante elástica más baja y de las fuerzas de presión en el suelo. Todo ello significa ahorrar tiempo para la instalación de un sistema centralizado de distrito.

En contra, las tuberías de plástico presentan las siguientes desventajas:

- Restricciones de material.
- Difusión de gases a través del plástico.
- Elevado coste material.
- Limitación del diámetro de tuberías.

La principal desventaja de los sistemas de tubería de plástico para DH son las restricciones de temperatura y presión. La temperatura máxima de la mayoría de sistemas de plástico es de unos 95 °C con una presión máxima de 6 bar. Este hecho supone una limitación en el uso de tuberías de plástico ya que lo más habitual en las redes de distrito es trabajar con temperaturas próximas a los 95 °C, y en picos de demanda se sobrepasa para aumentar la potencia suministrada. Los sistemas de acero pueden trabajar a temperaturas y presiones mucho más elevadas que las tuberías de plástico. Esto significa que el sistema de tubería de plástico sólo se empleará para sistemas de calefacción y refrigeración de distrito secundarias a no ser que el sistema funcione con bajas temperaturas.

Una segunda desventaja es que la mayoría de plásticos no son estancos a la difusión de gases, permitiendo el paso de los mismos. Existe el riesgo de que la difusión de oxígeno en el agua de la red y que éste reaccione con los componentes metálicos de las tuberías. El oxígeno disuelto corroerá los componentes de metal del sistema. Actualmente, sin embargo, hay fabricantes de tuberías de plástico especiales para DHC que han solucionado el problema de la estanqueidad a la difusión de gases.

Por otro lado, las tuberías de plástico, en general, no son compatibles con los picos de presión y/o de temperatura. Las tuberías metálicas pueden resistir mejor este tipo de transitorios. Esta situación se debe tener en cuenta especialmente durante la puesta en servicio de la red o de tramos de la misma.

En las grandes redes de calor y frío los diámetros por encima de DN 500 no son inhabituales. Sin embargo, en las tuberías de plástico los diámetros existentes en el mercado llegan hasta los 150 mm, el cual es demasiado pequeño para la distribución del calor o del frío. Esto supone, en la mayoría de los casos, un impedimento definitivo para no poder utilizar tuberías de plástico. No son posibles diámetros superiores pues implican espesores de tuberías excesivamente elevados para la poca resistencia del plástico a altas presiones, tal y como se ha comentado anteriormente.

Material tubería	Acero	Plástico
Formato de suministro	Tuberías de hasta 12 m	Bobinas de tubería
Servicio	Calor/frío	Calor
Temperatura máxima	148 °C (aislamiento)	90 °C (tubería)
Presión de servicio, máxima	16 bar	6 bar
Diámetros comerciales	≥ DN 800	≤ DN 200
Compatible con picos de presión i/o temperatura	SÍ	NO

4.3.1.6. Otras consideraciones

En cualquier planeamiento de una red de distrito deben evaluarse las condiciones del sistema, en función del aislamiento de las tuberías en referencia a las pérdidas de calor y de los costes económicos que implican un mayor o un menor espesor del mismo. La capa exterior de protección de las tuberías de las redes de distrito es necesaria para proteger los conductos de problemas de condensación y humedad, que a su vez pueden producir corrosiones. En el supuesto de que no se incluya esta barrera de protección del aislamiento deberá preverse la aparición de este tipo de problemas.

4.3.2. Puntos de venteo y puntos de purga

La red de DHC es una red hidráulica que dispone de diferentes niveles térmicos, manométricos y de altura.

Es necesario disponer, a nivel de seguridad, de puntos de purga del sistema de forma que, tanto en la puesta en marcha del sistema como en la operación del mismo, cualquier burbuja de aire que pueda haber en el circuito sea evacuada por estos puntos.

Es necesaria la instalación de los mismos en los puntos más altos de la instalación, así como en los más calientes y con posibilidad de formación de aire. Por este motivo debe evitarse la formación de puntos muertos en el circuito donde el aire se pueda acumular para posteriormente circular por la red.

La existencia de aire en el circuito provoca una disminución de su rendimiento así como un aumento de la probabilidad de aparición de problemas.

Los puntos de venteo y purga dispondrán de purgadores en todas las partes del circuito: generación, distribución y consumo.

4.3.3. Arquetas inspección

Las arquetas de inspección serán necesarias siempre que la red de distribución se encuentre enterrada en el subsuelo. En este caso, dado que, en general, no puede accederse fácilmente a la red a lo largo del trazado de la misma, será necesario prever la ubicación de diferentes puntos de acceso al sistema mediante arquetas.

En las instalaciones en que las tuberías sean fácilmente accesibles, como por ejemplo, cuando discurren por el interior de galerías transitables o dentro del alcantarillado, las arquetas no serán necesarias.

En función del trazado del sistema se dispondrán de arquetas de inspección para poder efectuar el mantenimiento de las instalaciones, así como las pruebas que deban realizarse durante el funcionamiento de la instalación.

Las arquetas deberán ser de fácil acceso, con una fácil manipulación de los sistemas y solo podrán ser utilizadas por personal autorizado.

Se intentará que éstas se encuentren en los puntos más conflictivos del trazado.



Figura 5. Arqueta [DISTRICLIMA].

4.3.4. Sistemas de detección de fugas

El sistema de detección de fugas permite controlar la integridad del aislamiento de las tuberías. En general, se recomienda la instalación de un sistema de detección de fugas en el trazado que dé dos tipos de señales de control:

- Por un lado, en caso de rotura o grieta en una tubería, que ésta se pueda detectar y se dé la señal de fuga.
- Por otro lado, en caso de infiltraciones en el terreno hacia la tubería, por una grieta o defecto en la protección exterior de la misma. En este caso se requiere una señal de aviso, dado que si una infiltración del terreno traspasa la protección exterior provoca humedades en el aislamiento de la tubería, haciendo que éste pierda sus propiedades.

Los sistemas de detección de fugas en las tuberías consisten en cables que siguen las tuberías y que en principio se encuentran embebidos en el aislamiento. Los cables discurren a lo largo de la tubería. Una tipología habitual es la instalación de cuatro cables, uno en cada uno de los cuadrantes de la sección del aislamiento y embebidos a la mitad de la capa de aislamiento.

Estos cables conductores dan una señal al control de la instalación, que estará monitorizado.



Figura 6. Ejemplo de sistema de detección.

4.3.5. Otros

Todos los elementos de la instalación deberán disponer de elementos de corte en todas sus conexiones.

Se instalarán filtros para evitar la circulación de partículas por el sistema. Los filtros tendrán una densidad de la malla de entre 0,5 y 1 mm. Deberán estar equipados con una válvula que favorezca el limpiado del filtro sin necesidad del desmontaje de la válvula. El material de la malla será de acero inoxidable.

Se instalarán en el circuito medidores de temperatura, ya sea en forma de termómetros o preferiblemente en forma de sondas. El rango de temperaturas comprenderá la totalidad del campo de trabajo de las temperaturas que se utilizarán en el sistema y la medición deberá tener una sensibilidad de máximo 1 °C.

Se dispondrán asimismo de medidores de la presión con un rango de medida conforme con las presiones de funcionamiento de la instalación.

Todos los elementos de la instalación llevarán la información de sus características de forma visible, con una información mínima del fabricante, artículo, año de fabricación, número de serie, temperaturas de diseño mínimas y máximas, presiones de diseño mínimas y máximas, presión de prueba y, en el caso de los intercambiadores, el volumen de fluido.

4.3.6. Obra civil

La obra civil es una parte muy importante en el desarrollo de los sistemas de DHC. Si se trata de nuevos proyectos, este punto se puede incluir en el trazado urbano a desarrollar.

Si se trata de sistemas a implementar en zonas ya urbanizadas, la partida de obra civil dentro del total del proyecto toma proporciones técnicas, económicas y sociales de carácter muy importante.

A nivel técnico, para zonas urbanas existentes, la obra civil implica el levantamiento de calles. Debe tenerse en cuenta que muchas veces no hay documentación de lo que existe en el subsuelo, con las complicaciones que ello puede añadir al proyecto, ya sea a nivel de hallazgos arqueológicos o de la necesidad de rehacer otro tipo de instalaciones como canalizaciones de agua o electricidad que, en función de la antigüedad, no estén documentadas.

El aspecto económico de las obras es muy importante en el desarrollo del sistema. La maquinaria necesaria para el levantamiento, los permisos, las tasas y la reposición de las calles (pavimentación y señalización) encarecen el proyecto y lo hacen un factor determinante para su viabilidad.

El aspecto social también es muy importante pues la realización de las obras civiles que implica este proyecto dificulta la convivencia entre los vecinos por la generación de ruido y polvo, de igual forma que la implantación de cualquier otro tipo de servicio, como la renovación de la red de agua, electricidad, gas, etc.

Hay diferentes formas de instalar las tuberías de distribución de los sistemas centralizados de distrito: de forma aérea, en túneles bajo tierra, enterradas en túneles de hormigón y en zanjas.

Los costes derivados de este tipo de instalación son inferiores a los de la realización de túneles. El inconveniente de la misma es la dificultad de las tareas de reparación puesto que debe excavar para acceder a las tuberías.

Lo ideal es la realización de las tareas de instalación de tuberías junto con otros servicios, de forma que los costes quedan repartidos y no repercuten totalmente en el sistema de DH/DC.

La anchura de las zanjas para la red depende de la decisión de si el sistema cubre sólo el servicio de calefacción y ACS o también incluye el suministro del frío, ya que en el primer caso habría dos tubos mientras que en el segundo serían cuatro.

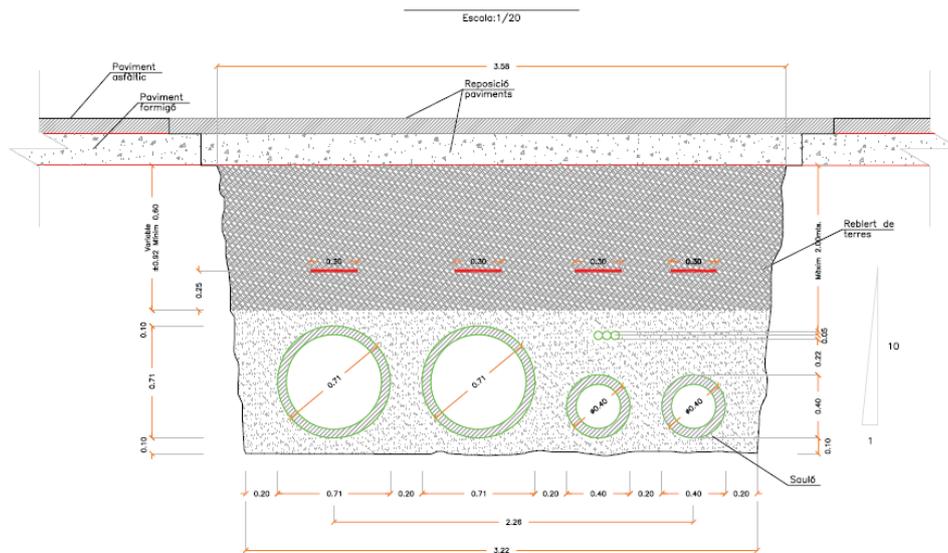


Figura 7. Zanja típica para una red de cuatro tubos [DISTRICLIMA].

LEYENDAS FIGURA 7: Pavimento asfáltico; Pavimento hormigón; Reposición pavimentos; Relleno de tierras; Arenisca; Variable Mínimo.

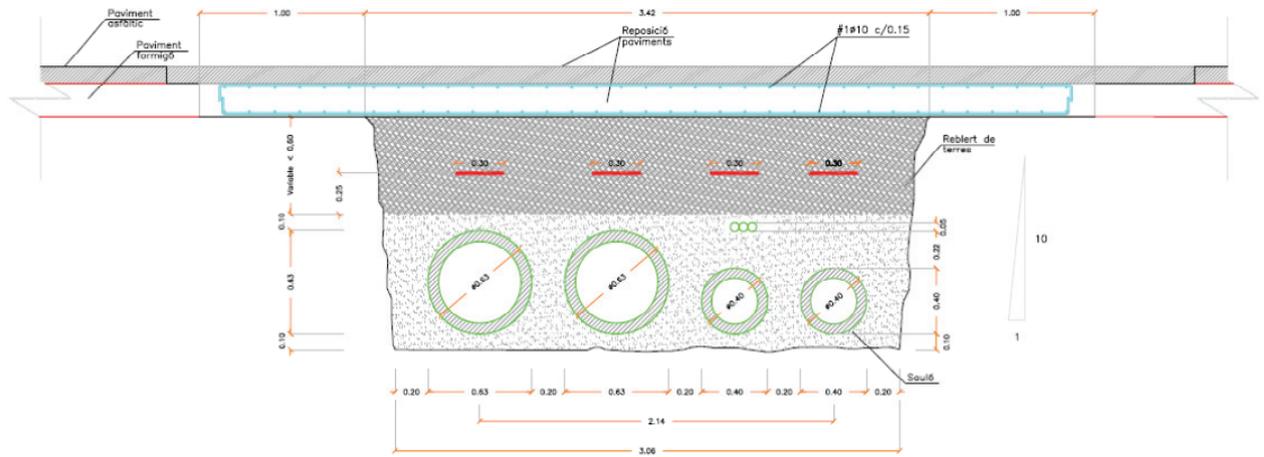


Figura 8. Zanja poco profunda, reforzada con placa metálica, para una red de cuatro tubos [DISTRICLIMA INTERNO].

LEYENDAS FIGURA 8: Pavimento asfáltico; Pavimento hormigón; Reposición pavimentos; Relleno de tierras; Arenisca; Variable.

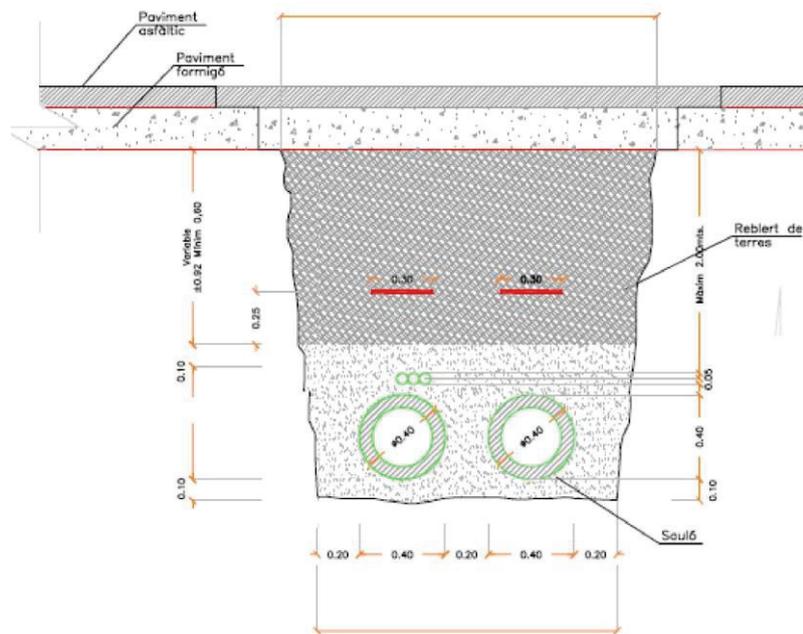


Figura 9. Zanja típica para una red de dos tubos [DISTRICLIMA INTERNO].

LEYENDAS FIGURA 9: Pavimento asfáltico; Pavimento hormigón; Reposición pavimentos; Relleno de tierras; Arenisca; Variable Mínimo; Máximo.

Además de la solución más habitual que es la de situar los tubos en las zanjas, también es posible plantear la integración de la red en las galerías de servicio, si ésta fuera la solución adoptada por otras infraestructuras de servicios. Esta solución es generalmente más cara. Sin embargo, la solución en galería puede ser adoptada en algunos tramos por razones constructivas. Otra situación que se puede dar puntualmente es la integración de la red DH/DHC en otras infraestructuras, como pueden ser puentes o túneles.

Las tuberías en acero necesitan más separación para permitir la soldadura entre tramos de tubos. Para la aplicación de redes de distrito en áreas urbanas que ya existen o de nueva construcción, con una alta concentración de edificios y con una necesidad de varios servicios (agua, electricidad, calefacción, refrigeración, telefonía, televisión, internet, etc.), es interesante la posibilidad de contar con túneles transitables y galerías que puedan ser compartidas por las diferentes empresas que operen.

Este concepto permitiría reducir los gastos de inversión en estos espacios. Un ejemplo es el centro de París, donde hay un gran número de redes subterráneas por donde discurren diversos servicios.

En este tipo de razonamiento, una alternativa en el caso de redes de distrito es la instalación de tuberías en el alcantarillado, cuando es transitable. En algunos municipios esta alternativa se desestima debido a condiciones técnicas como la capacidad de las alcantarillas, mientras que en otros municipios las dimensiones del alcantarillado son suficientes para colocar servicios de las proporciones que implica una red de distrito.

4.4. Subestaciones

4.4.1. Aspectos generales

Las subestaciones consisten en la unión del sistema de distribución de la energía, la red, con los consumidores (edificios o instalaciones). Las subestaciones adecuan la presión y la temperatura de la red de distribución a las condiciones necesarias para el consumo del edificio.

Las subestaciones consisten en un equipo de regulación y control, un equipo de contaje y, en función del tipo de subestación, también dispone de equipos de intercambio o de almacenaje. En función del tipo de consumo existen principalmente dos tipos de subestaciones, de conexión directa y de conexión indirecta. La diferencia consiste en si el agua de la red de distribución entra directamente en los emisores de energía de los edificios (sistema de conexión directa), o bien si se produce la transferencia de calor mediante un intercambiador de calor de forma que los circuitos se independizan (sistema indirecto).

- Esquema de subestación

Se incluye un esquema simplificado de subestación para facilitar e ilustrar los conceptos expuestos en esta sección.

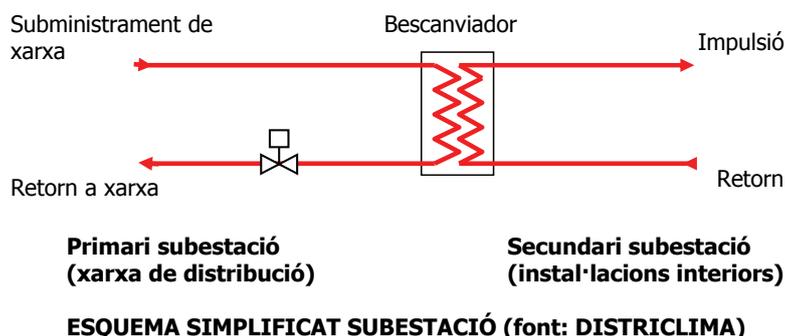


Figura 10. Esquema simplificado de una subestación [DISTRICLIMA 2008].

LEYENDAS FIGURA 10: Suministro de red; Intercambiador; Impulsión; Retorno a red; Retorno; Primario subestación (red de distribución); Secundario subestación (instalaciones interiores); ESQUEMA SIMPLIFICADO SUBESTACIÓ (fuente: DISTRICLIMA).

- Conexión directa

Mediante la conexión directa, el agua de la red de distribución es transferida directamente al circuito de calefacción/refrigeración propio del edificio. Esta conexión es ventajosa porque utiliza unos aparatos muy simples y de bajo coste y evita también el salto térmico que se produce en el intercambiador. El cliente se ahorra la instalación de intercambiadores de calor y bombas.

La desventaja es que no existe una separación entre el circuito primario y el secundario. La regulación se lleva a cabo en los propios emisores y puede ser por variación de caudal o por variación de la temperatura de impulsión. En caso de que la red sufra aumentos de temperatura o presión, el sistema secundario también los sufrirá. En cualquier caso, si un sistema secundario (sistema de un cliente) tiene una pérdida o fuga, ésta repercute en todo el circuito.

En general, el explotador de la red controla cada una de las subestaciones para poder aislarlas si la red o el subsistema secundario tiene algún problema de los mencionados.

El agua caliente sanitaria puede calentarse en un tanque de acumulación con intercambiador interior o exterior, o bien directamente mediante un intercambiador de calor, incluyendo siempre un sistema de intercambio respecto a la red de distribución.

De todos modos, destacar que las subestaciones de conexión directa sólo se han utilizado en pequeñas redes de distrito. En general, el sistema de conexión directa no es recomendable.

- Conexión indirecta

Esta solución es la más extendida. La conexión indirecta utiliza intercambiadores de calor que separan el circuito primario del circuito secundario, es decir, los emisores propios del edificio.

Es un sistema más caro que el anterior, pero permite una separación entre la red y el edificio, reduciendo el riesgo de fugas de agua en la instalación del usuario. Las condiciones de funcionamiento en el interior de los edificios son pues más estables ya que las fluctuaciones de temperatura de la red no afectan a este sistema.

Para cargas térmicas hasta un máximo de 1.500 kW el mercado ofrece módulos compactos y prefabricados que tienen un menor tiempo de instalación. De todos modos, es recomendable comprobar *a priori* que los accesos de la obra permiten el paso de la subestación modular hacia su posición final de instalación.

La producción de ACS se podrá realizar tanto a partir de la instalación secundaria de calefacción, como mediante un intercambiador independiente conectado directamente al primario de la red, en paralelo con el intercambiador de calefacción.

Sin embargo, en ambas soluciones, el sistema deberá permitir elevar la temperatura del ACS hasta el valor requerido por la legislación sobre legionelosis.

4.4.1.1. Prescripciones generales

En la conexión directa se considera subestación toda la instalación, y en la conexión indirecta sólo hasta los intercambiadores. La empresa explotadora puede tener la responsabilidad hasta la válvula de acometida, hasta los intercambiadores o a toda la instalación.

En cualquier caso, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones generales:

- Los contadores de energía cumplirán los requisitos de las subestaciones, tanto a nivel legal como al nivel que requiera el gestor del sistema.

- Se instalarán válvulas de aislamiento en la entrada y en la salida de cada circuito (calor, frío, ACS) de cada instalación individual. Estas válvulas pueden ser precintables.
- Se instalará un sistema de tratamiento del agua de los circuitos interiores para la protección de los equipos.

4.4.1.2. Características de las subestaciones

Las subestaciones se dimensionarán de forma que el usuario disponga de la energía suficiente para abastecer sus necesidades de agua caliente sanitaria, calefacción y refrigeración. El enfriamiento (en caso de calefacción y ACS) o el calentamiento del fluido (en caso de refrigeración) debe ser el máximo posible, es decir, el salto térmico en el intercambiador se debe optimizar para reducir el coste de bombeo de la red.

Los materiales que se emplean en las subestaciones deben cumplir las siguientes características:

- Deben resistir la presión máxima para la que se ha diseñado el sistema. En la mayoría de los casos esto significa una presión de 10 bar en la parte del usuario y de 16 bar (o de 25 bar) en la parte del sistema primario.
- Los materiales también deben resistir la temperatura máxima para la que se ha diseñado el sistema.
- Los materiales empleados no deben liberar sustancias nocivas o venenosas en el agua (en el caso de subestaciones para ACS).
- Los materiales empleados no deben contribuir al desarrollo de bacterias (en el caso de subestaciones para ACS).
- Si hubiera mezcla de materiales, habría que elegir de manera que eviten una corrosión galvánica o disponer de los elementos necesarios para evitarlo, como manguitos anti-electrolíticos.

4.4.1.3. Intercambiadores de calor de las subestaciones

Los intercambiadores de calor permiten la transmisión de calor, o de frío, entre el circuito primario (red) y el secundario (instalaciones interiores), a la vez que separan hidráulicamente ambos circuitos.

En algunas redes de calor, esta separación se realiza mediante un depósito acumulador. El agua caliente del interior del depósito corresponde al circuito secundario. En caso de tratarse de acumuladores de dimensiones relativamente pequeñas (volúmenes de hasta 1.000 litros), se pueden considerar equipos con intercambiador interior un serpentín, por donde circula el agua del primario. Para acumuladores de más de 1.000 litros se dispone de un intercambiador de placas exterior.

En redes de distrito antiguas se utilizaban intercambiadores de carcasa y tubos, especialmente en redes que distribuían el agua a temperaturas por encima de 100 °C. Con la aparición de los intercambiadores de placas, estos últimos han pasado a ser los más utilizados en las subestaciones.

Hay dos tipos de intercambiadores de calor de placas que se usan y que se diferencian básicamente por la unión de sus placas: termo-soldados y de juntas.

Los intercambiadores termo-soldados son más económicos y requieren poco mantenimiento por la ausencia de juntas. Este tipo de intercambiadores tienen el inconveniente de que sólo cubren hasta una cierta potencia.

En cuanto a los intercambiadores de juntas, que cubren toda la gama de potencias, son más caros y requieren un mantenimiento (hay que cambiar las juntas cada cierto tiempo). Una ventaja importante es que, al disponer de juntas, es posible desmontar las placas del intercambiador para limpiar las incrustaciones.

Todos los intercambiadores de calor utilizados en el sistema centralizado de distrito deberían cumplir con los requisitos de la norma EN 1148.

Se recomienda aislar térmicamente los intercambiadores para evitar las pérdidas térmicas.

No es posible definir las condiciones de trabajo de los intercambiadores de calor de las subestaciones ya que se eligen después de estudiar cada caso en concreto con sus particularidades correspondientes. Así pues no es posible facilitar unos valores de referencia válidos para todos los casos posibles, aunque sí se dan unos rangos de temperaturas orientativos:

CALOR	Primario (sistema centralizado de distrito)	Secundario (usuario)
Temperatura entrada	Mínimo 90 °C	Máximo 55 °C
Temperatura salida	Máximo 60 °C	Máximo 85 °C
FRÍO		
Temperatura entrada	Máximo 5,5 °C	Mínimo 7 °C
Temperatura salida	Mínimo 14 °C	Mínimo 15,5 °C

Tabla 1. Condiciones típicas de las subestaciones.

4.4.1.4. Control de las subestaciones

Tanto para el caso de calor como de frío, el lazo de regulación principal en las subestaciones se realiza sobre la temperatura del circuito secundario, con una temperatura de consigna del agua que se envía al usuario. De esta manera se logran buenos niveles de confort en calefacción, ACS y refrigeración.

Además de este lazo de regulación principal, es aconsejable añadir un segundo lazo de regulación para aumentar la eficiencia energética del sistema global de redes de distrito y contener el dimensionado de tuberías y equipos de bombeo, tal y como se ha comentado en apartados anteriores. En este sentido, se propone que si la temperatura de retorno del circuito primario supera un cierto valor de consigna, se reducirá la temperatura de salida del secundario hasta conseguir en la salida del primario el valor deseado.

Se recomienda firmemente la regulación de todos los equipos terminales de la instalación interior mediante válvulas de 2 vías. Se debe evitar incluir cualquier sistema con mezcla de agua de los circuitos de impulsión y retorno.

El sistema de control de las subestaciones garantizará siempre el suministro de ACS prioritariamente al de calefacción, en caso de que el dimensionado de la subestación esté hecho en base a estas circunstancias. Es la forma más común de hacerlo debido a que se prima el uso de ACS, considerando que el sistema de calefacción tiene suficiente inercia como para no contemplar la parada por un periodo corto de tiempo, así como fijar como preferentes los usos que se dan al ACS.

Las subestaciones incluyen también caudalímetros y sondas de temperatura para realizar la facturación de los consumos. La posición final depende de cada caso ya que puede haber situaciones en que los equipos de facturación se sitúan en el primario y otras veces en el secundario.

A continuación se indican diferentes elementos que opcionalmente se pueden incluir en el control de las subestaciones:

- Válvulas reguladoras de presión en el circuito primario para equilibrar hidráulicamente los circuitos.
- Limitadores de potencia.
- Comunicación con la central a través de tecnología GSM o de fibra óptica.

4.4.1.5. Accesorios en las subestaciones

Las subestaciones deberán incluir elementos de seguridad tal y como se menciona en el apartado 4.5.5. (Sistemas de seguridad). Incluirán también válvulas de corte en todas sus conexiones, de forma que se pueda efectuar el mantenimiento de la subestación o la sustitución de ésta en el momento que sea necesario sin la necesidad de vaciar buena parte del circuito.

El material de las válvulas de corte deberá ser apto para agua sanitaria en caso de contacto con el ACS y deberá soportar las temperaturas y presiones de diseño del sistema.

Las subestaciones incluirán válvulas de equilibrado para controlar el flujo máximo que entra en cada una de las subestaciones. Éstas deberán tener una pérdida de carga máxima de 0,1 bar, de forma que no penalice de manera excesiva el funcionamiento de la bomba de circulación.

4.4.1.6. Contadores

Cada subestación deberá disponer de un sistema de contadores que mida la energía consumida, frío o calor, procedente del DHC para cuantificar los consumos individuales por suministro (cada vivienda u oficina), tal y como establece el RITE. Por otra parte, se recomienda la instalación de un contador del consumo de agua de reposición de la instalación.

En función del tipo de subestación se instalarán diferentes tipos de contadores:

- Consumo de energía térmica (calor). En el contaje del consumo de calor se puede separar entre el consumo para el agua caliente sanitaria y el consumo para calefacción, pudiéndose instalar un contador para cada uno de los dos tipos de consumo:
 - Contador de agua caliente sanitaria; en función del tipo de distribución del ACS:
 - Acumulador centralizado en el edificio. Se dispondrán los contadores de calor en la derivación de la distribución hacia las viviendas, en un armario ubicado en un espacio común que sea registrable.
 - Intercambiador de calor individual para cada subestación. Los contadores de calor se ubicarán aguas abajo del intercambiador, de forma que mida la cantidad de agua que entra en éste.
 - Contador de agua caliente de calefacción; en función del tipo de subestación y configuración:
 - Instalación de calefacción aislada del sistema centralizado. Cada uno de los servicios dispondrá de su propio intercambiador de calor.

- Instalación de calefacción común con el sistema centralizado. El ACS dispone de intercambiador y el agua de calefacción entra directamente desde el sistema de distribución.

En cualquiera de los dos casos, la instalación de uno o dos contadores dependerá de las especificaciones de la empresa de servicios energéticos.

Opción 1: Instalar dos contadores individuales siendo uno para la calefacción y el otro para el ACS. El contador de calefacción debería instalarse aguas abajo del intercambiador para medir la cantidad de agua que entra en éste.

Opción 2: Instalar un único contador que mida la cantidad total de energía del usuario.

- Consumo de energía frigorífica. De características parecidas a los de calor.

En cualquier caso, los contadores de energía y las subestaciones se instalarán en un espacio común del edificio, cerrado y registrable.

Características mínimas de los contadores de calor y frío:

- Medida de caudal, instantáneo y acumulado.
- Medida de las temperaturas de impulsión y de retorno.
- Conexión mediante señal bus a una central de recogida de datos, ya sea dentro del mismo edificio en el espacio centralizado de entrada del DHC, ya sea vía telemática.

Como características opcionales y deseables de los contadores de calor, opcionalmente pueden tener medidor horario de los consumos, de forma que haga posible la adaptación de las tarifas en el servicio así como un estudio del perfil de consumo del edificio, para poder optimizar el funcionamiento del servicio a nivel energético y económico.

Los datos de los consumos deberán irse acumulando de manera que se pueda mantener informado al usuario sobre sus consumos (los máximos y los mínimos y el histórico de consumo), así como para asistir cualquier problema.

4.4.2. Diferencias entre subestaciones

Una de las principales diferencias entre las diferentes tipologías de subestaciones está vinculada al punto de consumo: si se abastece a un usuario doméstico o a un edificio de servicios (oficinas, comercios, centro sanitario, etc.).

En el primer caso, las subestaciones deben adaptar sus dimensiones para poder colocarlas dentro de las viviendas. Cada subestación incluye el intercambiador, el contador de energía y los equipos necesarios de regulación y control. Un ejemplo donde se encuentra este tipo de subestación es la red de Molins de Rei "La Granja". En el segundo caso, existe una subestación centralizada para todo el edificio que conforma un cliente único para el gestor de la red de distrito. Un ejemplo representativo se encuentra en la red de la zona Fórum-22@-PERI III de Barcelona.



Figura 11. Subestación de DH de Molins de Rei "La Granja".



Figura 12. Subestación de DHC de Barcelona "Fòrum-22@-PERI III".

LEYENDA FIGURA 12: Subestación en centro sanitario de Barcelona, con detalle de aislamiento térmico de intercambiadores

4.5. Instalaciones interiores

Entendemos por instalaciones interiores el circuito secundario de los edificios conectados a la red. En este apartado se presentan diferentes recomendaciones para el diseño de las mismas.

4.5.1. Regulación de instalaciones interiores

Tal y como muestran las siguientes figuras, la regulación de potencia en cada terminal del circuito del cliente se realiza a través de una válvula de dos vías, regulando el caudal que llega a la terminal. Otras opciones a considerar son la regulación del caudal de la bomba con un variador de frecuencia e instalar una válvula presostática para instalaciones interiores con varias terminales.

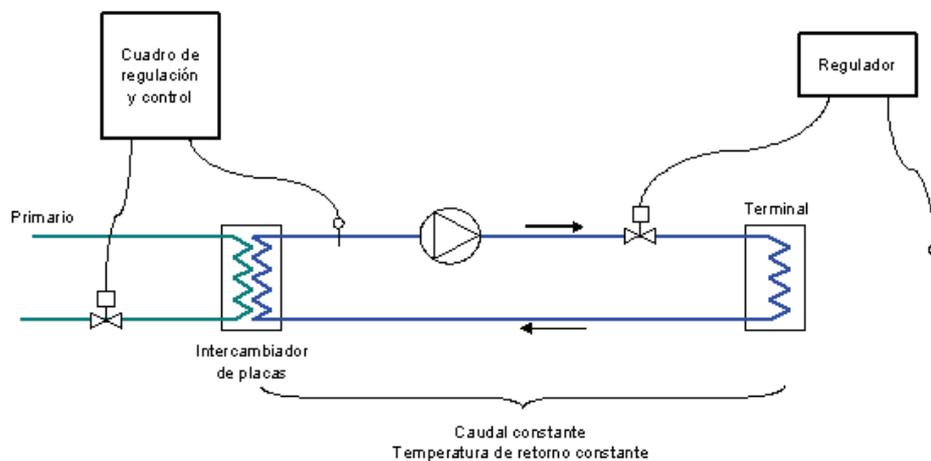


Figura 13. Regulación de instalaciones interiores con válvulas de 2 vías [DISTRICLIMA 2008]

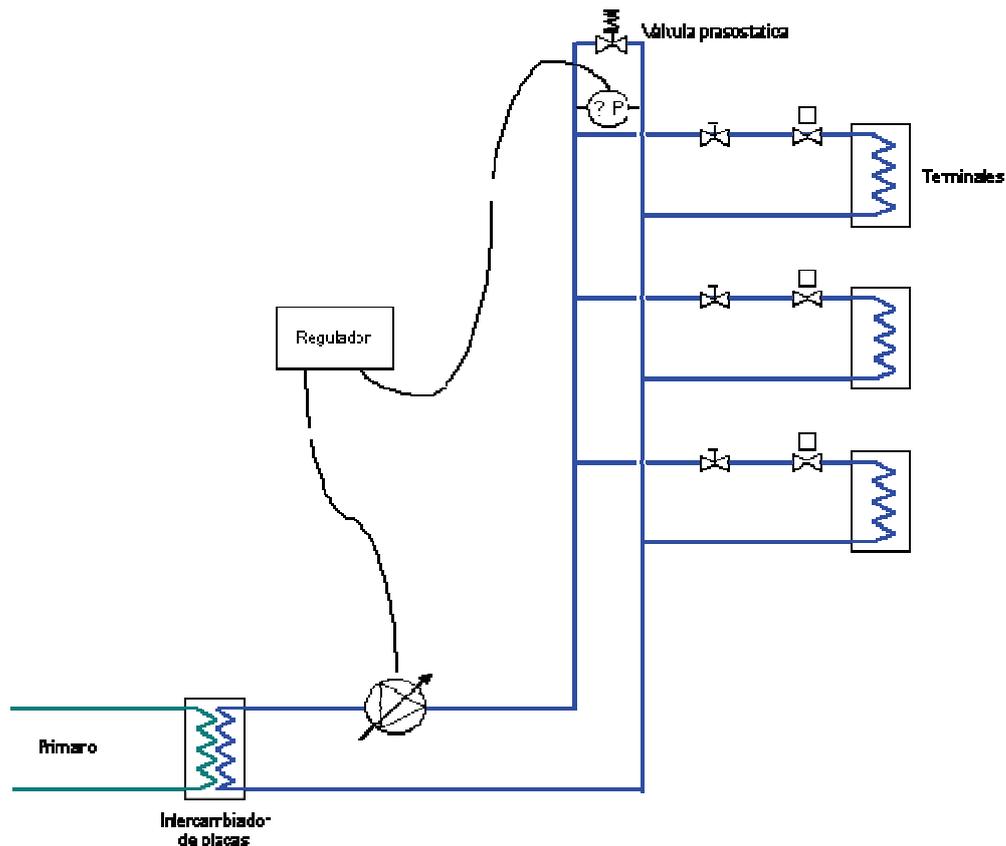


Figura 14. Regulación de instalaciones interiores con válvulas de 2 vías y válvula presostática [DISTRICLIMA 2008].

4.5.2. Sistemas de bombeo

Es necesario el uso de un sistema de bombeo para que el fluido llegue a todos los puntos de consumo. Existen diferentes configuraciones para el sistema de bombeo, así como diferentes tipos de bombas.

En todos los casos se debe considerar el uso de bombas eficientes para reducir los gastos energéticos y de funcionamiento del sistema. Este tipo de bombas permiten obtener el caudal ajustado para dar mejores condiciones al funcionamiento de la instalación. El caudal se regula en función de las necesidades de demanda, de forma que el consumo eléctrico es inferior. También es recomendable utilizar dos bombas o bombas dobles con función de encendido automático para el segundo motor. De todas formas, es preferible que sean dos bombas, de manera que si es necesario reparar alguna de ellas, el sistema puede seguir funcionando.

La bomba de circulación debería estar en funcionamiento continuo y es recomendable que disponga de control de velocidad y de ruido.

Deben diseñarse para la misma temperatura y presión que el sistema. La parte húmeda de la bomba deberá estar construida con materiales resistentes al agua con un alto contenido de oxígeno. Se calculará el flujo para bombas de circulación sobre las bases de pérdidas de calor y caídas de presión.

Las bombas dispondrán de sistemas de control de caudal y presión. Los componentes de control de la bomba normalmente están dentro del cuadro de control con conexiones terminales.

Todas las bombas estarán protegidas contra sobrecargas, ya sea dentro del cuadro de control con protecciones contra sobrecargas o en el propio motor de la bomba. El control debe incluirse, al menos, en el interruptor principal, en los interruptores de cada motor, en las luces indicativas y en los puntos de conexión de la alarma para cada bomba de circulación.

En caso de interruptores externos para el control, la caja de control irá equipada con transmisores para la comunicación entre las bombas y el control.

El cálculo de las bombas de distribución se hará teniendo en cuenta el caudal máximo de diseño de la instalación (en función de la demanda del edificio y de la capacidad de la subestación) y las pérdidas de carga (pérdidas de presión).

La caída total de presión que necesita la subestación debe cubrir la caída de presión en el intercambiador de calor, en las tuberías y en las válvulas. Con un dimensionado óptimo de todas estas partes, generalmente se necesitan menos de 1 mca. En las subestaciones modernas este valor es cercano a 0,5 mca.

En cuanto al circuito de agua caliente sanitaria, por criterios de eficiencia energética, se recomienda la instalación de variadores de velocidad en las bombas y un sistema de recirculación en las subestaciones, de tal forma que en el momento en que el usuario quiera disponer de energía la tenga al instante sin necesidad de desechar agua fría.

Se desaconseja incluir doble sistema de bombeo en las instalaciones interiores (ver Figura 15). En instalaciones convencionales, este doble bombeo muchas veces viene impuesto por consideraciones de seguridad de los equipos de producción (calderas o máquinas enfriadoras) que requieren una bomba dedicada. El intercambiador de la subestación no tiene este condicionante de seguridad y por lo tanto no es necesario instalar una bomba específica para el intercambiador.

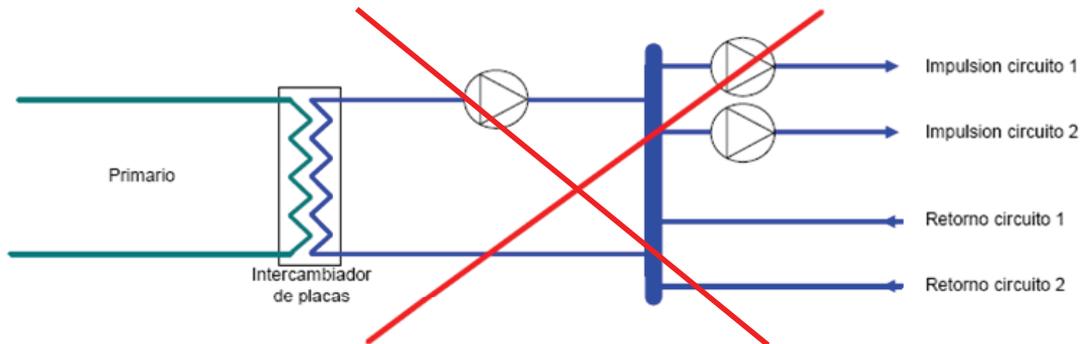


Figura 15. Doble sistema de bombeo - DESACONSEJADO [DISTRICLIMA 2008].

De acuerdo con lo anterior, se recomienda incluir un solo sistema de bombeo en las instalaciones interiores, en cualquiera de las configuraciones presentadas en la Figura 16.

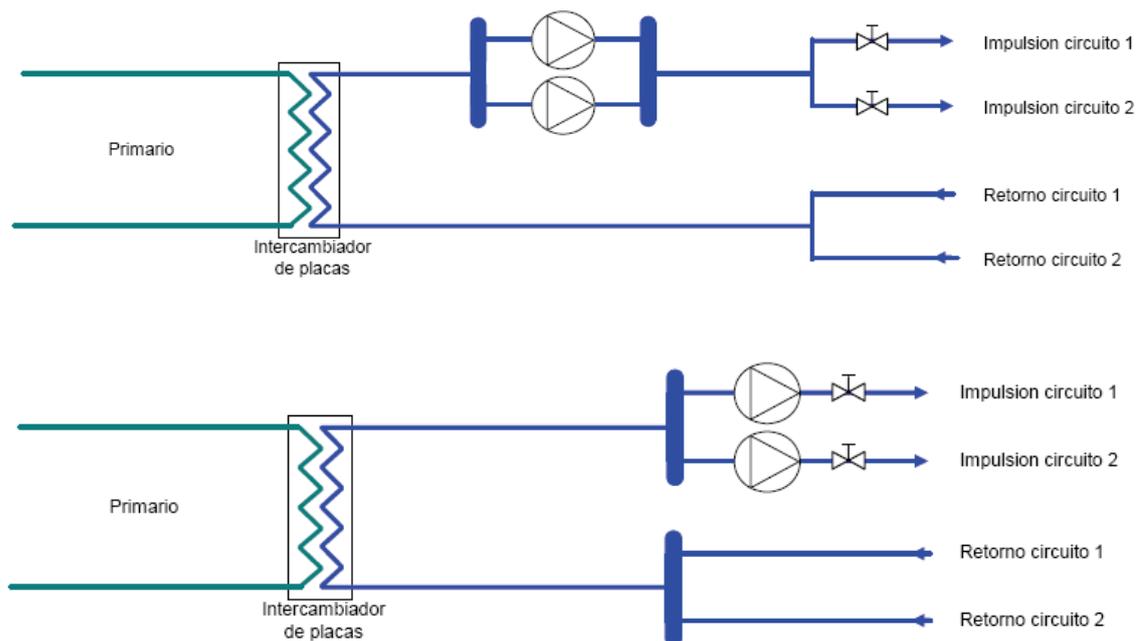


Figura 16. Sistemas de bombeo para instalaciones interiores [DISTRICLIMA 2008].

4.5.3. Acumuladores de calor

En determinados tipos de usuarios con una demanda pico elevada, normalmente de ACS, la subestación puede incluir depósitos de acumulación de calor. Estos usuarios suelen ser hoteles, instalaciones deportivas, o en cualquier caso, usuarios en que el sistema centralizado esté dimensionado para unos consumos que posteriormente difieran de los de diseño. De esta manera, el acumulador permite reducir el caudal de diseño de la subestación y a la vez se pueden satisfacer demandas instantáneas elevadas.

El intercambio de calor se producirá en función de las dimensiones del acumulador, siendo en forma de serpentín para acumuladores pequeños (de hasta 1.000 litros), y de intercambiador de calor de placas (para volúmenes superiores a los 1.000 litros). El acumulador de calor llevará siempre un aislamiento térmico para reducir las pérdidas térmicas.

4.5.4. Control de la legionelosis

Las bacterias y la legionelosis no son problemas específicos de los sistemas centralizados de distrito. Pueden aparecer en todos los sistemas de agua caliente. La contaminación del sistema, especialmente con legionelosis, sucede en la central doméstica, por ejemplo en el sistema de tuberías de agua potable o en el tanque de almacenaje.

Para reducir el riesgo de infección por legionelosis se pueden tomar algunas medidas especiales respecto al diseño y al funcionamiento. Estas medidas para la prevención del desarrollo de bacterias y de la legionelosis son las siguientes:

- El sistema de agua caliente doméstica no debe utilizarse para otros usos que no sean los estrictamente sanitarios. Todos los elementos destinados a agua sanitaria no podrán entrar nunca en contacto con elementos para otros usos, es decir, la red de ACS será sólo para este fin.
- La temperatura en todo el sistema interior de ACS no podrá bajar nunca de los 50 °C.

- En viviendas plurifamiliares, la temperatura de salida del intercambiador de calor deberá ser como mínimo de 55 °C para garantizar la temperatura en el grifo de 50 °C.
- En viviendas unifamiliares, donde las distancias entre el intercambiador de calor y el grifo son habitualmente cortas, a menudo basta con un mínimo de 50 °C en el intercambiador (parte del usuario) para obtener una temperatura de 50 °C también en el grifo. Si se utiliza acumulación de agua caliente con tanques de almacenaje, la temperatura del agua en el tanque deberá estar a 60 °C.

En función del uso del edificio, se harán los tratamientos necesarios según la normativa para evitar posibles brotes de legionelosis.

4.5.5. Sistemas de seguridad

Los circuitos cerrados sujetos a cambios de temperatura requieren la instalación de vasos de expansión para absorber la expansión térmica del agua. Para dimensionar el vaso de expansión se tendrá en cuenta la posible diferencia entre la temperatura más alta y la más baja que puede producirse dentro del sistema y el volumen total del bucle. Para edificios altos (presión $\geq 4,50$ bar) también es posible utilizar sistemas conjuntos de presurización, incluyendo bombas, controles y tanques de expansión. Es necesario controlar y medir la presión del gas dentro del vaso de expansión.

Por otra parte, es necesario instalar una válvula de seguridad en la tubería de suministro de agua fría conectada al calentador de agua doméstica o al acumulador. Es preferible que la válvula de seguridad se instale en la tubería de entrada al intercambiador de calor en el sistema secundario. No debe haber ninguna válvula de cierre entre la válvula de seguridad y el intercambiador de calor.

Se recomienda utilizar la misma presión de diseño en el sistema secundario que la de la red de distrito, que será la máxima presión previsible. En caso de que alguna de las dos presiones esté por debajo de la otra (generalmente el sistema secundario), deberán añadirse elementos auxiliares para prever posibles aumentos de presión por comunicación accidental de circuitos o posibles imprevistos.

4.6. Centrales energéticas

La producción de calor y frío en las redes de distrito se realizará en las centrales de producción energética de la misma red. En este apartado se realizará una descripción general de las mismas, cubriendo diferentes aspectos, desde las fuentes energéticas disponibles hasta la tecnología utilizada.

4.6.1. Fuentes energéticas disponibles

4.6.1.1. Convencionales

Las fuentes energéticas convencionales que se definen como tales son las que derivan de combustibles fósiles o éstos directamente.

- **Gas natural**

El gas natural es el nombre con el que se denomina el gas compuesto principalmente por metano, en un porcentaje superior al 90%, mezclado con otros gases como el etano, el propano, el butano, el pentano, el hexano, el nitrógeno y el dióxido de carbono.

Actualmente hay una gran red de distribución de gas natural en las redes urbanas y, dentro de los combustibles convencionales, es el que menos emisiones ocasiona.

Características principales del gas natural	
Densidad ² (kg/m ³)	660
PCI (kJ/kg)	39.900
PCS (kJ/kg)	44.000
Emisiones de CO ₂ (gr CO ₂ /kWh t)	204

Tabla 2. Propiedades físicas del gas natural.

- **Propano**

El gas propano es un subproducto resultante de la producción de gas natural y del proceso de refinado del petróleo. Tiene un poder calorífico muy elevado. Se suele suministrar en botellas o en camiones cisterna para rellenado de depósitos fijos. Suele ser una opción válida para la realización de sistemas en emplazamientos donde no llega el suministro de gas canalizado y que se opta por este tipo combustible.

Características principales del propano	
Densidad (kg/m ³)	583
PCI (kJ/kg)	46.367
PCS (kJ/kg)	50.425
Emisiones de CO ₂ (gr CO ₂ /kWh t)	244

Tabla 3. Propiedades físicas del propano.

- **Butano**

El butano se obtiene de la destilación del petróleo. En su composición comercial como gas butano contiene propano, isobutano y etano. Tampoco se distribuye de forma canalizada, por lo que su distribución se realiza a través de bombonas o camiones para llenado de depósitos fijos. Suele ser una opción válida para la realización de sistemas en emplazamientos donde no llega el suministro de gas canalizado y que se opta por este tipo combustible.

Características principales del butano	
Densidad (kg/m ³)	599
PCI (kJ/kg)	45.765
PCS (kJ/kg)	49.662
Emisiones de CO ₂ (gr CO ₂ /kWh t)	244

Tabla 4. Propiedades físicas del butano.

² En función del país de procedencia.

- **Gasóleo**

Es un producto líquido que se obtiene también de la destilación del petróleo. No se distribuye por canalización, de forma que las calefacciones que utilizan este combustible requieren de un sistema de acumulación (depósitos). Este combustible puede ser utilizado como combustible de respaldo en las centrales DHC.

Características principales del gasóleo	
Densidad (kg/m ³)	850
PCI (kJ/kg)	42.275
PCS (kJ/kg)	43.115
Emisiones de CO ₂ (gr CO ₂ /kWh t)	287

Tabla 5. Propiedades físicas del gasóleo.

- **Electricidad**

La electricidad es la fuente energética más común actualmente, excluyendo todo el sector del transporte. La generación de electricidad en centrales eléctricas procede de una amplia diversidad de combustibles, como el gas natural, el petróleo, el carbón (actualmente en extinción en nuestro país), las centrales nucleares, las hidroeléctricas y, desde hace unos años y en una proporción muy importante, las energías renovables como la eólica, la fotovoltaica y, cada vez más, la termoeléctrica.

La electricidad es un tipo de energía denominada de alta calidad debido a los usos que tiene. Pero en función de su procedencia, las emisiones ocasionadas por su consumo varían. Por lo tanto, a la hora de considerar las emisiones producidas se toma como valor el del mix de producción eléctrica en España.

Normalmente, para relacionar la eficiencia de un sistema eléctrico con otro con consumo de combustible, se considera el consumo de energía primaria que tendría la electricidad generada en una central de ciclo combinado o una central térmica convencional (ver Tabla 3).

Nivel de emisiones de electricidad en función de su procedencia³	
Electricidad peninsular (gr CO ₂ /kWh t)	649
Electricidad extrapeninsular (gr CO ₂ /kWh t)	981
Fotovoltaica (gr CO ₂ /kWh t)	0
Electricidad peninsular horas valle (gr CO ₂ /kWh t)	517
Electricidad extrapeninsular horas valle (gr CO ₂ /kWh t)	981

Tabla 6. Emisiones de energía eléctrica.

En los sistemas de calefacción y refrigeración de distrito, la electricidad se utiliza para alimentar todos los consumos de los elementos auxiliares como son las bombas, las válvulas de control y el control en sí mismo, así como los sistemas de producción de frío mediante enfriadoras eléctricas y los sistemas de disipación.

³ Fuente: IDAE

4.6.1.2. Energías renovables

Siendo el objetivo del proyecto de DHC conseguir un nivel mínimo de emisiones de CO₂ y una dependencia mínima de los combustibles fósiles, es del todo justificada la integración de fuentes de energía renovable en el sistema de generación de energía de la red de distrito estudiada.

Estas fuentes tienen un impacto nulo sobre las emisiones de CO₂ hacia la atmósfera durante la generación de energía. Por eso, su inclusión en el sistema de generación puede reducir notablemente la relación TmCO₂/MWh, buen indicador del impacto medioambiental del sistema.

- **Solar**

La energía solar térmica se consigue al transformar la luz solar en energía térmica almacenada en un fluido calo-portador. Esta transformación se realiza en captadores especialmente diseñados para maximizar la absorción de energía y minimizar las pérdidas.

En función del nivel térmico de consecución de esta energía, se consideran tres tipos de tecnologías de captación:

- Temperatura baja. Captadores planos. Temperaturas inferiores a 120 °C.
- Temperatura media. Concentración lineal, espejo de concentración de simetría cilíndrica y aislamiento por vacío (tubos de vacío, captadores cilindro-parabólicos, captadores de Fresnel). Temperaturas hasta 350 °C.
- Temperatura alta. Concentración puntual (helióstatos, discos parabólicos). Temperaturas superiores a 350 °C.

Para las aplicaciones de los sistemas centralizados de distrito es suficiente considerar las tecnologías de baja y media temperatura. Las tecnologías de alta temperatura se reservan para aplicaciones industriales y generación eléctrica.

La energía solar térmica presenta su mayor capacidad (potencia elevada) en los períodos de verano, coincidiendo con la época de demanda de calor más baja. Este desfase obliga a desarrollar técnicas de gestión energética que maximicen la aportación de esta fuente de energía de nulo impacto ambiental. Las opciones son:

- Dimensionar el campo de captación para obtener una buena aportación solar en invierno y un exceso en verano –que será disipado–.
- Sobredimensionar el campo de captación para alimentar una máquina de absorción en verano generando frío.
- Acoplar la curva de oferta energética a la demanda mediante la acumulación estacional (ver apartado 4.6.2.5).

Con esta última estrategia aumenta notablemente la aportación anual de energía solar térmica en la demanda total.

Debido a la temporalidad de la energía solar (se produce sólo en los momentos de luz solar), la configuración de los sistemas solares térmicos suele tener sistemas acumuladores.

De esta manera, la energía captada por el sistema solar es acumulada y se puede consumir en cualquier momento y no sólo cuando hay radiación solar. Pero la aplicabilidad en sistemas de redes de distrito puede variar en función del diseñador, existiendo la posibilidad de conexión del sistema solar con la red.

En caso de aplicar energía solar conjuntamente con cogeneración, hay que tener en cuenta que los dos sistemas entran en competencia pues en ambos casos se ve mejorada su rentabilidad cuando aumentan las horas de operación.

Como ejemplo podemos señalar la planta de Marstal Fjernvarme de Dinamarca de A.m.b.a. compañía (sociedad cooperativa propiedad de los consumidores). Esta planta, establecida en 1996, es la planta de producción de calor solar más grande del mundo, con 18.365 m² de captadores solares y una producción de aproximadamente 28.000 MWh/año de calor anuales. Dispone de 32 km de tuberías principales de suministro y una capacidad de cobertura térmica solar de aproximadamente un 30% de la producción total de calor. Asimismo dispone de un almacenaje estacional de 10.000 m³.



Figura 17. Planta solar de Marstal en la isla de Aero de Dinamarca.

- **Geotérmica**

Se distingue entre dos tipos de energía geotérmica: la de alta entalpía, en la que se aprovecha directamente el calor del suelo, y la de baja entalpía, la que se utiliza no como generador sino como acumulador estacional.

La energía geotérmica de alta entalpía consiste literalmente en el aprovechamiento del calor contenido dentro de la corteza de la Tierra que genera fenómenos geológicos a escala planetaria. La energía geotérmica no está disponible en todas partes, pero donde sí está al alcance facilita una fuente de calor sin emisiones. Se pueden encontrar los sistemas geotérmicos en regiones con un gradiente geotérmico normal o ligeramente por encima de lo normal, caracterizados por una temperatura baja, habitualmente no mayor de 100 °C en profundidades relativamente accesibles a las que el proyecto resulta atractivo en términos de rentabilidad.

Se puede consultar un mapa completo de recursos geotérmicos en Europa en el Atlas de Recursos geotérmicos.

También se está examinando el uso potencial de calor procedente de viejas minas de carbón.

Un sistema geotérmico consta de tres elementos principales:

- Una fuente de calor.
- Un depósito.
- Un fluido, el conductor que transfiere el calor.

Como ejemplo podemos señalar la planta de Klaipeda situada en Lituania. Esta planta dispone actualmente de cuatro pozos geotérmicos. En dos de estos pozos, el agua geotérmica se obtiene de una capa a una profundidad de más de 1.000 metros, mediante bombas instaladas a 300 metros. La temperatura en esa profundidad es de 38 °C y se

aumenta hasta 70 °C mediante bombas de calor. El agua calentada a 70 °C en las bombas de calor se suministra a la red de distrito de calefacción de la ciudad de Klaipeda.

Estas bombas de calor son máquinas de absorción de LiBr de doble efecto, accionadas mediante energía calorífica procedente de una caldera que calienta el agua hasta 175 °C. Las máquinas de absorción transportan a la red de distrito tanto el calor generado en la caldera como el calor de los pozos geotérmicos, consiguiendo de esta forma un rendimiento de energía útil del orden del doble de la energía fósil consumida

El agua caliente de los pozos geotérmicos que actúan como foco frío en la bomba de calor se enfría de los 38 °C a 11 °C, y se retorna a la misma profundidad de donde se ha extraído después de filtrarla y limpiarla.

La planta de Klaipeda produce también energía eléctrica. La caldera que alimenta la máquina de absorción ya existía en la planta eléctrica. El calor residual del proceso de producción de energía eléctrica se acumula en unos tanques con el fin de cubrir la producción de agua caliente sanitaria de la ciudad, siendo la potencia suficiente para cubrir la totalidad. Los tanques de acumulación son necesarios para amortiguar las fluctuaciones de la demanda de agua caliente sanitaria.

La tecnología necesaria para aprovechar la energía geotérmica de baja temperatura en redes de DH existentes está bien desarrollada y es utilizada en varias ciudades europeas.



Figura 18: Planta geotérmica Klaipeda de Lituania [DHCAN].

La generación de electricidad es la aplicación más importante de las fuentes geotérmicas de temperaturas altas (> 150 °C). Las fuentes de temperaturas medias y bajas (< 150 °C) son aplicables a otros usos energéticos con nivel térmico inferior.

El uso de calor directo es una de las aplicaciones de energía geotérmica más antiguas, más versátiles y también más habituales. Además del sistema centralizado de distrito convencional, también hay aplicaciones para calefacción de invernaderos, instalaciones agrícolas, de piscicultura o industriales.

En general, en los sistemas de energía geotérmica de baja entalpía se utilizan bombas de calor que aprovechan la estabilidad de la temperatura del suelo para aumentar su rendimiento. Estos equipos funcionan en invierno para la producción de calefacción – absorbiendo calor del subsuelo– y de frío en verano –cediendo calor al subsuelo–, de modo que el balance anual de energía aportada al terreno sea aproximadamente neutro.

- **Biomasa**

Este tipo de combustibles no contribuyen al aumento de CO₂ en la atmósfera, porque sus emisiones están dentro del ciclo natural de este gas de efecto invernadero.

Además, es una tecnología renovable de la que se puede tener un cierto control de la disponibilidad de combustible, aunque en algunos casos ésta puede tener una cierta estacionalidad.

Hay varias formas de aprovechamiento de la biomasa en función de su forma.

- Biomasa leñosa

Uno de los usos más inmediatos de la biomasa sólida es la combustión directa para generación de energía térmica.

Actualmente la biomasa leñosa se puede obtener a partir del reaprovechamiento de biomasa de desecho, es decir, la biomasa procedente de la limpieza de los bosques, restos de las industrias madereras, restos de las empresas agrarias como cáscaras de frutos secos que contienen un alto poder calorífico, así como con cualquier otro resto leñoso o de este tipo con potencial térmico.

Comercialmente, existe la biomasa leñosa como producto en forma de *pellets*. Éstos son producto de un tratamiento de la madera con el consiguiente control de la humedad y del poder calorífico de los mismos.

- Biogás

El biogás es un tipo de gas que se obtiene de la fermentación anaeróbica (digestión) de materia orgánica. Habitualmente son purines, restos vegetales, así como la materia orgánica procedente de los residuos urbanos orgánicos (separación de la selectiva). Este proceso se desarrolla en cámaras cerradas llamadas biodigestores. El resultado es biogás y restos sólidos (descarga) que pueden ser utilizados como fertilizantes, superando a menudo la calidad de la materia orgánica original.

Este biogás puede utilizarse como combustible en las máquinas donde se utiliza gas natural –salvando las adaptaciones de las máquinas y los sistemas de pre-tratamiento del propio biogás.

Por lo tanto, la cogeneración es posible usando como combustible el biogás mediante turbinas de gas o motores de combustión interna. Son tecnologías de adaptación que han aprovechado la madurez tecnológica de sus antecesores.

- **Residuales**

Este punto hace referencia tanto a los flujos de calor residuales en procesos industriales, que se recuperan para otros usos térmicos, así como a los residuos urbanos que se revalorizan generando energía térmica.

- Energía residual de los procesos industriales

La mayoría de procesos industriales que queman grandes cantidades de combustible expulsan grandes cantidades de calor de baja temperatura

mayoritariamente a través de sus sistemas. La recuperación del calor residual implica la captura de este calor de bajo grado, que puede ser suministrado a un sistema centralizado de distrito. La conversión de calor residual en calefacción, en vapor de proceso o en electricidad es habitual en un amplio espectro industrial, particularmente en el sector del acero, el químico y el papelerero. Las calderas de calor residual u otros aparatos se instalan después de los hornos, altos hornos, turbinas, incineradoras y otros procesos de producción para usar el calor, que se disiparía en el ambiente si no fuera recuperado.

Un factor crucial es la temperatura a la que se llevan a cabo estos procesos industriales: cuanto más alta sea la temperatura, más alta es la calidad y el valor obtenido para recuperar el calor.

La ventaja de su aprovechamiento en un sistema centralizado de distrito radica en los bajos niveles térmicos requeridos: los edificios necesitan una temperatura interior de 20 °C, mientras que el suministro de agua caliente en el grifo implica calentar agua fría desde unos 10 °C hasta unos 55 °C. Esto permite a las industrias con un exceso de energía térmica de baja temperatura, de entre 50 y 70 °C, el poder suministrar esta energía de baja temperatura a los sistemas centralizados de distrito. La mayoría de estas fuentes de baja temperatura son casi o totalmente neutrales respecto al CO₂.

Sin embargo, para esquemas de sistemas centralizados de distrito que aprovechen esta fuente alternativa, es importante diversificar con otras fuentes de energía para evitar problemas de suministro de calor si la industria proveedora de energía térmica desaparece.

- Sistemas de revalorización de residuos

El término 'planta revalorizadora de residuos' generalmente se emplea para cualquier sistema, fijo o móvil, dedicado al tratamiento térmico de residuos, con o sin recuperación del calor de combustión generado. Cuando los residuos consisten sobre todo en material renovable, su combustión sólo contribuye muy ligeramente a un aumento del efecto invernadero. Los residuos combustibles son una fuente doméstica que se puede utilizar para objetivos de calefacción en sistemas centralizados de distrito si se desarrolla correctamente.

Es difícil obtener una imagen general de los residuos en Europa e identificar las tendencias. Cada año la comunidad genera cerca 2.000 millones de toneladas (Mt) de residuos, cerca de 200 Mt de residuos municipales sólidos (MSW) y una media de más de 1 kg por persona y día.

Dos ejemplos de centrales de revalorización de residuos urbanos que utilizan el calor que generan por redes de distrito son TERSA en Barcelona y Tub Verd en Mataró. En TERSA, por ejemplo, se queman los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) de la ciudad de Barcelona para generar vapor, del que una parte se destina a una planta de generación de energía compuesta con turbinas de vapor y, otra parte, suministra el calor necesario para la central de la red de Districlima.

- Centrales térmicas de generación eléctrica

En el norte de Europa es habitual el aprovechamiento de calor de una planta térmica de generación eléctrica. Se realiza una extracción de vapor de la turbina de baja presión para la aportación de calor en la red de distrito. El diseño de la planta de generación eléctrica debe estar preparada para esta extracción de vapor.

4.6.2. Equipos de las centrales energéticas

4.6.2.1. Calderas

- Calderas de gas

Las calderas queman el gas para la generación del calor necesario para satisfacer las necesidades de calor, calefacción y agua caliente sanitaria, que tenga el sistema centralizado de distrito.

La actual tecnología de calderas de gas se encuentra en un avanzado estado de desarrollo. La producción de calor se realiza mediante la combustión del gas con oxígeno. Las características de las mismas difieren en función de la potencia, aunque principalmente consisten en un quemador, que se regula en función de la potencia requerida (calderas modulantes). Para potencias elevadas, las calderas se conectan en paralelo, de forma que se obtiene una mayor modularidad y una más alta eficiencia energética.

Para incrementar el rendimiento se podría aprovechar el calor del vapor de agua de los gases de combustión, condensándolos. Son las denominadas calderas de condensación. Lo que hacen es precalentar el agua de retorno aprovechando la energía obtenida de la condensación del agua incluida en los gases.



Figura 19. Caldera de gas para la producción de vapor [DISTRICLIMA].

Con ciertas modificaciones, se puede utilizar el biogás como combustible de estas calderas.

- Calderas de biomasa

La combustión de biomasa para aprovechamientos térmicos es una tecnología con un impacto positivo sobre el ratio de emisiones de CO₂/kWh térmico generado (contribuye a su reducción).

Actualmente hay en el mercado numerosos fabricantes de calderas de agua especialmente diseñadas para trabajar con este tipo de combustible: *pellets*, astillas, restos de podas, restos forestales, restos agrícolas, restos de la industria maderera...

La tecnología avanza de forma muy rápida pero el coste de las calderas es aún elevado debido a la poca madurez del mercado.



Figura 20. Caldera de biomasa para la generación de 9 t/h de vapor a 10 bar.

Esta tecnología tiene algunas particularidades respecto a las calderas de gas. La gran diferencia es que se trata de un combustible sólido, irregular y sucio. Esto supone que es imprescindible un tratamiento de la biomasa antes de ser usada en la caldera, ya que la biomasa contiene gran cantidad de residuos inutilizables y se presenta en muchos tamaños diferentes y de gran irregularidad. La biomasa no es un fluido y, por lo tanto, requiere sistemas de transporte más complejos y con muchos más problemas que los gases o líquidos. Es necesario disponer, también, de grandes volúmenes de biomasa almacenada para asegurar la disponibilidad.

Además, la combustión de biomasa genera, en general, gran cantidad de cenizas a alta temperatura que deben ser evacuadas y almacenadas. Este sistema de extracción de cenizas también es un punto importante y que requiere un buen diseño porque puede ser fuente de gran cantidad de problemas y paradas de una caldera de biomasa. De todos modos, se puede considerar la revalorización de las cenizas en función de la composición de las mismas.

4.6.2.2. Solar térmica de baja o media temperatura

La producción de energía solar de baja o media temperatura se realiza mediante colectores solares térmicos. El proceso de conversión de la energía solar en energía térmica se realiza de forma que la radiación calienta el absorbente de los colectores solares, consistente en un metal con una alta capacidad de absorción y que, en el caso de ser selectivo, con baja emisividad, transfiere la energía calorífica absorbida a un fluido que circula por su interior. Este fluido suele ser agua con anticongelante, la proporción del cual varía en función del clima ya que su única función es evitar congelaciones en los períodos invernales.

La energía solar térmica de baja temperatura se produce a temperaturas inferiores a 80 °C, temperatura de uso, mientras que la energía solar térmica de media temperatura se produce a temperaturas que varían desde los 80 °C hasta los 250 °C. Por lo tanto, su principal diferencia consiste en los usos a los que se destina y en los colectores solares con los que se produce.

- **Energía solar térmica a baja temperatura**

Temperaturas de servicio < 80 °C.

Servicios:

- Agua caliente sanitaria.
- Calefacción de temperatura baja.
- Calentamiento de piscinas.
- Procesos industriales de temperatura baja.

En este caso, los generadores son los captadores de placa plana. Consisten en una caja donde se ubica el absorbedor. Éste suele ser una parrilla de tubos o un serpentín de cobre bajo una placa de metal; en los de mayor rendimiento, este metal es selectivo.

El captador tiene un aislamiento que evita las pérdidas por los laterales de la caja, y una cubierta de vidrio con unas características especiales que reducen las pérdidas por ésta produciendo un efecto invernadero dentro.

El rendimiento de los captadores varía en función de las características de cada uno de estos componentes.



Figura 21. Esquema de un captador solar de placa plana.

- **Energía solar térmica a media temperatura**

Temperaturas de servicio entre 80 °C e inferiores a 250 °C.

Servicios:

- Calefacción.
- Climatización.

- Procesos industriales de temperatura media.

Los captadores que se utilizan son captadores de tubos de vacío, considerando algunas diferencias ya que para la producción de climatización (absorción), en función de las condiciones climáticas, con captadores de baja temperatura es suficiente dado que las temperaturas obtenidas en los períodos estivales son suficientes para que funcionen las máquinas de absorción.

Este tipo de captador consiste en tubos de vidrio con el absorbedor en el interior, tubo de cobre con una placa de metal para absorber la energía solar, y hecho el vacío en el tubo de forma que se eliminan las pérdidas por conducción del captador. De esta forma, la absorción de los captadores es inferior a la de los captadores de placa plana, pero las pérdidas son muy inferiores haciendo que el rendimiento global sea superior, sobre todo en condiciones climáticas menos favorables.

4.6.2.3. Equipos de cogeneración

La cogeneración consiste en la generación conjunta de electricidad y calor. La generación eléctrica mediante una central térmica convencional tiene un rendimiento del 35%; el 65% restante se pierde en forma de calor. En el momento en que se aprovecha este calor, el rendimiento de la central aumenta hasta valores alrededor del 90%, sin incluir los ahorros de pérdida de energía en la red eléctrica ya que la misma electricidad generada se consume en un punto cercano al del punto de generación.

Por todo ello, el balance entre la energía consumida y la generada así como la reducción de las pérdidas eléctricas permite a la cogeneración contribuir a la reducción del consumo de energía primaria de forma global.

Hay diferentes tipos de sistemas de cogeneración:

- **Turbinas y microturbinas de gas**

Las turbinas de gas son máquinas térmicas rotativas que funcionan bajo un ciclo de potencia Brayton.

Un compresor rotativo absorbe aire atmosférico y eleva su presión. El aire comprimido entra en la cámara de combustión, donde se mezcla con el combustible, normalmente gas natural. La combustión de esta mezcla, a la presión de salida del compresor, genera gases de combustión calientes. Estos gases, al pasar por la turbina, transfieren energía a su eje de rotación, que en el mismo momento mueve el generador eléctrico. La eficiencia eléctrica de este tipo de centrales se encuentra entre el 30% y 40%.

Es un sistema utilizado en sistemas donde hay una demanda de calor importante y constante.

El aprovechamiento del calor de combustión se puede hacer de forma directa mediante los gases de escape. Éstos se encuentran a una temperatura aproximada de 500 °C y se pueden aprovechar para aplicaciones de alta temperatura (procesos industriales).

En el caso de no necesitar temperaturas tan elevadas, algunas turbinas de gas disponen de un recuperador de calor de los gases de escape que precalientan el aire de combustión. El aire entra en el recuperador y, al precalentarse, aumenta el rendimiento eléctrico de la turbina y se reduce la temperatura de los gases de combustión hasta los 250-300 °C.

La diferencia entre turbinas y microturbinas se establece en función de la compacidad y potencia del sistema. Las microturbinas, equipos para pequeñas potencias, se componen de una turbina, un compresor y un alternador acoplados a un eje común, un recuperador de calor de los gases de escape para precalentar el aire de combustión y de la electrónica de potencia para suministrar la electricidad en las mismas condiciones que la red (tensión y frecuencia). A diferencia de los motores alternativos, las microturbinas sólo tienen una parte móvil y necesitan una cantidad mucho más baja de aceite lubricante. Normalmente utilizan gas natural como combustible, pero pueden operar también con gasoil, gasolina u otros combustibles fósiles similares.

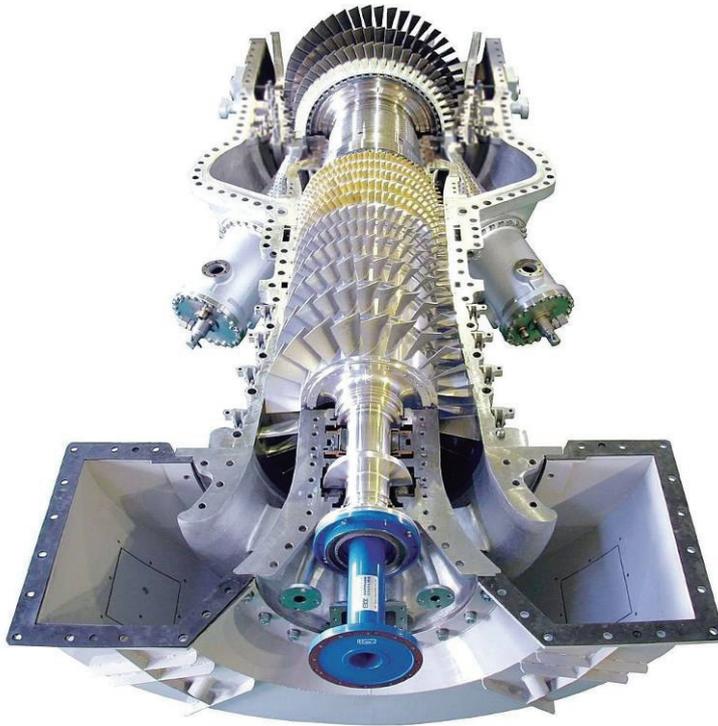


Figura 22. Turbina de gas con las partes principales de su interior: compresor, cámara de combustión y turbina.

Conceptualmente, se puede considerar la instalación de microturbinas a lo largo de una red de distrito, teniendo así un sistema de generación distribuida. Este concepto de instalación de microturbinas está más ligado a redes pequeñas de barrio y grupos de edificios que a redes de gran tamaño. Las grandes redes de distrito suelen estar asociadas a grandes centrales de generación eléctrica, especialmente en el caso de las redes de distrito de países de clima frío.

- **Motores alternativos**

Se trata de motores de combustión interna. La energía térmica se obtiene de los gases de escape y los circuitos de refrigeración interna del propio motor (circuito de refrigeración de las camisas, *intercooler*, aceite de lubricación). Esto implica que la energía térmica se obtiene a dos niveles: gases de escape, a unos 400 °C, y circuitos de refrigeración y lubricación, cerca de 85 °C. Aproximadamente la mitad de la potencia térmica en cada nivel.

El hecho de recuperar parte de la energía térmica a una temperatura relativamente baja puede limitar el potencial de la potencia térmica recuperada dependiendo de los usos térmicos. En el caso de redes de distrito, no supone ningún tipo de limitación ya que los niveles de calor que se necesitan son bajos.

En los motores de combustión interna se puede pensar en recuperar el calor por las redes de distrito, en una primera etapa de recuperación del calor de refrigeración del motor, y en serie la recuperación del calor de los gases de escape. De esta manera, se pueden obtener saltos entálpicos mayores en la red, reduciendo el dimensionado de las instalaciones y por lo tanto el coste de inversión, y aumentando la eficiencia energética del sistema.

Hay dos tipos de motores, según el ciclo termodinámico que describan:

Motores de arranque por compresión (ciclo Diesel): gasóleo

Se utilizan en instalaciones de cogeneración a gran escala, predominando los motores de cuatro tiempos con inyección directa con turbo alimentación y *intercoolers*. Sus sistemas de refrigeración son más complejos que en el caso de los motores de arranque provocado y se obtiene agua caliente, normalmente a 85 °C. Las eficiencias en el eje suelen ser entre el 35% y 50% y el grado de potencia llega hasta los 15 MWe.

Uno de los inconvenientes de la alimentación con gasóleo es la gran cantidad de emisiones de NOx que obliga a instalar sistemas de reducción o tratamiento de los gases de escape. Además, los gases de escape contienen grandes cantidades de partículas sólidas, que dificultan la recuperación de calor e incrementan los gastos de mantenimiento del sistema de recuperación térmica.

Motores de arranque provocado (ciclo Otto): gas natural

Los motores de arranque provocado por chispa tienen un rendimiento eléctrico ligeramente menor, entre el 25% y 43%, y su potencia máxima es de unos 9 MW. Este tipo de motores son adecuados para instalaciones de cogeneración pequeñas y simples, a menudo con recuperación de calor de los sistemas de refrigeración y gases de escape en cascada.

Se alimentan con gas natural. Sus emisiones son más limpias y por ello se evitan los sobrecostes de mantenimiento mencionados para el caso anterior. Esto puede compensar el rendimiento eléctrico más bajo de este tipo de ciclo térmico.

Para la instalación de motores alternativos hay que tener presente los siguientes aspectos:

- Requieren apoyos y cimentaciones apropiadas para absorber las vibraciones que generan.
- El ruido producido puede ser bastante elevado –aproximadamente 100 dB(A) a 1 metro del motor–.
- Tienen muchas partes móviles que requieren un mantenimiento frecuente.

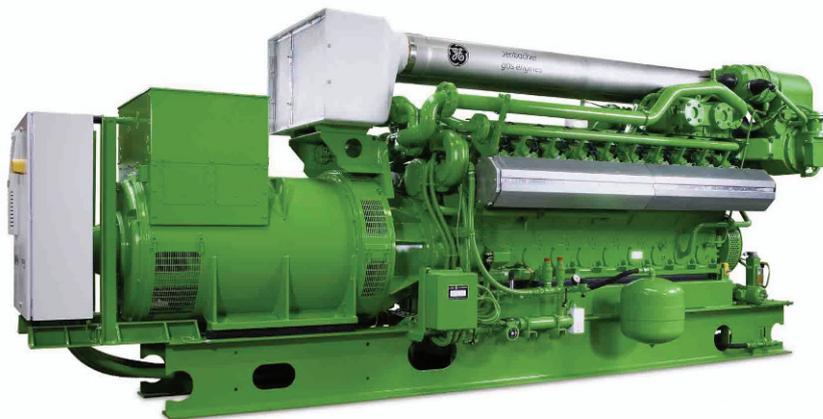


Figura 23. Motor de combustión a gas natural.

- **Turbinas y motores de biogás**

Los motores de biogás son máquinas que tienen un coste más elevado que las de potencia análoga para gas natural. También el coste y la complejidad de su mantenimiento aumentan ligeramente respecto a las de gas. Por eso, las máquinas térmicas de cogeneración alimentadas por biogás sólo se justifican técnica y económicamente si existe un residuo a tratar de materia orgánica. Por ejemplo, granjas porcinas, EDARs o centros de recogida.

La utilización de biogás en turbinas de gas presenta condicionantes parecidos a los del caso de motores alternativos, pero son proyectos más costosos debido al desarrollo de la tecnología existente.

- **Turbinas de vapor**

Las turbinas de vapor son máquinas térmicas rotativas que trabajan bajo un ciclo Rankine. El fluido de trabajo es agua que cambia de estado (líquido-gas, siguiendo un ciclo termodinámico).

Existen dos tipos de turbina siguiendo el ciclo Rankine:

A- A condensación.

El ciclo de condensación consiste en la generación de vapor a alta presión y alta temperatura, y mediante la turbina se extrae el trabajo mecánico. El vapor a salida de turbina se envía a un condensador para condensarlo, y para realizar esta tarea se requiere un circuito de refrigeración a baja temperatura (30-50 °C). En función de la temperatura de refrigeración, varía el rendimiento: si la temperatura aumenta, el rendimiento baja.

El agua condensada se bombea a altas presiones hacia el generador de vapor, donde se reinicia el ciclo.

B- A contrapresión.

En el ciclo de contrapresión, el vapor a salida de la turbina dispone de un nivel energético suficiente para usarse en algún proceso industrial o como medio de transporte de energía térmica. En este caso, no es necesario refrigerar el circuito debido a que el calor se aprovecha, ni tampoco, por lo tanto, bombear el agua condensada.

Se pueden utilizar diversos combustibles como carbón, fueloil e incluso biomasa.

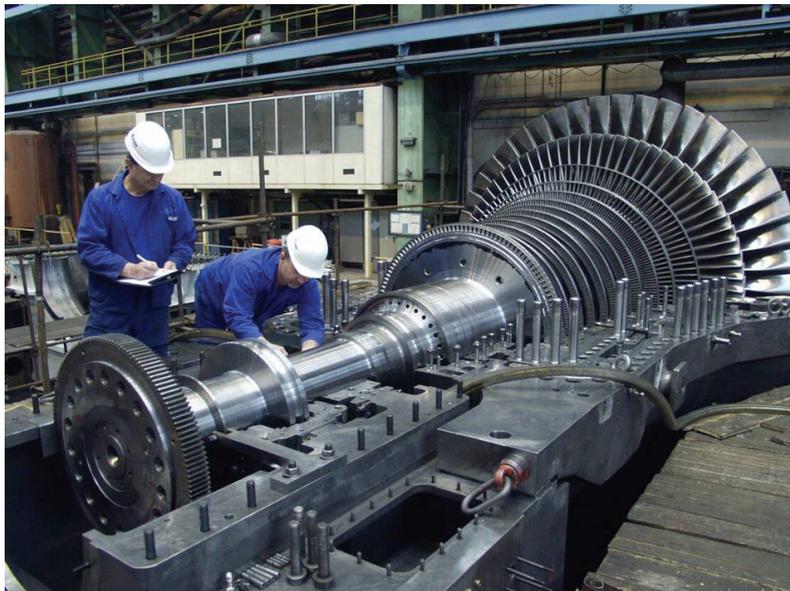


Figura 24. Interior de una turbina de vapor.

- **Otros sistemas existentes**

Se pueden encontrar referencias a diferentes tecnologías en desarrollo que aún no disponen de la madurez suficiente como para ser comercializadas dados sus bajos rendimientos energéticos y sus elevados costes. Entre éstas se pueden encontrar:

- *Turbinas de vapor orgánico*

Consisten en turbinas de vapor que utilizan hidrocarburos en lugar de agua. Las potencias varían desde los 250 kWe hasta los 2 MWe, con rendimientos eléctricos muy bajos del orden del 10% y el 20% con costes de instalación y mantenimiento elevados. Tienen la ventaja de poder generar energía eléctrica con una fuente de calor a baja temperatura (entre 70 °C y 300 °C). Es una tecnología muy utilizada para las fuentes de calor geotérmicas.

- *Pilas de combustible*

Son convertidores electroquímicos directos de energía. Transforman la energía química en eléctrica. En función de los componentes químicos –ánodo y cátodo– varían las potencias de las pilas. Hay pilas con potencia desde los 5 kWe hasta los 300 kWe, con rendimientos eléctricos altos que varían del 30% al 65%. Tienen una parte de calor residual debido a las reacciones exotérmicas que pueden ser aprovechadas para calefacción.

- *Motor Stirling*

Son motores alternativos de cámara cerrada y combustión externa (la fuente de calor transmite la energía térmica al interior del motor desde el exterior, mientras los motores convencionales Otto o Diesel generan el calor en su interior). Esto les aporta una gran flexibilidad de combustibles (biomasa, fósiles o incluso calor solar concentrado).

Existen ya equipos comerciales a diferentes niveles, incluso a nivel doméstico de potencia 1 kWe. A nivel comercial, los costes de estos equipos son todavía elevados y las potencias existentes varían desde 1 kWe hasta los 150 kWe, con rendimientos eléctricos entre el 12% y el 20% y esperando llegar hasta el 40%.

Tabla 7. Resumen de las tecnologías de cogeneración.

TECNOLOGÍA	Caldera de gas	Motor Gas Natural	Microturbina Gas Natural	Turbina Gas Natural	Turbina de vapor	Caldera biomasa	Turbina biogás	Motor biogás	ORC	Pila de Combustible
Potencia eléctrica	5 – 600 kW	5 kW – 8 MW	30 – 200 kW	1 – 450 MW	100 kW – 1.200 MW	5 – 6 MWt	X	60 – 3 MW	250 kW – 2 MW	5 kW – 300 kW
Rendimiento eléctrico (sobre PCI)	X	25 – 43%	25 – 33%	30 – 40%	10 – 45%	X	27 – 33%	25 – 43%	10 – 20%	30 – 65%
Rendimiento térmico (sobre PCI)	80 – 100%	49 – 76%	60 – 74%	60 – 65%	60 – 74%	80 – 95%	68 – 77%	28 – 48%	X	X
Disponibilidad	98%	92 – 97%	90 – 98%	90 – 98%	98%	95%	92 – 97%	92 – 97%	98%	95%
Espacio (m ² /kW _e)	0,1 (m ² /kW _t)	0,025	0,12	0,051	0,01	0,026	0,02 – 0,029	0,04 – 0,068	0,06	0,15
Coste de instalación (€/kW _e)	80 – 112 (€/kW _t)	1.100	2.200	900	1.200	110 – 850	175 – 200	1.200	3.300	Por definir
Coste de mantenimiento (€/kW _e)	0,1 – 2,5 (€/kW _t)	0,009	0,005	0,005	0,003	0,26 – 0,58	0,54 – 0,704	0,0,1	0,002	Por definir

4.6.2.4. Máquinas enfriadoras

- **Enfriadoras de compresión eléctricas**

Las enfriadoras son las máquinas encargadas de la producción de frío. La consecución de tal fin se hace mediante la absorción del calor de los fluidos que se quieren refrigerar y la posterior disipación de este calor en el exterior (ambiente).

Las máquinas de refrigeración que se utilizan consisten en un evaporador, un condensador, un compresor y un expansor. El evaporador extrae el calor de la estancia –en este caso, el fluido caliente– y el condensador lo disipa en el ambiente. Todo ello siguiendo el ciclo de Joule.

Las máquinas que se utilizan suelen ser una única unidad y, en función de la potencia, se dividen en diferentes compresores para optimizar el rendimiento aprovechando la modulación.

La medida del rendimiento de las máquinas enfriadoras se hace mediante el COP (*Coefficient of Performance*) que mide la potencia térmica obtenida, los kW de frío entre los kW eléctricos. Las mejores técnicas disponibles utilizan enfriadoras de velocidad variable para adaptarse a la demanda y obtener mejores COP estacionales.

Para optimizar el uso de las enfriadoras y la eficiencia energética de las instalaciones, se utilizan recuperadores de calor en el condensador por precalentamiento del agua caliente en el circuito de calefacción.

Otra manera de mejorar el rendimiento es aprovechar una fuente de agua fría (de ríos, mares o pozos) para disipar el calor, teniendo un intercambiador en lugar de torres de refrigeración o aerodisipadores.

Potencias	3 kW _f – 15 MW _f
COP	2 – 5
Disponibilidad	97 %
Superficie necesaria	0,3 – 0,5 m ² /kW _f
Coste instalación	75 – 214 €/kW _f
Coste mantenimiento	0,001 €/kW _f

Las enfriadoras con compresores alternativos se usan normalmente en instalaciones de aire acondicionado hasta potencias del orden de 200 kW. Entre 200 kW y 1.500 kW se utilizan enfriadoras de agua a base de compresores de tornillo. Por encima de los 1.500 kW se utilizan normalmente refrigeradoras centrífugas.

Las enfriadoras de tornillo rotativas aportan significativos ahorros energéticos ya que pueden unir cargas totales y cargas parciales; estas últimas hasta un 10% de la capacidad de la enfriadora. Los compresores de tornillo rotativo pueden variar su capacidad de forma continua. Esta modulación continua de la capacidad permite un ahorro de energía del 25% comparando con las técnicas estándares de descarga.



Figura 25. Enfriadora de tornillo.

Las refrigeradoras centrífugas tienen un compresor dinámico. Estos compresores aumentan la presión del refrigerante utilizando la energía de rotación y convirtiéndola en energía de presión.

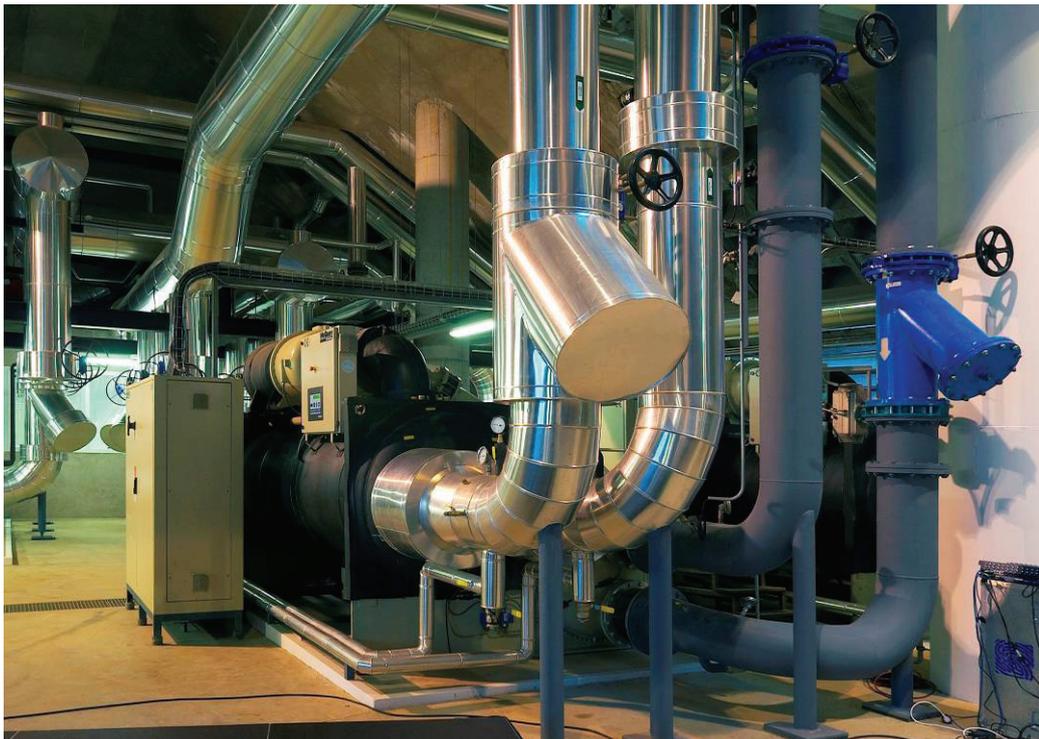


Figura 26. Enfriadora centrífuga de 4 MW en la Central Fòrum con las tuberías de agua fría y de refrigeración [DISTRICLIMA].

- **Enfriadoras térmicas**

Las enfriadoras térmicas son accionadas por calor en lugar de por energía eléctrica. Este calor suele venir de un ciclo de cogeneración o puede ser un calor residual.

- Máquinas de absorción de simple efecto

Las máquinas de absorción de efecto simple son equipos de refrigeración en los que, dentro de su ciclo de funcionamiento, el refrigerante evaporado se disuelve dentro de un segundo fluido en fase líquida (absorbente) para, a continuación, elevar su presión mediante una bomba, sustituyendo el compresor eléctrico típico de las máquinas de frío. Para cerrar el ciclo de funcionamiento de la máquina, este absorbente debe liberar el gas refrigerante y esto se consigue con calor. Una vez separados los dos componentes, el gas refrigerante entra en un condensador, siguiendo el ciclo típico de una máquina de refrigeración.

La fuente de calor suministrado puede ser agua caliente, agua recalentada, vapor o combustión directa.

El consumo eléctrico de las máquinas de absorción tiene lugar en la bomba que produce la circulación interior y los condensadores (si los hay), y supone entre un 5-10% del consumo de una enfriadora por compresión. Pero en el mercado actual el coste de estas máquinas es muy elevado, lo que hace que la rentabilidad sea muy baja ya que tienen un COP muy inferior comparado con las enfriadoras de compresión eléctricas, hecho que puede compensarse económicamente si se dispone de un excedente de calor.

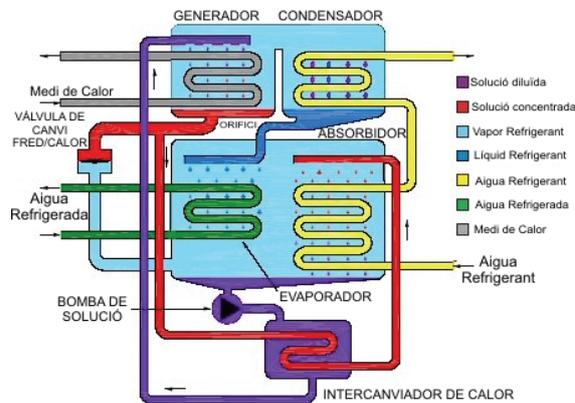


Figura 27. Esquema del funcionamiento de una máquina de absorción.

LEYENDAS FIGURA 27: Medio de Calor; VÁLVULA DE CAMBIO FRÍO/CALOR; Agua Refrigerada; BOMBA DE SOLUCIÓN; GENERADOR, CONDENSADOR; ORIFICIO; ABSORBIDOR; EVAPORADOR; INTERCAMBIADOR DE CALOR; Agua Refrigerante; Solución diluida; Solución concentrada; Vapor Refrigerante; Líquido Refrigerante; Agua Refrigerante; Agua Refrigerada; Medio de Calor.

Se distinguen principalmente dos tipos de máquinas de absorción en función del fluido que utilicen:

- Ciclo H₂O – BrLi

Es el ciclo más utilizado para usos de climatización, porque las temperaturas de evaporación mínimas alcanzadas son superiores a los 5 °C ya que utiliza agua como refrigerante. El Br-Li es el absorbente y el agua el refrigerante.

- Ciclo NH₃ - H₂O

Este ciclo es el recurso cuando se desean aplicaciones de temperaturas negativas (hielo, congelación) porque permite conseguir temperaturas de hasta -60 °C. El absorbente es el agua; el refrigerante, el amoníaco.

El COP es entre 0,3 y 0,6. Además hace falta agua, vapor o gases de escape a temperatura alta (a partir de 120 °C).

Las principales características de ambos sistemas se presentan en la siguiente tabla:

	Ciclo LiBr-H₂O	Ciclo NH₃-H₂O
Potencias	10 kW _f – 10 MW _f	30 kW _f – 6MW _f
COP	0,3 – 0,6	0,7
Disponibilidad	95%	95%
Superficie necesaria	0,06 m ² /kW _f	0,05 m ² /kW _f
Coste instalación	500 – 800 kWf	150 – 600 kWf
Coste mantenimiento	0,0013 kWf	0,0013 kWf

Tabla 8. Resumen de características de los ciclos de absorción.

- Máquinas de absorción de doble efecto

Las máquinas de absorción con etapas múltiples (por ejemplo, el principio de doble efecto) consisten en dos desorbedores y dos condensadores para suministrar sólo una combinación de absorbedor-evaporador. En comparación con la máquina de simple efecto se incluyen elementos adicionales. El sistema opera en tres niveles de presión y cuatro niveles de temperatura.

Se puede extender el mismo principio al efecto triple con tres desorbedores y tres condensadores cuando hay disponible una fuente de calor con una temperatura suficientemente alta.



Figura 28. Central Fòrum: máquina de absorción de doble efecto de 4,5 MW y accionada mediante vapor a 8 bar [DISTRICLIMA].

- Comparación entre diferentes tecnologías (máquinas de bromuro-litio)

PROCESO	ABSORCIÓN	
	efecto simple	efecto doble
Etapas		
Absorbente/adsorbente	litio bromuro / agua ⁽¹⁾	
Refrigerante	agua / amoníaco ⁽¹⁾	
Generador T.	80 °C – 110 °C	140 °C – 160 °C
Fluido	agua caliente o agua recalentada	agua recalentada o vapor
COP	0,6 – 0,8	0,9 – 1,2
Capacidad	< 35 kW oferta escasa	< 100 kW pocos fabricantes
	35 – 100 kW pocos fabricantes	> 100 kW oferta amplia
	> 100 kW oferta amplia	
Fabricante	Yazaki, Broad, EAW, Carrier, Trane, York, LG Machinery, Sanyo-McQuay, Entropie, Thermax	

Tabla 9. Comparación entre las diferentes máquinas de refrigeración por absorción/adsorción.

⁽¹⁾ La pareja de absorbente/refrigerante es en el mismo orden indicado.

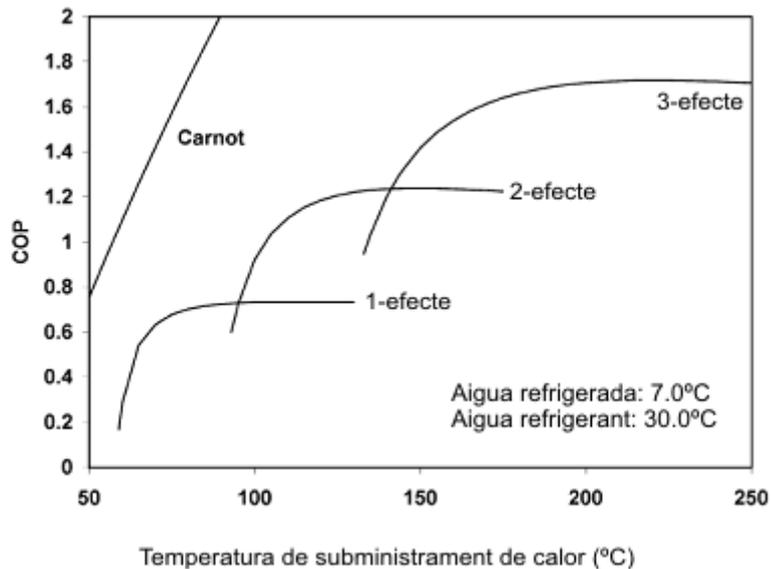


Figura 29. COP en función de la temperatura de suministro de calor para máquinas de absorción LiBr-agua de efecto simple, doble y triple.

LEYENDAS FIGURA 29: Carnot; 1-2-3-efecto; Agua refrigerada: 7,0 °C; Agua refrigerante: 30,0 °C; COP; Temperatura de suministro de calor (°C)

4.6.2.5. Sistemas de acumulación

La acumulación es muy importante en el ámbito de la generación y la gestión de la energía debido a su impacto sobre la eficiencia global del sistema y a la posibilidad de dimensionado más ajustado (costes más bajos) con la misma capacidad de cubrir una demanda determinada.

La acumulación se emplea con propósitos diferentes:

1. Favorecer la operación a plena carga de los equipos de generación optimizando su rendimiento y reduciendo asimismo la potencia de las máquinas.
2. En el caso de utilizarse un sistema de cogeneración, se aumenta la producción eléctrica en las horas punta-valle, satisfaciendo la demanda en las horas valle para descarga del acumulador. Es decir, se cargan en el momento en el que la demanda es inferior, descargándose en el momento de mayor demanda.
3. En caso de climatización, reducir los picos de demanda de las horas punta para reducir los autoconsumos de las enfriadoras por compresión.
4. Acumular la energía de fuentes de generación térmica naturales como energía solar, geotérmica, recuperadores, etc.

Por estos motivos se instalan sistemas de acumulación energética en todos los sistemas de generación para centrales de DHC.

Tipos de sistemas de acumulación: cuando se instalan aparatos de cogeneración, los acumuladores se dimensionan para asimilar las variaciones de demanda acaecidas durante el día. Sin embargo, también puede convenir la instalación de acumuladores semanales para desplazar los consumos eléctricos en las horas valle de los fines de semana.

Este tipo de acumulador todavía se considera un acumulador para periodos de tiempo cortos. En el momento en el que el período de acumulación se alarga de forma que va de una estación a otra se denomina acumulador estacional. Este tipo de acumuladores de mayor capacidad se utilizan en determinados sistemas basados en energía solar térmica o energía geotérmica. Son, por ejemplo, los pozos geotérmicos.

Existen diferentes tipos de acumuladores en función de la tecnología de acumulación:

- **Acumuladores sensibles**

Almacenan energía variando la temperatura del medio contenido. Este medio es, por excelencia, el agua. El agua, a presión atmosférica, puede almacenar energía de forma sensible desde 4 °C hasta 98 °C. Con agua presurizada se puede llegar a 130 °C. También se utiliza una mezcla de agua con arena o grava.

Suelen ser tanques para volúmenes relativamente pequeños, normalmente hasta 5.000 litros de capacidad y en algunos casos de hasta 10.000 litros.

Lo ideal es el uso de acumuladores estratificados, es decir, verticales y estrechos con una relación altura/diámetro cerca de dos. Esta relación deja de cumplirse a partir de los 3.000-4.000 litros, en función del fabricante.

Se dispone de la opción de la combinación de diferentes tanques en función de las dimensiones de las plantas, así como del esquema de funcionamiento que se ha diseñado.

La ventaja de utilizar acumuladores estratificados es que se incrementa el rendimiento de la acumulación. Se optimiza el almacenaje y, por la propia configuración, disponen de unos mejores aislamientos y control.

Los acumuladores de grandes dimensiones son horizontales y las pérdidas de calor por las paredes aumentan, así como también disminuye el rendimiento al tratarse de estratificación en un depósito horizontal en el que se pierde volumen de agua acumulada respecto a un depósito vertical.

Los depósitos de agua son los sistemas más utilizados para acumular grandes cantidades de calor o frío. Tiene una capacidad energética de 1,2 kWh/m³/K. Esto implica, considerando rendimientos de acumulación del 85%, capacidades de almacenaje de 35 kWh/m³ de calor y de 7 kWh/m³ de frío.

- **Acumuladores latentes**

Se almacena energía variando la fase del medio contenido. Estos materiales se llaman PCM (*phase change materials*). Pueden cambiar de fase de forma cíclica y reversible, acumulando así grandes cantidades de energía con pequeños saltos térmicos cercanos a su punto de fusión/cristalización. Son ejemplos el hielo, las sales hidratadas, las mezclas eutécticas de sales, parafinas...

Esta tecnología se encuentra actualmente en desarrollo y no se incidirá ya que a nivel de mercado no se ha establecido todavía.

La tecnología más avanzada son los acumuladores de hielo, con los que es posible desplazar los picos de demanda eléctrica asociados a la demanda de aire acondicionado en las horas nocturnas, regulando de esta forma la producción de hielo y aumentando el rendimiento de los equipos.

El hielo es de los PCM más eficientes y precio más bajo, además de tener una gran capacidad (334 kJ/kg). Frente a los 42 kJ/kg, posee un acumulador de agua fría con un salto de operación de 10°C. Por ello, los acumuladores de hielo son mucho más compactos y pueden ser más competitivos en determinados casos.

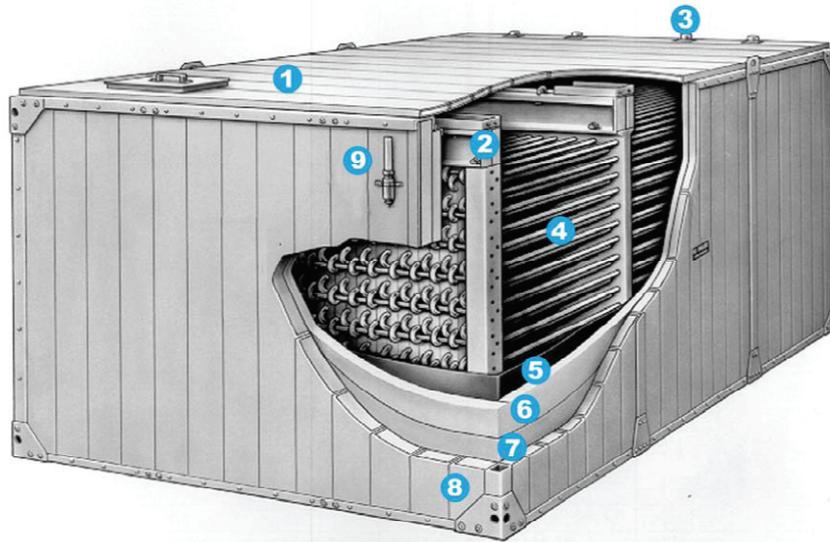


Figura 30. Tanque por acumulación de hielo [BALTIMORE].

En el mercado pueden encontrarse diferentes tecnologías para la acumulación de hielo. Las más comunes para climatización y DHC son las siguientes:

a) Baterías

En este sistema, dentro de un tanque de agua, se dispone una gran cantidad de tuberías de pequeño diámetro por el interior de las cuales circula un fluido frigorífico –por ejemplo, amoníaco o agua glicolada–. Las tuberías pueden ser tanto metálicas como de material plástico, según el fabricante. Asimismo, el tanque de agua puede ser un tanque metálico prefabricado (ver Figura 30) o de obra civil, en hormigón.

Durante la carga del sistema, el fluido por el interior de la tubería circula a temperaturas negativas (hasta $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ o $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$), formándose una capa de hielo en la parte exterior del tubo, dentro del tanque de agua. Este hielo se acumulará para ser utilizado durante el día. En cuanto a la fusión, hay dos posibilidades:

- Fusión externa. El hielo se funde por la circulación de agua a través del tanque. El agua puede llegar a salir del tanque a temperaturas del orden de un grado.
- Fusión interna. El hielo se funde por la circulación de agua glicolada por el interior de las tuberías. No hay circulación de agua por el tanque. Este agua glicolada a su vez enfría el agua del DHC mediante un intercambiador.

b) Bolas de hielo

En un tanque de agua glicolada se dispone de un conjunto de bolas de pequeño diámetro –unos cientos de bolas, en función de la capacidad del sistema–, que contienen un producto para almacenaje de energía térmica. Durante el proceso, por el interior del tanque circula agua glicolada a temperaturas negativas, congelando el producto del interior de las bolas. En el proceso de descarga, por el interior del tanque circula agua glicolada a temperatura positiva, enfriándose por la fusión del interior de las bolas.

Al tener una acumulación basada en el hielo, las temperaturas de distribución de las redes pueden ser bajas, lo que permite un salto térmico más elevado y un menor caudal y, por lo tanto, reducciones en inversiones de tuberías, bombas, válvulas, conductos de aire y fan-coils. Sin embargo, se reduce el COP de la máquina frigorífica dado que debe producir frío a temperaturas inferiores.

- **Acumuladores termoquímicos**

Los acumuladores termoquímicos almacenan energía mediante reacciones físico-químicas como la adsorción. En este documento no se considera su utilización para redes de distrito.

4.6.2.6. *Sistemas de disipación térmica*

En función de los equipos que se utilicen, es necesario el uso de sistemas de refrigeración. Éstos son requeridos en sistemas de sólo calefacción con centrales de generación basadas en turbinas de gas (circuito de aceite) y motores de grandes potencias, máquinas de absorción y enfriadoras eléctricas.

Los diferentes sistemas de refrigeración que se pueden encontrar en el mercado son:

- **Aerorefrigerantes o aeroenfriadoras**

Estos sistemas consisten en disipadores de calor con un radiador y un ventilador. Hay equipos de hasta 2 MW de potencia de disipación. Para potencias mayores se instalan diferentes equipos en paralelo.

Debido a las características de los mismos, el consumo eléctrico de estos aparatos es muy elevado, de forma que la instalación en un sistema de DHC o de climatización sólo tiene sentido en caso de que la disipación no pueda hacerse de otra forma.

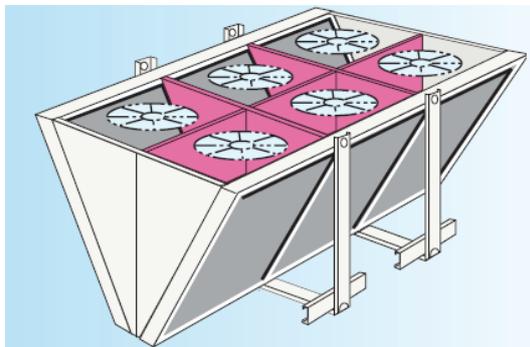


Figura 31. Dibujo de un aerorefrigerante.

- **Torres de refrigeración**

Hay básicamente dos tipos de torres de refrigeración: abiertas o cerradas. La diferencia entre las dos es la tecnología de disipación y los niveles de temperatura. En general, las torres permiten conseguir temperaturas de agua más bajas que los aerorefrigerantes, especialmente en emplazamientos donde hay una diferencia importante entre la temperatura seca y la temperatura húmeda. Además, las torres de refrigeración requieren una menor superficie para su instalación. Por otra parte, consumen agua en su funcionamiento.

En las torres abiertas, la propia agua a refrigerar se pulveriza mediante un sistema de aspersores y se enfría mediante su propia evaporación dentro de un flujo de aire a contracorriente.

En las torres cerradas, el agua a refrigerar circula por la torre dentro de un circuito cerrado. Se dispone de un sistema auxiliar de aspersión de agua sobre los tubos que se enfrían por evaporación del agua del sistema de aspersión. Este tipo de torres no permite conseguir el mismo nivel de temperatura que una torre abierta pero, por otro lado, es adecuado para enfriar circuitos de agua que no pueden ser contaminados con otros elementos –por ejemplo, el circuito de refrigeración de un motor de gas–.

Dentro de un sistema de DHC, las torres de refrigeración funcionan como disipación del calor a evacuar de las máquinas enfriadoras. Para este tipo de sistemas, así como para la disipación de grandes centrales de climatización, se utilizan torres de refrigeración abiertas.

En el momento de la instalación de una torre de refrigeración, debe prestarse atención a la proliferación de la legionelosis pues las temperaturas con las que funcionan las torres son las óptimas para la creación de ésta. La legionelosis se combatirá con un mantenimiento y aditivación adecuados.

La dimensión de las torres de refrigeración se hará en función de la potencia necesaria a disipar. Ésta se calcula en función de la máquina instalada y el nivel de temperaturas con las que trabaje.

En el mercado se encuentran torres híbridas, donde el agua primero se refrigera en una etapa seca –como en un aerorefrigerador– y después de una etapa evaporativa. En condiciones de invierno, es posible refrigerar el agua sólo utilizando la etapa seca, sin consumo de agua. A nivel de ciclo anual, estas torres híbridas pueden presentar un consumo de agua de la mitad del de una torre convencional. De todos modos, dado el elevado coste de inversión de una torre híbrida, su uso se recomienda en instalaciones con un elevado número de horas anuales de operación o en emplazamientos con restricciones de consumo de agua.

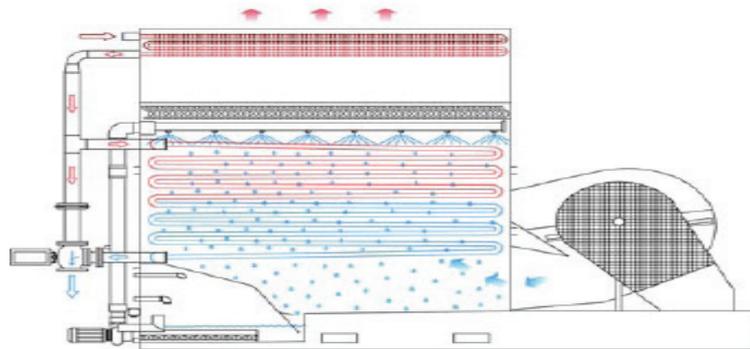


Figura 32. Torre híbrida con funcionamiento húmedo y seco [BALTIMORE].

- **Agua de mar o río**

La utilización de agua de mar o de río para el enfriamiento de máquinas es un método muy utilizado en las centrales de producción de electricidad, en grandes centrales de cogeneración y redes de distrito que funcionan con ciclos en los que, para aumentar la eficiencia del sistema, hay que refrigerar una parte del proceso.

Todo ciclo termodinámico, ya sea para la generación de energía eléctrica como de energía frigorífica, implica la disipación de energía térmica a baja temperatura que no es aprovechable para la producción de agua caliente (normalmente temperaturas inferiores a 45 °C).

En redes de distrito se puede disipar esta energía utilizando agua de mar o de río como foco frío, ya sea de plantas de cogeneración como para la condensación de equipos de refrigeración. Hay un límite de salto térmico definido por la Administración competente en materia de Medio Ambiente y en función del caudal utilizado.

Esta refrigeración se puede realizar utilizando directamente el agua de mar para la refrigeración de un equipo, o bien utilizando un circuito de secundario entre el agua de mar y el equipo a refrigerar. En este segundo caso, la separación de circuitos se realizará mediante intercambiadores. En ambos casos, se debe tener cuidado tanto en la selección de los materiales debido a la acción corrosiva del agua de mar como en los elementos de filtración para evitar la presencia de impropios. Los dos sistemas, directo e indirecto, se pueden encontrar en la central de Districlima en el Fòrum, que usa el agua de mar para disipar el calor de los equipos de refrigeración.

- **Subsuelo**

La refrigeración de los ciclos de producción de calor con el subsuelo se suele hacer en sistemas donde la temperatura no es muy elevada. Esto ocurre sobre todo en sistemas que disponen de máquinas enfriadoras por compresión para generar el frío del DC.

La refrigeración por el subsuelo se puede hacer de dos formas: por el suelo mediante pozos, definido como geotermia, o mediante pozos freáticos.

En caso de hacerse mediante pozos geotérmicos, se diseñarán de forma que la distancia entre los mismos sea la suficiente para disipar el calor necesario sin que el suelo se acabe saturando, así como la profundidad y el diámetro de las sondas.

La otra forma de disipación, mediante pozos de agua, implica que la renovación de la temperatura del suelo debe hacerse constantemente, así como la del agua. Se pretende disponer de dos fuentes de energía: una sería la considerada para disipar la energía, y la segunda para enfriar el circuito. El diseño debe prever a largo plazo que la energía entre los pozos se equilibre, de forma que el pozo que se va calentando ceda energía al pozo que se va enfriando para mantener la estabilidad en el suelo. Un ejemplo de este sistema de refrigeración se puede encontrar en el Tub Verd de Mataró.

4.7. Modelo de explotación técnico de la red

4.7.1. Temperaturas de red

En el caso de redes de distrito de calor DH, la mayoría de los sistemas actuales se basan en agua caliente, aunque algunos sistemas antiguos todavía utilizan vapor.

Las temperaturas de impulsión y retorno varían considerablemente entre diferentes países. En algunos lugares la temperatura de impulsión no excede los 90 °C, mientras que en otros oscila entre 100-130 °C e incluso entre 150-180 °C (países de Europa Central y del Este).

Se observan temperaturas altas, principalmente, en países con tradición de redes de distrito junto a grandes centrales de cogeneración, y temperaturas bajas en países con extensas redes de distribución, necesarias para abarcar comunidades de casas adosadas o similares. La evolución de los sistemas de redes de distrito conduce hacia la disminución de las temperaturas de las redes de distribución.

En los países donde los sistemas de redes de distrito se han incorporado en pequeños municipios se utilizan temperaturas de distribución de 70-80 °C. Este cambio hacia el uso de agua caliente se debe principalmente a las siguientes razones:

- Los sistemas de tuberías son más sencillos y económicos.
- Los movimientos y esfuerzos que deben resistir las tuberías son inferiores.
- Las pérdidas de energía son proporcionales a la temperatura del fluido; por eso el uso de agua caliente comporta el beneficio de una reducción de pérdidas.
- En sistemas de redes de distrito, una reducción de la temperatura implica un aumento de la eficiencia eléctrica en el sistema de cogeneración.
- Se puede utilizar calor residual de procesos industriales a temperatura baja o bombas de calor.

La desventaja principal del uso de agua caliente a baja temperatura es el aumento en el caudal necesario y, por lo tanto, en las dimensiones de las tuberías e intercambiadores de calor o radiadores.

Actualmente, la temperatura de diseño varía más en función del tipo de calefacción a la que va destinada que de las condiciones climáticas del país (influyentes en el momento de calcular las pérdidas de calor que se producen en el transporte).

En los casos en que exista también generación de energía frigorífica, ésta se distribuirá a través de agua alrededor de 5-6 °C. Se pueden encontrar ejemplos de centrales con una producción a 1-2 °C. Este nivel de temperatura se utiliza principalmente en época punta para aumentar temporalmente la capacidad de transporte de la red. Tanto la red como los equipos de frío se diseñarán en función de la temperatura final de distribución.

4.7.2. Optimización del salto térmico

La cantidad de calor y frío utilizado por el sistema centralizado de distrito depende, sobre todo, del diseño y de la configuración de los sistemas internos del edificio, pero también del funcionamiento y de la condición de la subestación. Un buen gradiente de temperaturas del agua utilizada en el sistema del sistema centralizado de distrito en la subestación por los sistemas de calor, o un buen calentamiento para los sistemas de frío, beneficia al consumidor y al suministrador al obtener una dimensión menor de los equipos y, por lo tanto, un menor coste de inversión por ambas partes y también un menor coste de explotación.

4.7.3. Control del funcionamiento de la red

La red de distribución se dimensiona para transportar la máxima demanda de calor/frío que pueda existir en un momento concreto. La red de distribución debe satisfacer una demanda térmica variable al tiempo que ésta es requerida. Por eso debe ser capaz de aportar siempre la energía necesaria. Existen dos formas de controlar la cantidad de energía que la red pone a disposición del grupo de consumidores conectados:

- 1- Variación de la temperatura de impulsión (t_i) y caudal de fluido constante.
- 2- Variación del caudal de fluido (m) y temperatura de impulsión constante.

La operación de una red basándose en caudal constante y la temperatura variable (estrategia 1) presenta las siguientes desventajas:

- La capacidad de reacción de la central de producción hacia las variaciones en la demanda es muy lenta.

- Las frecuentes variaciones en la temperatura de impulsión provocan tensiones acumuladas en la red de distribución, incrementando el riesgo de reventones y fugas en los conductos.

En cambio, estos inconvenientes no aparecen si el modo de operación de la red es el de control de caudal y temperatura de impulsión constante (estrategia 2).

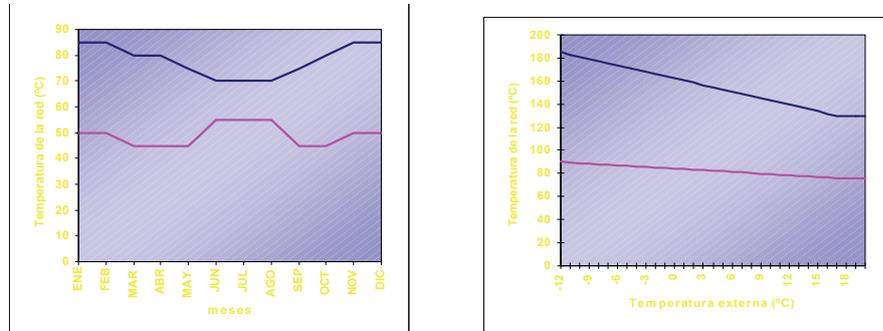


Figura 33. Comparación de un sistema de DH de temperatura de impulsión variable y caudal constante (izquierda) con otro de temperatura de impulsión constante y caudal variable (derecha).

La capacidad de la red y las condiciones de funcionamiento afectan mucho la eficiencia energética y la rentabilidad económica de todo el sistema de redes de distrito.

4.7.4. Fluido de circulación

La calidad del agua en circulación por la red puede afectar al funcionamiento de la misma. Las aguas no tratadas pueden causar problemas de corrosión y/o incrustaciones, reduciendo la sección de paso e incluso llegando a perforar la tubería. Por eso es importante el tratamiento de aguas y el control y la vigilancia de la contribución de agua.

El fluido de circulación para transportar la energía por las tuberías tanto en los sistemas de DH como en los de DC es agua. La capacidad de transferencia que tiene es muy elevada, incrementando así el rendimiento del sistema.

Los valores de calidad del agua para los sistemas de DH y los de DC son muy similares, aunque para los sistemas de DC el mantenimiento es mucho menor y los problemas mucho más reducidos debido a que las temperaturas que se utilizan son inferiores a los 20 °C y, por lo tanto, el riesgo de aparición de corrosión es menor. En ambos casos se produce la aparición de incrustaciones de cal.

En cualquier caso, es recomendable hacer un tratamiento del agua previamente al uso de los sistemas.

Se recomienda realizar el llenado inicial con agua descalcificada para reducir problemas de calcificaciones y de corrosiones producidas por la cal.

Conductividad eléctrica ($\mu\text{m/cm}$)	100 – 1500
pH	9,5 – 10
Oxígeno (mg/l)	< 0,02
Alcalinos (mmol/l)	< 0,02

Tabla 10. Valores aceptados por la calidad del agua de la red [E&PDH 2008].

En el agua de la red de frío debe introducirse biocida para evitar el crecimiento biológico de bacterias que provocarían la corrosión de las tuberías.

4.7.5. Operación y mantenimiento del trazado de la red

El sistema debe estar cerrado a la entrada de aire para prevenir la corrosión. Se puede usar la magnetita como producto anticorrosivo ya que construye una capa superficial homogénea de óxido de elevada resistencia a la corrosión en las superficies metálicas. Pero esta capa protectora sólo se forma en temperaturas superiores de 100 °C.

5. DISEÑO DE LA RED SEGÚN LA DEMANDA DE CALOR Y FRÍO

La implantación de un sistema de red de distrito requiere el estudio detallado de las demandas de calor, frío y ACS, para decidir las agrupaciones óptimas de calor y frío. Esta **caracterización de la demanda** se puede realizar en tres pasos:

- Determinar las demandas de calor y frío del área objeto de la implantación del sistema, a través de un análisis de la distribución urbanística y de las características edificatorias.
- Localizar geográficamente estas demandas para poder realizar un análisis del centro de masas de cargas térmicas.
- Una vez se conoce la distribución de cargas térmicas se decidirá el mejor trazado de la red y la localización de los puntos de bombeo.

A partir del conocimiento de estas características de la red se puede profundizar con más detalle en todos los parámetros que configuran el sistema, como longitud y diámetro de tuberías, especificaciones de detalle de las bombas, cálculo de dilataciones y elementos a instalar para absorberlas, etc. según se requiere en el proyecto ejecutivo de detalle.

5.1. Caracterización de la demanda

La realización de todos los pasos para la caracterización de la demanda de calor y/o frío no es necesaria seguirla en la fase inicial del estudio de previabilidad, pero sí que es absolutamente necesario realizar una buena caracterización de la demanda para las fases posteriores.

RANGO DE DEMANDAS TÉRMICAS SEGÚN LA TIPOLOGÍA DEL EDIFICIO		
Tipología de edificio	Calor (W/m ²)	Frío (W/m ²)
Oficinas	20 – 150	60 – 225
Hoteles	50 – 120	65 – 130
Comercial	50 – 100	80 – 144
Vivienda	75 – 100	0 – 90

Tabla 11. Demandas típicas según tipologías de usuarios.

5.1.1. Factores determinantes de la demanda

El cálculo de la demanda térmica en el diseño de un sistema centralizado de distrito debe tener un nivel de discriminación horario, como mínimo. Este detalle en la caracterización de la demanda se justifica por el elevado número de factores que afectan su valor y que, principalmente, son los siguientes:

- **Climatología:** la climatología de la zona es un factor clave en la determinación de la demanda. La radiación, la temperatura ambiente, la dirección predominante del viento y su intensidad, la humedad... afectarán notablemente en el valor de demanda y en su variabilidad a lo largo del tiempo.
- **Efecto calor de isla urbana:** está científicamente contrastado que las concentraciones urbanas provocan un aumento notable de la temperatura debido a la modificación de la circulación del aire por la forma de las edificaciones, la elevada absorptividad y radiación del asfalto o la disipación de calor de los condensadores de los equipos de aire acondicionado.

- **Estacionalidad de la demanda:** la demanda tiene una variación instantánea afectada por la climatología, el uso del edificio, el comportamiento de las cargas internas y de la inercia térmica, entre otras variables. Esta variación se puede trasladar a un comportamiento marcadamente diferente entre el día y la noche, entre los diferentes meses, entre diferentes estaciones del año. En función de la profundidad del análisis a realizar se valorará el nivel de detalle de los datos a considerar en el estudio. Como mínimo, se considera que es necesario contemplar una precisión a nivel horario de los datos.
- **Tipología de consumos:** los usos de los edificios que serán clientes del sistema centralizado de distrito determinarán significativamente sus características. Por ejemplo, la curva de demanda de un edificio residencial en una ciudad de clima mediterráneo, tendrá una demanda principalmente nocturna con puntas por la noche o por la mañana, de calefacción en invierno y de refrigeración en verano. El valor de demanda será superior durante el fin de semana que entre semana y el perfil se extenderá un número de horas superior. En cambio, si el edificio es un centro comercial, la intensidad de la demanda será elevada en este punto y la distribución a lo largo del tiempo de la demanda de calor o de frío será mucho más homogénea que en el caso residencial. En redes de distrito con muchos edificios residenciales, la presencia de edificios de servicios (centros comerciales, oficinas, hospitales, etc.) contribuyen a amortiguar las puntas en las curvas de consumo y a aportar puntos de mayor demanda. Ambos factores favorecen tanto la operación de la red, ya que la hacen más constante, como la viabilidad económica de la misma.
- **Dispersión de los consumos:** un diseño urbanístico que incorpore criterios de eficiencia energética razonables contemplará variables como, por ejemplo, que el factor de forma minimice los consumos energéticos, o que el sombreado se dé en verano en puntos de elevada carga de refrigeración y se minimice en invierno en puntos de elevada carga de calefacción. La combinación de estos elementos con otros condicionantes geográficos, sociales, económicos o políticos configuran un plan urbanístico determinado y, consecuentemente, una distribución de puntos de consumo y una intensidad energética en cada punto determinada. Cuanto más concentrados estén los puntos de consumo y mayor sea la intensidad energética de éstos, más favorecida se verá la viabilidad de la red. Para mostrar dos ejemplos bien contrastados, en el caso de consumidores residenciales, será más interesante, desde el punto de vista de explotación técnica y económica del sistema centralizado de distrito, tener los consumidores ubicados en torres de pisos concentradas en un área reducida que tener el mismo número de consumidores distribuidos de forma dispersa en un área mucho más extensa. No obstante, hay que contraponer estos criterios a los de eficiencia energética asociados a la minimización de la demanda en el planeamiento urbanístico y edificatorio.

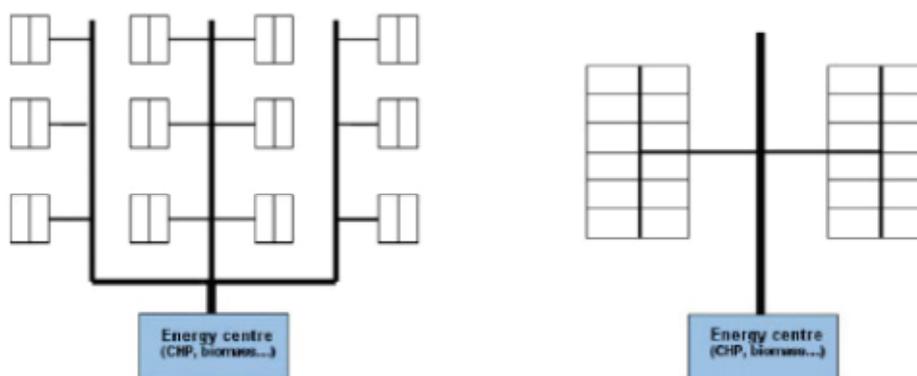


Figura 34. Influencia de la densidad edificatoria en la sistema centralizado de distrito para cierta demanda de calor [CE299].

Es muy importante realizar una simulación a lo largo del tiempo para saber la demanda real, y no sólo el cálculo de máxima demanda para ajustar mejor la dimensión de la red. Conocer el comportamiento de la demanda a lo largo del tiempo permitirá, por un lado, analizar mejor la rentabilidad del proyecto y, por otro lado, optimizar el comportamiento de la red y evaluar la necesidad de instalar acumulación para dimensionar mejor la red de distrito.

- **Factor de simultaneidad:** para diseñar el diámetro de tuberías o conocer el caudal que deberá bombear hay que saber la carga máxima o potencia. Este valor no se puede calcular como la suma de las potencias máximas en cada punto de consumo sino que debe contemplar que los valores máximos no se producirán en momentos simultáneos. Si se hacen los cálculos energéticos en base horaria, ya se detecta contemplado este factor con un margen de error de diseño aceptable. Se puede calcular el factor de simultaneidad para toda la red o para los diferentes tramos.
- **Evolución del parque edificatorio:** debido a que los sistemas centralizados de distrito tienen una vida útil extensa, habrá que prever la evolución del parque edificatorio de la zona de estudio, cuáles serán las características de los edificios futuros y cuándo se irá produciendo su incorporación a la red. Asimismo, aspectos como la legislación prevista en aspectos de mejora de la eficiencia energética afectarán sensiblemente a las condiciones constructivas y, por lo tanto, a la demanda que la red deberá abastecer

5.1.2. Metodología⁴

Un requisito previo para caracterizar la demanda son los archivos climáticos horarios de la zona a analizar, obtenidos a través de registros de datos meteorológicos existentes en bases de datos de varias decenas de años, así como en métodos matemáticos de cálculo que permiten generar años típicos –con valores medios– o extremos. Como referencia de softwares que pueden ser útiles en este aspecto son METONORM 5.0 (2003), PVGIS, los generadores propios de TRNSYS 16.0 o las librerías de DOE2/eQUEST.

Más allá de los ratios, en una simulación detallada de un edificio es necesario definir o disponer de los siguientes datos:

- Usos del edificio y, si es posible, la curva de ocupación del edificio para conocer con la mayor exactitud posible el nivel de ocupación en cada hora.
- Superficie a climatizar del edificio.
- La "piel" del edificio, es decir, materiales y tipos de cerramientos del edificio.
- Nivel de esponjamiento o densidad de edificación del barrio.
- Orientación del edificio.

Existen varias metodologías para tratar la demanda en una combinación de múltiples edificios. Debido a la multiplicidad de factores que le afectan así como a la dimensión horaria de las variables, el análisis requiere métodos computacionales. Varios softwares permiten realizar este análisis, mediante un sólo programa o varios.

A continuación se mencionan algunos de estos softwares, así como sus características básicas:

- *EEP (Energy and Environment Prediction)*. Es una herramienta que cuantifica el consumo energético por zonas. El modelo de cálculo se basa en el número de edificios con una antigüedad determinada. Esta herramienta ha sido utilizada en el diseño de district heatings existentes.

<http://www.cardiff.ac.uk/archi/computermodelling.php>

⁴ Las imágenes que aparecen en esta sección corresponden al *Desarrollo Urbanístico de Chamartín (Madrid)* y han sido cedidas por DUCH, y al *Desarrollo del Barrio de Antóndegui (Donosti)* y han sido cedidas por Juan Ramón Lombera.

- URSOS. Permite visualizar y diseñar gráficamente los diferentes elementos de la urbanización, partiendo del perímetro de la misma hasta insertar los viales, las parcelas y los edificios correspondientes. Los resultados obtenidos incluyen datos sobre las superficies construidas y los consumos energéticos (calefacción y refrigeración mes por mes, resultados en MWh/año, kWh/año/m², kWh/año/número de viviendas y tCO₂/año), tanto totales de la urbanización como agrupados por tipologías o edificios individuales. Finalmente, la herramienta principal del programa es su capacidad para optimizar energéticamente sus elementos. Es posible optimizar tanto la disposición física de los edificios como sus propiedades energéticas. También incorpora el análisis de sombras.

<http://gee.unizar.es/index.php/ursos>

- CitySim+MATSim. Este software está más enfocado a modelizar el flujo de energía entre edificios. Permite integrar el estudio de la energía incluida en los materiales, intercambios de materia y energía entre edificios; contempla el efecto "isla de calor urbana", incluye el efecto del viento entre edificios y la posibilidad de detallar los perfiles de ocupación dentro de los edificios.

<http://www.matsim.org>

A continuación se muestra un ejemplo de una posible metodología para obtener la caracterización de la demanda en un sistema centralizado de distrito. Se propone dividir el proceso en los pasos de la figura adjunta:



Figura 35. Procedimiento para la caracterización de la demanda.

El primer paso es poder disponer de una aplicación que permita tratar los datos geométricos de forma computacional, a partir de los inputs del equipo de urbanistas o arquitectos. Una vez introducidos estos datos, hay que modelizar las tipologías de edificios. Dado que el número de edificios puede ser muy elevado, se agrupan aquellos que pueden tener un comportamiento similar, por forma o por orientación, como se muestra en las figuras adjuntas.

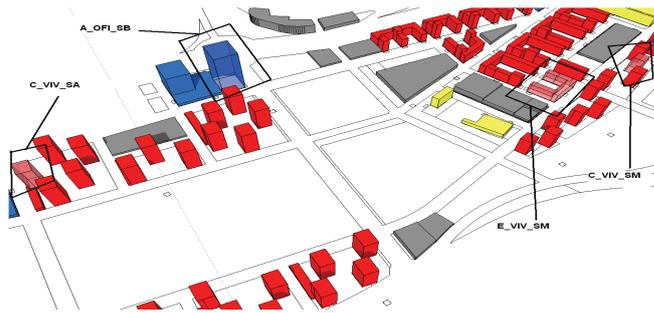


Figura 36. Modelización de una zona de desarrollo urbanístico.

V_BARRA_1			V_BARRA_2			V_TORRE			V_U_1			V_U_2		
FORMA	N.	α	FORMA	N.	α	FORMA	N.	α	FORMA	N.	α	FORMA	N.	α
	3	79°		7	3°		13	349°		15	79°		1	259°
				10	349°		25	12°		5	102°		1	78°

Figura 37. Orientaciones predominantes de las diferentes tipologías edificatorias de una zona urbanizable.

Este análisis es necesario para realizar el cálculo de las sombras entre los edificios. Este valor es relevante en el consumo energético de una zona ya que la radiación solar es uno de los principales responsables del incremento de cargas térmicas en verano o de la reducción en invierno.

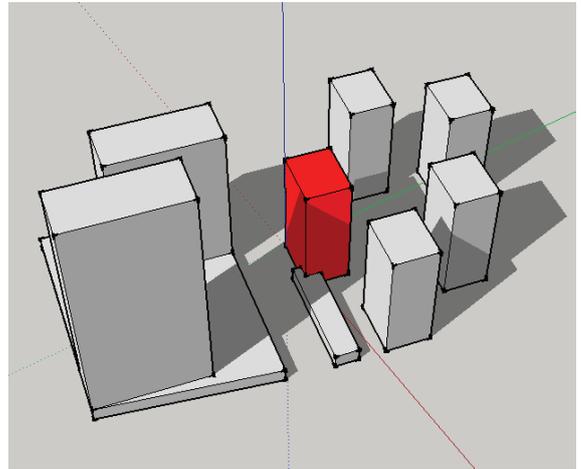
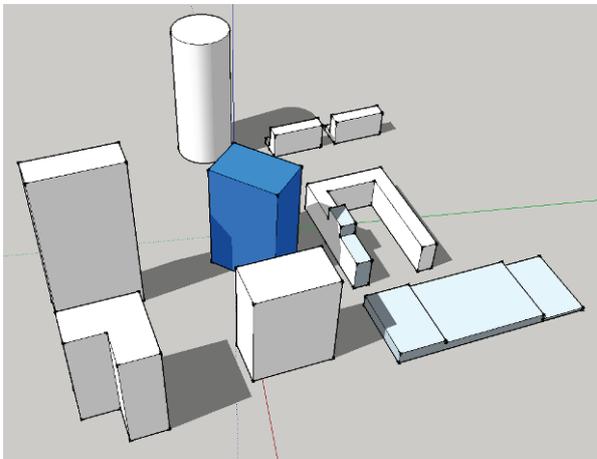
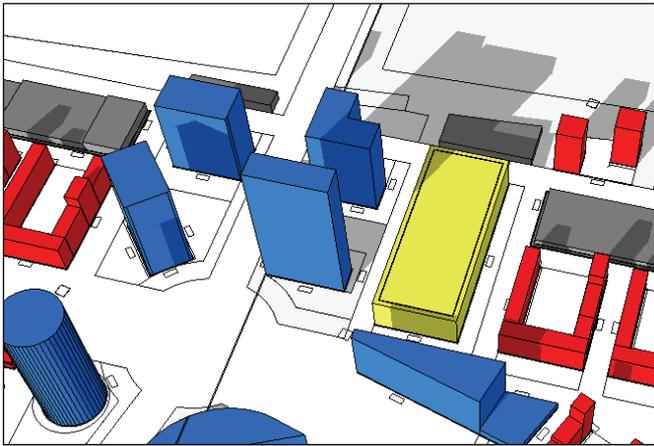
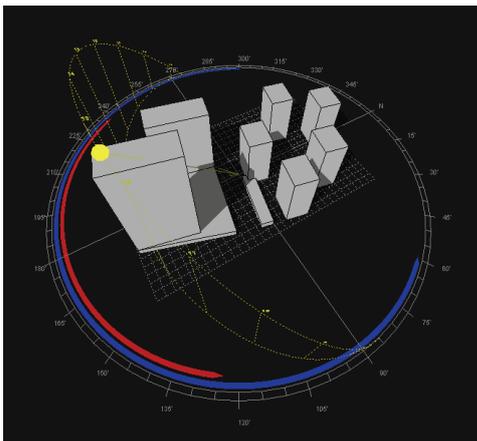


Figura 28. Ejemplo de sombreado entre edificios.



INCIDENT SOLAR RADIATION - Average Daily												Months/Hours (Direct Only)		Wind										
Hour	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	233,824	258,861	480,24	414,167	469,702	388,365	182,828	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	98,180	130,050	258,819	334,827	362,020	416,886	422,600	391,301	307,405	197,803	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0,24026	72,1117	183,187	259,821	318,086	321,62	329,667	328,286	288,796	238,246	83,8356	30,7102	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	11,1707	52,6466	108,408	192,087	218,884	211,848	148,24	108,101	27,0684	4,14096e-05	2,54096e-05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	4,83051	23,8808	62,1764	79,7074	68,0868	48,9007	33,984	5,99037	1,40496e-05	9,07294e-06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 39. Interface y resultados de una aplicación software para cálculo de sombras (derecha: en el eje vertical se muestran las horas del día, en el eje horizontal los meses del año; la variación de la intensidad de colores muestra el valor de radiación en Wh/m² sobre una fachada del edificio).

Los valores obtenidos de sombreado para el modelo urbanístico, considerando cada fachada de las diferentes tipologías de edificios y cada hora del año, se utilizarán en la simulación dinámica del comportamiento energético de los edificios. A tal efecto, es necesario crear un modelo del edificio, que además de las sombras contemplará otros factores como la climatología (radiación, temperatura ambiente, humedad), las infiltraciones de aire, la ventilación, la climatización (valores de consigna y horarios), los valores de ocupación y las ganancias internas. Diferentes softwares permiten realizar los análisis mencionados como, por ejemplo, ECOTECT, TRNSYS 16.0, DOE2/eQUEST o ENERGYPLUS.

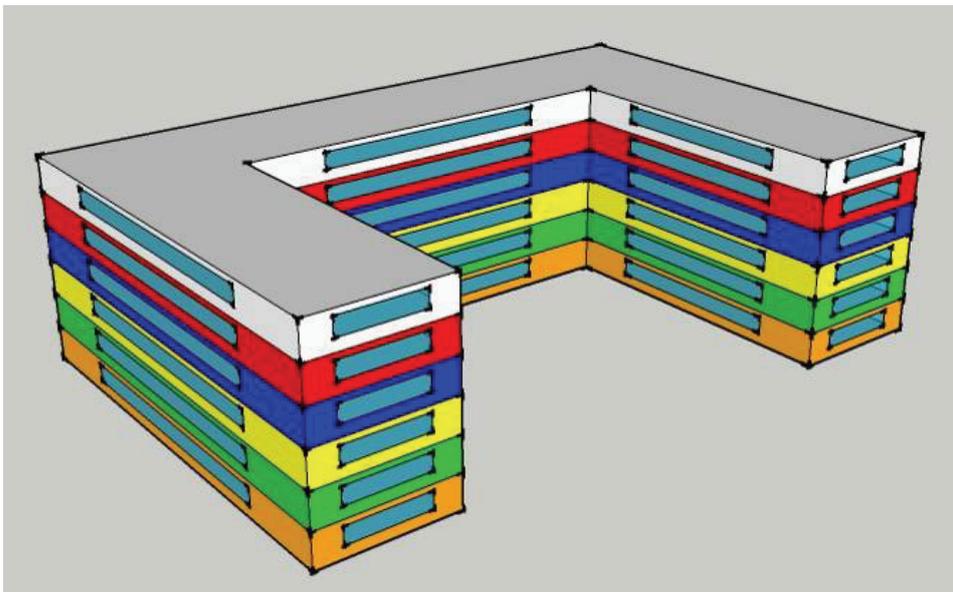


Figura 40. Distribución de zonas en un modelo de edificio para el cálculo del comportamiento energético.

El programa ofrece como salida los valores de cargas de calefacción y refrigeración a nivel temporal (por ejemplo, horario) y los sumatorios de consumo energético anual.

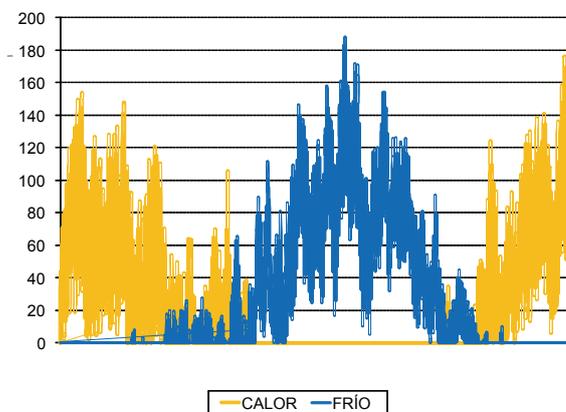


Figura 41. Demanda anual de calefacción y refrigeración para un perfil de funcionamiento correspondiente a un hotel.

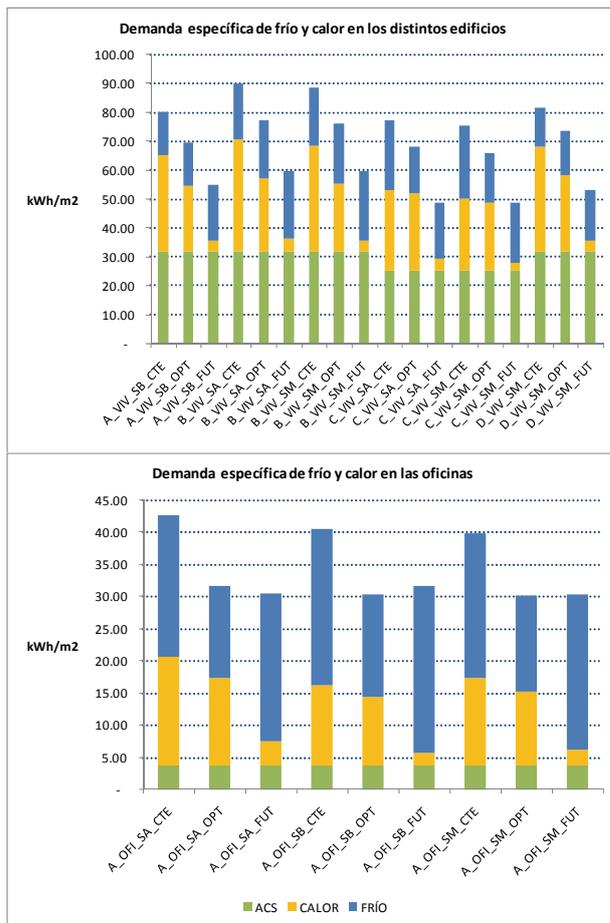


Figura 42. Valores de energía por unidad de superficie en un año, para diferentes modelos de edificios residenciales y de oficinas.

En la primera figura se indican los valores de demanda a nivel horario, que serán necesarios para realizar el diseño detallado en simulaciones. En las figuras de barras se indica el valor acumulado anual de demanda energética separada por usos. Estas gráficas muestran la variabilidad entre diferentes tipologías de edificios. Se ve cómo varía la demanda de calor o de calefacción relativa entre los diferentes edificios. En el caso de una red de distrito, hay que analizar por cada uno de los grupos de edificios existentes cómo se asimila su comportamiento al de los modelos estudiados.

Finalmente, se puede plasmar la información numérica obtenida, de forma gráfica, mediante Softwares de Gestión de la Información (GIS) como, por ejemplo, ArcGIS. Mediante este análisis se podrán visualizar las agrupaciones de demandas en el territorio según estación o mes del año y tipo de demanda (calor o frío). De esta forma, se podrá determinar el centro de gravedad de cargas térmicas para una determinada zona, siendo éste un punto desde donde distribuir los ramales por una determinada zona del sistema centralizado de distrito. El procedimiento de cálculo a partir de esta fase se explica en el apartado siguiente.

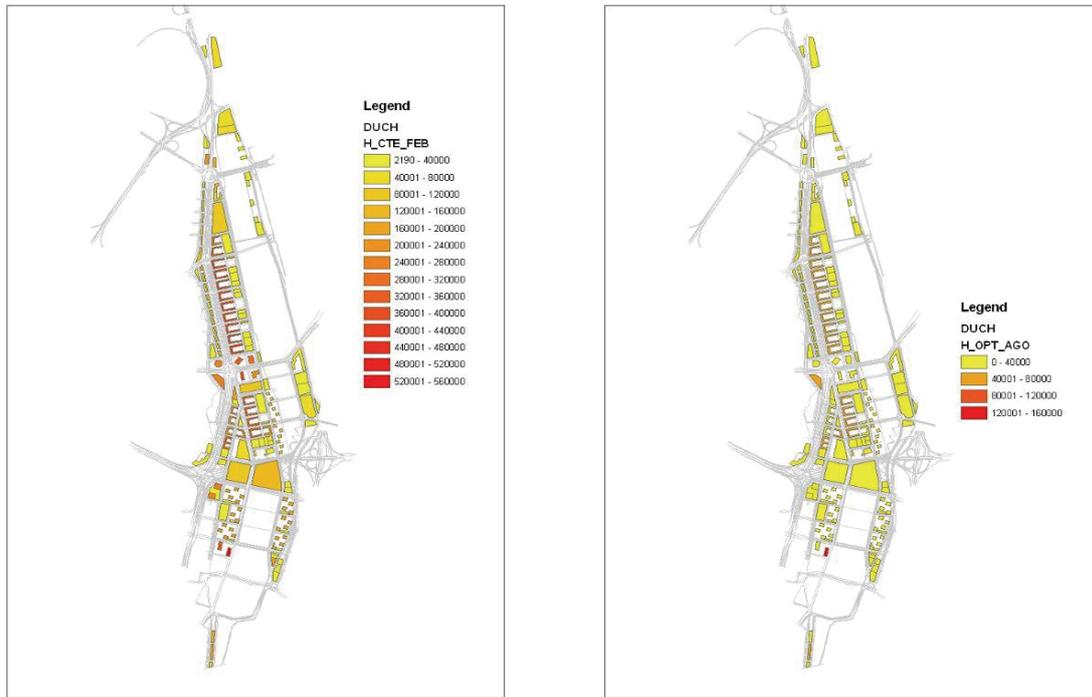


Figura 43. Distribución de la demanda en diferentes áreas de una zona urbanística.

5.2. Factor de simultaneidad

Una vez obtenida la demanda de los diferentes edificios, se pueden agregar las curvas para obtener el valor pico de demanda. Hay que contemplar el factor de simultaneidad entre perfiles idénticos. Si el análisis de demanda ha sido muy disgregado no habrá que considerar este valor, pero en caso contrario, habrá que tener en cuenta el cálculo siguiente:

$$\phi(N) = \phi_{\infty} + \frac{0,3 \cdot (\phi_2 - \phi_{\infty})}{\log_{10} N}$$

ϕ_{∞} : factor de simultaneidad para un número infinito de usuarios (%)

ϕ_2 : factor de simultaneidad para dos usuarios (%)

N : nombre de usuarios conectados

Factor de simultaneidad del consumo de calefacción por gas, en el caso de dos y de infinitos usuarios, de acuerdo con los parámetros estadísticos propuestos por la asociación de gasistas alemanes DVGW.

$$\phi_{\infty} = 88\% \quad \phi_2 = 50\%$$

(Fuente: *Generación Eléctrica Distribuida. Manual de diseño. Gas Natural SDG. 2005*).

5.3. Curva monótona de demanda

La curva monótona de demanda permite hacer un primer dimensionado de la capacidad de los equipos de la central de forma rápida.

Relaciona las horas durante las que se tiene una potencia superior a un valor correspondiente al de la gráfica. Así, por ejemplo, en el caso de la figura adjunta, durante al menos 1.440 horas, la potencia de calor será superior a 60 kW y durante 2.880 horas la potencia superará los 20 kW. Se puede calcular la curva monótona de demanda de calor total, que incluirá la suma de la demanda de calefacción, agua caliente sanitaria y calor necesaria en una enfriadora térmica para producir la refrigeración (refrigeración/COP).

Esta curva permite determinar de manera gráfica y rápida la potencia térmica de un sistema de trigeneración para abastecer la red de distrito. La planta de trigeneración debe operar de forma constante un número mínimo de horas para garantizar la viabilidad económica del proyecto. Se deberá diseñar para cubrir la zona base de la curva monótona de demanda. Las puntas serán abastecidas por calderas o enfriadoras.

En el caso de aplicaciones con calderas o enfriadoras, sin cogeneración, la gráfica sirve para definir estadios de fraccionamiento de la potencia.

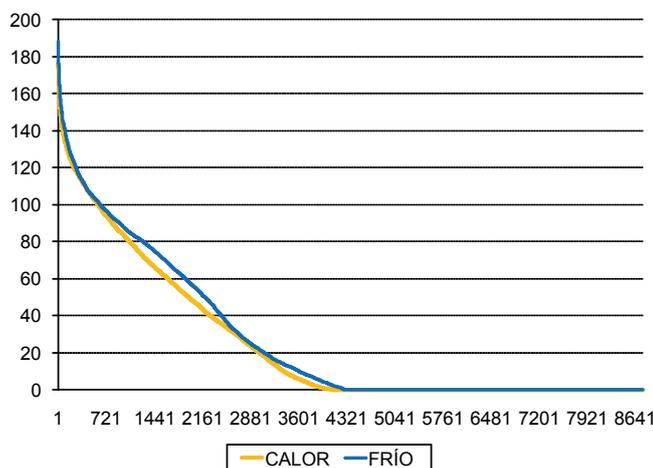


Figura 44. Curva monótona de calefacción y refrigeración para un perfil de funcionamiento correspondiente a un hotel.

5.4. Dimensionado óptimo de la red

El dimensionado de la red deberá contemplar múltiples factores. Se partirá de unas hipótesis sobre los parámetros principales para hacer una primera iteración de cálculo y, posteriormente, se hará un análisis paramétrico variando valores sobre estas hipótesis para determinar el punto óptimo de diseño, tanto técnica como económicamente.

Uno de los posibles softwares que permiten hacer una optimización del diseño de una red de distrito es:

- TERMIS. Software enfocado a realizar un dimensionado en detalle de redes de distrito, así como para simular la operación anual de los sistemas. Incorpora un módulo de análisis de los costes del ciclo de vida del sistema, incluyendo inversión, producción, operación y evolución de la conexión de clientes. Esta aplicación creada en 1986 ha sido utilizada en más de 500 sistemas de redes de distrito en todo el mundo.

<http://www.7t.dk/termis>

Entre los principales parámetros a decidir los más importantes son:

- Temperatura de impulsión: habitualmente se mantiene una temperatura de impulsión constante, que se escoge según los equipos de generación, las distancias de red y los usos finales.
- Salto térmico nominal: es el mismo para todos los usuarios, aunque varía en función de la temperatura de suministro y, en menor medida, de la potencia horaria.
- Caudal máximo: a partir de la demanda de calor y el salto térmico nominal.
- Regulación del suministro de calor o frío: actualmente lo más habitual es realizar una regulación variando el caudal de suministro. Para ello se instalan grupos de bombeo de velocidad variable, que tienen un control que mantiene una diferencia de presión constante en el consumidor más alejado de la central de generación. De esta manera, se garantiza una caída de presión superior en el resto de usuarios, necesaria para regular adecuadamente el suministro de las estaciones de conexión⁵.

Parámetros técnicos	DH	DC
Temperatura de impulsión	80 °C	5 °C
Salto térmico	35 K	8 K
Temperatura ambiente	5 °C	33 °C
Presión de control	75 kPa	75 kPa
Presión de retorno	150 kPa(a)	150 kPa(a)
Criterio de dimensionado	100 Pa/m	100 Pa/m
Criterio dimensionado subestaciones	250 Pa/m	250 Pa/m

Tabla 12. Ejemplo de valores para parámetros técnicos relevantes de diseño y simulación de redes de DH/DHC⁶

Del análisis se deberán obtener los siguientes resultados:

- Características de los grupos de bombeo: número de bombas, capacidad, curva característica de operación y distribución en la central o en las estaciones intermedias de la red.
- Características de las tuberías: diámetros, longitud y gruesos de aislamiento.
- Trazado de la red de tuberías: en principio, una red lineal será más económica que una red mallada, aunque ésta ofrecerá una mejor garantía de servicio, ya que todos los puntos podrán suministrarse por diferentes caminos.
- Balance energético: pérdidas energéticas, calor útil dado, consumo de combustibles y electricidad para operación y bombeo.
- Balance económico: inversiones realizadas en función de las características de diseño, costes energéticos asociados a las pérdidas de calor y de frío (combustible) y a la carga hidráulica (electricidad).

La determinación de los valores óptimos será el resultado de contraponer diferentes criterios energéticos, ambientales y económicos, así como las restricciones técnicas propias del entorno o del clima del lugar del proyecto.

⁵ [GN, 2005]

⁶ [GN, 2005]

6. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

En este capítulo se desarrollarán los aspectos relativos a las obras de construcción, especialmente los correspondientes a las obras de la red de frío y calor. Ésta presenta una especificidad muy elevada en cuanto a la propia singularidad de estos proyectos y de los materiales utilizados.

6.1. Programación de las obras

En esta sección se define una hoja de ruta con las principales actividades propias de la realización de obras de una red urbana de frío y calor, así como de la construcción de una central de producción. Esta lista debe considerarse orientativa y deberá adaptarse a las necesidades de cada proyecto concreto.

Se ha preparado un listado de actividades, ordenadas cronológicamente, para los siguientes proyectos tipo:

- Tendido de red en área urbana.
- Central de producción de energía.

En el listado cronológico no se han detallado las diferentes actividades que tienen lugar a lo largo de todo el proyecto. Entre las mismas se pueden destacar:

- Dirección/gestión del proyecto.
- Organización y supervisión de las obras.
- Plan de aseguramiento de la calidad.
- Control medioambiental.
- Seguridad y salud laboral.
- Control de costes.
- Control de la planificación.

En las diferentes actividades no se incluye una estimación de la duración de las mismas debido a que ésta depende, en gran medida, de las condiciones propias de cada proyecto. A título orientativo, y a nivel global, se pueden dar las siguientes duraciones aproximadas:

- Tendido de red en área urbana. Desde la finalización del proyecto básico hasta la puesta en servicio de una red de 4 km se puede hablar de entre 18 y 24 meses.
- Central de producción de energía. Desde la finalización del proyecto básico hasta la puesta en servicio de una central de producción completa (con obra civil) se puede hablar de entre 18 y 30 meses.

6.1.1. Tendido de red en área urbana

El tendido de red en área urbana es, en general, complejo debido a la multitud de servicios que se encuentran en el subsuelo del área urbana.

Las actividades a tener en cuenta son las siguientes:

- Proyecto de urbanización aprobado y coherente con la previsión de desarrollo de la red.
- Proyecto constructivo. Debe incluir, entre otros conceptos, la siguiente información:
 - Planta de definición del trazado, especificando todos los componentes de la red.
 - Perfil longitudinal, especificando con cotas los fondos de la zanja y los elementos singulares de la red.
 - Perfiles transversales de los puntos singulares y de aquellos donde se cambie la alineación de los tubos, ya sea en planta o en alzado.
 - Posición de registros.

- La planificación se debe ligar a la conexión de los clientes, sino habrá que utilizar equipos de generación móviles con su coste asociado.
- Obtención de licencias y permisos. Se trata, principalmente, de los permisos de instalación de redes de distribución.
- Gestión de la contratación.
 - Preparación de especificaciones de compra de los diferentes paquetes, o bien, de la planta "llave en mano":
 - Tubería de red.
 - Obra civil.
 - Preparación de las especificaciones técnicas de compra.
 - Preparación de las bases de la oferta.
 - Licitación.
 - Estudio de las ofertas.
 - Negociación y contratación.
 - Adjudicación.
- Ejecución de los trabajos de red.
 - Apertura de las zanjas correspondientes con el fin de que la otra parte pueda incluir sus infraestructuras.
 - Entibado y mantenimiento de las zanjas.
 - Entibado de servicios.
 - Coordinación para el desvío de servicios.
 - Realización de la obra mecánica y del relleno de arena alrededor de los tubos.
 - Ejecución de las arquetas para descargas y purgas, así como la reposición de aquellas que haya sido necesario demoler para la realización de las zanjas.
 - Ejecución de los puntos fijos.
 - Supervisión de la instalación de toda la obra mecánica.
 - Limpieza y pruebas de las tuberías. Es muy importante realizar una limpieza y pasivación adecuada de las tuberías de red, tanto para evitar la presencia de impropios como para darle una protección contra la corrosión. Las acciones a realizar son:
 - Limpieza mecánica según el sistema de torpedo mediante aire, agua o mediante cable.
 - Limpieza química, incluyendo una recirculación de agua para la limpieza y una pasivación posterior.
 - Puesta en servicio del tramo de red.
 - Relleno con arena hasta la cota correspondiente a las características especificadas; se procederá al tapado y pavimentación de la zona.
- Inicio de la explotación comercial.

6.1.2. Central de producción de energías

Las actividades a tener cuenta en el proyecto de la central de energías son las siguientes:

- Ingeniería básica de la central.
 - Obra civil.
 - Equipos e instalaciones, con definición de los equipos principales.
- Proyectos administrativos y solicitud de licencias.
 - Certificado de compatibilidad urbanística.
 - Licencia ambiental.
 - Licencia de obras.

- Solicitud de acometidas de los servicios: agua, electricidad y gas.
- Ingeniería de detalle.
 - Especificaciones técnicas de equipos principales.
 - Especificaciones técnicas de instalaciones.
 - Especificaciones técnicas de obra civil.
- Gestión de la contratación.
 - Preparación de especificaciones de compra de los diferentes paquetes, o bien, de la planta “llave en mano”:
 - Equipos principales.
 - Instalaciones.
 - Obra civil.
 - Preparación de las especificaciones técnicas de compra.
 - Preparación de las bases de la oferta.
 - Licitación.
 - Estudio de las ofertas.
 - Negociación y contratación.
 - Adjudicación.
- Ejecución de las obras
 - Obra civil
 - Implantación y replanteo.
 - Movimiento de tierras.
 - Cimientos.
 - Estructura.
 - Cerramientos y fachadas.
 - Cubiertas.
 - Aislamientos e impermeabilización.
 - Acabados.
 - Instalaciones y equipos principales.
 - Fabricación y acopio.
 - Asentamiento en obra.
 - Llegada de equipos.
 - Montaje.
- Puesta en marcha y puesta en servicio.
 - Puesta en marcha de las diferentes instalaciones.
 - Pruebas de prestaciones, nivel sonoro, etc.
 - Certificados final de obra.
 - Recepción.
- Inicio de la explotación comercial.

6.2. Equipo de trabajo, recursos humanos

La organización interna del equipo de trabajo para la realización de un proyecto de redes dependerá de las necesidades propias de cada proyecto. Se incluye una propuesta de organigrama general para la realización de proyectos de redes.

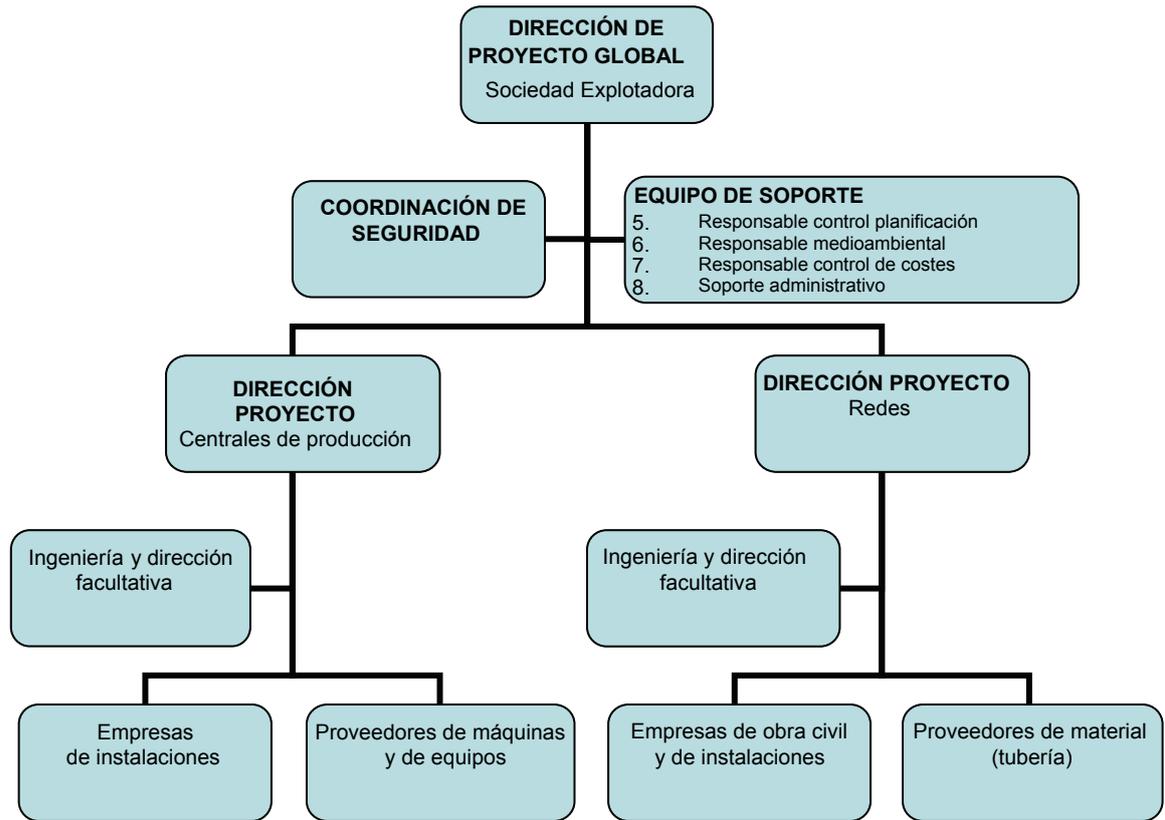


Figura 45. Esquema de un equipo de trabajo para la realización de un DHC.

7. CARACTERÍSTICAS ECONÓMICAS

7.1. Introducción

En este capítulo se darán los criterios para la estructuración del ámbito económico, tanto de los estudios de viabilidad como para el período de explotación posterior del sistema. Se definirán específicamente la estructura de la inversión necesaria, detallando las partidas que deben considerarse, y la estructura de precios de venta y de costes.

Queremos destacar que, dado el amplio ámbito de aplicación de las redes urbanas y el elevado número de alternativas técnicas posibles, es difícil determinar valores concretos para todo el abanico de parámetros e indicadores económicos de este tipo de proyectos. Allí donde sea representativo, se facilitarán indicadores y/o ratios de precios, coherentes con la realidad del mercado. Como ya se ha dicho, se definirá una estructura modelo de costes de inversión, de costes de explotación y de precios de venta que permitirá a un usuario experto la estimación inicial de los valores deseados en aquellos casos donde no sea posible definir valores concretos, bien por la singularidad propia del tipo de proyecto, o bien porque los valores disponibles no presenten la necesaria homogeneidad.

Todos estos parámetros permitirán definir la estructura de precios del servicio de acuerdo con los costes previstos de explotación. Asimismo, se destaca la necesidad de que parte de la inversión sea asumida, inicialmente, por la Administración en proyectos de un cierto volumen. Esta última podrá recuperar la inversión a partir del cobro de unas cuotas o de un canon.

7.2. Estructura del detalle de la inversión

La inversión para la realización de una red de distrito se divide, principalmente, en tres grandes partes:

- Centrales de producción. Es necesaria la compra de los equipos para la producción de calor y frío, equipos de acumulación de frío, equipos auxiliares y obra civil.
- Red de distribución, que incluye como partidas más importantes el suministro y montaje de las tuberías y la obra civil para la ejecución de galerías, zanjas y posterior urbanización.
- Subestaciones de todos los usuarios.

Además, hay que prever los costes de estructura (costes de ingeniería, financieros, seguros...) y los posibles imprevistos.

7.2.1. Centrales de producción

A partir del diagrama de proceso y de la definición de equipos principales se obtendrá el valor de inversión en equipos principales. La ingeniería solicitará ofertas a diferentes proveedores de los equipos, o bien utilizará su base propia de datos.

Para una central de producción de calor y frío los equipos principales que se podrían considerar son:

- Producción de calor:
 - Calderas a gas natural.
 - Calderas con biomasa u otros combustibles.
 - Sistemas de energía renovables, por ejemplo, paneles solares.
 - Intercambiadores de calor entre una fuente residual y la red de calor.
- Producción de frío:
 - Intercambiadores de calor.
 - Máquinas enfriadoras eléctricas.
 - Máquinas enfriadoras de absorción.
 - Sistemas de bombeo de agua fluvial o marina para la refrigeración de los equipos.

- Torres de refrigeración, si fueran necesarias.
- Equipos de acumulación de frío:
 - Acumulación de energía sensible: depósitos de agua fría, con estratificación por temperaturas.
 - Acumulación de energía latente: almacenaje de hielo.
- Equipos y sistemas auxiliares:
 - Electricidad Alta Tensión + Baja Tensión.
 - Acometida de gas natural.
 - Grupo electrógeno.
 - Tratamiento de agua.
 - Ventilación.
 - Sistema de control.
 - Contraincendios.
 - Otros auxiliares.

A continuación se presentan, a modo de ejemplo, los costes de cuatro de los equipos principales de una central de producción de calor y frío:

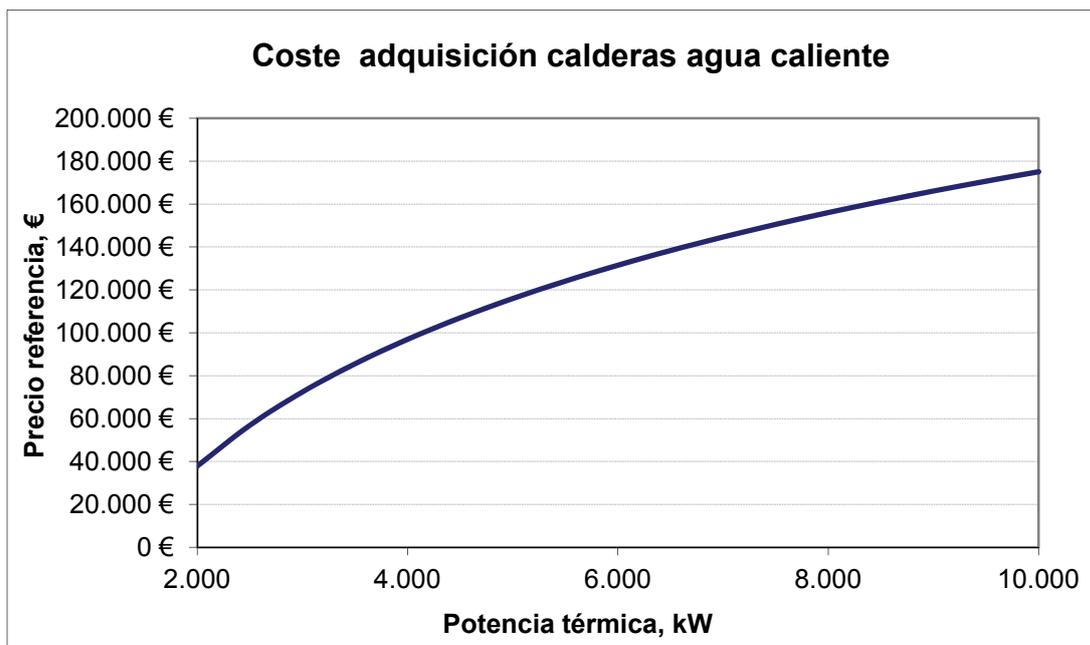


Figura 46. Coste de adquisición de las calderas de agua caliente, euros corrientes 2009 [DISTRICLIMA INTERNO].

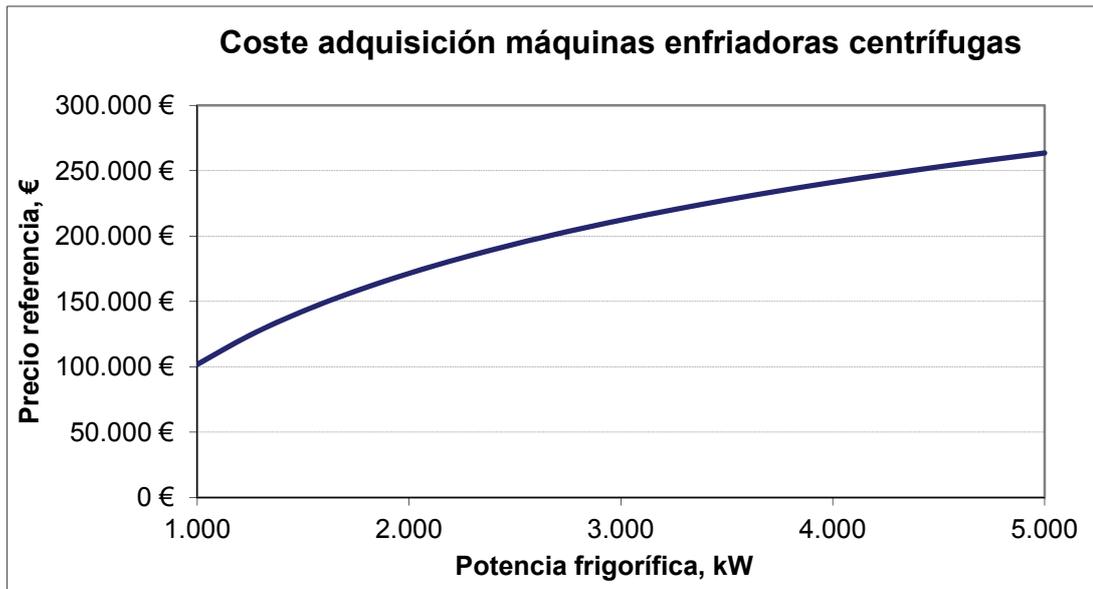


Figura 47. Coste de adquisición de las máquinas enfriadoras centrífugas, euros corrientes 2009 [DISTRICLIMA INTERNO].

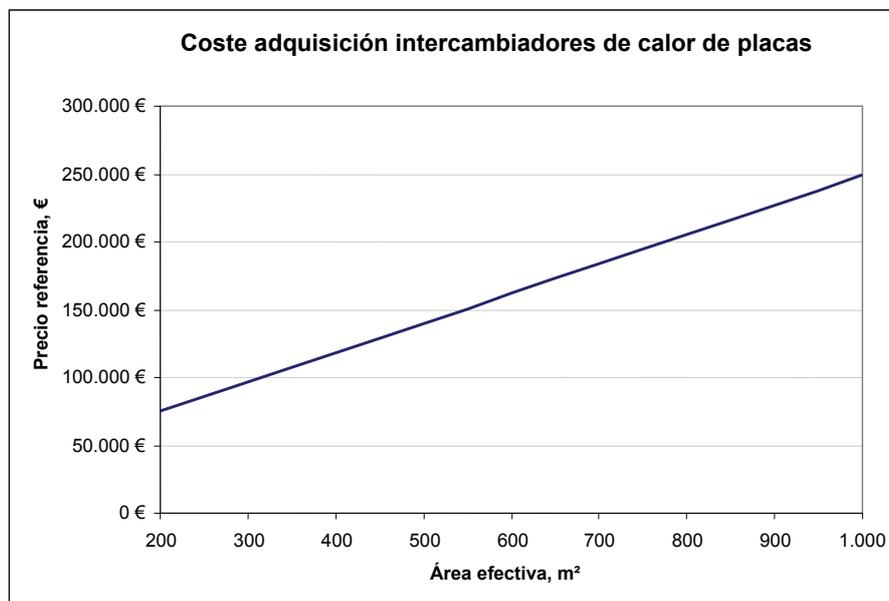


Figura 48. Coste adquisición intercambiadores de placas, euros corrientes 2009 [DISTRICLIMA INTERNO].

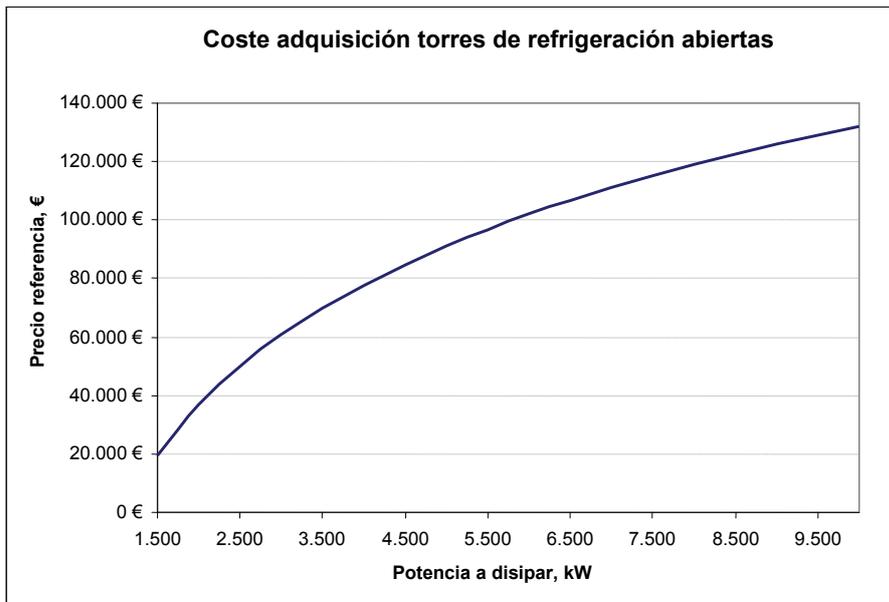


Figura 49. Coste adquisición torres de refrigeración abiertas, euros corrientes 2009 [DISTRICLIMA INTERNO].

A nivel de coste de inversión, los sistemas de acumulación de energía sensible (depósitos de agua fría) corresponden principalmente al coste de obra civil asociada. Por lo tanto, esta inversión deberá considerarse dentro de la partida de obra civil.

En cuanto a los sistemas de acumulación de energía latente (hielo), en el mercado se pueden encontrar diferentes tecnologías con diferentes prestaciones, modo de operación y alcance de suministro del fabricante. Dada su elevada especificidad, no se pueden tratar directamente por ratios.

Todos los costes de inversión indicados hasta aquí corresponden al coste de compra de los equipos principales. En este nivel de detalle, los costes de instalación (emplazamiento, tuberías, etc.) y de los sistemas auxiliares se suelen obtener por ratios o por referencias de proyectos anteriores.

- **Obra civil**

El coste de inversión de obra civil corresponde al edificio de la central de producción de energías, así como a los posibles depósitos para acumulación de energía (depósitos de agua fría o de hielo), captaciones de agua fluvial o marina. Se incluyen los costes desde el inicio de los trabajos de excavación hasta la finalización del edificio. Para la valoración de la obra civil existen cuadros de precios de solvencia reconocida como, por ejemplo, cuadros del ITEC.

7.2.2. Red de distribución

Las partidas principales a considerar en la red de distribución son las siguientes:

- Material: tuberías y accesorios (codos, válvulas, etc.).
- Montaje de las tuberías.
- Obra Civil: ejecución de galerías y/o zanjas y la posterior urbanización del vial.

Otros componentes a tener en cuenta serían:

- Seguridad y prevención.

- Señalización y desvíos.
- Limpieza y pasivación de la red.

Alternativamente a las partidas anteriores, la inversión de red también se puede desglosar de acuerdo con las siguientes partidas:

- Troncal: red principal con origen en la/s central/es de producción y que cruza todo el ámbito de actuación.
- Ramales o antenas: con origen en la troncal y que alimentan un sector o grupo de edificios determinados.
- Acometida: con origen en un ramal o la misma troncal para alimentar un edificio en concreto.
- Puntos especiales: tramos de especial dificultad como, por ejemplo, hincas y/o cruce de vías principales, pozos, etc. Se pondrá especial atención a este punto.

La evaluación de los costes de tendido de red es muy compleja. Depende de muchos factores, como el diámetro de tubería, la complejidad del trazado, la ocupación del subsuelo por otros servicios, etc. Como primera aproximación se puede considerar un ratio por metro de trazado de entre 1.500 €/m y 3.500 €/m (euros corrientes 2009), en función de si son dos o cuatro tuberías y sin considerar obras especiales.

7.2.3. Subestaciones

Las subestaciones son el punto de intercambio de energía calorífica y/o frigorífica entre la red y los usuarios. Los costes de inversión a considerar son:

- Intercambiadores de calor y/o frío.
- Sistema de control y/o medida.
- Parte proporcional de tuberías, válvulas y accesorios.

Como valoración preliminar se pueden utilizar los datos de la Figura 50.

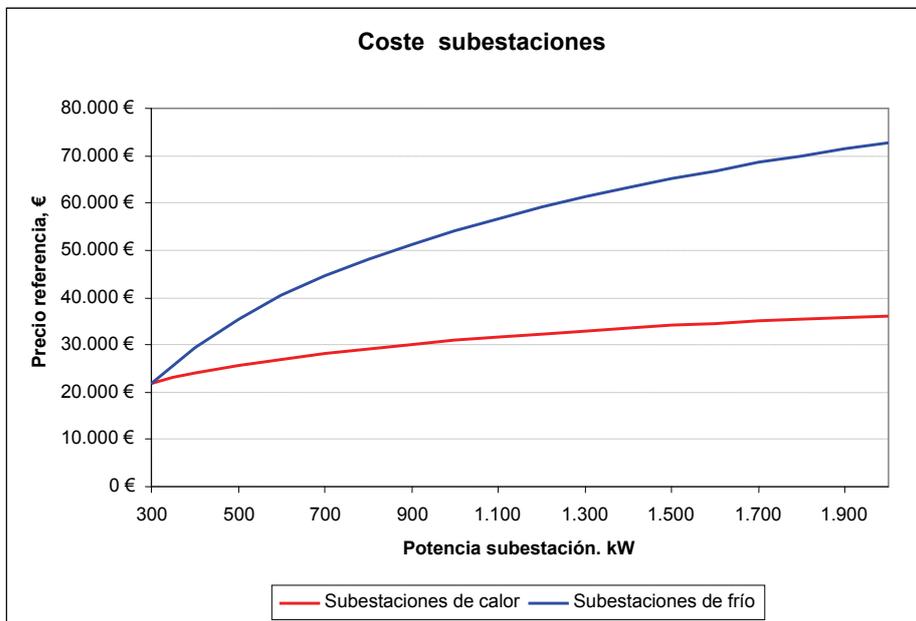


Figura 50. Coste subestaciones calor y frío, euros corrientes 2009 [DISTRICLIMA INTERNO].

7.2.3.1. Subtotal inversión física

El sumatorio de los valores de inversión de las partidas principales (centrales, red de distribución y subestaciones) y sus sistemas auxiliares constituye la **inversión física**. Se puede asociar a lo que se conoce como coste del sistema "llave en mano".

7.2.3.2. Costes de estructura

Todo proyecto incurre en costes no incluidos por conceptos de instalación física. Corresponden a los costes de estructura de la empresa que promueve el proyecto que, en el caso del DHC, sería la empresa concesionaria. Los principales costes de estructura a considerar pueden resumirse en los siguientes:

- Ingeniería: supone el coste para contratar una ingeniería especializada o los costes internos de ingeniería del Adjudicatario. Se puede considerar entre un 5% y un 10% del coste total de inversión física.
- Seguimiento: corresponde al seguimiento del proyecto y gestión del mismo por parte del Adjudicatario. Se puede considerar entre un 2% y un 5% del coste total de la inversión física. Es un coste interno del adjudicatario.
- Financieros: derivados de las necesidades de financiación de la obra. Este coste es activable como parte de la inversión.
- Seguros: se considerarán tanto los seguros obligatorios como los potestativos como, por ejemplo, el de responsabilidad civil (RC) o el de todo riesgo de obra (TRO).
- Impuestos y/o tasas de la Administración: se deben considerar los impuestos de construcción, los de licencias –tales como el de actividad– y el de obra.

7.2.3.3. Imprevistos

Los imprevistos se pueden valorar con respecto al importe total de la inversión física o por separado en cada una de las partidas principales (centrales, red de distribución y subestaciones). Si se calculan sobre el coste total su aplicación es más simple. Por otra parte, cada una de las partidas principales presenta una complejidad diferente y, por lo tanto, un diferente grado de incertidumbre. Por ejemplo, un trazado de red en zona urbana existente presenta un nivel de imprevistos mucho más elevado que la ejecución de una subestación. Si los imprevistos se aplican a cada una de las partidas principales, se consigue un mejor ajuste del global de la inversión. En ningún caso se aplicarán simultáneamente imprevistos por partidas principales y por el total de la inversión física.

El nivel de imprevistos a considerar para cada partida principal puede oscilar entre el 5% y el 20%, dependiendo del nivel de complejidad de la obra y del nivel de detalle alcanzado en la ingeniería del proyecto.

7.2.3.4. Resumen inversión

Como resumen se incluye un desglose tipo de la inversión total. Esta tabla está sujeta a las particularidades de cada proyecto.

	Importe de la inversión (€)	Porcentaje (%)
Inversión física		
Central/es de producción		
Producción de calor		
Producción de frío		
Acumulación de frío		
Sistema eléctrico		
Auxiliares		
Obra civil		
Red de distribución		
Troncal		
Ramales		
Acometidas		
Puntos especiales		
Subestaciones		
Subtotal inversión física		100%
Costes estructura		% sobre inversión física
Ingeniería		% sobre inversión física
Seguimiento		% sobre inversión física
Financieros		% sobre inversión física
Seguros		% sobre inversión física
Subtotal estructura		% sobre inversión física
Imprevistos		% sobre inversión física
INVERSIÓN TOTAL		

Tabla 13. Tabla resumen de la inversión.

7.3. Detalle de la financiación

7.3.1. Inversión pública

Tal como se ha indicado en otros apartados de esta Guía, las inversiones a realizar por el Adjudicatario suelen realizarse mucho antes de que se inicie el período de explotación comercial. Habitualmente se da la situación de que, en el momento de acometer la mayor parte de la inversión, el número de clientes inicial sea reducido respecto al total previsto. En consecuencia, el volumen de negocio generado puede ser insuficiente para empezar a rentabilizar las inversiones realizadas. Estos escenarios suelen crear de inicio elevadas tensiones financieras al Adjudicatario, haciendo menos atractivo el proyecto a los inversores privados o incluso resultando la inviabilidad económica del proyecto. Es por ello que, normalmente, es necesaria una decidida participación de la Administración para facilitar la realización de los proyectos de este tipo.

En la práctica, la obra civil de las centrales se realiza en el momento inicial, independientemente del número de clientes conectados y de la maquinaria a instalar.

Para superar estos escenarios, donde la inversión inicial no se puede temporizar al mismo ritmo que la conexión de los clientes, la Administración podrá realizar aportaciones económicas para que el proyecto resulte más atractivo para los promotores privados. Hay cuatro vías principales:

- Participaciones en el accionariado de la sociedad explotadora.
- Créditos blandos.
- Subvenciones.
- Inversiones directas a recuperar mediante cánones y tasas.

La primera posibilidad, compatible con las demás, es la posible participación de la Administración en el accionariado de la sociedad explotadora.

En el tercer caso, la Administración realiza una aportación económica al proyecto en forma de subvención. Para obtener esta subvención, el proyecto debería poder considerarse elegible en función de algún concepto relacionado como, por ejemplo, la mejora de la eficiencia energética global.

Otra posibilidad es que la Administración realice inversiones directas en el proyecto, asumiendo alguna partida específica del proyecto como, por ejemplo, la red de distribución o la obra civil de la central de producción. Estas instalaciones serían cedidas en uso a la sociedad explotadora. Para compensar a la Administración la inversión realizada, se puede establecer un sistema de cuotas, o canon, de uso. Este pago se puede vincular a la facturación de calor y frío de la red, con una escala de progresividad. De esta manera, las fases iniciales del proyecto se verán menos afectadas por el retraso en la conexión de los clientes.

Otra posibilidad es elaborar convenios para la realización conjunta, Administración y Adjudicatario, de las obras de urbanización aprovechando las sinergias derivadas de la construcción de la red de distribución.

Adicionalmente, a nivel legislativo, la Administración podrá aprobar medidas que promuevan los proyectos de redes de calor y frío, como primas a la producción eficiente o bonificaciones por la reducción de las emisiones de CO₂.

Todas estas vías de inversión pública permiten mostrar el apoyo de las diferentes Administraciones para los sistemas de calefacción y refrigeración de distrito.

7.3.2. Inversión privada

En los proyectos de sistemas centralizados de distrito la parte más importante de la inversión total suele ser asumida por los promotores privados. Para estos proyectos se requiere una visión estratégica a largo plazo, lo que reduce el número de potenciales empresas promotoras. Aparte de que las empresas busquen un valor de rentabilidad económica mínimo, relacionado con el coste de capital de la empresa, también entran en juego otras consideraciones empresariales relacionadas con la misión y la visión de la misma y con sus objetivos (liderazgo en el sector, objetivos en el ámbito de la eficiencia energética, etc.).

7.3.3. Tabla resumen de inversión

La estructura de inversión de los proyectos de redes de distrito es compleja. Dependiendo de los condicionantes del proyecto, determinadas partes del mismo pueden ser asumidas por la Administración o por el Adjudicatario, o incluso por el usuario final. Asimismo, que uno de los actores asuma un capítulo de la inversión no quiere decir que este actor realice este capítulo de obra.

Se propone incluir en el pliego un cuadro guía donde se indiquen los diferentes capítulos de inversión y de obra, así como quién asume cada parte. Este reparto es propio de cada proyecto y será uno de los resultados del estudio de viabilidad detallado. En la tabla se incluye un ejemplo, que no corresponde a ningún proyecto real ni a ninguna propuesta concreta, y que sólo debe tomarse como orientación ya que el reparto de las partidas puede cambiar dependiendo de cada caso.

	Inversión M €	Realiza obra			Asume la inversión		
		SE	ADM	Us	SE	ADM	Us
Inversión física							
Central/es de producción							
Producción de calor		X	-	-	X	-	-
Producción de frío		X	-	-	X	-	-
Acumulación de frío		X	-	-	X	-	-
Sistema eléctrico		X	-	-	X	-	-
Auxiliares		X	-	-	X	-	-
Obra civil		-	X	-	-	X	-
Red de distribución							
Troncal		-	X	-	-	X	-
Ramales		X	-	-	X	-	-
Acometidas		-	X	-	-	-	X
Puntos especiales		-	X	-	X	X	-
Subestaciones		-	-	X	-	-	X
Subtotal inversión física							
Costes estructura							
Ingeniería		X	-	-	X	-	-
Seguimiento		X	-	-	X	-	-
Financieros		X	-	-	X	-	-
Seguros		X	-	-	X	-	-
Subtotal estructura							
Imprevistos							
INVERSIÓN TOTAL							

Tabla 14. Ejemplo de tabla de posible reparto de responsabilidades e inversiones.

SE: sociedad explotadora
ADM: Administración
Us: usuario

7.4. Estructura de los precios de venta

En la presente sección se describe la estructura de precios de venta y se incluyen diferentes consideraciones de los mismos. Como preámbulo se quieren destacar dos aspectos:

- a) El pliego de condiciones del concurso debe definir qué tipo de precios o tarifas serán necesarios. Una vez iniciado el servicio, o la concesión, será difícil incluir nuevas tarifas o consideraciones especiales de precios.

b) Los principios de fijación de precios. Desde el punto de vista económico, los precios de venta del servicio vienen condicionados por dos aspectos:

- Desde el punto de vista del usuario: los costes de la solución convencional. Si no están presentes los condicionantes adicionales –por ejemplo medioambientales, normativos, etc.– entonces el coste de la solución convencional será la referencia para el usuario. Dentro de los costes de la situación convencional se pueden considerar los siguientes:
 - Inversión de maquinaria (calderas, bombas de calor o enfriadoras...).
 - Costes de energía de la solución convencional, incluyendo la parte proporcional del coste fijo de electricidad y de gas (debe tenerse en cuenta la eficiencia estacional).
 - Mantenimiento de las instalaciones de producción.
 - Costes de reposición de equipos al final de su vida útil.
- Desde el punto de vista del explotador: el precio de venta mínimo será aquel que cubra sus costes de explotación y se obtenga la rentabilidad deseada para la inversión realizada.

De todos modos, y dados los beneficios inherentes de los sistemas centralizados de distrito, en los precios de venta se puede repercutir una cantidad en relación de estos beneficios, resultando un precio ligeramente superior al de la solución convencional. Un ejemplo sería el sobreprecio que, en algunos países, el usuario paga por la energía eléctrica con certificado de origen renovable.

¿Por qué es importante definir de entrada todos los tipos de precios?

Se pueden dar tipologías de clientes muy específicas que necesiten unas tarifas diferentes a las de un edificio de oficinas. Por ejemplo, un Centro de Cálculo y/o un balneario tienen una curva de consumo muy diferente a la de un edificio de oficinas. Si estos tipos de clientes están previstos, en el momento de redactar el pliego se debe comprobar que la tarifa tipo se adapta bien a este tipo de ambos clientes.

7.4.1. Derechos de conexión

El derecho de conexión suele ser el pago único inicial que debe realizar el usuario para conectarse a la red. Este derecho, presente en otros servicios, tiene por finalidad que el usuario co-participe en el esfuerzo inversor del promotor. La fijación del derecho de conexión suele ser en función de la potencia contratada, basada en unos precios prefijados por calor y frío. En general, el derecho de conexión sólo se aplica una vez por edificio, aunque cambie el titular del mismo. En caso de que el edificio aumentara las potencias contratadas, se aplicaría el derecho de conexión al valor del incremento de potencia.

El derecho de conexión es una de las formas de financiación del proyecto y normalmente la paga el constructor de los edificios.

7.4.2. Prestación del servicio

Como prestación del servicio entendemos el suministro de energía, calor y frío.

• **Estructura de la tarifa**

Se pueden considerar diferentes tipos de tarifas por el servicio. En principio se considera que la solución más adecuada es establecer una tarifa separada por calor y una por frío, en tanto que las inversiones y los costes de explotación son diferentes para ambas energías. La tarifa de cada

una de las energías (calor y frío) suele ser del tipo binomial, con una parte fija y una o dos parte(s) variable(s). La estructura binomial sería la siguiente:

- Parte fija

Se calcula como el producto de la potencia contratada, en kW, por un término fijo prefijado, expresado en €/kW y año. Comparándolo con la tarifa eléctrica correspondería al término de potencia.

- Parte variable

Se calcula en función del consumo efectivo del usuario, en kWh, y aplicando el término variable de la tarifa prefijada. Comparándolo con la tarifa eléctrica correspondería al término de energía, es decir, al consumo del cliente. Puede ser un único término variable u opcionalmente repartirse en dos:

- Parte variable de energía: producto del consumo del período, en MWh, por el término variable de energía, en €/MWh.
- Parte variable de volumen de agua: producto del consumo del período, en m³, por el término variable de volumen, €/m³.

El objeto del término variable de volumen es incentivar que los clientes utilicen todo el salto térmico de la red, de manera que éste aproveche todas sus prestaciones sin incluir las ineficiencias. Para un consumo de energía determinado, cuanto mayor sea el salto de temperaturas en el primario de la subestación del cliente, más pequeño será el caudal de red que circulará por la subestación. Es decir, el aprovechamiento del salto térmico disponible puede llevar una bonificación en la facturación de energía. Para el operador del sistema supone una reducción del caudal en circulación y, por lo tanto, una reducción en el coste de bombeo. Esta estructura se aplica principalmente al consumo de frío, donde los costes de bombeo son más elevados. Comparándolo con la energía eléctrica, la parte variable de volumen equivaldría a la energía reactiva que sólo puede ser controlada por el usuario final pero que afecta a la red de transporte.

En cuanto a la determinación de los precios fijos y variables se considera necesario que se sigan las siguientes recomendaciones:

- La parte variable debe reflejar los costes variables de producción de energía del Adjudicatario.
- La parte fija debe recoger los costes fijos de explotación y el mínimo nivel de retorno de la inversión.

Otras estructuras de precios dan lugar a tensiones económicas al Adjudicatario.

- Punto de medida para la facturación

Un aspecto importante a considerar son las alternativas del punto de medida para la facturación. En general, para edificios con un único cliente, el contaje y la facturación se realizan sobre el primario de la subestación, sobre el lado de red. Para edificios donde hay diferentes clientes se puede plantear la facturación individualizada de cada uno de los mismos. En este caso, el contaje se realizará en el secundario del edificio, en la entrada de cada uno de los clientes. La tarifa individualizada será más elevada que la tarifa de primario ya que se incluirán las pérdidas de distribución interna del edificio y otros costes. Las facturaciones por primario e individualizada pueden aplicarse tanto a clientes de servicios como a viviendas.

En el caso de facturación al primario, la sociedad explotadora de la red facturaría a un único cliente, que a su vez repercutiría los costes a los diferentes usuarios del edificio. En el caso de viviendas, el cliente de la red sería la comunidad de vecinos, que a su vez repartiría el coste entre los diferentes usuarios de acuerdo con sus estatutos internos.

- Variantes tarifarias

El cuadro general de tarifas puede incluir diferentes variantes no excluyentes entre sí en los precios de referencia, por ejemplo, y sin limitarse a:

- Tarifa de corta utilización y tarifa de larga utilización. Cada uno de los clientes seleccionará la más adecuada por su curva de consumo anual.
- Tarifa por zona o área. En caso de que la concesión contemple diferentes ámbitos o que un mismo operador suministre a dos concesiones vecinas.
- Por tipología de cliente. Se puede distinguir entre clientes de servicios y residenciales (viviendas).
- Para clientes específicos. Se puede dar el caso de que algún cliente, o grupo de clientes, presente algún tipo de singularidad muy específica que permita la aplicación de una tarifa especial. En todo caso, esta posibilidad debe quedar definida en el pliego de condiciones del concurso.

7.4.3. Revisión de los precios

Se incluirá un sistema de revisión de precios y tarifas, tanto de los derechos de conexión como de los precios de conexión. La periodicidad de la revisión debería ser como mínimo anual. Los derechos de conexión y los términos fijos se suelen indexar en el IPC, aunque es deseable incluir una forma polinómica donde además del IPC se incluya, dadas las necesidades de financiación de estos proyectos, el tipo de interés u otros indicadores. De esta manera, se puede asociar el término fijo a la evolución de los elementos que lo componen, muchos de ellos externos al Adjudicatario.

Los términos variables, referidos al consumo de energía, en el pasado se revisaban en relación al IPC y a la evolución de las tarifas oficiales de gas natural y electricidad, publicadas en el BOE. Con la desaparición de las tarifas reguladas y las incertidumbres y fluctuaciones propias del mercado libre, la indexación de los precios debe basarse en otros indicadores. Éstos estarán vinculados tanto a los costes variables de producción de la red como a los costes variables de un sistema convencional.

El pliego del concurso incluirá la necesidad de fijar un sistema de revisión de precios. Este sistema de revisión puede definirse en el mismo pliego de condiciones o puede quedar como propuesta del Adjudicatario. El contrato entre la Administración y el Adjudicatario incluirá obligatoriamente un sistema de revisión de precios. Es aconsejable que indique qué mecanismo se utilizará para definir una nueva indexación en caso de que el sistema del contrato quede invalidado.

**Si la indexación se hace en referencia al IPC y éste desaparece...
¿qué hacemos?**

El contrato debe definir que esta posibilidad existe y quién debe ponerse de acuerdo en su momento, por ejemplo el ayuntamiento (o su representante) y la sociedad explotadora. No es necesario que la fórmula "de emergencia" se defina en el PPT.

7.5. Estructura del plan de negocio

El plan de negocio debe permitir estudiar la rentabilidad del negocio, detectando los puntos críticos en la viabilidad del mismo. La realización de un plan de negocio detallado es imprescindible para el éxito en el desarrollo de una red de distrito.

7.5.1. Ingresos

A nivel de preparación de un pliego de condiciones, los ingresos a incluir pueden ser los siguientes:

- Venta de calor y frío. En base a las tarifas del servicio y a la previsión de consumo anual de los clientes. La previsión de consumo variará de acuerdo con la evolución del número de edificios conectados.

- Otros ingresos.
 - Derechos de conexión. Los derechos de conexión se contabilizarán como ingreso a partir del año de conexión de cada uno de los edificios. El impacto de este ingreso se periodificará en el número de años que se considere adecuado desde el punto de vista fiscal y contable.
 - Exportación de electricidad. Si las centrales de producción incluyen una central de cogeneración o de combustión de biomasa se incluirá como ingreso la exportación de electricidad.
 - Otros. A definir en su caso.

7.5.2. Gastos

A nivel de preparación de un pliego de condiciones, los gastos a incluir pueden ser los siguientes:

- Gastos directos. Son aquellos vinculados de forma directa a la generación de energía. Las partidas principales son:
 - Electricidad: por accionamiento de los equipos de producción. Se recomienda desglosar en término fijo y término variable.
 - Combustibles: gas natural, biomasa, electricidad, etc. Se recomienda desglosar en término fijo y término variable.
 - Derechos de emisión de CO₂: aunque las redes de calor y frío suponen un ahorro global de emisiones de CO₂, se puede dar el caso de que el nivel de consumo anual implique que la sociedad explotadora tenga que pagar derechos de emisión.
- Gastos explotación.
 - Tratamiento de agua, incluyendo tanto el consumo de agua de reposición (red de calor y frío y torres de refrigeración) como el coste anual de productos y análisis.
 - Operación y mantenimiento de las centrales de producción, de las redes de distribución y, en su caso, de las subestaciones. El coste de mantenimiento debe incluir tanto el preventivo como el correctivo.
 - Reparaciones y sustitución de equipos. Dada la duración de estos proyectos se recomienda incluir una partida para la sustitución, total o parcial, de los equipos principales. Por ejemplo, se puede prever cada 10 años para una parte de los equipos.
 - Cuotas y/o canon a la Administración en concepto de pago de la inversión asumida por la Administración.
 - Gastos de estructura de la sociedad explotadora: administración, oficina técnica, personal, servicios bancarios, comunicaciones, etc.
 - Seguros. Se recomienda como mínimo una póliza de responsabilidad civil (RC). Adicionalmente se pueden incluir seguros de avería de maquinaria y de pérdida de beneficio.
 - Tributos, tasas y otros pagos a la Administración tales como el IAE, tasas de ocupación de la vía pública, etc.
 - Amortizaciones industriales. A nivel de cálculo se pueden desglosar por partidas en función de la duración de los diferentes períodos de amortizaciones. Por ejemplo, la red de distribución se puede amortizar hasta 50 años y la maquinaria de las centrales se amortiza en menos de 20 años.
 - Financieros, tanto los correspondientes a los préstamos de la sociedad, a largo plazo, como los correspondientes a la tesorería del proyecto.

7.5.3. Balance provisional anual

A título de ejemplo se incluye un modelo de estructura del balance de explotación para poder incluir en un PPT. Debido a que se considera que el balance de energía puede evolucionar ya que se estima que el número de clientes irá aumentando con el tiempo, se recomienda presentar ambos balances conjuntamente.

MODELO DE CUENTAS DE EXPLOTACIÓN

1) BALANCE ANUAL DE ENERGÍA

		2010	...	2039
DEMANDAS ENERGÉTICAS DE LOS USUARIOS				
Agua Caliente a usuarios	MWh/año			
Agua Fría a usuarios	MWh/año			
PRODUCCIONES				
Electricidad motogeneradores	MWh/año			
Generación Agua caliente con pérdidas de red	MWh/año			
por recuperación (V)	MWh/año			
por calderas convencionales	MWh/año			
por energía solar	MWh/año			
Generación Agua fría con pérdidas de red	MWh/año			
con máquinas absorción (F)	MWh/año			
con enfriadoras eléctricas	MWh/año			
CONSUMOS				
Gas natural para los motores	MWh _{PCI} /año			
Gas natural para las calderas	MWh _{PCI} /año			
Electricidad de red	MWh/año			
Consumos eléctricos centrales de producción	MWh/año			
Electricidad para máquinas enfriadoras	MWh/año			
Electricidad consumos auxiliares	MWh/año			
BALANCE ELÉCTRICO				
Electricidad importación	MWh/año			
Electricidad exportación	MWh/año			
RENDIMIENTOS COGENERACIÓN				
Ree = $E / (Q - V/0,9 - F)$	%			
RG = $(E + V_{total}) / Q$	%			
Ahorro energía primaria s/D. Europea	MWh _{PCI} /año			
Ahorro emisiones de CO ₂	t/año			
Porcentaje ahorro de Energía Primaria s/DE	%			

2) CUENTAS DE EXPLOTACIÓN

		2010	...	2039
INVERSIÓN		k€/año		
Ventas de calor	k€/año			
Ventas de frío	k€/año			
Exportación eléctrica	k€/año			
Otros ingresos	k€/año			
TOTAL INGRESOS		k€/año		
Compras gas natural	k€/año			
Compras electricidad	k€/año			
Tratamiento de agua	k€/año			
Operación y mantenimiento	k€/año			
Reparaciones y sustitución de equipos	k€/año			
Cuotas a la Administración	k€/año			
Gastos de estructura de la sociedad explotadora	k€/año			
Seguros	k€/año			
Tributos, tasas, cánones	k€/año			
TOTAL GASTOS		k€/año		
MARGEN OPERACIONAL		k€/año		
Amortizaciones	k€/año			
Financieros	k€/año			
BENEFICIO ANTES DE IMPUESTOS		k€/año		

8. CARACTERÍSTICAS DEL SERVICIO A LOS USUARIOS DE LA RED

8.1. Conexión con los edificios

8.1.1. Consideraciones iniciales y ventajas para el Usuario

En esta sección se expondrán los diferentes aspectos que determinan si un Usuario se conecta o no a un sistema centralizado de distrito. Se tratará tanto desde el punto de vista del Usuario como del de la Sociedad Explotadora.

Como consideraciones iniciales a tener en cuenta deben destacarse las siguientes:

- Los criterios generales de conectividad se fijarán en el Pliego de Condiciones.
- Se conectarán edificios enteros. No se considera la posibilidad de un edificio donde sólo se conecte, por ejemplo, una o varias de las plantas o una o varias de las viviendas.

Desde el punto de vista del promotor inmobiliario como Usuario, el sistema centralizado de distrito supone las siguientes ventajas:

- Economías de construcción: ahorro en costes de instalaciones.
- Mayor espacio útil comercializable.
- Mejor estética de los edificios.
- Edificio con mayor valor añadido –mejor calificación energética–.

Desde el punto de vista del Usuario final, el sistema centralizado de distrito supone las siguientes ventajas:

- Ahorro de costes energéticos.
- Ahorro de costes de explotación y de reposición de equipos.
- Mayor confort: ausencia de ruidos, fiabilidad del sistema.
- Mayor espacio útil disponible.
- Ausencia de riesgos: legionelosis, combustión...
- Mejor previsión de costes.
- Disponibilidad de potencia eléctrica para otros usos ya que disminuye la potencia eléctrica contratada.

8.1.2. Viabilidad técnica y económica de la conexión en una red

En cuanto a la viabilidad técnico-económica para la conexión de un edificio en la red se puede considerar:

- Desde el punto de vista del Usuario.
- Desde el punto de vista de la Sociedad Explotadora.

8.1.2.1. Desde el punto de vista del Usuario

A la hora de valorar la viabilidad de su conexión a la red, el Usuario deberá tener en cuenta diferentes aspectos. Como criterio general, deberá comparar con la situación que tendría si no se conectara a la red. Por lo tanto, se definirá una situación de referencia mediante una solución convencional para dar servicio a su edificio, es decir, sin conexión a una red de frío y de calor. Esta situación de referencia deberá tener en cuenta los siguientes aspectos:

- **Solución técnica adecuada.** El Usuario o su ingeniería definirá qué solución técnica adoptaría para satisfacer las necesidades térmicas del edificio. Esta solución técnica debe tener sentido técnico y económico, teniendo en cuenta las limitaciones propias del edificio.

Posibles limitaciones técnicas en nuevos edificios:

- En edificios históricos y/o singulares, en general, no se pueden instalar ni nuevas chimeneas, ni torres de refrigeración o aerorefrigeradores.
- La utilización de energía geotérmica para enfriar las máquinas sólo es posible si se dispone de la superficie de terreno necesaria.
- En general, la aportación solar del edificio vendrá condicionada por el espacio de cubierta.
- El cumplimiento de los criterios de eficiencia energética que pueda requerir la Administración.

- **Inversión asociada.** Se calculará la inversión necesaria para las instalaciones de los edificios. Entre los conceptos se incluyen:
 - Inversión física en máquinas de producción (enfriadoras, calderas, bombas, etc.) y de reserva.
 - Coste del espacio necesario para la central de producción. Este concepto no hace referencia al coste de obra civil sino al coste del espacio ocupado, por ejemplo, el coste de alquiler de una superficie equivalente.
 - Costes derivados de la tecnología utilizada. En caso de soluciones de generación de frío mediante electricidad, se tendrá en cuenta la parte proporcional de la acometida eléctrica debida a la maquinaria de producción, así como la instalación eléctrica necesaria. Con el gas natural se puede dar la misma situación.
 - La red interna de tuberías para la distribución de frío y calor dentro del edificio tiene un efecto neutro. Esta red de tuberías también será necesaria en el caso de estar conectado a un sistema centralizado de distrito.
- **Costes de operación del sistema convencional.** Se considerarán los costes de explotación propios de la producción de energías del edificio:
 - Término fijo y variable de electricidad y de gas. Los precios de energía deben ser coherentes con el nivel de consumo previsto y de potencias a contratar.
 - Mantenimiento de las instalaciones de producción de energía convencional, tanto preventivo como correctivo.
 - Reposición de equipos principales de la solución convencional.
 - En caso de que la solución técnica de referencia incluya torres de refrigeración, se considerará el coste del consumo de agua y del tratamiento químico de las torres.

Se incluye un cuadro indicando los costes orientativos de instalación, de las energías y de explotación de sistemas convencionales para viviendas y oficinas.

- **Condicionantes medioambientales.** Corresponden al impacto de las emisiones sonoras, de humos y, en su caso, de las torres de refrigeración. No son de valoración económica sencilla pero hay que tener en cuenta el sobrecoste de inversión que suponen, por ejemplo, las medidas de atenuación sonora.

COSTES ORIENTATIVOS DE INVERSIÓN Y EXPLOTACIÓN DE SISTEMAS CONVENCIONALES			
		Calor	Frío
COSTES DE INVERSIÓN			
Costes de instalación:			
Máquinas de producción	€/kW _{th}	100	220
Instalación eléctrica	€/kW _e	-	50
Costes de conexión:			
Acometida eléctrica	€/kW _e	-	210
Acometida de gas	€	10.000	-
COSTES DE EXPLOTACIÓN			
Coste energía eléctrica:			
Término variable	€/Mwh _e	-	100
Término fijo	€/kW _e	-	31
Coste de gas natural:			
Término variable	€/MWh _{PCS}	30	-
Término fijo	€/MWh _{PCS}	0,07	-
Coste de mantenimiento:			
Mantenimiento preventivo	€	<i>3% de la inversión</i>	
Mantenimiento correctivo	€	<i>50% de mantenimiento preventivo</i>	
Amortización (a 15 años)	€	<i>Inversión /15</i>	<i>Inversión /15</i>

8.1.2.2. Desde el punto de vista de la Sociedad Explotadora

Los criterios de conexión vienen normalmente condicionados por el pliego del concurso. Habría dos configuraciones:

- **Obligación de ofertar a cualquier Usuario** que se encuentre dentro de un ámbito determinado. Este criterio tiene la ventaja de ser un criterio de formulación simple y que garantiza que todos los edificios del ámbito estarán en disposición de ser conectados. En función de hasta qué punto se pueda repercutir al Usuario en los costes de la acometida, esta opción puede suponer un riesgo económico para la Sociedad Explotadora. Este sistema puede ser más adecuado en redes enfocadas al suministro de viviendas, ya que permite garantizar que todas recibirán una oferta por el servicio.
- **Obligación de ofertar a Usuarios que cumplan unos criterios determinados.** Se pueden indicar unos criterios de conexión en relación a la potencia solicitada y/o a la distancia desde el ramal al edificio. Esta opción reduce el riesgo de la Sociedad Explotadora ya que permite establecer unos criterios de rentabilidad de la conexión. Como inconveniente, este sistema supone que los edificios de menor entidad pueden quedar sin el servicio de red. Este sistema podría ser más adecuado en redes orientadas al suministro de edificios del sector terciario.

Ambos criterios pueden combinarse en una misma red, creando condicionantes específicos para cada proyecto. A título de ejemplo, y dentro de un abanico de opciones más amplio, se podrían dar los siguientes casos:

- Obligación de ofertar a todos los usuarios que se encuentren a menos de una distancia determinada de un ramal –por ejemplo, 25 o 50 metros–.
- Establecer diferentes ámbitos dentro de la misma red donde a cada uno de ellos sean aplicables criterios de conexión diferenciados.
- Establecer diferentes tipologías de clientes (vivienda, terciario) en la misma red donde a cada uno de ellos sean aplicables criterios de conexión diferenciados.

En cualquier caso, se debe puntualizar que el hecho de que no exista obligación de ofertar a un edificio determinado no supone que la Sociedad Explotadora no lo considere como posible cliente. La decisión de ofertar o no corresponderá a la Sociedad Explotadora. Esta decisión vendrá en gran parte determinada por el porcentaje del coste de acometida que pueda asumir cada una de las dos partes.

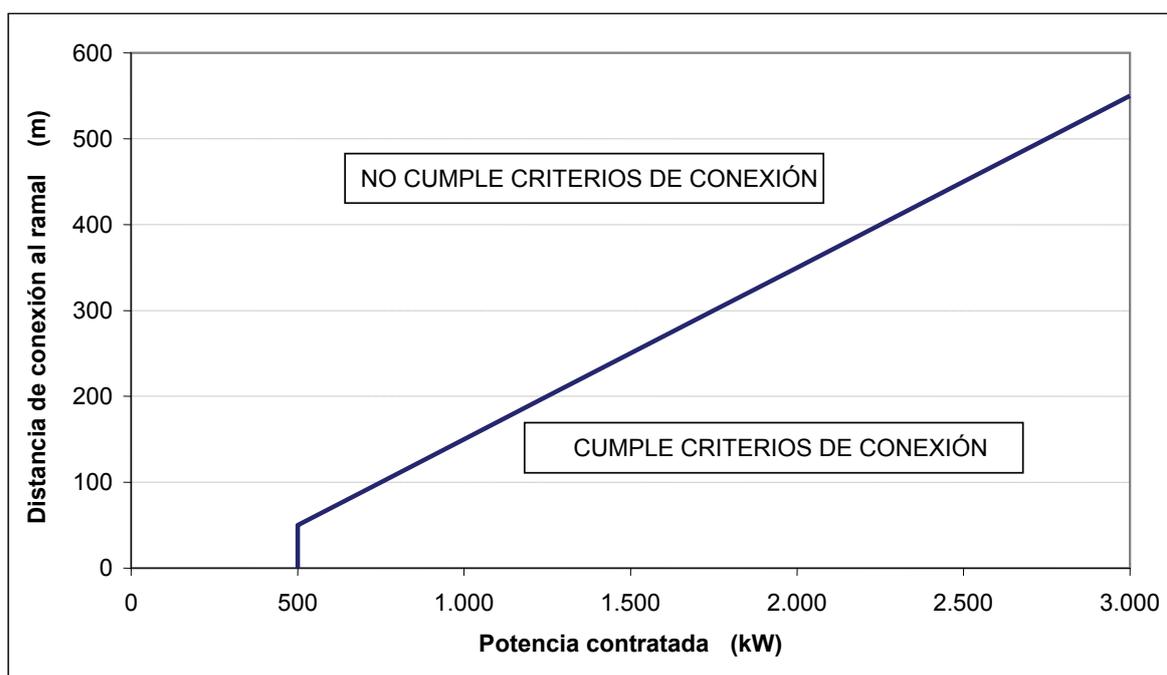


Figura 51. Gráfico con los criterios de conexión en función de la distancia a la red y la potencia contratada.

A modo de ejemplo, y sin que corresponda directamente a ningún proyecto concreto, en la figura 51 se presenta una propuesta de criterios de conexión. Un usuario cumplirá los criterios de conexión siempre que su potencia sea superior a una potencia mínima (500 kW en el gráfico) y que su potencia-distancia se encuentre por debajo de la línea definida en el gráfico.

Más allá del punto de vista del Usuario individual se debe considerar la conexión por áreas. Para poder conectar a futuros Usuarios dentro de un área determinada debe trazarse el ramal correspondiente. En los proyectos reales no todos los usuarios tienen el mismo calendario de entrada en servicio. Esto puede suponer que en el momento de iniciar la construcción de un ramal no se sepa cuántos Usuarios se conectarán al mismo. Esta incertidumbre deriva en un riesgo para la Sociedad Explotadora que realizará una inversión sin tener asegurado un rendimiento de la misma.

Puede ocurrir que una inversión en un ramal sea rentable si se conectan varios edificios. En este caso la Sociedad Explotadora podría firmar preacuerdos con estos posibles usuarios. Si se llega a la demanda necesaria, los preacuerdos se convertirían en contratos y se podría ejecutar el ramal.

8.2. Aspectos técnicos de la conexión con los edificios

8.2.1. Proyecto y ejecución de las obras

En la realización de la acometida en los edificios participarán tanto el Usuario como la Sociedad Explotadora. El reparto de responsabilidades entre ambas partes, de realización de las obras y de pago de las mismas, será en función de la estructura propia de cada proyecto de red. De todos modos, en cualquiera de las configuraciones, la Sociedad Explotadora realizará, como mínimo, un seguimiento desde la fase de diseño de la conexión de los edificios para comprobar que las instalaciones de suministro sean conformes con las especificaciones, y así ponerlas en servicio en buenas condiciones.

En caso de que la realización de las subestaciones sea responsabilidad de los Usuarios, estando el límite de batería en la válvula primaria de la subestación, éstos harán llegar a la Sociedad Explotadora el proyecto ejecutivo de las mismas. La Sociedad Explotadora verificará esta documentación. Durante esta fase de diseño, la Sociedad Explotadora aportará el asesoramiento técnico que solicite el Usuario, o bien, su ingeniería.

En caso de que la realización de las subestaciones sea responsabilidad de la Sociedad Explotadora, estando el límite de batería en la válvula del secundario de la subestación, el Usuario deberá poner a disposición de la Sociedad Explotadora una sala técnica según las especificaciones necesarias.

8.2.2. Realización

Una vez finalizados los trabajos de realización de las subestaciones y tuberías interiores primarias, es habitual que se realice una inspección conjunta por el Usuario y la Sociedad Explotadora. Se firmará un acta de inspección que estará acompañada por varios informes de control de calidad (entre ellos, el de las pruebas de presión).

8.2.3. Puesta en servicio de la acometida

Habitualmente, se realizará la puesta en servicio de la acometida en la fecha establecida en el contrato y una vez que el suministro de agua caliente y de agua fría estén disponibles en el punto de entrada del edificio del Usuario, esté o no finalizada la subestación y/o las instalaciones interiores (dependiendo del límite de batería). En este momento, se firmará el acta de puesta en servicio de la acometida y se podrá iniciar la facturación. Este hito puede coincidir con la fecha de inspección.

8.2.4. Inicio de la explotación

Una vez finalizada la subestación y los circuitos interiores, estando ambos operativos y firmadas las actas de inspección de la subestación y de la puesta en servicio de la acometida, la Sociedad Explotadora llevará a cabo las pruebas y los ajustes de la subestación y abrirá las válvulas de corte primario. Al finalizar esta operación, se podrá firmar el acta de inicio de explotación.

8.2.5. Condiciones técnicas del suministro

El esquema típico de la conexión entre Red y Usuario es el que se muestra en la siguiente figura, con un primario donde la Sociedad Explotadora entregará la potencia de calor o frío que necesite el Usuario y con la regulación de potencia mediante una válvula de control del caudal. Un intercambiador permite entregar la potencia en las instalaciones interiores del Usuario.

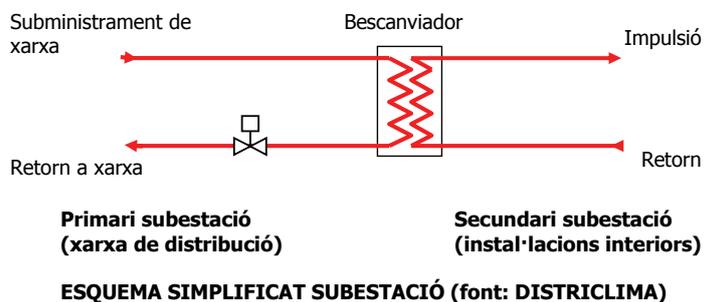


Figura 52. ESQUEMA SIMPLIFICADO SUBESTACIÓN (fuente: DISTRICLIMA).

LEYENDAS ESQUEMA: Suministro de red; Intercambiador; Impulsión; Retorno a red; Retorno; Primario subestación (red de distribución); Secundario subestación (instalaciones interiores)

8.2.6. Potencias contratadas

En general, en una red de distrito es cada uno de los clientes –eventualmente con el apoyo de una ingeniería– quién determina las potencias calorífica y frigorífica contratadas por su propio edificio. Estas potencias serán las necesarias de acuerdo con las condiciones de diseño del edificio. Desde el punto de vista técnico, las potencias contratadas servirán para el dimensionado de las acometidas y de los equipos de las subestaciones.

En el contrato de prestación de servicios entre el Usuario y la Sociedad Explotadora las potencias contratadas estarán claramente definidas. Estas potencias contractuales serán las que la Sociedad Explotadora se comprometerá a suministrar al Usuario. Asimismo estas potencias serán las utilizadas para la facturación del término fijo.

8.2.7. Temperaturas

Se definirán contractualmente las temperaturas nominales de funcionamiento previstas en la subestación. En general, estas temperaturas serán las mismas para todos los usuarios de la red. En la práctica se hace difícil encontrar casos donde a un Usuario se le pueda suministrar con un régimen de temperatura diferente que al resto de la red. Se recomienda preparar una tabla donde se definan las siguientes temperaturas:

- Red de calor
 - Temperatura mínima de suministro en la subestación. Es la temperatura a la que como mínimo llegará el agua caliente al primario del intercambiador de la subestación. Esta temperatura será un compromiso de la Sociedad Explotadora. En el caso de redes de calor esta temperatura se encontrará entorno de los 80-90 °C.
 - Temperatura máxima de salida de la subestación. Es la temperatura a la que como máximo saldrá el agua caliente del primario del intercambiador de la subestación. Esta temperatura será un compromiso del Usuario ya que viene condicionada por las condiciones de operación de su circuito secundario.

- Red de frío
 - Temperatura máxima de suministro en la subestación. Es la temperatura a la que como máximo llegará el agua fría en el primario del intercambiador de la subestación. Esta temperatura será un compromiso de la Sociedad Explotadora. En el caso de redes de frío esta temperatura se encontrará entorno de los 4-5,5 °C.
 - Temperatura mínima de salida de la subestación. Es la temperatura a la que como mínimo saldrá el agua fría del primario del intercambiador de la subestación. Esta temperatura será un compromiso del Usuario ya que viene condicionada por las condiciones de operación de su circuito secundario.

En algunas redes estas temperaturas se definen con carácter estacional. Así, se puede establecer una temperatura máxima de suministro de agua fría para la temporada de verano (por ejemplo, entorno de los 5 °C) y una temperatura para la temporada de invierno (por ejemplo, entorno a los 7 °C). Para el caso del calor se puede aplicar una estructura similar. En las condiciones de funcionamiento se definirá el calendario de suministro en cada una de las dos temperaturas, invierno y verano. Se deberá comprobar que las condiciones de servicio a cada una de las dos temporadas sean compatibles con el régimen de temperatura que se proponga.

8.2.8. Disponibilidad

En general se definirá que el suministro, tanto de calor como de frío, sea continuo, 365 días al año y 24 horas al día. De acuerdo con esta necesidad, los criterios de diseño y de realización, tanto de las instalaciones de producción como de las redes de distribución, deben permitir conseguir un alto nivel de disponibilidad del servicio y minimizar el riesgo de interrupciones no programadas del servicio. Un nivel de disponibilidad usado actualmente en algunas redes de distrito es mayor del 98%.

En las condiciones del servicio de la red se establecerá que las operaciones de mantenimiento programado y/o obras nuevas serán organizadas de forma que no interrumpan el servicio a los clientes, o, si fuera necesaria una interrupción del servicio, minimizar ésta y organizarla para que afecte lo menos posible a los Usuarios. En este caso, las fechas, las horas y la duración de estas interrupciones se pactarían con los Usuarios implicados.

El contrato entre los Usuarios y la Sociedad Explotadora puede incluir, si así se considera, el pago de penalizaciones para el caso de que, sin embargo, se produjeran interrupciones no programadas del servicio.

El contrato también puede recoger penalizaciones por servicio deficiente (temperaturas, potencia, etc.).

8.2.9. Límite de baterías

A efectos de ejecución, propiedad y mantenimiento se debe definir el límite de batería entre la Sociedad Explotadora y el Usuario. En general estará dentro de la subestación de interconexión, y pueden darse dos posibilidades:

- Límite de batería en la entrada del edificio. En este caso:

- El límite de batería del Usuario incluye la/s subestación/es con los diferentes componentes, así como las tuberías y los accesorios necesarios para la conexión de estas subestaciones con las válvulas de seccionamiento de entrada al edificio y con la instalación propia del edificio (secundario).
- El límite de batería de la Sociedad Explotadora será desde el sistema de producción hasta las válvulas de seccionamiento de entrada al edificio, ambas incluidas.

- Límite de batería en el secundario de la subestación. En este caso:

- El límite de batería de la Sociedad Explotadora será desde el sistema de producción hasta las válvulas de seccionamiento del secundario de la subestación, incluyendo los diferentes componentes de la/s subestación/es, así como las tuberías y los accesorios necesarios para la conexión de estas subestaciones con las válvulas de seccionamiento de entrada al edificio y con la instalación propia del edificio (secundario).
- El límite de batería del Usuario será desde las válvulas de seccionamiento del secundario de la subestación,

Quedará definida la distribución de responsabilidades y garantías de cada circuito en cuanto a la instalación, la operación y el mantenimiento.

8.3. Contratación del servicio

8.3.1. Tipologías de contrato

En cuanto a la contratación del servicio se pueden dar diferentes tipologías de contratos, en función de los tipos de clientes a los que se ofrece servicio:

- Clientes sector servicios:
 - Contratación por edificio.
 - Contratación individual.
- Clientes de viviendas:
 - Contratación por edificio.
 - Contratación individual.

8.3.2. Consideraciones sobre el contrato

Los contratos de suministro con los Usuarios se regirán por la legislación española en vigor. Las particularidades propias de este tipo de contratos serían:

- Potencias contratadas y tarifas del servicio: de acuerdo con lo descrito en la sección 5.
- Garantías de la Sociedad Explotadora hacia el Usuario. Se establecerán unas condiciones de garantía del servicio y un punto de comprobación de las mismas. El contrato incluirá una fórmula para el cálculo de la indemnización por incumplimiento de las garantías.
 - Continuidad del servicio, con la finalidad de garantizar al Usuario un servicio sin interrupciones. Para compensar las inercias propias del sistema, la Sociedad Explotadora podrá disponer de una franquicia de un número de horas como, por ejemplo, entre 16 y 24 horas al mes.
 - Temperatura de suministro: para el servicio de calor se garantiza una temperatura mínima de suministro y para el servicio de frío se garantiza una temperatura máxima de suministro. El valor de la temperatura garantizada tendrá una tolerancia dentro de la que no se aplicarán penalizaciones. La tolerancia de calor y la de frío pueden tener valores diferentes.
- Compromiso de temperatura en salida de la subestación (retorno a red). El Usuario se comprometerá a unas condiciones de temperatura de retorno a red. En el caso del servicio de calor el compromiso será referido a una temperatura máxima de retorno, y en caso del servicio de frío se hablará de una temperatura mínima de retorno.
- Fecha prevista para la puesta en servicio. El contrato recogerá una previsión de la fecha para la puesta en servicio del edificio. En esta fecha la red y la acometida deberán estar en disposición de ser conectadas a la subestación del edificio y/o a las instalaciones interiores dependiendo del límite de batería, independientemente de si esta/s última/s está/n finalizada/s. Esta fecha marcará el hito de pago de los derechos de conexión.
- Una vez conectada la subestación y realizadas las comprobaciones técnicas se firmará el acta de inicio de explotación, a partir del cual se dará servicio de clima al edificio mediante el sistema centralizado de distrito. Se inicia en ese momento la facturación del servicio. No obstante, si el usuario se retrasara mucho, se puede prever que se empezará a facturar transcurrido un plazo razonable de la puesta en servicio.

Se pueden dar diferentes situaciones en que no sea posible dar servicio desde el momento en que éste lo necesite:

- a) En el momento de firmar el contrato ya es conocido por ambas partes que el edificio necesita servicio de clima en una fecha en que no es posible disponer de red.
- b) Por las diferentes contingencias del proyecto y de la obra no se puede cumplir con la fecha prevista de llegada de la red.

En ambos casos el Usuario y la Sociedad Explotadora acordarán las condiciones para la prestación del servicio mediante medios alternativos y de manera provisional.

La fijación del límite de batería es crítica en cuanto a las condiciones del contrato. Las obligaciones y las responsabilidades de cada una de las partes dependerá de cómo se defina este límite.

Titular/propietario subestación		Usuario	Sociedad Explotadora
Límite de batería		Entrada subestación	Válvula secundario subestación
Puntos de garantía: - Temperatura - Continuidad del suministro		Entrada subestación	Válvula secundario subestación
Responsabilidades subestación - Mantenimiento - Seguro Responsabilidad Civil		Usuario	Sociedad Explotadora
Mantenimiento contadores facturación	Solución habitual	Usuario	Sociedad Explotadora
	Solución recomendada	Sociedad Explotadora	

Tabla 1. Responsabilidades sobre los componentes de los sistemas.

En las instalaciones con contratos individuales es necesario un contrato comunitario donde el titular de la subestación y de los elementos de distribución garantice que la energía llega a cada uno de los usuarios, pudiendo definirse una temperatura máxima de frío y una temperatura mínima de calor al Usuario final. Si no se alcanzan las condiciones de garantía será necesario determinar si se debe a las condiciones de suministro, o bien a la instalación de secundario comunitaria.

Una consideración adicional sobre los contratos individuales es la que hace referencia al mantenimiento de los contadores de facturación. Para que la lectura sea fiable y evitar averías se realizará un mantenimiento de los mismos. Es aconsejable que lo realice la Sociedad Explotadora o bien que sean de alquiler. Esta última opción es más justificable en redes de gran volumen, donde puede haber una rotación de equipos suficiente.

9. OPCIONES LEGALES Y SOCIETARIAS Y RIESGOS

El sistema DH/DHC requiere de una gestión absolutamente profesional y con un sólido conocimiento, tanto a nivel técnico como a nivel empresarial. Además del beneficio medioambiental esperado, este servicio debe ser un negocio viable, que genere un beneficio económico razonable.

Para que un sistema energético de barrio se planifique, se construya y finalmente cumpla con su función, es muy importante identificar, en una fase preliminar del proyecto, el modelo de gestión por el que se quiere apostar. Realizar una evaluación correcta y acertar con el modelo de gestión es crucial para diseñar todo el proceso de desarrollo del sistema que, finalmente, debe dar un servicio de calidad y ser económicamente competitivo. En el caso de que se apueste por una participación privada es muy importante definir el rol del sector público e involucrarlo en el proyecto en el momento oportuno.

La composición de la empresa o entidad responsable del sistema, en cuanto al diseño, financiación y explotación, puede ser:

- Una empresa/entidad pública.
- Una empresa privada.
- Una empresa mixta pública-privada.
- Una cooperativa formada mayoritariamente o exclusivamente por los usuarios del sistema.
- Una junta de propietarios/consumidores.

En el caso de un gestor público, la Administración se ocupa de promover el proyecto, financiarlo y finalmente administrar su funcionamiento. Para un sistema de una mínima magnitud, es necesario disponer de una entidad o un departamento con la capacidad técnica para realizar la operación y mantenimiento, capacidad de gestión económica y de ventas. Aunque es posible externalizar una parte, o incluso todas las tareas mencionadas, éste no es un escenario óptimo ya que la administración sigue corriendo con todos los riesgos relacionados con el negocio, y las contratas no tienen ningún incentivo de velar por la eficiencia energética o reducción del impacto ambiental. Si se opta por un gestor público, es más conveniente dotarlo de capacidad técnica y de gestión, externalizando únicamente lo razonable como, por ejemplo, el mantenimiento correctivo o preventivo de los grandes equipos.

Históricamente, muchas de las empresas gestoras de calefacción centralizada de Europa Central o de Escandinavia, por ejemplo, eran públicas. Sin embargo, muchas de ellas han sido total o parcialmente privatizadas. En Cataluña también se han dado casos de sistemas íntegramente promovidos por la administración pública, sobre todo cuando se trata de instalaciones donde ha habido un alto interés en promover el sistema principalmente por su bondad medioambiental. Esta tendencia se puede entender como una actuación ejemplar en las instalaciones piloto con el objetivo de generar, por un lado el conocimiento y, por otro, el mercado –tanto del lado de la oferta, interés de las empresas del sector energético, como de la demanda, confianza de los usuarios– para los sistemas de redes de distrito.

Sin embargo, en Cataluña se ha adquirido una experiencia a nivel técnico y se ha despertado el interés en estos sistemas por una parte del sector privado, por lo que ya no es indispensable que la promoción de nuevos sistemas pase por una actuación exclusivamente pública.

En una actuación urbanística liderada por el sector privado, el eventual proyecto de DH/DHC también recae sobre un operador privado. En este caso, el promotor del sistema energético tiene la tarea de realizar la ingeniería del proyecto, de garantizar su financiación y construcción y, finalmente, de organizar su explotación comercial.

También existe la opción de constituir una empresa mixta pública-privada, o un consorcio de entidades públicas y empresas privadas, con el objetivo de realizar la planificación y el diseño necesario, financiar y construir el sistema y ocuparse de su posterior explotación. En este caso, puede ser que la empresa privada, entendida como especialista en los sistemas energéticos y que tiene una importante experiencia en el sector, tenga un rol en la gestión del día a día, tanto de la infraestructura como del negocio con un mayor peso, mientras que la administración participa en las decisiones de carácter más estratégico. Lo habitual en estos casos es que la administración elija el socio privado mediante concurso público. Al igual que en el caso anterior, la empresa mixta sería la concesionaria para desarrollar el servicio de calefacción del distrito en un ámbito territorial determinado.

Finalmente, el modelo cooperativo está implementado en el Parque Bit de Mallorca, donde la empresa gestora del sistema es una cooperativa de usuarios (Cooperativa Parque Bit energía y otros servicios S.C.L.) inicialmente impulsada y constituida por la empresa pública gestora del mismo parque tecnológico. La cooperativa se amplía a medida que se conectan nuevos usuarios, pero la empresa impulsora se mantiene dentro de la cooperativa.

En redes de alcance muy reducido –por ejemplo, para abastecer un vecindario, un pequeño grupo de edificios– se puede llegar a plantear que la realice una junta de propietarios o consumidores.

10. DESCRIPCIÓN DE TRABAJOS TÉCNICOS Y DOCUMENTACIÓN REQUERIDA

10.1. Descripción general de los documentos

Los principales documentos relacionados con el desarrollo de un proyecto de red son los siguientes:

- **Estudio preliminar.** El estudio preliminar, o pre-estudio, estará basado en ratios para comprobar el orden de magnitud de la rentabilidad del proyecto si un estudio detallado es adecuado.
- **Estudio de viabilidad.** Habitualmente a cargo de una ingeniería especializada. Se estudian con un nivel de detalle suficiente los diferentes aspectos del proyecto: calendario de conexiones, curvas de demanda, potencias de generación, inversiones necesarias, rentabilidades, etc.
- **Anteproyecto técnico.** En este documento se desarrollará el diseño de la solución técnica resultante del estudio de viabilidad. El proyecto tendrá el nivel de detalle suficiente para poder preparar el Pliego de Condiciones Técnicas.
- **Pliego de Condiciones Técnicas (PPT).** Se trata del documento que recoge la documentación técnica necesaria para la licitación del sistema centralizado de distrito. Incluye tanto la especificación de los sistemas de producción como los requisitos específicos de los diferentes sistemas.
- **Proyecto ejecutivo.** Habitualmente lo realiza el Adjudicatario del concurso.

En los siguientes puntos se incluye un índice más detallado tanto del Estudio de Viabilidad como del Pliego de Condiciones Técnicas.

10.2. Estudio de viabilidad. Análisis energético, ambiental y económico

En este punto se plantearán los posibles parámetros a variar en los sistemas centralizados de distrito, haciendo un especial énfasis en aquellos que impliquen una mejora de la eficiencia energética de las redes y la incorporación de energías renovables en las mismas.

1. Evaluación de la curva de demanda.
 - Evolución de la curva de demanda: criterio de crecimiento modular de la central.
 - Evolución de la legislación en el campo de la edificación (conceptos de la EUPB, *passivhaus* para climas mediterráneos).
2. Eficiencia energética y medioambiental de la red en comparación con un sistema convencional.
 - Herramientas para el cálculo de la producción energética.
 - Definición de la situación de referencia: cálculo del balance energético del sistema convencional.
 - Escenario de optimización energética: cálculo del balance energético de la red de calor y frío.
 - Definición de los criterios de comparación.
 - Cálculo del ahorro de energía primaria y de emisiones de CO₂.
3. Cálculo de la rentabilidad económica.

- Análisis de costes de inversión.
- Análisis de costes de operación y mantenimiento.
- Análisis de tendencias en el precio de la energía. Estimaciones.
- Análisis de tendencias en las variables financieras. Estimaciones.
- Cálculo de la viabilidad económica.

10.3. Características del pliego de prescripciones técnicas

Uno de los objetivos principales de la segunda parte de esta guía es que pueda ser utilizada como punto de partida para la preparación de un concurso público para el desarrollo de una red urbana de calor y frío. En este sentido se incluirá un guión para la preparación del Pliego de Prescripciones Técnicas para el concurso mencionado.

Los principales puntos que se incluirán dentro de la propuesta del Pliego de Prescripciones Técnicas son:

1. Introducción y antecedentes.
2. Presentación del proyecto y objetivos.
 - Resumen del proyecto.
 - Descripción breve.
 - Dimensionado y capacidad.
 - Aspectos económicos.
 - Aspectos medioambientales.
 - Fases previstas.
 - Planes municipales y convenios de infraestructuras.
 - Objetivos de ciudad y de distrito.
3. Justificación técnica de la climatización centralizada.
4. Detalle de las centrales y la red propuesta.
 - Resumen del proyecto básico y constructivo.
 - Central/es de producción.
 - Red de distribución de frío y calor.
 - Esquemas de principio y diagramas de flujo.
 - Planos de implantación.
 - Descripción de las obras. Consideraciones y estándares de ejecución.
 - Obra civil de la central.

- Obra civil de la red de distribución.

5. Estudio de la demanda de energía térmica en la zona de influencia.

- Listado de usuarios de la zona.
- Cálculo de la demanda.
- Previsión de futuro.

6. Explotación y gestión de la central.

- Modelo propuesto de gestión y servicios. Operación y mantenimiento.
- Condiciones de conexión de los clientes.
- Tarifas de venta de energía a los clientes y fórmulas de evolución.

7. Anexos:

Anexo 1. Estudio de viabilidad del proyecto.

Anexo 2. Proyecto básico de las centrales de producción.

Anexo 3. Planificación del proyecto. Plazos previstos para la ejecución.

Anexo 4. Normativa aplicable.

Anexo 5. Plan de obras general.

Anexo 6. Estudio de impacto ambiental.

Anexo 7. Estudio trazado red de transporte y red de distribución frío y calor.

Anexo 8. Planos.

Anexo 9. Caracterización de la biomasa disponible (si procede).

Anexo 10. Planes de ordenación urbanística del ámbito de actuación.

ANEXO 1: Organismos estatales e internacionales

Asociación de Empresas de Redes de Calor y Frío: <http://www.adhac.es>

Asociación Española para la promoción de la cogeneración: <http://www.cogenspain.org/site/>

Instituto para la diversificación y el ahorro de energía: <http://www.idae.es>

Build Up: <http://www.buildup.eu/>

Combined Heat & Power Association: www.chpa.co.uk/

European Energy network: <http://www.enr-network.org/>

European Bank for Reconstruction and development: <http://www.ebrd.com/>

Euroheat & Power association: <http://www.euroheat.org/>

European Environment Agency: <http://www.eea.europa.eu/>

FEDARENE. European network of regional and local organisations for the energy and environmental policies: <http://www.fedarene.org/>

International Energy Agency: <http://www.iea.org/>

Organisation for economic co-operation and development: <http://www.oecd.org/home/>

World Energy Council: <http://www.worldenergy.org/>

World Trade Organization: <http://www.wto.org/>

United Nations Framework Convention on Climate Change: <http://unfccc.int/2860.php/>

ANEXO 2. NORMATIVA/LEGISLACIÓN/ESTÁNDARES RELACIONADOS

- RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios [Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio]: sus disposiciones generales e instrucciones técnicas).
 - A nivel autonómico: Orden de 3 de mayo de 1999, sobre el procedimiento de actuación de las empresas instaladoras de las entidades de inspección y control y de los titulares, instalaciones reguladas por el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE y sus instrucciones técnicas complementarias IT).
- Documentos reconocidos RITE.
 - Comentarios al RITE 2007 (noviembre 2007).
- Requisitos edificios actuales.
 - Código Técnico de la Edificación (CTE).
 - HE2 (Rendimiento de las instalaciones térmicas) – RITE.
- UNE-EN 15316: Sistemas de calefacción en los edificios.
- UNE-EN 15316-4-5: 2008. Sistemas de calefacción en los edificios (referente a sistemas de calefacción y refrigeración urbana).
- prEN 15603. Eficiencia energética en los edificios. Energía media utilizada y definición de los sistemas energéticos.
- prEN 15315: Sistemas de calefacción en los edificios. Rendimiento energético de los edificios. Necesidades energéticas globales, energía primaria y emisiones de CO₂.
- prEN 15203. Eficiencia energética en la edificación. Evaluación de la energía utilizada y definición de los índices de eficiencia.
- Real Decreto 47/2007, de 19 de enero, por el que se aprueba el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de los edificios de nueva construcción.
- Decreto 21/2006, de 14 de febrero, por el que se regula la adopción de criterios ambientales y de ecoeficiencia en los edificios.
- Directiva 2002/91/CE. Requisitos edificios futuros (EPBD).
- Normativas y planes municipales
 - Plan de mejora energética de Barcelona.
- Normativas para salas de máquinas
 - UNE 100020/1M: 1999 Climatización. Sala de máquinas.
 - UNE 60601/1M: 2001 Instalación de calderas de gas para calefacción y/o agua caliente de consumo calorífico nominal (potencia nominal) superior a 70 kW.
 - UNE 123001/2M: 2003 Chimeneas. Cálculo y diseño.
 - UNE 100155: 1988 IN Climatización. Cálculo de vasos de expansión.
 - UNE 100156: 1989 Climatización. Dilatadores. Criterios de diseño.
 - UNE 100011: 1991 Climatización. La ventilación para una calidad aceptable del aire en la climatización de los locales.
 - Instrucción 3/2003 de la DGCSI por la que se regulan los requisitos de ventilación de los locales donde se instalen calderas de combustible líquido para calefacción y/o agua caliente sanitaria de potencia térmica nominal inferior o igual a 70 kW.
 - Resolución de 6 de mayo de 1994 de autorización para la utilización de equipos de climatización por el ciclo de absorción.
 - Real Decreto 3099/1977, de 8 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento de Seguridad para Plantas e Instalaciones Frigoríficas, así como las órdenes que lo modifican.

- Orden de 21 de junio de 2000 por la que se modifica el anexo de la Orden de 10 de febrero de 1983 sobre normas técnicas de los tipos de radiadores y convectores de calefacción por medio de fluidos y su homologación por el Ministerio de Industria y Energía.
 - Real Decreto 363/1984, de 22 de febrero, que complementa las normas técnicas de los tipos de radiadores y convectores de calefacción por medio de fluidos y su homologación por el Ministerio de Industria y Energía.
 - Real Decreto 3089/1982, de 15 de octubre, por el que se establece la sujeción a normas técnicas de los tipos de radiadores y convectores de calefacción por medio de fluidos y su homologación por el Ministerio de Industria y Energía.
 - Real Decreto 3099/1977, de 8 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento de Seguridad para Plantas e Instalaciones Frigoríficas, así como las órdenes que lo modifican.
- Cogeneración:
 - Real Decreto 616/2007, de 11 de mayo, sobre fomento de la cogeneración.
 - Decisión de la Comisión de 21 de diciembre de 2006 por la que se establecen valores de referencia de la eficiencia armonizados para la producción por separado de electricidad y calor de conformidad con lo dispuesto en la Directiva 2004/8/CE del Parlamento Europeo y el Consejo.
 - Legionelosis:
 - UNE 100030: 2001 IN Guía para la prevención y control de la proliferación y diseminación de legionela en instalaciones.
 - Real Decreto 865/2003, de 4 de julio, por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis.
 - Decreto 352/2004, de 27 de julio, por el que se establecen las condiciones higiénico-sanitarias para la prevención y el control de la legionelosis.
 - Reglamento (CE) n. 2037/2000 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 29 de junio de 2000, sobre las sustancias que agotan la capa de ozono.
 - Emisión de CO₂. Real Decreto 1370/2006, de 24 de noviembre, por el que se aprueba el Plan Nacional de Asignación de derechos de emisión de gases de efecto invernadero, 2008-2012.
 - Ley 1/2005, de 9 de marzo, por la que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero (BOE núm. 59, de 10/03/2005).
 - Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción.
 - Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (Real Decreto 842, de 02/08/2002), así como sus instrucciones complementarias.
 - Normativa sobre materiales.
 - Directiva 1997/23/EC, sobre los equipos a presión.
 - Directiva 2004/22/EC sobre instrumentos de medida.
 - Directiva 2006/42/EC sobre maquinaria.
 - Directiva 2006/32/EC sobre servicios energéticos.
 - Directiva 2005/32/EC sobre ecodiseño.
 - EN 253 Preinsulated bonded pipe systems for directly buried hot water networks. Pipe assembly of steel service pipe, polyurethane thermal insulation and outer casing of polyethylene.
 - EN 448 Preinsulated bonded pipe systems for directly buried hot water networks. Fitting assemblies of steel service pipes, polyurethane thermal insulation and outer casing of polyethylene

- EN 488 Preinsulated bonded pipe systems for directly buried hot water networks. Steel valve assembly for steel service pipes, polyurethane thermal insulation and outer casing of polyethylene.
- EN 489 Preinsulated bonded pipe systems for directly buried hot water networks. Joint assembly for steel service pipes, polyurethane thermal insulation and outer casing of polyethylene.
- Directiva 92/42/CEE del Consejo de la Unión Europea (Real Decreto 275/1995, de 24 de febrero: requisitos mínimos de generadores de calor).
- Normas básicas para las instalaciones interiores de suministro de agua del Ministerio de Industria y Energía 1975.
- Decreto 18/1996, de 8 de febrero, por el que se aprueba el Reglamento de las actividades clasificadas.
- Reglamento de Verificaciones Eléctricas y Regulación del Suministro de Energía (Decreto 12/03/54) y reales decretos que lo modifican.
- Decreto 20/87, de 30 de abril, contra la contaminación por Ruidos y Vibraciones.
- Reglamento de Actividades Molestas, Insalubres, Nocivas y Peligrosas (Decreto 2414/61, de 30 de noviembre) y normas que lo regulan (Orden del 15/03/63) y Decreto 05/10/64.
- Reglamento de Recipientes a Presión (RAP)
- Normativa referente a los costes de energía. Peajes y tarifas. Tanto eléctricos como de gas.
- Normas urbanísticas municipales.
- Otras normativas municipales.

ANEXO 3. BIBLIOGRAFÍA

- [BLOOMQUIST, 1987]: BLOOMQUIST, NIMMONS and RAFFERTY, *District Heating Development*, vol. 1. Washington State Energy Office (1987).
- [CE299]: *The applicability of district heating for new dwellings*. Energy Saving Trust. Global Data. UK Home. CE299.
- [DISTRICLIMA, 2008]: *Guía técnica del secundario. Recomendaciones para el diseño, la realización y la explotación de instalaciones de calefacción y aire acondicionado conectadas a la red urbana de calor i frío*.
- [DHC, 2009]: *District Heating and Cooling. A vision towards 2020-2030-2050*. DHC Platform. May 2009.
- [DHCAN]: *The case of district heating. 1000 cities can't be wrong*. A guide for policy and decision makers. DHCAN.
- [Districlima, 2009]: *Guía Técnica del Cliente. Acometidas, Subestaciones y Circuitos Interiores. Redes Urbanas de Calor y Frío*. Districlima (2009).
- [EUROHC, 2006]: *EUROHEATCOOL. Intelligent Energy Europe*. Euroheat & Power (2006).
- [E&P, 2003]: *The case for district heating*. Euroheat & Power (2003).
- [E&Pdh, 2008]: *Guidelines for district heating substations*. Euroheat & Power (2008).
- [E&Pmwl, 2006]: *District Cooling, Cooling more with less*. Euroheat & Power (2006).
- [E&Ppipes, 2008]: *District cooling pipes. Pipes and components in district cooling systems*. Euroheat & Power (2008).
- [GN, 2005]: *Generación Eléctrica Distribuída. Manual de diseño*. Gas Natural SDG (2005).
- [HLEBNIKOV, 2009]: HLEBNIKOV A., DEMENTJEVA A. and SIIRDE A., *Optimization of Narva District Heating Network and Analysis of Competiveness of Oil Shale CHP Building in Narva*, Oil Shale, vol. 26, nº 3 Special, p. 269-282. Estorian Academy Publishers (2009).
- [IDAE, 2008]: *Guia tècnica per la mesura i determinació del calor útil de l'electricitat i l'estalvi d'energia primària de la cogeneració d'alta eficiència*. IDAE (2008).
- [IEA, 2002]: *Development and Demonstration on DHC*. International Energy Agency IEA District Heating and Cooling (2002).
- [KEER, 2007]: KEER T.M, *Sustainable Energy in China. The Role of CHP and District Heating/Cooling*. Danish Sustainable Development Seminar Beijing, China. International Energy Agency (2007).
- [LUCAS, 1998]: LUCAS, L., *IIR news*, International Journal of Refrigeration, vol. 21, nº 2, p. 87-88 (1998).
- [Polycity, 2006]: *Sustainable Energy Systems. Report on communal energy management system specifications, Sixth Framework Programme*. Polycity (2006).
- [SKAGESTAD]: SKAGESTAD B., MILDENSTEIN P., *District Heating and Cooling Connection Handbook*, Programme of Research, Development and Demostration on District Heating Cooling. International Energy agency IEA District heating and Cooling.
- [VUORINEN]: VUORINEN A., *Benefits of Decentralized Power Generation*.

ANEXO 4: GLOSARIO

Acondicionamiento de aire: proceso o procesos de tratamiento de aire que modifican sus condiciones para adecuarlas a unas necesidades determinadas.

Calefacción: proceso por el cual se controla únicamente la temperatura del aire de los espacios con carga de climatización negativa.

Climatización: acción y efecto de climatizar, es decir, de dar a un espacio cerrado las condiciones de temperatura, humedad relativa, pureza del aire, y a veces también de presión, necesarias para el bienestar de las personas y/o conservación de las cosas. En este documento, cuando se habla de climatización centralizada, se refiere a sistemas centralizados cuyo objeto es únicamente la adecuación de las condiciones de temperatura de los espacios que abastecen.

Combustibles: sustancias susceptibles de transformar energía contenida en sí mismas para la producción de un trabajo. La obtención se realiza mediante una reacción química llamada *combustión* o bien alterando los átomos de la sustancia en lo que a *combustibles nucleares* se refiere, en los cuales se produce una reacción nuclear.

Combustibles fósiles: son una serie de hidrocarburos formados a partir de restos fósiles de animales y plantas de cientos de millones de años de antigüedad. Éstos pueden presentar multitud de formas que varían, en función del número de átomos de carbono, pasando por el metano, el etano, el butano o el octano, entre otros.

Consumo de energía: energía utilizada en un equipamiento para ser transformada a fin de abastecer una demanda térmica. Se refiere a combustibles fósiles, electricidad, energías de fuentes renovables o calor residual.

Consumo de energía final: término utilizado en el tratamiento de datos estadísticos en los balances energéticos mundiales. Corresponde a la energía que se obtiene a partir de la energía primaria después de realizar los procesos de transformación energética como la generación de electricidad, refinería de petróleo, generación de calor en centrales de redes de distrito y transporte de electricidad y calor.

COP. Coeficiente de eficiencia energética de una máquina frigorífica (acrónimo del inglés *Coefficient of Performance*): relación entre la capacidad frigorífica y la potencia efectivamente absorbida por la máquina. Hay que decir que académicamente este concepto se refiere exclusivamente a las máquinas frigoríficas que trabajan en el modo calefacción (bomba de calor) y, por lo tanto, no se hablaría de capacidad frigorífica sino de capacidad calorífica. El concepto equivalente para refrigeración sería la EER (acrónimo del inglés *Energy Efficiency Ratio*).

Demanda térmica: energía térmica requerida para climatizar un espacio; puede evaluarse en la unidad de tiempo (potencia térmica) o durante un período de tiempo finito.

Disponibilidad (central energética): número total de horas de operación de una central de producción de energía, descontando las horas destinadas a mantenimiento.

Energía primaria: término utilizado en el tratamiento de datos estadísticos en los balances energéticos mundiales. Corresponde a la forma de las formas energéticas tal y como se encuentran en la naturaleza.

Energía útil final: término utilizado en el tratamiento de datos estadísticos en los balances energéticos mundiales. Corresponde a la última forma energética para ser utilizada en el abatimiento de una necesidad de demanda térmica, lumínica o de fuerza motriz.

Factor de forma (edificios): relación entre las tres dimensiones espaciales del edificio, que definen una paralelepípeda (horizontal o vertical) o cúbica.

Isla de calor urbana: es un tipo de microclima que se da bajo cualquier tipo de clima como consecuencia directa de la urbanización de un territorio. La naturaleza de cada microclima urbano varía según estén constituidas las áreas urbanas, y depende de la presencia o no de grandes superficies de espacios abiertos, ríos, la distribución de las industrias y la densidad y altura de los edificios. En general, las temperaturas son más altas en las zonas centrales y gradualmente descienden hacia los suburbios, la precipitación aumenta y el viento se altera y disminuye.

Intensidad de la demanda: relación entre la demanda de energía total de una zona y la superficie del suelo de esta zona.

Poder calorífico de un combustible: cantidad de calor producida por la combustión, a una presión constante e igual a 0,1 MPa, de la unidad de volumen o de masa de combustible (si el combustible es gaseoso, los componentes de la mezcla están tomados en las condiciones de referencia de 15 °C y 0,1 MPa), tras conducir los productos de la combustión en las mismas condiciones de referencia.

Poder calorífico superior (PCS): poder calorífico cuando el agua producida por la combustión está supuestamente condensada.

Poder calorífico inferior (PCI): poder calorífico cuando el agua producida por la combustión está supuestamente en estado vapor.

Punto de consumo: edificios que se conectan a una red de distrito para utilizar la energía que distribuyan, ya sea calor o frío. Incluye todas las tipologías de uso (residencial, comercial, servicios o industrial).

Refrigeración: proceso por el cual se controla únicamente la temperatura del aire de los espacios con carga de climatización positiva.

Energía primaria: energía contenida en los combustibles y otras formas de energía extraídos o captados directamente de los recursos naturales, con la posibilidad de ser transformados en energía final, con la finalidad de cubrir una necesidad energética útil. Es el resultado de la suma de la final, más las pérdidas que hayan producido en la distribución, transporte y generación, hasta la fuente primaria mencionada. Se puede considerar que es energía primaria el petróleo, el gas natural, el carbón, los elementos fósiles y los que se pueden someter a fusión, la energía eólica, la solar, la aerotérmica, la geotérmica, la hidrotérmica y la oceánica, la hidráulica, la biomasa, los gases de vertedero, los gases de plantas de depuración y el biogás.

Energía final: energía liberada al consumidor final para satisfacer sus necesidades energéticas útiles. Se puede tratar de energía primaria directamente o primaria transformada.

Energía útil: energía que satisface unas necesidades específicas del consumidor final. El concepto "energía útil" incluye el rendimiento de los aparatos y las máquinas que transforman la energía final. Se puede considerar energía útil, por ejemplo, la luz que emiten las lámparas, el movimiento de los vehículos, el calor que emiten unos radiadores, el calor en los hornos, el vapor de agua, la electricidad para accionar los motores, etc.

Servicio energético: beneficio físico, utilidad o ventaja derivados de la combinación de una energía con una tecnología eficiente en términos de energía y/o con una acción, que podrá incluir las operaciones, mantenimiento y control necesarios para prestar el servicio, que es prestado a partir de un contrato y que en circunstancias normales ha demostrado conseguir una mejora de la eficiencia energética verificable y medible o estimable y/o un ahorro de energía primaria.

Empresa de Servicios Energéticos (ESE): persona física o jurídica que proporciona servicios energéticos o de mejora de la eficiencia energética en las instalaciones o locales de un usuario y afronta cierto grado de riesgo económico al hacerlo. El pago de los servicios prestados se basará (en parte o totalmente) en la obtención de mejoras de la eficiencia energética y el cumplimiento del resto de requisitos de rendimiento convenidos.

ANEXO 5: ABREVIACIONES

ACS: agua caliente sanitaria

°C: grado centígrado

DHC: calefacción y refrigeración de distrito (*District Heating and Cooling*)

DC: refrigeración de distrito (*District cooling*)

DH: calefacción de distrito (*District Heating*)

DN: diámetro nominal

J: julio, unidad de energía

EJ: exajulio, unidad de energía equivalente a 10^{18} julios

kWh: kilovatio hora, unidad de energía equivalente a 10^3 vatios

MWh: megavatio hora, unidad de energía equivalente a 10^6 vatios

kWe: kilovatio eléctrico

kWt: kilovatio térmico

kW_f: kilovatio de frío

W: vatio, unidad de potencia

PCI: poder calorífico inferior

PCS: poder calorífico superior

PN: presión nominal

T^a: temperatura

HT: alta temperatura (*High Temperature*)

LT: baja temperatura (*Low temperatura*)