

## Trabajo Fin de Grado

Estudio de los Sistemas de Cogeneración y Diseño  
de una instalación de Calefacción Urbana en una  
urbanización en proyección en Zaragoza

Study of the Cogeneration Systems and Design of  
a District Heating Installation in a planned  
urbanization in Zaragoza

Autor

Eric Salinas Alarcón

Director

Inmaculada Urriés Ortiz

Escuela Universitaria Politécnica La Almunia  
2021





**Escuela Universitaria  
Politécnica - La Almunia**  
Centro adscrito  
**Universidad Zaragoza**

**ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA  
DE LA ALMUNIA DE DOÑA GODINA (ZARAGOZA)**

<b>MEMORIA</b>
----------------

Estudio de los sistemas de cogeneración y Diseño  
de una instalación de Calefacción Urbana en una  
urbanización en proyección en Zaragoza

Study of the Cogeneration Systems and Design of  
a District Heating Installation in a planned  
urbanization in Zaragoza

424.21.59

Autor: Eric Salinas Alarcón

Director: Inmaculada Urriés Ortiz

Fecha: Septiembre 2021



## INDICE BREVE

<i>Agradecimientos</i> .....	<i>ix</i>
<b>1. RESUMEN</b> .....	<b>10</b>
<b>2. ABSTRACT</b> .....	<b>12</b>
<b>3. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>13</b>
<b>4. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>16</b>
<b>5. DESARROLLO</b> .....	<b>41</b>
<b>6. CONCLUSIONES</b> .....	<b>106</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>110</b>

# INDICE DE CONTENIDO

<b>Agradecimientos .....</b>	<b>ix</b>
<b>1. RESUMEN .....</b>	<b>10</b>
1.1. PALABRAS CLAVE .....	11
<b>2. ABSTRACT .....</b>	<b>12</b>
<b>3. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>13</b>
3.1. Objetivos.....	13
3.2. Motivación y origen .....	13
3.3. Alcance .....	14
3.4. Metodología .....	14
3.5. Estructura .....	15
<b>4. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>16</b>
4.1. Calefacción Urbana .....	16
4.1.1. Concepto .....	16
4.1.2. Tipos de instalaciones.....	17
4.1.2.1. Según el tipo de trazado.....	17
4.1.2.1.1. Trazado con estructura de árbol .....	17
4.1.2.1.2. Trazado en malla .....	18
4.1.2.1.3. Trazado en anillo .....	18
4.1.2.2. Según los circuitos .....	18
4.1.2.2.1. Sistemas de dos tubos .....	18
4.1.2.2.2. Sistemas de tres tubos.....	18
4.1.2.2.3. Sistemas de cuatro tubos .....	18
4.1.2.3. Según los sectores abastecidos .....	19
4.1.2.3.1. Residencial.....	19
4.1.2.3.2. Terciario.....	19
4.1.2.3.3. Industrial.....	19
4.1.2.4. Según la demanda cubierta .....	19
4.1.2.4.1. Abiertas .....	19
4.1.2.4.2. Cerradas.....	19

4.1.3. Elementos que componen la instalación .....	20
4.1.3.1. Central de generación.....	20
4.1.3.1.1. Fuentes de energía.....	21
4.1.3.1.2. Procedimientos para producir frío.....	24
4.1.3.2. Sistemas de acumulación.....	26
4.1.3.3. Sistemas de bombeo.....	26
4.1.3.4. Red de distribución .....	27
4.1.3.4.1. Tecnología de las tuberías.....	29
4.1.3.5. Subestaciones .....	34
4.1.4. Ventajas del sistema .....	35
4.1.5. Inconvenientes.....	36
4.1.6. Calefacción Urbana en el mundo.....	36
4.1.7. Calefacción Urbana en España.....	37
<b>5. DESARROLLO.....</b>	<b>41</b>
<b>5.1. Diseño de la instalación .....</b>	<b>41</b>
5.1.1. Introducción.....	41
5.1.2. Localización de la zona de implantación .....	42
5.1.3. Datos de interés .....	44
5.1.3.1. Cálculo usuarios conectados.....	44
5.1.3.2. Cálculo consumo ACS.....	46
5.1.3.3. Cálculo caudal instantáneo .....	48
5.1.3.3.1. Caudal instantáneo para viviendas .....	48
5.1.3.3.2. Caudal instantáneo para edificios comerciales.....	53
5.1.3.4. Cálculo carga térmica.....	57
5.1.3.4.1. Pérdidas por transmisión $Q_t$ .....	58
5.1.3.4.2. Pérdidas por ventilación $Q_v$ .....	61
5.1.3.5. Cálculo potencia subestaciones .....	67
<b>5.2. Descripción de la instalación.....</b>	<b>70</b>
5.2.1. Central.....	70
5.2.1.1. Sistemas de alimentación de combustible.....	72
5.2.1.2. Cámara de combustión con parrilla móvil .....	72
5.2.1.3. Intercambiadores.....	76
5.2.1.4. Sistemas de limpieza de intercambiadores.....	76
5.2.1.5. Limpieza de cenizas.....	77
5.2.1.6. Extracción de cenizas .....	77

5.2.1.7. Depósitos.....	78
5.2.1.8. Bombas.....	79
5.2.1.9. Elementos de seguridad .....	82
5.2.1.10. Mantenimiento.....	84
5.2.2. Red de distribución.....	84
5.2.2.1. Características técnicas .....	85
5.2.2.2. Zanjas.....	89
5.2.3. Subestaciones.....	91
<b>5.3. Comparativa .....</b>	<b>93</b>
5.3.1. Introducción .....	93
5.3.2. Potencias .....	94
5.3.3. Consumos .....	99
5.3.4. Emisiones.....	102
5.3.5. Costes de instalación y de mantenimiento .....	103
<b>6. CONCLUSIONES .....</b>	<b>106</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>110</b>



## INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Simulación de una instalación de calefacción urbana [1] .....	17
Ilustración 2. Clasificación de los distintos tipos de Calefacción Urbana [1] .....	17
Ilustración 3. Esquema elementos del District Heating[1] .....	20
Ilustración 4. Planta de incineración [2].....	22
Ilustración 5. Central de geotermia [3].....	22
Ilustración 6. Central de biomasa [4] .....	23
Ilustración 7. Planta de energía solar térmica concentrada [5].....	24
Ilustración 8. Planta de energía solar térmica [5].....	24
Ilustración 9. Acumulador de agua caliente [6].....	26
Ilustración 10. Sistemas de bombeo centralizado [7].....	27
Ilustración 11. Distintos tipos de tuberías [1] .....	29
Ilustración 12. Tuberías preaisladas [1].....	29
Ilustración 13. Tuberías RAUTHERMEX en formato DUO y UNO [8].....	30
Ilustración 14. Propiedades del tubo interno [8] .....	31
Ilustración 15. Película de EVOH para proteger el tubo interno [9] .....	32
Ilustración 16. Tubo RAUTHERMEX donde se puede apreciar bien el material aislante [10] .....	33
Ilustración 17. Propiedades materiales aislante [10].....	33
Ilustración 18. Tubería con cubierta arrugada [10].....	34
Ilustración 19. Propiedades de la cubierta [10].....	34
Ilustración 20. Parte de una subestación [11].....	35
Ilustración 21. Evolución de la implantación de redes de calefacción urbana en España [12] .....	37
Ilustración 22. Distribución de las redes en España [12] .....	38
Ilustración 23. Distribución de la potencia instalada en España [12].....	38
Ilustración 24. Clasificación del tipo de redes [12] .....	39

Ilustración 25. Número de redes y potencia de las mismas respectivamente ....	39
Ilustración 26. Fuentes de energía de las plantas de producción de calor [12] ..	39
Ilustración 27. Localización general de la urbanización en el mapa .....	42
Ilustración 28. Localización general a vista satélite .....	42
Ilustración 29. Localización de la urbanización en el mapa .....	43
Ilustración 30. Localización de la urbanización a vista satélite .....	43
Ilustración 31. Características de los edificios .....	44
Ilustración 32. Ocupación de los edificios .....	45
Ilustración 33. Consumo promedio de ACS en viviendas [13] .....	46
Ilustración 34. Consumo promedio ACS en locales [13] .....	46
Ilustración 35. Tablas factores de corrección [13] .....	47
Ilustración 36. Tabla consumo ACS .....	47
Ilustración 37. Aparatos contenidos en la vivienda .....	48
Ilustración 38. Tabla caudal instantáneo por aparato HS4 CTE [14] .....	49
Ilustración 39. Caudal instantáneo en una vivienda según los aparatos .....	49
Ilustración 40. Caudal instantáneo para una vivienda .....	50
Ilustración 41. Caudal instantáneo para los edificios residenciales .....	51
Ilustración 42. Fórmulas coeficientes de simultaneidad HS4 [14] .....	52
Ilustración 43. Caudal instantáneo en edificios residenciales .....	53
Ilustración 44. Caudal instantáneo local edificio residencial .....	54
Ilustración 45. Caudal instantáneo terciario 1 .....	54
Ilustración 46. Caudal instantáneo terciario 2 .....	55
Ilustración 47. Caudal instantáneo equipamiento escolar 1 .....	55
Ilustración 48. Caudal instantáneo equipamiento escolar 2 .....	55
Ilustración 49. Caudal instantáneo equipamiento social 1 .....	56
Ilustración 50. Caudal instantáneo equipamiento social 2 .....	56
Ilustración 51. Caudal instantáneo equipamiento social 3 .....	56
Ilustración 52. Caudal instantáneo total .....	57

Ilustración 53. Valores orientativos por transmitancia [13].....	59
Ilustración 54. Pérdidas de calor por transmisión .....	60
Ilustración 55. Caudal mínimo para ventilación en viviendas [13] .....	62
Ilustración 56. Pérdidas por ventilación en viviendas .....	62
Ilustración 57. Comparación de las pérdidas por ventilación .....	63
Ilustración 58. Pérdidas por ventilación finales en viviendas .....	64
Ilustración 59. Caudal de aire en locales [15].....	65
Ilustración 60. Pérdidas de calor por ventilación .....	66
Ilustración 61. Carga térmica de todos los edificios .....	67
Ilustración 62. Potencias subestaciones .....	69
Ilustración 63. Potencias subestaciones instalación .....	71
Ilustración 64. Sinfín entrada combustible [16] .....	72
Ilustración 65. Imagen ilustrativa cámara de combustión [16].....	73
Ilustración 66. Revestimiento cámara de combustión [16] .....	73
Ilustración 67. Sinfín introductor de combustible [17] .....	75
Ilustración 68. Cámara de combustión completa [16].....	76
Ilustración 69. Sistema de limpieza de intercambiadores[16] .....	76
Ilustración 70. Parrilla móvil para la limpieza de cenizas [17] .....	77
Ilustración 71. Depósito extractor de cenizas[17] .....	78
Ilustración 72. Diagrama bomba 1 [18] .....	80
Ilustración 73. Diagrama bomba 2 [18] .....	81
Ilustración 74. Valores bajo los que se han ejecutado los cálculos .....	86
Ilustración 75. Características Red 1 .....	87
Ilustración 76. Especificaciones Red 1 .....	88
Ilustración 77. Características Red 2 .....	88
Ilustración 78. Especificaciones Red 2 .....	89
Ilustración 79. Zanja bajo calzada .....	89
Ilustración 80. Zanja bajo acera .....	90

Ilustración 81. Zanja bajo suelo vegetal .....	90
Ilustración 82. Instalación hidráulica tipo para cada subestación.....	92
Ilustración 84. Temperaturas red de agua fría por meses. [19] .....	95
Ilustración 85. Potencias calderas individuales.....	96
Ilustración 86. Potencias calderas colectivas .....	98
Ilustración 87. Tabla resumen potencias según instalación.....	99
Ilustración 88. Energía instalaciones individuales .....	100
Ilustración 89. Energía instalaciones centralizadas .....	100
Ilustración 90. Energía Instalación Calefacción Urbana .....	101
Ilustración 91. Tabla 3.2 HE0 CTE [13].....	101
Ilustración 92. Consumo según tipo de instalación .....	102
Ilustración 93. Emisiones según instalación.....	103
Ilustración 94. Precios según instalación.....	104
Ilustración 95. Tabla comparativa instalaciones .....	105

## **AGRADECIMIENTOS**

Dedico un apartado del documento a agradecer a todas aquellas personas o entidades que en algún momento han puesto su grano de arena cuando he necesitado ayuda.

Primeramente, a la tutora del trabajo, Inma Urriés, por seguir el progreso periódico, servirme de guía y ayudarme a resolver todas las dudas que me han surgido con en la elaboración del trabajo.

También a los amigos y compañeros de la Universidad que me han echado una mano cuando se lo he pedido.

Merecen un agradecimiento los autores de todas las fuentes que aparecen en la bibliografía por dar los conocimientos y la información necesaria para poder redactar y completar el documento. De la misma manera, es necesario mencionar la ayuda indirecta de la EUPLA y de los profesores que he tenido durante la trayectoria universitaria, especialmente a todos aquellos que me han otorgado algún conocimiento necesario para el proyecto.

Destacar la paciencia que ha tenido conmigo el equipo de Rehau y en especial dar las gracias a Albert Clopes y a Víctor Isla por el esfuerzo que han hecho para facilitarme los datos necesarios para el diseño de la instalación, facilitarme información y contactos, etc.

Finalmente, agradecer al círculo más íntimo por todo el soporte moral ofrecido en todo momento en el paso por la Universidad, conformado por mis padres y mi hermana. Ha estado un soporte continuo durante toda la etapa de estudiante, que culmina con la entrega de este trabajo.

# 1. RESUMEN

En el presente trabajo final de grado, se describen todos los pasos a seguir para un correcto diseño de una instalación de Calefacción Urbana.

La implantación de la instalación se ha de realizar en la ciudad de Zaragoza, perteneciente a la misma provincia de Zaragoza. La urbanización cuenta con un amplio número de edificios, entre los que se distinguen: edificios residenciales, equipamientos escolares, equipamientos sociales y equipamientos terciarios o comerciales.

En primer lugar, se ha llevado a cabo la elaboración de un marco teórico con el cual el autor del trabajo ha comprendido las características de estas instalaciones y los pasos a seguir para el correcto dimensionado. Para esta primera parte, se han empleado: páginas web, trabajos final de grado y de máster y apuntes de asignaturas de la universidad impartidas por la directora del trabajo como fuentes de información.

Antes de proceder con el dimensionado, ha sido necesario realizar una serie de cálculos en cuanto a: usuarios conectados, consumos de ACS, cargas térmicas, potencias de la instalación, caudales instantáneos, etc. La realización de estos cálculos ha seguido en todo momento la normativa vigente proporcionada por el Código Técnico de la Edificación (CTE), concretamente los documentos de Ahorro de Energía (HE) y el documento de Salubridad (HS).

Tras realizar los cálculos, se ha procedido con el dimensionado y la descripción de la instalación, definiendo especificaciones y parámetros técnicos de los equipos empleados, así como los proveedores que suministran dicho equipamiento.

Se ha comparado la instalación diseñada en materias de potencias, consumos, emisiones y costes con otras dos alternativas: una instalación individual para cada vivienda o una instalación colectiva para cada edificio.

Finalmente se han sacado las conclusiones convenientes de la comparación realizada y del trabajo en general.

En los anexos se han adjuntado los planos de la instalación, las hojas de especificaciones técnicas de los equipos empleados y los presupuestos de cada uno de los equipos empleados, así como una explicación teórica de los Sistemas de Cogeneración por interés propio del alumno del trabajo.

## 1.1. PALABRAS CLAVE

- Calefacción Urbana
- Calefacción de Distrito
- District Heating
- Dimensionamiento
- Biomasa
- Carga térmica
- Sistemas de Cogeneración

## 2. ABSTRACT

In this final degree project, all the steps to follow for a correct design of a District Heating installation are described.

The implantation of the installation has been carried out in the city of Zaragoza, belonging to the same province of Zaragoza. The urbanization has a large number of buildings, among which are distinguished: residential buildings, school facilities, social facilities and tertiary or commercial facilities.

In the first place, the development of a theoretical framework has been carried out with which the author of the work has understood the characteristics of these facilities and the steps to follow for the correct dimensioning. For this first part, have been used: web pages, final degree and master's projects and notes on university subjects taught by the director of work as sources of information.

Before proceeding with the sizing, it has been necessary to carry out a series of calculations regarding: connected users, DHW consumption, thermal loads, installation powers, instantaneous flows, etc. The performance of these calculations has followed at all times the current regulations provided by the Technical Building Code (CTE), specifically the Energy Saving documents (HE) and the Health document (HS).

After carrying out the calculations, sizing and description of the installation have proceeded, defining specifications and technical parameters of the equipment used, as well as the suppliers that supply said equipment.

The installation designed in terms of power, consumption, emissions and costs has been compared with two other alternatives: an individual installation for each home or a collective installation for each building.

Finally, the appropriate conclusions have been drawn from the project in general and from the comparison carried out.

The annexes have attached the installation plans, the technical specification sheets of the equipment used and the budgets for each of the equipment used, as well as a theoretical explanation of the Cogeneration Systems for the student's own interest in the work.



## **3. INTRODUCCIÓN**

### **3.1. OBJETIVOS**

Los objetivos generales que se quieren conseguir con la realización de este trabajo son complementar la formación recibida durante los estudios del Grado de Ingeniería Mecatrónica y profundizar en los conocimientos sobre la generación de energía y el ahorro energético. Los sistemas de calefacción urbana y la cogeneración de energía son buenos ejemplos de ello y su estudio pueden aportar un gran aprendizaje al autor.

El presente TFG tiene como fin demostrar, que, mediante una instalación de calefacción urbana, se puede satisfacer todas las necesidades energéticas en cuanto a consumo de ACS y calefacción. Además de ello, utilizando una energía renovable. Todo esto teniendo en cuenta que en el inicio se debe realizar una gran inversión para la implantación de estos sistemas, que se amortizará con el tiempo.

Otros objetivos específicos están relacionados con el tema a estudio de este trabajo. Entre ellos, se encuentran dar a conocer este tipo de sistemas e instalaciones, proporcionando las ventajas y puntos fuertes de las mismas. Además, se procederá a comparar la instalación diseñada con otras dos alternativas, como son: una instalación individual para cada vivienda o una instalación colectiva para cada edificio, comparativa permitirá sacar más conclusiones sobre la viabilidad del sistema y las ventajas y desventajas que presenta.

Finalmente, otro objetivo que se quería cumplir era el estudio de los sistemas de cogeneración, para comprender como funcionan este tipo de tecnologías, las ventajas que aportan y como podrían aplicarse en una instalación de Calefacción Urbana

### **3.2. MOTIVACIÓN Y ORIGEN**

Este trabajo fue escogido por el interés que despertó en el autor la asignatura de Energías Renovables en su experiencia ERASMUS en Dinamarca. Los temas que son ámbito de estudio en este trabajo están muy desarrollados en ese país y su uso está muy extendido. Además, el interés en el aspecto medioambiental como motivación principal del trabajo fue uno de los puntos fuertes que impulsó a tirarlo adelante.

También la curiosidad por temas de eficiencia energética en sistemas de generación de energía como la cogeneración y las ganas de profundizar en los conocimientos de este ámbito hicieron seleccionar este tema como Trabajo de Final de Grado.

Finalmente, el hecho de que los sistemas de Calefacción Urbana no sean demasiado populares en España ha sido una motivación más para llevar a cabo el trabajo. El autor quiere dar a conocer dicha técnica para su expansión.

### 3.3. ALCANCE

El alcance de este trabajo está enfocado en llegar a saber si es viable la instalación de un sistema de calefacción urbana en la urbanización donde se pretende implementar y si es rentable económicamente, así como aprender el procedimiento que hay que seguir para la elaboración de un proyecto de esta magnitud.

Para ello, se llevará a cabo un diseño sobre papel, con los procedimientos, cálculos y descripción de los equipos necesarios y una comparativa con las dos otras alternativas empleadas en la actualidad: una instalación individual para cada hogar o una instalación colectiva para todo el edificio.

En cuanto al alcance del apartado del estudio de los sistemas de cogeneración, este quedará limitado a la comprensión del funcionamiento del sistema y las ventajas que aporta frente a otros sistemas.

### 3.4. METODOLOGÍA

La metodología empleada para el desarrollo del trabajo consiste inicialmente en un marco teórico para conocer en profundidad cómo funcionan los sistemas de calefacción urbana: funcionamiento, partes tipos, ventajas y desventajas teóricas, etc.

Una vez informado, se llevará a cabo la parte práctica, que consistirán en los cálculos requeridos para el diseño de la instalación y las características de dicha instalación: especificaciones técnicas, elementos, extensión, etc.

Para comprobar las ventajas de la instalación diseñada, se realizará una comparativa con las dos alternativas más empeladas en la actualidad y finalmente se extraerán las conclusiones adecuadas.

## 3.5. ESTRUCTURA

En el siguiente apartado se muestra la estructura seguida en el documento y una breve descripción de cada uno de los apartados.

El documento se ha dividido en las siguientes partes:

1. Introducción: Presentación del trabajo, objetivos, motivación y origen, metodología y estructura.
2. Objeto de estudio: Calefacción Urbana: Conocer en profundidad cómo funciona la Calefacción Urbana, así como los elementos que componen el sistema, el proceso a seguir para diseñar una instalación de este tipo, etc.
3. Diseño del modelo: obtención de los datos necesarios para el dimensionamiento de la instalación.
4. Descripción de la instalación diseñada.
5. Comparación del diseño con otras dos alternativas comunes: una instalación individual para cada vivienda o una instalación colectiva para cada edificio.
6. Conclusiones: Viabilidad y eficiencia del proyecto, grado de cumplimiento de los objetivos y líneas de desarrollo futuro.
7. Anexo I: Información sobre la Cogeneración de Energía
8. Anexo II: Planos de la instalación, datasheets de los equipos empleados y presupuestos de la instalación.

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1. CALEFACCIÓN URBANA

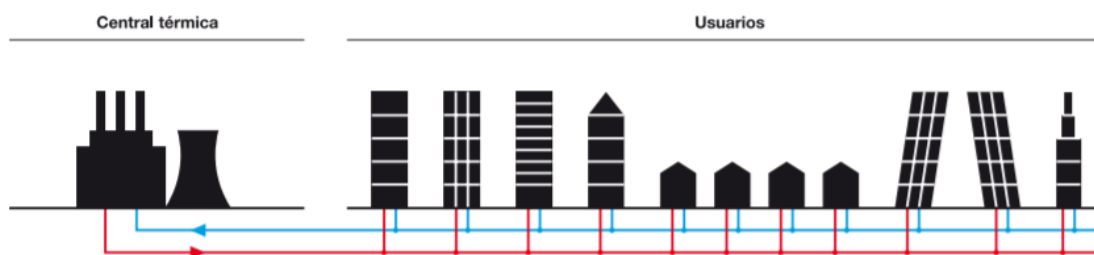
#### 4.1.1. *Concepto*

La calefacción urbana o redes de distrito (District Heating en inglés) es un sistema de suministro de agua caliente sanitaria, calefacción y en ocasiones refrigeración con sistemas especiales. El calor o energía térmica que se emplea para calentar dicha agua, se produce en una central y se distribuye a las viviendas mediante una red de tuberías urbanas, del mismo modo que se distribuyen el gas, la electricidad o el agua. La extensión de dicha red puede variar dependiendo de la extensión y del número de viviendas a los que hay que abastecer.

La calefacción urbana nace como alternativa al uso de una caldera individual para cada vivienda. Se pretende tener un circuito cerrado capaz de alimentar a un gran número de consumidores y que se pueda obtener el calor del mismo empleando un intercambiador de calor en cada hogar. De este modo, se reduce el consumo de los combustibles que se emplean en las calderas y aporta una reducción de emisiones y de costes.

Aunque más adelante se explicará su operatividad, el funcionamiento del sistema es sencillo. Posee una central, situada cerca de los consumidores, que produce calor para producir agua caliente o vapor y la distribuye con una serie de tubos aislados a una temperatura de 70 a 90°C, de modo que las pérdidas de calor sean las mínimas posibles. Una vez el usuario utiliza dicho calor empleando para ello un intercambiador de calor, el fluido retorna, a través de otras tuberías y a una temperatura de entre 35 y 45°C, a la central de producción de calor para volver a calentarlo.

Para la producción del calor se utiliza principalmente la cogeneración. Sin embargo, cada vez es más común el uso de energías renovable para esta función, como por ejemplo la biomasa, la energía solar o el calor residual de las centrales nucleares y de las incineradoras de residuos urbanos. Con esto, se consigue un importante ahorro energético y un gran beneficio ambiental.



*Ilustración 1. Simulación de una instalación de calefacción urbana [1]*

### 4.1.2. Tipos de instalaciones

Las redes de distrito se pueden clasificar siguiendo distintos criterios o puntos de vista como se puede observar en la siguiente imagen:



*Ilustración 2. Clasificación de los distintos tipos de Calefacción Urbana [1]*

#### 4.1.2.1. Según el tipo de trazado

##### 4.1.2.1.1. Trazado con estructura de árbol

En el trazado con estructura de árbol, las subestaciones se conectan a la central generadora mediante una única rama.

El trazado de estas redes es sencillo, pero su ampliación es dificultosa y ante una avería, no es posible una alternativa de suministro.

#### ***4.1.2.1.2. Trazado en malla***

En el trazado con estructura de malla, los usuarios se conectan mediante varias ramas a una o más centrales generadoras.

En este caso, el trazado es más complejo y, por lo tanto, costoso, pero la red que presenta es más fiable.

#### ***4.1.2.1.3. Trazado en anillo***

El último tipo de red de Calefacción Urbana según el criterio del trazado es el trazado por anillo. En éste, el punto final de la red se conecta con el punto de inicio, de modo que se consigue un trazado que combina las tecnologías de árbol y de malla.

### ***4.1.2.2. Según los circuitos***

#### ***4.1.2.2.1. Sistemas de dos tubos***

Esos sistemas están compuestos por una tubería de impulsión que transporta el fluido hasta el consumidor y una que transporta el fluido de retorno a la central generadora.

El inconveniente de este sistema es que solo permite el suministro de frío o calor. Se utiliza para redes pequeñas de corto alcance.

#### ***4.1.2.2.2. Sistemas de tres tubos***

En este tipo de sistemas, sí que es posible suministrar frío y calor a la vez. Constan de tres tubos, por los cuales uno circula agua fría, por el otro agua caliente y el restante es de retorno común a la central.

El hecho que retornen ambos fluidos en la misma tubería, hace que su eficiencia sea baja, ya que ambos pierden la temperatura de operación y hay que volver a enfriar o calentar el fluido.

#### ***4.1.2.2.3. Sistemas de cuatro tubos***

Para terminar la clasificación según los circuitos y más concretamente el número de tubos, se presenta el sistema de cuatro tuberías.

Este sistema, permite satisfacer la demanda de frío y calor, empleando dos tuberías independientes de suministro y de retorno, una para cada tipo de fluido. De este modo, se consigue que la eficiencia sea mucho más elevada y sea más rentable, pese a que presenta como inconveniente que sea un sistema más costoso económicamente.

### ***4.1.2.3. Según los sectores abastecidos***

#### ***4.1.2.3.1. Residencial***

Las redes que abastecen zonas residenciales, poseen muchos puntos de consumo, pero de poca demanda unitaria.

Para que sean más rentables económicamente, conviene que las viviendas se encuentren concentradas en una zona y no dispersas y con mucha distancia entre ellas, ya que, si no, el fluido tiene que salir de la central a mayor temperatura para que llegue al consumidor a la temperatura requerida.

#### ***4.1.2.3.2. Terciario***

Estas redes, abastecen a comercios y oficinas. Las redes que se emplean suministran frío y/o calor a edificios de viviendas y del sector terciario, de modo que se consigue que la demanda sea más estable a lo largo del día, ya que ambos tipos de clientes tienen demandas complementarias.

#### ***4.1.2.3.3. Industrial***

Las redes de uso industrial, no solo se emplean para calefacción, sino que también se utilizan para distintos procesos industriales.

Estas redes son similares a las urbanas, pero pueden poseer características especiales de temperatura y presión. Además, en este tipo de redes en ocasiones se trabaja con vapor en vez de con agua caliente, para satisfacer los requerimientos anteriormente descritos.

### ***4.1.2.4. Según la demanda cubierta***

#### ***4.1.2.4.1. Abiertas***

Las redes abiertas son aquellas en las que la demanda de energía que se debe cubrir es variable. Por ejemplo, cuando hay que dar cobertura a una zona urbana donde los usuarios no están obligados a estar conectados a la red.

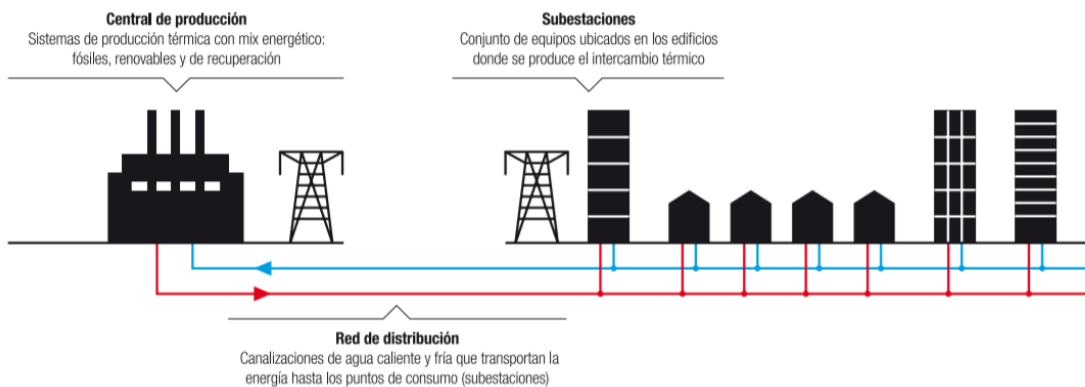
#### ***4.1.2.4.2. Cerradas***

Por otro lado, las redes cerradas son aquellas en las que el número de edificios que hay que abastecer es fijo y es posible calcular la demanda aproximada que se va a necesitar.

### 4.1.3. Elementos que componen la instalación

Los sistemas de calefacción urbana constan de cinco partes:

- La central de generación.
- Los sistemas de acumulación.
- La red de distribución.
- Los sistemas de bombeo.
- Las subestaciones de transmisión térmica en los edificios.



*Ilustración 3. Esquema elementos del District Heating[1]*

A continuación, se procede a explicar cada uno de los conceptos y la relación que mantienen entre ellos.

#### 4.1.3.1. Central de generación

Las centrales que alimentan los sistemas de calefacción urbana y cubren la demanda base del territorio suelen ser centrales de alto rendimiento y bajo coste energético. Normalmente son grandes plantas con calderas que emplean la cogeneración, que utilizan siempre que se puede biomasa, basura u otras tecnologías renovables. Sin embargo, todavía se emplean, en ocasiones, combustibles fósiles como el gas natural.

Las grandes centrales descritas, coexisten con centrales de punta, que se utilizan para satisfacer la variabilidad de la demanda, en periodos de baja demanda, en ocasiones de severidad climática extrema, paradas de la central base, etc. Para estas centrales, más que el rendimiento se prioriza la potencia, ya que se trata de sistemas que trabajan pocas horas a lo largo del año.



El número de centrales y su ubicación, depende de muchos factores. En redes que nueva planificación, las centrales de producción se suelen situar en la periferia urbana, siempre y cuando se garantice una red de distribución correcta. También hay muchos casos en los que la central no ha sido diseñada de 0, sino que ha sido reacondicionada. Es por eso que numerosas centrales se encuentran ubicadas en núcleos urbanos.

Por otro lado, en la definición de los sistemas de calefacción urbana también se ha explicado que dichos sistemas pueden suministrar frío para emplearse como refrigeración. Un poco más adelante, se describirán los distintos procedimientos empleados para generar frío. El autor del trabajo considera que los procedimientos para obtener calor ya se han explicado en el capítulo de la cogeneración y que no es necesario volver a explicarlos.

#### *4.1.3.1.1. Fuentes de energía*

Las fuentes de energía empleadas en para conseguir que las redes urbanas de calor y frío sean viables en criterios económicos, ambientales y energéticos son de forma individual o combinada las siguientes:

- Plantas de cogeneración
- Incineración de residuos: residuos sólidos urbanos, residuos de lodos de depuración, etc.
- Fuentes de calor geotérmicas
- Utilización de recursos forestales disponibles a nivel municipal en instalaciones de biomasa
- Utilización de la energía solar térmica
- Refrigeración natural: agua fría procedente directamente de mar, río o lago.

#### **Cogeneración**

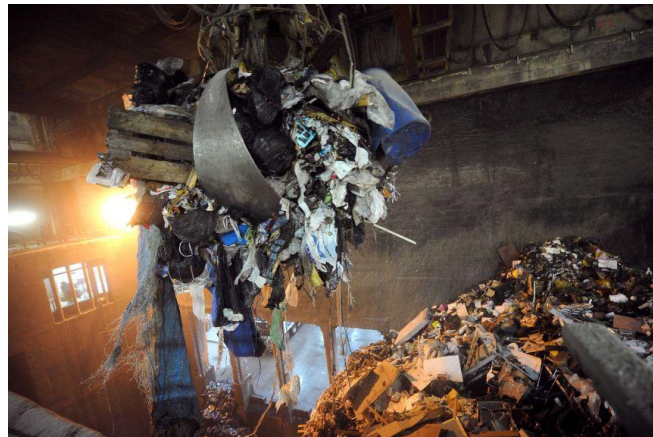
Descrita en el anexo de este documento, es la fuente principal de energía que se utiliza en las redes de distrito de todo el mundo, con un porcentaje superior al 45% del calor generado en todas estas redes.

#### **Incineración de residuos**

Existen distintos procesos para la valorización energética de los residuos. Para esta aplicación, se emplean aquellos que se basan en tratamientos térmicos, como la incineración, la gasificación o la pirólisis. Focalizando en la incineración de residuos, el aprovechamiento del calor empleando este procedimiento en redes de calefacción

urbana genera un ahorro de energía primaria del 100%, ya que es un calor residual que de otra manera se dispersaría al ambiente y no se aprovecharía.

En España, existen un importante potencial de la valorización energética de los residuos, ya que su aprovechamiento energético es mucho menor que en el resto de Europa.



*Ilustración 4. Planta de incineración [2]*

### **Geotermia**

Se define como la energía que se encuentra almacenada en forma de calor debajo de la superficie terrestre.

Estos yacimientos se pueden emplear tanto para la generación de energía eléctrica como para usos térmicos. Por un lado, los recursos geotérmicos de alta temperatura, es decir, aquellos cuyas temperaturas se encuentren entre 100 y 150°C se utilizan para producir electricidad en procedimientos similares a las centrales termoeléctricas convencionales.



*Ilustración 5. Central de geotermia [3]*

Por otro lado, los recursos cuya temperatura sea inferior a los 100°C se utilizan para proporcionar energía térmica de forma directa. Y finalmente, los recursos de muy baja temperatura se usan para climatización mediante el uso de bombas de calor geotérmico.

### **Biomasa**

La biomasa se consigue principalmente de la transformación de productos agrícolas y forestales, restos de aprovechamientos forestales, residuos de cultivos y explotaciones ganaderas, ... Como los anteriores sistemas, la energía térmica que proporciona la biomasa se puede utilizar tanto para la producción de electricidad como de calor.

Los tipos de biomasa comerciales más utilizados en sistemas de calefacción son:

- Pellets producidos de forma industrial
- Astillas procedentes de industrias de transformación de la madera o de tratamientos forestales como podas o clareos, etc.
- Residuos agroindustriales como huesos de aceituna, cáscaras de frutos secos, etc.



*Ilustración 6. Central de biomasa [4]*

### **Energía solar térmica**

Las instalaciones solares térmicas captan la energía de la radiación solar con captadores o colectores por los que circula un fluido para aprovecharla posteriormente.

En estos momentos, en Europa, un 14% del calor que se utiliza para los sistemas de calefacción urbana procede de la energía solar térmica, siendo Suecia y Dinamarca los países donde más se utiliza.

El uso de energía solar térmica se ve limitado por la estacionalidad y la inestabilidad de la producción, pero este inconveniente se soluciona con plantas de gran extensión (de entre 10.000 y 100.000 m<sup>2</sup>), sistemas de acumulación y el apoyo de otras fuentes de energía.



*Ilustración 7. Planta de energía solar térmica concentrada [5]*



*Ilustración 8. Planta de energía solar térmica [5]*

#### **4.1.3.1.2. Procedimientos para producir frío**

Los sistemas de refrigeración centralizados emplean máquinas enfriadoras de gran potencia, cuyo coeficiente de eficiencia energética es mayor al de las máquinas de poca potencia que se emplean en instalaciones individuales.

El cambio de fase es el principio en el que se basan los sistemas frigoríficos para producir frío en climatización. Podemos distinguir dos categorías principales:

Enfriadoras eléctricas: éstas emplean un compresor mecánico alimentado por un motor eléctrico para generar el efecto frigorífico por compresión mecánica del refrigerante. Según el compresor utilizado, se tienen: enfriadoras con compresor alternativo (para potencias inferiores a 200kW), enfriadoras de tornillo (para potencias de entre 200 y 700 kW) y enfriadoras centrífugas (para altas potencias, es decir, por encima de 700 kW).

Enfriadoras térmicas: son las denominadas máquinas de absorción, las cuales usan en calor de elevada temperatura como principal fuente de energía. En comparación con las máquinas de compresión mecánicas descritas anteriormente, las enfriadoras térmicas utilizan poca electricidad. La necesaria para hacer funcionar las bombas. Las enfriadoras por ciclos de absorción más eficaces emplean agua como refrigerante y una solución de bromuro de litio (LiBr) como absorbente. Para aumentar el rendimiento del sistema, se utilizan absorbedores o generadores con varias etapas. Sin embargo, el coste de inversión también se ve reflejado y aumenta considerablemente.

En cuanto al rendimiento COP, los ciclos de absorción tienen un rendimiento bastante inferior en comparación a los ciclos de compresión mecánica. Para aclarar el concepto, recordar que el coeficiente de rendimiento COP de un refrigerador se define como el calor extraído de dentro del refrigerador dividido entre el trabajo realizado para producirlo:

$$COP = \frac{Q_{frío}}{W} \quad [4.1]$$

Las máquinas de absorción con BrLi de una etapa poseen un COP que no supera el 0.7 y las de dos etapas pueden llegar a valores cercanos a 1.2. En cambio, las enfriadoras por compresión de tornillo pueden llegar al 4.5 y las centrífugas a 5.5.

En criterios de inversión inicial por unidad de potencia instalada y de rendimientos entre los dos tipos de tecnologías descritos, haría inviable una instalación con máquina de absorción. Sin embargo, los equipos de absorción poseen como ventaja que permiten el uso del calor residual o el procedente de energías renovables sin coste ni emisiones asociadas, de modo que se consigue que sea una técnica más competitiva.

Para satisfacer grandes demandas, se utilizan sistemas híbridos, basados en el uso de máquinas de absorción en serie o en paralelo con máquinas de compresión en el mismo circuito de agua. En estos sistemas, los equipos mecánicos se utilizan como centrales base y los de absorción como centrales de punta.



#### 4.1.3.2. *Sistemas de acumulación*

Aunque no todos los sistemas de calefacción urbana incluyen sistemas de acumulación, éstos permiten dimensionar las centrales para que se ajusten más a las necesidades, permitiendo el funcionamiento a plena carga en un periodo de tiempo más largo y de ese modo mejorando el rendimiento energético de la instalación. El objetivo principal de estos sistemas es equilibrar la diferencia entre la producción de calor en la central y el consumo de los usuarios.

Aunque ya se ha hablado de la principal ventaja de los sistemas de acumulación, cuentan con más:

- Optimización de la producción: se facilita el ajuste con la demanda y se consigue una curva de producción más plana. También disminuyen el número de ciclos de marcha y paro.
- Reduce la potencia instalada en la central de generación.
- Desplaza la producción a horas estratégicas, repercutiendo en ahorro económico.
- Garantiza el nivel mínimo de suministro ante paradas de las máquinas.
- Compensa las diferencias de caudal entre producción y demanda.
- Permite aprovechar la energía procedente de energías renovables o de fuentes térmicas residuales.

Sin embargo, cuentan con algún inconveniente, como por ejemplo con el factor que se necesita disponer de espacio para los depósitos donde se acumula el agua.



*Ilustración 9. Acumulador de agua caliente [6]*

#### 4.1.3.3. *Sistemas de bombeo*

Para propulsar el agua por las tuberías y hacerla llegar a su destino se requiere de sistemas de bombeo. De éstos se conocen dos tipos:

- **Bombeo distribuido:** se utilizan bombas en cada subestación. De este modo, se consigue que los edificios conectados a la red funcionen de forma independiente. Además, también se consigue que sea mucho más fácil ampliar la red si fuera el caso. Este sistema es el más óptimo de los que se exponen. Posee un consumo inferior del 20% en comparación con el bombeo centralizado.
- **Bombeo centralizado:** como su nombre indica, posee un único conjunto de bombas que propulsan todo el sistema. Su diseño es más sencillo, así como su coste de instalación también es inferior. El caudal se regula constantemente mediante válvulas de tres vías, con el fin de controlar la temperatura. A diferencia del anterior, presentan como inconveniente la dificultad de una posible futura ampliación de la red.



*Ilustración 10. Sistemas de bombeo centralizado [7]*

#### 4.1.3.4. Red de distribución

La red de tuberías permite distribuir el fluido desde la central de producción hasta la localización del usuario / cliente.

Como más adelante se explicará con más profundidad, se emplean tuberías aisladas y generalmente enterradas, aunque en algún caso pueden ir sobre el terreno, como por ejemplo en zonas de muy alta densidad urbana o zonas rurales. Las tuberías se entierran por motivos visuales y de seguridad, aunque el coste de inversión y mantenimiento es mayor.

Estructuralmente las redes se dividen en:

- **Red troncal:** conduce el calor o el frío desde las grandes centrales hasta las redes locales de distribución. Suelen ser tubos de gran diámetro, alto caudal y presiones elevadas.

- **Ramales:** conducen el calor o el frío desde la red troncal o desde pequeñas centrales hasta los clientes.

- **Acometidas o ramales de servicio a clientes:** Conectan los ramales con las subestaciones de los consumidores.

En la red de distribución es donde se produce la mayor pérdida de rendimiento de los sistemas de calefacción central. Para evitarlo o reducir notablemente dichas pérdidas es aconsejable seguir estas recomendaciones:

- Agrupar las redes de distribución, en número y en disposición geográfica.
- Utilizar el menor caudal posible, reduciendo la sección de las redes.
- Instalar unidades terminales de baja temperatura (suelo radiante, techo refrescante, etc.).
- Reducir la temperatura de la malla de retorno.
- Reducir el número derivaciones a la central generadora.
- Usar tuberías preaisladas
- Desarrollar, cuando sea posible, trazados de redes aprovechando zonas calefactadas.

Cabe destacar que, a lo largo del trazado, la red dispone de sensores y sistemas capaces de detectar fugas en las tuberías, así como puntos fijos para el control de dilataciones, válvulas de seccionamiento preaisladas, purgadores de aire en puntos altos, puntos de descarga o vaciado en puntos bajos, elementos de dilatación, derivaciones para acometidas, arquetas, cruces con servicios existentes, filtros, medidores de presión y de temperatura, etc.





*Ilustración 11. Distintos tipos de tuberías [1]*



*Ilustración 12. Tuberías preaisladas [1]*

#### **4.1.3.4.1. Tecnología de las tuberías**

En este apartado se van a tratar las distintas tecnologías que se emplean en las tuberías, es decir, materiales, técnicas de fabricación, técnicas de unión, etc.

Para la realización de este apartado, el autor del trabajo se puso en contacto con la empresa alemana REHAU, una multinacional alemana con más de 70 años de historia dedicada a la transformación de polímeros para los sectores de la automoción, construcción e industria. Una rama de esta empresa se dedica a la fabricación de tuberías, concretamente de tuberías destinadas a sistemas de calefacción urbana, por lo que la información que se va a dar a continuación viene dada por un producto real, concretamente la tubería RAUTHERMEX.

La tubería RAUTHERMEX es un sistema de tubería de gran flexibilidad que se emplea para el transporte de agua caliente para largas distancias, debido a que emplea un sistema de tubo que mantiene particularmente reducidas las pérdidas durante el transporte de calor.

Las características principales de esta tubería son las siguientes:

- Conceden un gran aislamiento térmico gracias a la tecnología de proceso espacial, la espuma de PU de poro cerrado y al espesor adicional de aislamiento.
- Los largos de bobina de hasta 78m permiten traza recorridos largos sin tener que recurrir a uniones.
- Poseen una gran durabilidad gracias a que los materiales empleados son resistentes a la corrosión, al aislamiento posterior estanco al agua y al sistema de tubería estanca longitudinalmente.
- Disponen de un amplio catálogo de dimensiones y accesorios.
- Tuberías UNO con diámetros hasta 160mm.
- Tuberías DUO con diámetro de tubo de hasta 2x63mm.



*Ilustración 13. Tuberías RAUTHERMEX en formato DUO y UNO [8]*

Como se puede apreciar en la imagen, las tuberías están formadas por un tubo interno, una película naranja que recubre el tubo interno, el material aislante y la carcasa exterior. A continuación, se trata cada uno de estos elementos con detalle.

### **Tubo interno**

El material que compone el tubo interno es polietileno reticulado a alta presión PEX-A. Antes de seguir, cabe definir que es el polietileno reticulado. El polietileno reticulado es un derivado del polímero polietileno, cuya diferencia principal es que cuando sale por extrusión en fábrica, sale con forma de enlaces cruzados, dándole así unas propiedades determinadas, como mayor resistencia a la flexibilidad, mayor aguante de altas temperaturas y presiones, etc.

Existen distintos tipos de polietileno reticulado, diferenciados por su proceso de fabricación:

- PEX-A: producto del entrecruzamiento en caliente por encima del punto de fusión del material. Es un proceso más largo que los demás, debido a que el polímero tiene que mantenerse a presión y temperatura elevadas durante largos periodos a lo largo del proceso de extrusión.
- PEX-B: este proceso es denominado "cura por humedad". La reticulación se produce de manera secundaria en post extrusión, aportándole calor y humedad.
- PEX-C: en este caso, la reticulación se lleva a cabo en un proceso en frío, es decir, por debajo del punto de fusión. En el proceso interviene un haz de electrones que ofrece mayor uniformidad y un grado de reticulación menor. Este proceso presume de ser el más limpio y ecológico, ya que solo emplea electrones de alta energía para separar los enlaces del polietileno y facilitar su entrecruzamiento.

De este modo, los tubos internos de la tubería, al tratarse del tipo A, han sido reticulados a alta presión y temperatura, a través de la adición de peróxido durante la fabricación.

Estos tubos se fabrican bajo la conformidad de las normas DIN 16892 / DIN 16893.

En la siguiente imagen se muestran las propiedades del material PEX-A:

Denominación	Valor	Norma
Densidad $\rho$	0,94 g/cm <sup>3</sup>	ISO 1183
Coef. medio de dilatación térmica lineal (0 °C - 70 °C)	$1,5 \cdot 10^{-4} / K$	—
Conductividad térmica $\lambda$	0,35 W/m·K	Basado en la ASTM C 1113
Módulo elástico E a 20 °C	600 N/mm <sup>2</sup>	ISO 527
Módulo elástico E a 80 °C	200 N/mm <sup>2</sup>	ISO 527
Resistencia por unidad de superficie	1012 $\Omega$	—
Clase de material de construcción	B2 (inflamabilidad normal)	DIN 4102
Rugosidad de la superficie k	0,007 mm	—
Estanqueidad a la difusión oxígeno a 40 °C	0,16 mg/(m <sup>3</sup> ·d)	DIN 4726
a 80 °C	1,8 mg/(m <sup>3</sup> ·d)	

*Ilustración 14. Propiedades del tubo interno [8]*

De entre ellas, cabe destacar:

- Elevada resistencia química.
- Rugosidad muy reducida.
- Pérdida de carga reducida a largo plazo.
- Prolongada resistencia a la corrosión.
- Resiliencia elevada.
- Soporta temperaturas elevadas.
- Elevada resistencia a la presión.

### **Película protectora**

Se recubre la superficie exterior del tubo interno explicado anteriormente con una capa barrera contra la difusión del oxígeno, empleando para ello una película de EVOH según DIN 4726.

EVOH es la abreviatura de Etileno-Vinil-Alcohol, un polímero termoplástico que combinado con el polietileno construye una barrera que evita que la humedad y el oxígeno influyan negativamente en el agua.

Aunque no parezca útil evitar que el oxígeno influya en el agua que circula por las tuberías de un sistema de calefacción central puesto que ésta no es para el consumo, al evitar el oxígeno se retarda la degradación tanto del agua como del tubo interno por la oxidación y el paso del tiempo.



*Ilustración 15. Película de EVOH para proteger el tubo interno [9]*

### **Aislamiento**

El material con el que se consigue el aislamiento de la tubería es la espuma de poliuretano con pentano. Consiste en un material plástico poroso producto de la reacción química gaseosa de dos compuestos, un polioli y un isocianato, y en este caso la adición de pentano. Esta reacción libera dióxido de carbono, el cual va generando las burbujas.



*Ilustración 16. Tubo RAUTHERMEX donde se puede apreciar bien el material aislante [10]*

Las propiedades de este material varían según el aditivo incorporado. En este caso, el pentano le otorga una mayor capacidad aislante térmica y acústica. A continuación, se muestran las propiedades recogidas en una tabla:

Característica	Agente de soplado Pentano	Propelente CO <sub>2</sub>	Norma
Conductividad térmica $\lambda_{0, inicial}$	W/m·K $\leq 0,0216$ (0,0260 para sistemas rígidos)	$\leq 0,0234$	EN 15632
GWP (Potencial de calentamiento global)	0,5	1	
ODP (Potencial de agotamiento del ozono)	0	0	
Densidad $\rho$	kg/m <sup>3</sup> > 50	> 50	EN 253
Resistencia a la presión	Mpa 0,2	0,3	
Absorción de agua	% $\leq 10$	$\leq 10$	EN 15632-1
Resistencia axial al cizallamiento	kPa $\geq 90$	—	EN 15632-2
Clase de material de construcción	B2 (inflamabilidad normal)	B2 (inflamabilidad normal)	DIN 4102

*Ilustración 17. Propiedades materiales aislante [10]*

### **Cubierta Exterior**

Para la fabricación de la carcasa que protege toda la tubería se utiliza PE-LLD, es decir, polietileno lineal de baja densidad. Esta cubierta exterior se corruga, es decir, le da esta forma de anillos o estrías que posee la tubería para otorgarle una mayor resistencia estática y una mayor flexibilidad, de modo que resulta más fácil hacer curvas cerradas.



*Ilustración 18. Tubería con cubierta arrugada [10]*

Este material permite una muy buena unión con la espuma de poliuretano y un extrusionado sin costuras sobre la espuma.

A continuación, se muestran las propiedades de la cubierta:

Denominación	Valor	Norma
Conductividad térmica $\lambda$	0,33 W/m·K	DIN 52612
Punto de fusión cristalina	122 °C	ISO 11357-3
Densidad $\rho$	0,92 g/cm <sup>3</sup>	ISO 1183
Módulo elástico E	325 N/mm <sup>2</sup>	—
Clase de material de construcción	B2 (inflamabilidad normal)	DIN 4102

*Ilustración 19. Propiedades de la cubierta [10]*

#### 4.1.3.5. Subestaciones

El intercambio térmico entre la red de distribución y las viviendas de los consumidores se realiza en conjuntos homologados por el operador del distrito. Dichos conjuntos limitan la propiedad/responsabilidad entre la red y el consumidor y contabilizan la energía consumida.

La presión y temperatura de la red de distribución se adecua a las necesidades para el consumo del usuario, garantizando los saltos de temperatura necesarios para el funcionamiento eficiente del sistema.

Generalmente se trata de sistemas indirectos que poseen uno a varios intercambiadores de calor con los cuales se consigue la transferencia térmica del circuito cerrado de la red de distribución al circuito del habitáculo. Además, también poseen equipos de regulación y control, los ya nombrados contadores y en algunas ocasiones sistemas de almacenamiento térmico.



*Ilustración 20. Parte de una subestación [11]*

#### **4.1.4. Ventajas del sistema**

Aunque a lo largo del marco teórico se han ido exponiendo las ventajas del District Heating, a continuación, se van ordenar y ampliar. Para facilitar la exposición, se clasifican en: ventajas para el consumidor y ventajas para el medio ambiente.

1. Ventajas para el consumidor / usuario:
  - Reducción de ruidos en las instalaciones de los edificios.
  - Reducción del coste de explotación y mantenimiento de la instalación.
  - Evitar problemas relacionados con el bajo rendimiento de las calderas antiguas.
  - No se manipula ni almacena combustible en el edificio.
2. Ventajas medioambientales:
  - Mejora la eficiencia energética de la instalación.
  - Permite el uso de energía renovables para calentar el fluido.
  - Reduce las emisiones de CO<sub>2</sub> y gases de efecto invernadero.



### *4.1.5. Inconvenientes*

A pesar de que la Calefacción Urbana es un sistema que cuenta con numerosas ventajas, también posee inconvenientes:

- La inversión inicial es muy elevada, ya que requiere la construcción de la central, la red de tuberías, etc. Sin embargo, a largo plazo se amortiza y es rentable.
- La instalación del sistema en zonas urbanas ya construidas requiere la cooperación y la aceptación de todos los propietarios para su instalación.
- La distancia entre la central térmica y los usuarios debe de ser pequeña, ya que en distancias largas se producen grandes pérdidas de calor en el camino. Para ello es conveniente que, en la zona de su instalación, la densidad demográfica sea alta.

### *4.1.6. Calefacción Urbana en el mundo*

En los últimos años, el uso de sistemas de calefacción Urbana se ha visto incrementado notablemente. Aunque no hay estadísticas fiables a nivel mundial, sí que territorios o países que ofrecen dichos datos y que pueden mostrar el avance de esta tecnología.

Europa es el territorio donde, por motivos económicos y políticas medioambientales más se está avanzando en esta materia. Según estudios que datan del 2018, un 16% de los ciudadanos emplean esta tecnología. Un porcentaje que, aunque pueda parecer pequeño, en contexto de 741.1 millones de habitantes (2016) y una extensión de 10.18 millones de km<sup>2</sup>, toma sentido. Además, este porcentaje crece a gran velocidad. En 2013 era del 12% y se estima que en 2030 sea del 30%.

Es la zona del norte y centro de Europa donde más se utiliza este sistema. Algunos ejemplos de ello son Islandia, donde el 94% de la población utiliza calefacción central, Dinamarca, con el 74.4%, Letonia, 72%, etc.

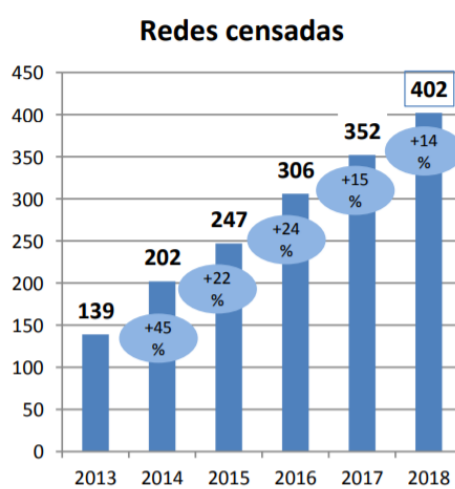
Fuera de Europa, en países asiáticos o en Estados Unidos, su uso también está entendido. China, por ejemplo, es el país con la mayor capacidad de calefacción urbana instalada, con aproximadamente 600GWth.

Fuera de datos porcentuales, ciudades importantes como Berlín, Viena o Estocolmo, emplean este medio como calefacción y refrigeración.



#### 4.1.7. Calefacción Urbana en España

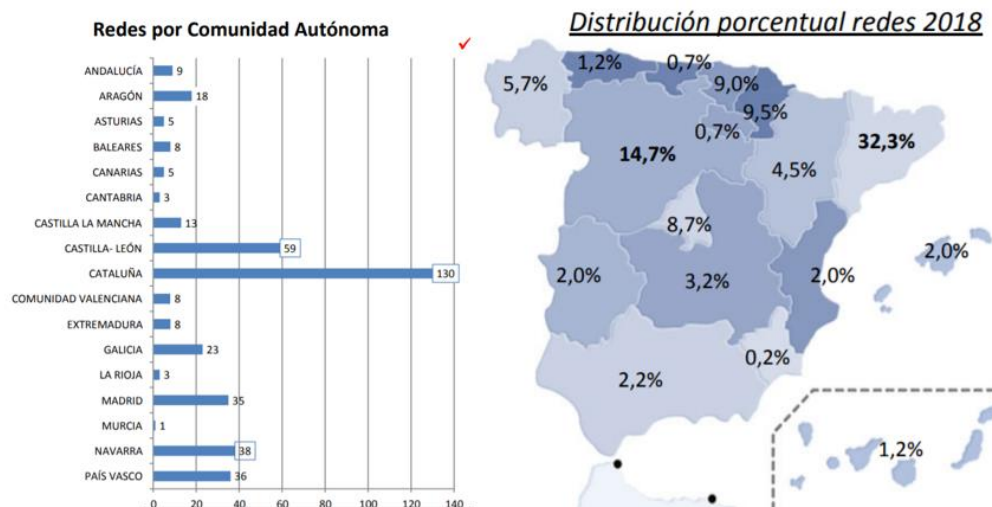
En el ámbito nacional, los datos están muy alejados de la media europea (16%) y de los países anteriormente expuestos. En 2018, el 1% de la población española empleaba este tipo de tecnología. Sin embargo, la implantación de estos sistemas tiende a incrementar en los últimos años, tal y como se muestra en el gráfico de la siguiente figura.



*Ilustración 21. Evolución de la implantación de redes de calefacción urbana en España [12]*

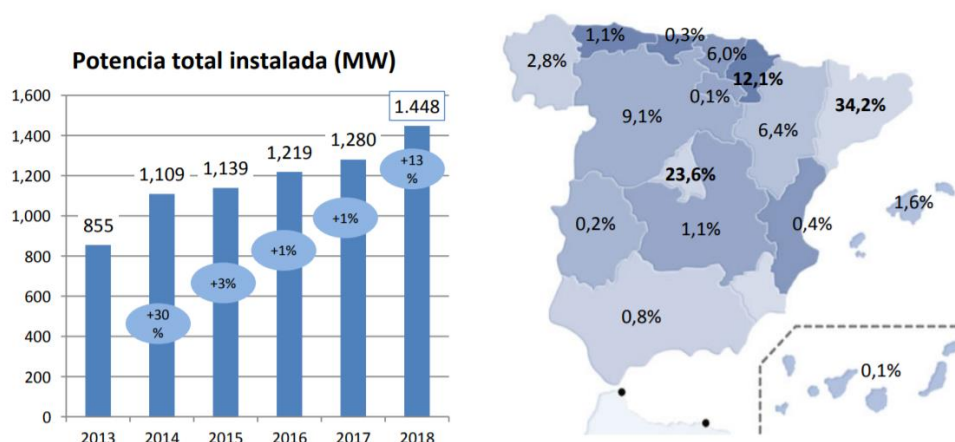
Como se puede observar en el gráfico, los datos más recientes que se tienen datan del 2018, donde habían censadas 402 redes en el Estado Español. Estas redes proveen a más de 5000 edificios, cuentan con una extensión de más de 700 km y suministran una potencia de 1448 MW.

En cuanto a la expansión en las distintas comunidades autónomas, la siguiente figura muestra la distribución porcentual en ellas.



*Ilustración 22. Distribución de las redes en España [12]*

Como se puede observar, Catalunya es la comunidad con mayor número de redes, con un total de 130. A su vez, también es la que mayor potencia genera, tal y como se constata en el siguiente gráfico.



*Ilustración 23. Distribución de la potencia instalada en España [12]*

De la imagen se puede extraer que, pese a ser la quinta en redes, Madrid es la segunda comunidad que más potencia mueven sus sistemas. Además, se puede extraer que Catalunya, Madrid y Navarra representan el 70% de la potencia total instalada en todo el país. El gráfico muestra que, tal y como lo hace el número de redes, la potencia instalada también aumenta cada año.

En cuanto al tipo de redes, de las 402 redes censadas a nivel nacional 363 corresponden a redes solo de calefacción, es decir un 90.3% del total. Las redes que solo refrigeran son 4, un 1% y las que mezclan ambos suministros son 35, un 8.7%.

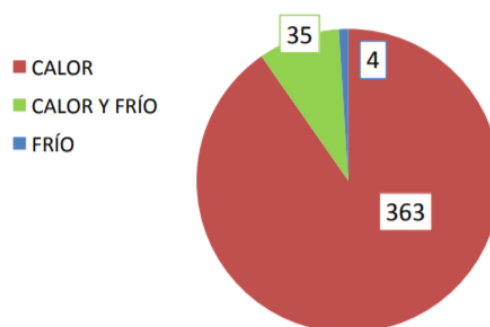


Ilustración 24. Clasificación del tipo de redes [12]

El sector que posee el mayor número de instalaciones es el sector terciario, con diferencia, mientras que en los datos de potencia, el sector industrial, como cabe esperar, gana terreno, ya que los usuarios del mismo necesitan sistemas más potentes.



Ilustración 25. Número de redes y potencia de las mismas respectivamente

Finalmente, cabe destacar que, pese al pequeño número de redes de calefacción urbana instaladas en el país, las fuentes de energía utilizadas son cada vez más respetuosas con el medioambiente. El 72% de las redes censadas se abastecen exclusivamente con fuentes de energía renovables y el 28% restante, de combinaciones energéticas entre las que destaca el gas natural.

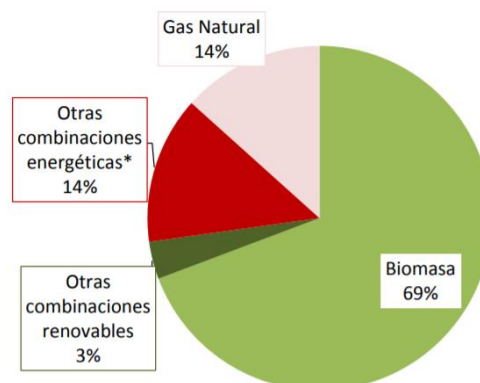


Ilustración 26. Fuentes de energía de las plantas de producción de calor [12]

Alguna de estas redes se encuentra por ejemplo en la ciudad de Móstoles o en Barcelona.

En el caso de Móstoles, la red fue inaugurada en 2017. Cuenta con un central de biomasa que produce 12MW y suministra a 6500 hogares de 13 barrios. El 80% de la energía generada en la planta se destina a producir calor para calefacción mientras que el 20% restante se utiliza el agua caliente sanitaria.

En Barcelona, la red está ubicada en la zona del Fórum, tiene una longitud de 14km y suministra a 80 edificios en un área de 760000 m<sup>2</sup>. La central produce MW para calor y 73MW para refrigeración.

## 5. DESARROLLO

### 5.1. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN

#### 5.1.1. Introducción

En este capítulo del trabajo, el autor del trabajo pretende diseñar una instalación de calefacción urbana para para urbanización en proyección en la ciudad de Zaragoza. Por lo que a diseñar se refiere, el alumno pretende llegar a determinar las características y especificaciones técnicas que debería poseer el sistema para su puesta en marcha en un futuro, así como la inversión que conllevaría. Dichas especificaciones consisten en número de usuarios suministrados, características de la central térmica, características de la red de distribución, calderas, estaciones de bombeo, etc.

Para alcanzar este objetivo, el alumno cuenta con la ayuda de la empresa REHAU, especialista en sistemas de calefacción urbana, la cual le ha facilitado seguir un proceso determinado que marca los pasos a seguir en cada momento. Dicho proceso cuenta con los siguientes pasos:

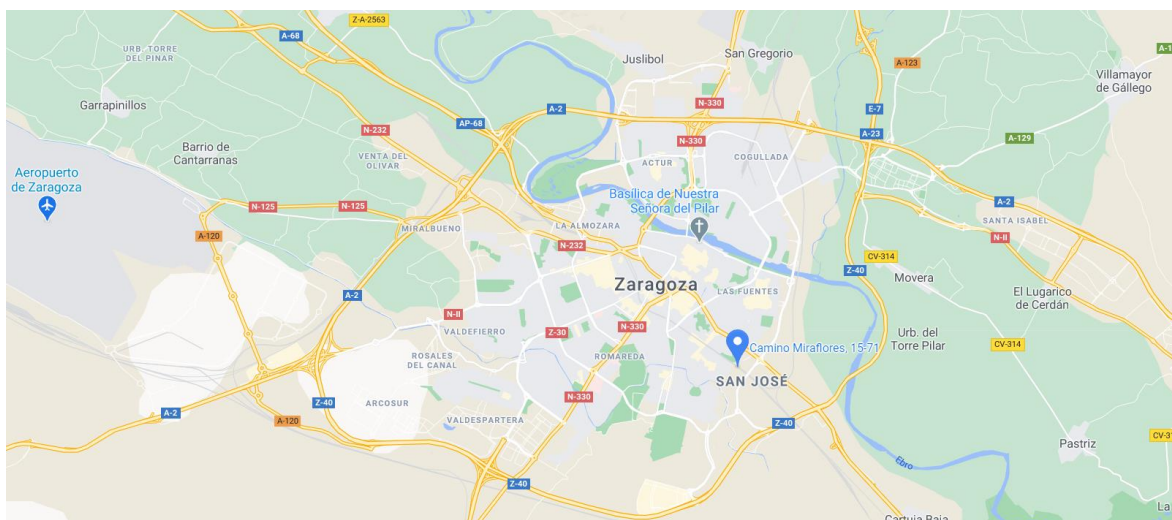
1. Determinación previa de los usuarios conectados/ Cálculo de la demanda de calor.
2. Definición de los sistemas de abastecimiento con calefacción.
3. Fijación del trazado.
4. Cálculo del factor de simultaneidad.
5. Diseño del generador de calor.
6. Cálculo del caudal volumétrico y de la diferencia de temperatura requeridas.
7. Dimensionamiento previo de la tubería de calefacción a distancia/ Determinación de la ruta crítica.
8. Dimensionamiento final.
9. Diseño de la bomba.

Con estos pasos aclarados, se procede a empezar el proyecto.

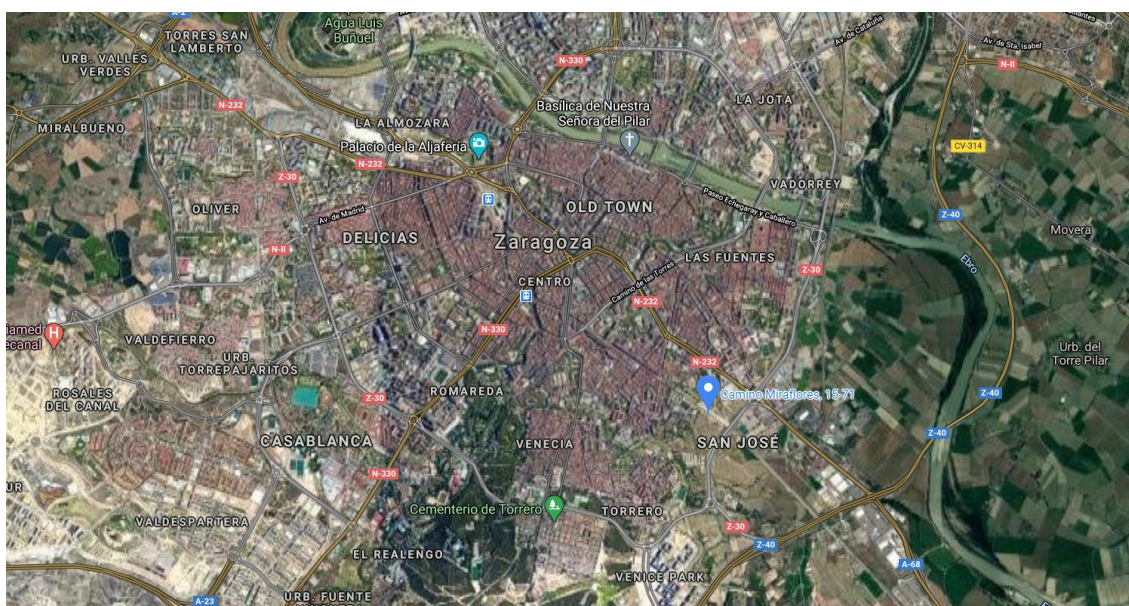


### 5.1.2. Localización de la zona de implantación

La urbanización de la cual se va a diseñar el sistema de calefacción urbana se encuentra situada en la ciudad de Zaragoza, en el barrio de San José, al sur-este de la capital aragonesa. Se trata de una urbanización en proyección denominada sector 38-3 en el plan general de ordenación urbana de Zaragoza, comprendida concretamente entre la Avenida Tenor Fleta y el Tercer Cinturón, tal y como muestra las siguientes imágenes:

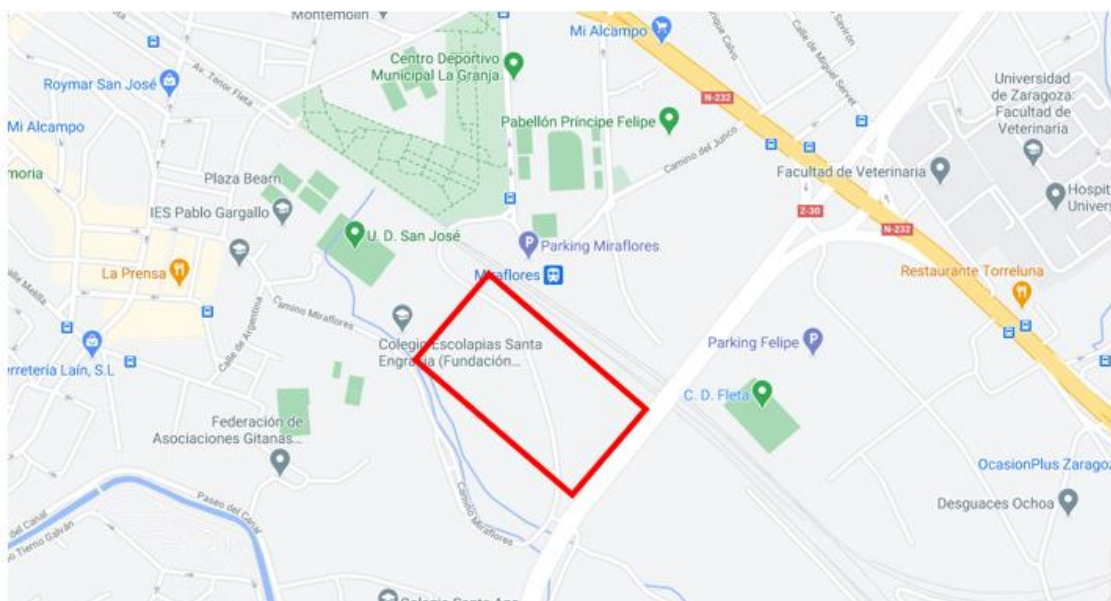


*Ilustración 27. Localización general de la urbanización en el mapa*

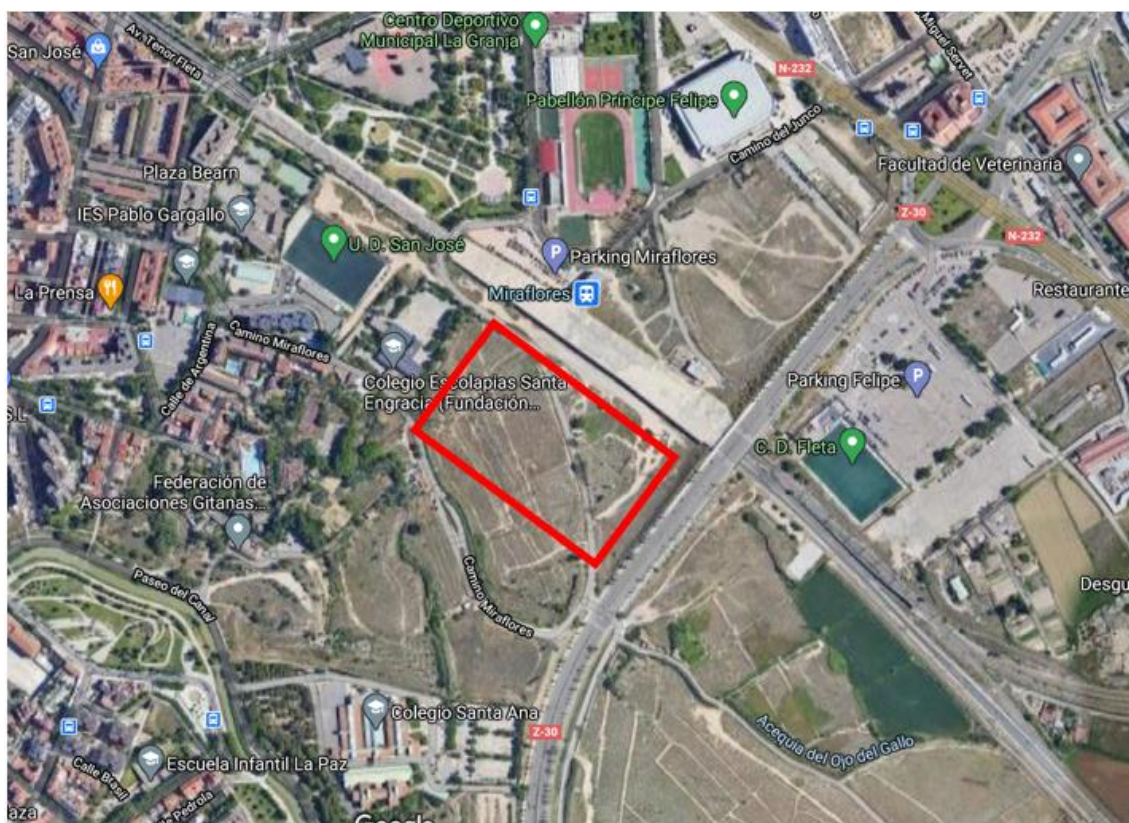


*Ilustración 28. Localización general a vista satélite*





*Ilustración 29. Localización de la urbanización en el mapa*



*Ilustración 30. Localización de la urbanización a vista satélite*

### 5.1.3. Datos de interés

#### 5.1.3.1. Cálculo usuarios conectados

El primer paso a realizar a la hora de diseñar un sistema de calefacción urbana consiste en cuantificar el número de usuarios que van a estar conectados a dicho sistema.

La implementación del sistema se llevará a cabo en una parte de la urbanización, ya que la empresa Rehau argumentó al autor que es el procedimiento habitual. En vez de realizarlo para la totalidad del municipio/zona, etc, se hace primero una parte y si es viable y los vecinos están convencidos, se lleva a cabo en su totalidad. La zona de la urbanización donde se pretende incorporar el diseño contiene 7 edificios de viviendas plurifamiliares, dos locales terciarios (una cafetería y un supermercado), dos equipamientos escolares (un centro de educación infantil y primaria y una guardería) y tres equipamientos sociales (una biblioteca y dos espacios de ocio).

Tipo de edificio	PORTAL	NºVIVIENDAS	LOCAL (m2)	GARAJE (m2)
Residencial	R1	24	150	500
	R2	23	150	500
	R3	24	150	500
	R4	23	150	500
	R5	24	150	500
	R6	23	150	500
	R7	24	150	500
		<b>SUPERFICIE (m2)</b>		
Terciario	T1	935		
	T2	935		
Equipamiento escolar	EE1	4,377		
	EE2	2,200		
Equipamiento social	ES1	1,963		
	ES2	600		
	ES3	600		

*Ilustración 31. Características de los edificios*

Sabidos los edificios contenidos en la zona de estudio, se prosigue a calcular la ocupación de cada uno de ellos.



Para el caso de los edificios residenciales, aunque según un estudio realizado por el Instituto Nacional de Estadística en el año 2019 el tamaño medio del hogar en España es de 2.5 personas, al tratarse de una urbanización no muy lejos del centro, con todos los servicios y bien conectada, el autor piensa que es una zona ideal para ir a vivir con familia, por lo que la media puede subir a 3 personas por vivienda. Aunque a estas alturas no sea relevante, se considera que una vivienda para 3 personas está formada por 2 habitaciones.

Para el resto de edificios, se estima un 60 % de superficie construida y según el tipo de actividad a desarrollar en cada uno de ellos se estima un porcentaje de superficie útil. Sabida la superficie útil y tomando como referencia los valores de ocupación del apartado 3 del Documento Básico de Seguridad en caso de Incendio del Código Técnico, se calcula la ocupación de cada uno de los edificios.

Edificio	Tipo de Edificio	Número de viviendas	Superficie (m2)	60 % Superficie construida (m2)	%Superficie Útil	Superficie útil (m2)	Ocupación	Número de personas
R1	Residencial	24	---	---	---	---	3 personas	72
	Local	---	150	---	65	98	5 m2/persona	20
R2	Residencial	23	---	---	---	---	3 personas	69
	Local	---	150	---	65	98	5 m2/persona	20
R3	Residencial	24	---	---	---	---	3 personas	72
	Local	---	150	---	65	98	5 m2/persona	20
R4	Residencial	23	---	---	---	---	3 personas	69
	Local	---	150	---	65	98	5 m2/persona	20
R5	Residencial	24	---	---	---	---	3 personas	72
	Local	---	150	---	65	98	5 m2/persona	20
R6	Residencial	23	---	---	---	---	3 personas	69
	Local	---	150	---	65	98	5 m2/persona	20
R7	Residencial	24	---	---	---	---	3 personas	72
	Local	---	150	---	65	98	5 m2/persona	20
T1	Terciario (cafetería)	---	935	561	40	374	3 m2/persona	125
T2	Terciario (supermercado)	---	935	561	40	374	3 m2/persona	120
EE1	Equipamiento Escolar (Infantil + Primaria)	---	4377	2626	20	875	5 m2/persona	175
EE2	Equipamiento Escolar (Guardería)	---	2200	1320	20	440	5 m2/persona	88
ES1	Equipamiento Social (Biblioteca)	---	1963	1178	40	785	4 m2/persona	196
ES2	Equipamiento Social	---	600	360	40	240	4 m2/persona	60
ES3	Equipamiento Social	---	600	360	40	240	4 m2/persona	60
<b>TOTAL</b>								<b>1459</b>

*Ilustración 32. Ocupación de los edificios*

Haciendo la suma del total de la ocupación de cada uno de los edificios se puede obtener un número estimado de personas a las que la instalación satisface.

Sabiendo el número de usuarios a suministrar por la red de calefacción urbana, se procede a calcular tanto el consumo de Agua Caliente Sanitaria como la demanda de calor de cada uno de los edificios, para llegar a determinar la potencia que debe entregar la central térmica del sistema.

### 5.1.3.2. Cálculo consumo ACS

Para determinar el consumo de ACS en cada uno de los edificios, el autor del trabajo consulta el Anejo F del Documento Básico de Ahorro de Energía del Código Técnico. En este apartado, aparece una tabla que indica el consumo de litros por persona y día dependiendo de la actividad que se realiza.

#### Anejo F Demanda de referencia de ACS

- 1 La demanda de referencia de ACS para edificios de uso residencial privado se obtendrá considerando unas necesidades de 28 litros/día·persona (a 60°C), una ocupación al menos igual a la mínima establecida en la tabla a-Anejo F y, en el caso de viviendas multifamiliares, un factor de centralización de acuerdo a la tabla b-Anejo F, incrementadas de acuerdo con las pérdidas térmicas por distribución, acumulación y recirculación.

*Ilustración 33. Consumo promedio de ACS en viviendas [13]*

**Tabla c-Anejo F Demanda orientativa de ACS para usos distintos del residencial privado**

Criterio de demanda	Litros/día·persona
Hospitales y clínicas	55
Ambulatorio y centro de salud	41
Hotel *****	69
Hotel ****	55
Hotel ***	41
Hotel/hostal **	34
Camping	21
Hostal/pensión *	28
Residencia	41
Centro penitenciario	28
Albergue	24
Vestuarios/Duchas colectivas	21
Escuela sin ducha	4
Escuela con ducha	21
Cuarteles	28
Fábricas y talleres	21
Oficinas	2
Gimnasios	21
Restaurantes	8
Cafeterías	1

*Ilustración 34. Consumo promedio ACS en locales [13]*

En este mismo apartado, la normativa dicta que dependiendo del número de viviendas que hay en el edificio residencial, se aplica un factor de centralización. Este factor se aplica porque difícilmente todas las viviendas van a utilizar el ACS al mismo tiempo. Como se trabaja con edificios de 23 o 24 viviendas, se aplica un factor de centralización de 0.85. El agente decide tomar el mismo valor para el resto de edificios, aunque no sean residenciales, porque cree que es un factor que corrige correctamente el consumo de cada uno de los edificios.

**Tabla b-Anejo F. Valor del factor de centralización en viviendas multifamiliares**

Nº viviendas	N≤3	4≤N≤10	11≤N≤20	21≤N≤50	51≤N≤75	76≤N≤100	N≥101
Factor de centralización	1	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70

*Ilustración 35. Tablas factores de corrección [13]*

Edificio	Tipo de Edificio	Número de personas	Consumo Unitario de ACS (l/persona día)	Consumo ACS (litros día)	Consumo total de ACS (litros/día)	Consumo total de ACS con k =0.85 (litros/día)
R1	Residencial	72	28	2016	2076	1765
	Local	20	3	60		
R2	Residencial	69	28	1932	1992	1693
	Local	20	3	60		
R3	Residencial	72	28	2016	2076	1765
	Local	20	3	60		
R4	Residencial	69	28	1932	1992	1693
	Local	20	3	60		
R5	Residencial	72	28	2016	2076	1765
	Local	20	3	60		
R6	Residencial	69	28	1932	1992	1693
	Local	20	3	60		
R7	Residencial	72	28	2016	2076	1765
	Local	20	3	60		
T1	Terciario (cafetería)	125	1	125	125	106
T2	Terciario (supermercado)	120	1	120	120	102
EE1	Equipamiento Escolar (Infantil + Primaria)	175	4	700	700	700
EE2	Equipamiento Escolar (Guardería)	88	4	352	352	300
ES1	Equipamiento Social (Biblioteca)	196	1	196	196	167
ES2	Equipamiento Social	60	2	120	120	102
ES3	Equipamiento Social	60	2	120	450	102
					<b>TOTAL</b>	<b>13718</b>

*Ilustración 36. Tabla consumo ACS*

Como muestra la tabla, el consumo de ACS a abastecer por el sistema a diseñar es de 13718 litros/día a 60°C.

### 5.1.3.3. *Cálculo caudal instantáneo*

El caudal instantáneo hace referencia al caudal máximo por unidad de tiempo que se consume/requiere en un punto de consumo en un instante determinado. Las unidades empleadas para medirlo son dm<sup>3</sup>/segundo, que es lo mismo que litros/segundo.

Para calcular el caudal instantáneo requerido en cada uno de los edificios, se diferencia entre edificios para viviendas y edificios comerciales, ya que es necesario seguir dos procedimientos distintos.

#### 5.1.3.3.1. *Caudal instantáneo para viviendas*

El primer paso a llevar a cabo es estimar el número de puntos de consumos que contiene una casa, es decir, el número de aparatos que consumen agua, o más bien Agua Caliente Sanitaria, en una vivienda. Una vez calculados los valores del caudal instantáneo para una vivienda tipo, se extrapolará al número total de viviendas de cada edificio.

Así el autor del trabajo ha considerado que una vivienda para 3 personas y una superficie de 90 m<sup>2</sup> contiene los siguientes aparatos:

Tipo de aparato	Unidades
Lavabo	2
Bidé	1
Inodoro	2
Ducha	1
Bañera de +1.4m	1
Lavavajillas doméstico	1
Lavadora doméstica	1
Fregadero Doméstico	1

*Ilustración 37. Aparatos contenidos en la vivienda*

Definidos los aparatos, con la ayuda de la tabla 2.1. del Documento Básico de Salubridad del Código Técnico que muestra el caudal instantáneo mínimo tanto de agua fría como de ACS, se calculan los valores de caudal de ACS, que son los relevantes en este trabajo.

Tabla 2.1 Caudal instantáneo mínimo para cada tipo de aparato

Tipo de aparato	Caudal instantáneo mínimo de agua fría [dm <sup>3</sup> /s]	Caudal instantáneo mínimo de ACS [dm <sup>3</sup> /s]
Lavamanos	0,05	0,03
Lavabo	0,10	0,065
Ducha	0,20	0,10
Bañera de 1,40 m o más	0,30	0,20
Bañera de menos de 1,40 m	0,20	0,15
Bidé	0,10	0,065
Inodoro con cisterna	0,10	-
Inodoro con fluxor	1,25	-
Urinarios con grifo temporizado	0,15	-
Urinarios con cisterna (c/u)	0,04	-
Fregadero doméstico	0,20	0,10
Fregadero no doméstico	0,30	0,20
Lavavajillas doméstico	0,15	0,10
Lavavajillas industrial (20 servicios)	0,25	0,20
Lavadero	0,20	0,10
Lavadora doméstica	0,20	0,15
Lavadora industrial (8 kg)	0,60	0,40
Grifo aislado	0,15	0,10
Grifo garaje	0,20	-
Vertedero	0,20	-

Ilustración 38. Tabla caudal instantáneo por aparato HS4 CTE [14]

Tipo de aparato	Unidades	Caudal instantáneo unitario de ACS (d3/s)	Caudal instantáneo de ACS (d3/s)
Lavabo	2	0.065	0.13
Bidé	1	0.065	0.065
Inodoro	2	---	---
Ducha	1	0.1	0.1
Bañera de +1.4m	1	0.2	0.2
Lavavajillas doméstico	1	0.1	0.1
Lavadora doméstica	1	0.15	0.15
Fregadero Doméstico	1	0.1	0.1
		<b>TOTAL</b>	<b>0.845</b>

Ilustración 39. Caudal instantáneo en una vivienda según los aparatos

Sin embargo, difícilmente se van a emplear al mismo tiempo todos los aparatos, por lo que se aplica un coeficiente de simultaneidad para toda la vivienda.

El cálculo de este coeficiente se lleva a cabo con la siguiente fórmula:

$$K = \frac{1}{\sqrt{n-1}} \quad [E 5.1]$$

Donde:

- K es el coeficiente.
- n es el número de aparatos.

Como el número de aparatos que consumen ACS en la vivienda son 8, se obtiene el siguiente coeficiente de simultaneidad:

$$K = \frac{1}{\sqrt{8-1}} = 0.378$$

Este valor es adecuado, ya que es superior a 0.25, que es el mínimo coeficiente de simultaneidad que se debería aplicar.

1 vivienda				
Tipo de aparato	Unidades	Caudal instantáneo unitario de ACS (d3/s)	Caudal instantáneo de ACS (d3/s)	Caudal instantáneo de ACS con k = 0.378 (d3/s)
Lavabo	2	0.065	0.13	0.04914
Bidé	1	0.065	0.065	0.02457
Inodoro	2	---	---	---
Ducha	1	0.1	0.1	0.0378
Bañera de +1.4m	1	0.2	0.2	0.0756
Lavavajillas doméstico	1	0.1	0.1	0.0378
Lavadora doméstica	1	0.15	0.15	0.0567
Fregadero Doméstico	1	0.1	0.1	0.0378
		<b>TOTAL</b>	<b>0.845</b>	<b>0.31941</b>

*Ilustración 40. Caudal instantáneo para una vivienda*

Así, se obtiene que la vivienda tipo estimada requiere un caudal instantáneo de 0.32 dm<sup>3</sup>/s, que es lo mismo que 0.32 litros/s.

Para calcular el caudal instantáneo para el total de viviendas que conforman los siete edificios residenciales, se extrapola el valor de la vivienda a tipo a cada uno de ellos. Aunque en la siguiente tabla se muestran los valores de caudal instantáneo tanto de las viviendas como los locales que se encuentran en los edificios residenciales, cabe destacar que el caudal de estos locales se ha calculado siguiendo el procedimiento que se desarrollará en el siguiente apartado.

Edificio	Instalación	Caudal instantáneo de ACS (d3/s)
R1	24 Viviendas	7.66584
	Local 98 m2	0.14751
R2	23 Viviendas	7.34643
	Local 98 m2	0.14751
R3	24 Viviendas	7.66584
	Local 98 m2	0.14751
R4	23 Viviendas	7.34643
	Local 98 m2	0.14751
R5	24 Viviendas	7.66584
	Local 98 m2	0.14751
R6	23 Viviendas	7.34643
	Local 98 m2	0.14751
R7	24 Viviendas	7.66584
	Local 98 m2	0.14751

*Ilustración 41. Caudal instantáneo para los edificios residenciales*

Como ocurría anteriormente, difícilmente todas las viviendas del edificio consumirán ACS al mismo tiempo, por lo que al conjunto del edificio se le debe aplicar otro coeficiente de simultaneidad. Este coeficiente, puede calcularse de dos modos, o bien una fórmula que se emplea entre los técnicos de fontanería que trabajan en este tipo de instalaciones y que la directora del trabajo ha facilitado al autor del mismo. A continuación, se desarrollarán ambos procedimientos para determinar cuál es el coeficiente más apropiado.

La fórmula que emplean los técnicos de fontanería en este tipo de proyectos es la siguiente:

$$K = \frac{(N + 19)}{(10 \cdot (N + 1))} [E 5.2]$$

Donde:

- K es el coeficiente de simultaneidad.
- N el número de viviendas del edificio.

Como tenemos dos tipos de edificios, de 24 viviendas y de 23, se calculan dos coeficientes distintos:

- Para 24 viviendas:  $K = (24 + 19) / (10 (24 + 1)) = 0.172$
- Para 23 viviendas:  $K = (23 + 19) / (10 (23 + 1)) = 0.175$

Observando los resultados, se repara en que dichos coeficientes no son correctos, ya que tal y como se ha comentado anteriormente, el coeficiente de simultaneidad a aplicar no debería ser inferior a 0.25.

Por otro lado, la norma DIN de referencia (que no es de obligado cumplimiento) presenta las siguientes fórmulas.

Según CTE-HS4: Se ha de elegir el coeficiente de simultaneidad de acuerdo con un criterio adecuado. Hay diferentes normas para obtener el caudal de cálculo en un edificio. En las siguientes páginas aparecen las fórmulas para el coeficiente de simultaneidad para diferentes tipos de edificio según norma DIN.

### COEFICIENTES DE SIMULTANEIDAD PARA EL CAUDAL EN OTRO TIPO DE EDIFICIOS:

#### EDIFICIOS DE VIVIENDAS:

Para	$Q_t > 20 \text{ l/s}$	→	$Q_c = 1,7 \times (Q_t)^{0,21} - 0,7 \text{ (l/s)}$
Para	$Q_t \leq 20 \text{ l/s}$ ,	dependiendo de los caudales instantáneos mínimos	
Si todo	$Q_{\min} < 0,5 \text{ l/s}$	→	$Q_c = 0,682 \times (Q_t)^{0,45} - 0,14 \text{ (l/s)}$
Si algún	$Q_{\min} \geq 0,5 \text{ l/s}$	→	$\left\{ \begin{array}{l} Q_t \leq 1 \text{ l/s} \rightarrow Q_c = Q_t \text{ No simultaneidad} \\ Q_t > 1 \text{ l/s} \rightarrow Q_c = 1,7 \times (Q_t)^{0,21} - 0,7 \text{ (l/s)} \end{array} \right\}$

*Ilustración 42. Fórmulas coeficientes de simultaneidad HS4 [14]*

Donde:

- $Q_t$  es el caudal total del edificio.
- $Q_c$  es el caudal final del edificio tras aplicar el coeficiente.
- $Q_{\min}$  es el caudal instantáneo por vivienda.

Como los caudales de cada edificio son inferiores a 20 litros/s (alrededor de 7 litros/s) y el caudal por vivienda es de 0.31941 litros/s, se emplea la siguiente fórmula para obtener el caudal final de cada uno de los edificios:

$$Q_{\text{edificio}} = 0.682 \cdot Q_t^{0.45} - 0.14 \text{ [E 5.3]}$$

Para cada tipo de edificio:

- Para 24 viviendas:  $Q_{\text{edificio}} = 0.682 \cdot 7.66584^{0.45} - 0.14 = 1.565$  litros/s.
- Para 23 viviendas:  $Q_{\text{edificio}} = 0.682 \cdot 7.34643^{0.45} - 0.14 = 1.533$  litros/s.

Aunque con este procedimiento lo que se ha conseguido es obtener el caudal final del edificio sin saber el valor del coeficiente de simultaneidad aplicado, dividiendo el valor del caudal del edificio con factor entre el caudal del edificio sin factor se obtienen



los valores de los factores de simultaneidad aplicado. Este proceso se emplea para comprobar si el procedimiento seguido es el adecuado.

$$K = \frac{\text{Caudal instantáneo del edificio con factor}}{\text{Caudal instantáneo del edificio sin factor}} \quad [E 5.4]$$

- Para 24 viviendas:  $K = 1.565/7.66584 = 0.204$
- Para 23 viviendas:  $K = 1.533/7.34643 = 0.2086$

Como se observa, ninguno de los coeficientes es superior al mínimo de 0.25, por lo que el autor finalmente decide aplicar un factor de  $k = 0.25$  a cada edificio.

Edificio	Instalación	Caudal instantáneo de ACS (d3/s)	Caudal instantáneo de ACS con $k = 0.25$ (d3/s)
R1	24 Viviendas	7.66584	1.9533
	Local 98 m2	0.14751	
R2	23 Viviendas	7.34643	1.8735
	Local 98 m2	0.14751	
R3	24 Viviendas	7.66584	1.9533
	Local 98 m2	0.14751	
R4	23 Viviendas	7.34643	1.8735
	Local 98 m2	0.14751	
R5	24 Viviendas	7.66584	1.9533
	Local 98 m2	0.14751	
R6	23 Viviendas	7.34643	1.8735
	Local 98 m2	0.14751	
R7	24 Viviendas	7.66584	1.9533
	Local 98 m2	0.14751	

*Ilustración 43. Caudal instantáneo en edificios residenciales*

### 5.1.3.3.2. Caudal instantáneo para edificios comerciales

Para el resto de edificios, la metodología a seguir es la misma. Se establecen el número de aparatos que consumen ACS y utilizando la tabla de la ilustración 47 se obtendrá el caudal instantáneo de cada uno de los edificios.

Existe una Circular del Ayuntamiento de Zaragoza que establece las Normas sobre servicios higiénicos en establecimientos de todo tipo. Esta normativa indica el número de lavabos, urinarios e inodoros tienen que estar instalado en cada edificio según el tipo de actividad que se realiza y la ocupación. Se toman como valores de ocupación los anteriormente calculados.

Una vez conocido el número de aparatos y su caudal, se aplica un coeficiente de simultaneidad calculado con la fórmula [E3.1].

A continuación, se muestra el número de elementos que consumen ACS, el coeficiente de simultaneidad aplicado y el caudal instantáneo requerido en cada edificio.

Local edificios residenciales 98 m2 20 personas				
Tipo de aparato	Unidades	Caudal instantáneo unitario de ACS (d3/s)	Caudal instantáneo de ACS (d3/s)	Caudal instantáneo de ACS con $k = 0.577$ (d3/s)
Lavabo	2	0.065	0.13	0.07501
Inodoro	2	---	---	---
Fregadero Doméstico	2	0.1	0.2	0.1154
		<b>TOTAL</b>	<b>0.33</b>	<b>0.19041</b>

*Ilustración 44. Caudal instantáneo local edificio residencial*

Terciario 1 Cafetería 374 m2 125 personas				
Tipo de aparato	Unidades	Caudal instantáneo unitario de ACS (d3/s)	Caudal instantáneo de ACS (d3/s)	Caudal instantáneo de ACS con $k = 0.33$ (d3/s)
Lavabo	6	0.065	0.39	0.1287
Inodoro	4	---	---	---
Urinario	3	---	---	---
Fregadero no doméstico	1	0.2	0.2	0.066
Lavavajillas industrial	1	0.2	0.2	0.066
Fregadero Doméstico	2	0.1	0.2	0.066
		<b>TOTAL</b>	<b>0.99</b>	<b>0.3267</b>

*Ilustración 45. Caudal instantáneo terciario 1*

Terciario 2 Supermercado 374 m2 120 personas				
Tipo de aparato	Unidades	Caudal instantáneo unitario de ACS (d3/s)	Caudal instantáneo de ACS (d3/s)	Caudal instantáneo de ACS con $k = 0.33$ (d3/s)
Lavabo	8	0.065	0.52	0.1716
Inodoro	6	---	---	---
Urinario	4	---	---	---
Fregadero Doméstico	2	0.1	0.2	0.066
		<b>TOTAL</b>	0.72	0.2376

Ilustración 46. Caudal instantáneo terciario 2

Equipamiento Escolar 1 Infantil + Primaria 875 m2 175 personas				
Tipo de aparato	Unidades	Caudal instantáneo unitario de ACS (d3/s)	Caudal instantáneo de ACS (d3/s)	Caudal instantáneo de ACS con $k = 0.25$ (d3/s)
Lavabo	26	0.065	1.69	0.4225
Inodoro	24	---	---	---
Urinario	12	---	---	---
Fregadero no doméstico	1	0.2	0.2	0.05
Lavavajillas industrial	1	0.2	0.2	0.05
Fregadero Doméstico	5	0.1	0.5	0.125
		<b>TOTAL</b>	2.59	0.6475

Ilustración 47. Caudal instantáneo equipamiento escolar 1

Equipamiento Escolar 2 Guardería 440 m2 88 personas				
Tipo de aparato	Unidades	Caudal instantáneo unitario de ACS (d3/s)	Caudal instantáneo de ACS (d3/s)	Caudal instantáneo de ACS con $k = 0.25$ (d3/s)
Lavabo	14	0.065	0.91	0.2275
Inodoro	10	---	---	---
Urinario	4	---	---	---
Fregadero Doméstico	4	0.1	0.4	0.1
		<b>TOTAL</b>	1.31	0.3275

Ilustración 48. Caudal instantáneo equipamiento escolar 2

Equipamiento Social 1 785 m2 196 personas				
Tipo de aparato	Unidades	Caudal instantáneo unitario de ACS (d3/s)	Caudal instantáneo de ACS (d3/s)	Caudal instantáneo de ACS con $k = 0.353$ (d3/s)
Lavabo	8	0.065	0.52	0.18356
Inodoro	8	---	---	---
Urinario	4	---	---	---
Fregadero Doméstico	1	0.1	0.1	0.0353
		<b>TOTAL</b>	0.62	0.21886

Ilustración 49. Caudal instantáneo equipamiento social 1

Equipamiento Social 2 240 m2 60 personas				
Tipo de aparato	Unidades	Caudal instantáneo unitario de ACS (d3/s)	Caudal instantáneo de ACS (d3/s)	Caudal instantáneo de ACS con $k = 0.378$ (d3/s)
Lavabo	6	0.065	0.39	0.14742
Inodoro	4	---	---	---
Urinario	3	---	---	---
Fregadero Doméstico	2	0.1	0.2	0.0756
		<b>TOTAL</b>	0.59	0.22302

Ilustración 50. Caudal instantáneo equipamiento social 2

Equipamiento Social 3 240 m2 60 personas				
Tipo de aparato	Unidades	Caudal instantáneo unitario de ACS (d3/s)	Caudal instantáneo de ACS (d3/s)	Caudal instantáneo de ACS con $k = 0.378$ (d3/s)
Lavabo	6	0.065	0.39	0.14742
Inodoro	4	---	---	---
Urinario	3	---	---	---
Fregadero Doméstico	2	0.1	0.2	0.0756
		<b>TOTAL</b>	0.59	0.22302

Ilustración 51. Caudal instantáneo equipamiento social 3

A continuación, se muestra la tabla recopilatoria del caudal instantáneo requerido en cada uno de los edificios.

Edificio	Caudal instantáneo de ACS (dm <sup>3</sup> /s)
R1	1.9533
R2	1.8735
R3	1.9533
R4	1.8735
R5	1.9533
R6	1.8735
R7	1.9533
T1	0.3267
T2	0.2376
EE1	0.6475
EE2	0.3275
ES1	0.2189
ES2	0.223
ES3	0.223
<b>TOTAL</b>	<b>15.6379</b>

*Ilustración 52. Caudal instantáneo total*

Como muestra la tabla, el caudal instantáneo a abastecer por el sistema a diseñar es de 15.64 litros/segundo.

#### 5.1.3.4. Cálculo carga térmica

La demanda de calor o carga térmica se define como la cantidad de energía térmica por unidad de tiempo, es decir potencia térmica, que un espacio cerrado intercambia con el exterior, a causa de la diferencia de condiciones entre el interior y el exterior. Este fenómeno se debe a dos tipos de pérdidas: las pérdidas de calor por ventilación y las pérdidas de calor por transmisión (cerramiento), de modo que la demanda de calor será igual a la suma de ellas. En viviendas, las pérdidas de calor por ventilación corresponden un 30% de la demanda de calor, mientras que las pérdidas por transmisión son el 70% restante.

$$Q = Q_t + Q_v \text{ [E 5.5]}$$

Donde:

- $Q$  = demanda de calor/carga térmica en W.
- $Q_t$  = pérdidas de calor por transmisión en W.

- $Q_v$  = pérdidas de calor por ventilación en W.

De este modo, se procede a calcular ambas pérdidas por separado para finalmente sumarlas y obtener el valor final de la demanda de calor del sistema.

#### 5.1.3.4.1. Pérdidas por transmisión $Q_t$

Las pérdidas por transmisión son debidas al intercambio de calor entre las superficies que aíslan el espacio interior con el exterior, es decir, paredes, techos, ventanas, etc.

Las pérdidas de transmisión tienen una fórmula única para viviendas y espacios locales. Esta fórmula hay que aplicarla para cada uno de los cerramientos que conforman el habitáculo, es decir, hay que aplicar la fórmula por zonas y después sumarlas todas ellas para obtener el valor final de pérdidas por transmisión del recinto.

$$Q_t = U \cdot S \cdot \Delta T \quad [E 5.6]$$

Donde:

- U es el coeficiente de transmisión térmica del cerramiento o transmitancia del material de cerramiento en  $m^2 \text{ } ^\circ C$ .
- S es la superficie del cerramiento en  $m^2$ .
- $\Delta T$  = salto térmico en  $^\circ C$ .

El salto térmico hace referencia a la diferencia de temperaturas entre el exterior y el interior. Según la guía técnica sobre "Condiciones climáticas exteriores de proyecto" publicada por el IDEA (Instituto para la diversificación y ahorro de la energía" del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, para las condiciones de proyecto de calefacción, se puede considerar la temperatura seca exterior mínima de Zaragoza con un percentil del 99% que es  $T_{s\_99} = -1,1^\circ C$ . (Este valor quiere decir que el 99% de las horas del año, la temperatura está por encima de ese valor en Zaragoza). la temperatura exterior en Zaragoza en invierno es de  $-1.1^\circ C$ , mientras que la interior (El reglamento de instalación térmicas de los edificios RITE, establece un rango de temperaturas de confort para el interior. De ese rango (21 a  $23^\circ C$ ), el autor ha considerado que ha considerado el autor de este trabajo es de  $22^\circ C$ , una temperatura de confort en el interior de una vivienda.

$$\Delta T = |T_{ext} - T_{int}| \quad [E 5.7]$$

$$\Delta T = |-1.1 - 22| = |-23.1^\circ C| = 23.1^\circ C$$

La dificultad del proceso de obtención del valor de pérdidas por calor reside en que, al tratarse de una urbanización en proyección, el autor no es conocedor de los materiales que se van a emplear como cerramiento en cada una de las viviendas y locales, es decir, el material de las paredes y el techo, ventanas, puertas, etc.

Llegados aquí, el alumno y la directora del trabajo llegan a la conclusión que pueden seguir por dos caminos: o bien estimar una vivienda tipo y un local tipo con materiales de cerramiento y superficies para luego extrapolarlo a cada una de las viviendas y locales, o bien utilizar unos valores predeterminados de pérdidas que son utilizados por los técnicos especialistas que llevan a cabo estos tipos de cálculos.

Para el primer camino, se podría haber empleado la tabla del Anejo E del Documento Básico de Ahorro de Energía del Código Técnico, la cual determina unas transmitancias para cada tipo de cerramiento dependiendo de la Zona climática donde se ubica dicho cerramiento.

## Anejo E Valores orientativos de transmitancia

- 1 La tabla a-Anejo E aporta valores orientativos de los parámetros característicos de la envolvente térmica que pueden resultar útiles para el predimensionado de soluciones constructivas de edificios de uso residencial privado, para el cumplimiento de las condiciones establecidas para el coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente (apartado 3.1.1 – HE1):

Tabla a-Anejo E. Transmitancia térmica del elemento,  
 $U$  [ $W/m^2 K$ ]

	Zona Climática de invierno					
	$\alpha$	A	B	C	D	E
Muros y suelos en contacto con el aire exterior, $U_M, U_S$	0,56	0,50	0,38	0,29	0,27	0,23
Cubiertas en contacto con el aire exterior, $U_C$	0,50	0,44	0,33	0,23	0,22	0,19
Elementos en contacto con espacios no habitables o con el terreno, $U_T$	0,80	0,80	0,69	0,48	0,48	0,48
Huecos (conjunto de marco, vidrio y, en su caso, cajón de persiana), $U_H$	2,7	2,7	2,0	2,0	1,6	1,5

- 2 Los valores anteriores presuponen un correcto tratamiento de los puentes térmicos.

### *Ilustración 53. Valores orientativos por transmitancia [13]*

Por el CTE se sabe que Zaragoza ciudad se encuentra en una zona climática D3. Con estos valores y considerando unos valores medios de superficies de vivienda, se podrían obtener unos valores de pérdidas de calor por transmisión en una vivienda tipo. Sin embargo, tanto al autor del trabajo como a la directora no les convence esta idea, ya que es posible que el diseño que hagan ellos de paredes, muros y ventanas no se corresponda en nada a la realidad del proyecto, de modo que deciden optar por el segundo camino.

Tras consultar varios Ingenieros y Técnicos que en su día a día trabajan con proyectos parecidos al que se está llevando a cabo en este documento. ...

Estos especialistas utilizan unos valores de demanda de calor de 80 W/m<sup>2</sup> para viviendas y 60 W/m<sup>2</sup> para el resto de locales. Esta diferencia se debe a que los locales poseen mayor ocupación y la cantidad de personas que se encuentran en un espacio cerrado influye en demanda de calor porque transmiten más calor al ambiente.

Sin embargo, en los últimos años, las nuevas regulaciones del Ahorro de Energía del Código Técnico se han puesto más exigentes con los cerramientos, de modo que exigen materiales mejor aislantes y de mayor calidad, por lo que los valores de demanda de calor pueden bajar a 50W/m<sup>2</sup> para viviendas y para locales.

En este caso, el autor no diferencia entre viviendas y locales, porque, aunque la ocupación reduce la demanda de calor, en pandemia conviene que haya una mejor ventilación, por lo que las pérdidas compensarían.

Así pues, estimando una superficie de 90m<sup>2</sup> por vivienda, que son medidas razonables para una vivienda en un edificio multifamiliar y empleando el porcentaje del 70% del total de la demanda de calor (50 W/m<sup>2</sup>), se calculan las pérdidas por transmisión.

Edificio	Instalación	Superficie Construida (m <sup>2</sup> )	Pérdidas de calor por transmisión (W)	Pérdidas de calor por transmisión finales (KW)
R1	24 Viviendas	2160	75600	81
	Local	150	5250	
R2	23 Viviendas	2070	72450	78
	Local	150	5250	
R3	24 Viviendas	2160	75600	81
	Local	150	5250	
R4	23 Viviendas	2070	72450	78
	Local	150	5250	
R5	24 Viviendas	2160	75600	81
	Local	150	5250	
R6	23 Viviendas	2070	72450	78
	Local	150	5250	
R7	24 Viviendas	2160	75600	81
	Local	150	5250	
T1	Cafetería	561	19635	20
T2	Supermercado	561	19635	20
EE1	Infantil + Primaria	2626	91100	91
EE2	Guardería	1320	46200	46
ES1	Biblioteca	1178	41230	41
ES2	Equipamiento Social	360	12600	13
ES3	Equipamiento Social	360	12600	13

*Ilustración 54. Pérdidas de calor por transmisión*



### 5.1.3.4.2. Pérdidas por ventilación $Q_v$

Las pérdidas por ventilación son aquellas que son debidas a la circulación de aire en el interior de los espacios, de modo que entra aire exterior y sale aire interior.

La fórmula que rige para el cálculo de las pérdidas de calor por ventilación es la misma para edificios de viviendas como para locales.

$$Q_v = q_v \cdot 0.34 \cdot \Delta T \quad [\text{E 5.8}]$$

Donde:

- $Q_v$  = pérdidas de calor por ventilación en W.
- $q_v$  = caudal en m<sup>3</sup>/h.
- $\Delta T$  = salto térmico en °C.

Igual que en el apartado anterior, el salto térmico hace referencia a la diferencia de temperaturas entre el exterior y el interior. Según los apuntes de la asignatura de Instalaciones I, la temperatura exterior en Zaragoza en invierno es de -1.1°C, mientras que la interior que ha considerado el autor de este trabajo es de 22°C, una temperatura de confort en el interior de una vivienda.

$$\Delta T = |T_{\text{ext}} - T_{\text{int}}| \quad [\text{E5.9}]$$

$$\Delta T = |-1.1 - 22| = |-23.1^\circ\text{C}| = 23.1^\circ\text{C}$$

Por otro lado, la obtención del caudal que circula a través del edificio, varía dependiendo de si es una vivienda o un edificio destinado a otras actividades, por lo que se seguirán dos procedimientos distintos para obtener las pérdidas de calor por ventilación.

#### **Viviendas**

Siguiendo la normativa del apartado 3 del Documento Básico de Ahorro de Energía del Código Técnico, el caudal de ventilación mínimo requerido en una vivienda queda reflejado en la siguiente tabla:

Tabla 2.1 Caudales mínimos para ventilación de caudal constante en locales habitables

Tipo de vivienda	Caudal mínimo $q_v$ en l/s				
	Locales secos <sup>(1) (2)</sup>			Locales húmedos <sup>(2)</sup>	
	Dormitorio principal	Resto de dormitorios	Salas de estar y comedores <sup>(3)</sup>	Mínimo en total	Mínimo por local
0 ó 1 dormitorios	8	-	6	12	6
2 dormitorios	8	4	8	24	7
3 o más dormitorios	8	4	10	33	8

Ilustración 55. Caudal mínimo para ventilación en viviendas [13]

Como se ha comentado anteriormente, se considera que una vivienda de 3 residentes está formada por 2 dormitorios, de modo que, para estas viviendas, los locales secos, que son las habitaciones por donde entra el aire, tienen un caudal de  $8+4+8 = 20$  litros/s, mientras que los locales húmedos, que son las habitaciones por donde sale el aire hacia el exterior (cocina y baños) tienen un caudal de 24 litros/s. Como el aire que entra tiene que ser igual al aire que sale, se toma como caudal el valor más grande, porque es más restrictivo.

Como las unidades que requiere la fórmula de las pérdidas de calor por ventilación vienen medidas en el Sistema Internacional, se procede a realizar la equivalencia:

$$24 \text{ litros/s} = 86.4 \text{ m}^3/\text{h}$$

Con todos los valores, se procede a calcular las pérdidas por ventilación con la siguiente fórmula:

$$Q_v = (86.4 \cdot n^{\circ} \text{viviendas}) \cdot 0.34 \cdot 23.1 \text{ [E5.10]}$$

Edificio	Número de viviendas	Pérdidas de calor por ventilación (W)
R1	24	16286
R2	23	15607
R3	24	16286
R4	23	15607
R5	24	16286
R6	23	15607
R7	24	16286

Ilustración 56. Pérdidas por ventilación en viviendas

Obteniendo como resultado unas pérdidas de calor por ventilación de 679W por vivienda.

Sin embargo, el autor utiliza la metodología empleada en el apartado anterior para verificar los datos obtenidos. Haciendo el 30% de pérdidas por ventilación del 50W de demanda de calor total, se obtienen los siguientes valores:

Edificio	Número de viviendas	Pérdidas de calor por ventilación (W)	Pérdidas de calor por ventilación con 30% de 50W (W)
R1	24	16286	32400
R2	23	15607	31050
R3	24	16286	32400
R4	23	15607	31050
R5	24	16286	32400
R6	23	15607	31050
R7	24	16286	32400

*Ilustración 57. Comparación de las pérdidas por ventilación*

Obteniéndose unos valores de pérdidas de calor por ventilación de 1350W. Como se puede apreciar, hay una diferencia importante de casi el doble de Watios utilizando un método u otro. Tras darle vueltas, el autor del trabajo llega a la conclusión que esta diferencia puede venir de que se ha estimado pisos grandes, de 90m<sup>2</sup>. Tal vez, 90m<sup>2</sup> son pisos más próximos a 4 residentes que a 3, de modo que habría una habitación más por vivienda y el caudal de aire crecería hasta los 118.8 m<sup>3</sup>/h en vez de los 86.4 m<sup>3</sup>/h tomados. Con este nuevo caudal las pérdidas por ventilación resultarían 933W por vivienda, un valor intermedio a los obtenidos en ambos métodos, de modo que, para corregir un poco el resultado, el autor decide toma unas pérdidas de calor por ventilación de 1000W por vivienda.

Tomando 1000W de pérdidas por ventilación en cada vivienda y teniendo en cuenta que la demanda de calor era de 50W/m<sup>2</sup> por vivienda, se obtiene un porcentaje de pérdidas de ventilación del 24%, cercano al 30% explicado anteriormente.

Edificio	Número de viviendas	Pérdidas de calor por ventilación (W)	Pérdidas de calor por ventilación con 30% (W)	Pérdidas de calor por ventilación corregidas (W)
R1	24	16286	32400	24000
R2	23	15607	31050	23000
R3	24	16286	32400	24000
R4	23	15607	31050	23000
R5	24	16286	32400	24000
R6	23	15607	31050	23000
R7	24	16286	32400	24000

*Ilustración 58. Pérdidas por ventilación finales en viviendas*

### **Edificios comerciales**

Para esta parte se ha empleado la normativa decretada en el Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios, RITE, concretamente el apartado 1 de Instrucciones Técnicas: Diseño y Dimensionado. Este reglamento detalla la calidad del aire interior en función del uso de los edificios.

- IDA 1 (aire de óptima calidad): hospitales, clínicas, laboratorios y guarderías.
- IDA 2 (aire de buena calidad): oficinas, residencias (locales comunes de hoteles y similares, residencias de ancianos y de estudiantes), salas de lectura, museos, salas de tribunales, aulas de enseñanza y asimilables y piscinas.
- IDA 3 (aire de calidad media): edificios comerciales, cines, teatros, salones de actos, habitaciones de hoteles y similares, restaurantes, cafeterías, bares, salas de fiestas, gimnasios, locales para el deporte (salvo piscinas) y salas de ordenadores.
- IDA 4 (aire de calidad baja).

Los locales destinados a comercios, cafeterías y restaurantes tendrían que tener un aire de calidad media, un IDA 3, pero como el mundo se encuentra en una situación de pandemia y conviene que los locales estén bien ventilados, el autor decide elegir un aire de mayor calidad, un IDA 2. (Según la Guía sobre "Recomendaciones de operación y mantenimiento de los sistemas de climatización y ventilación de edificios y locales para la prevención de la propagación del SARS-COV2, se establece un caudal mínimo de ventilación de 12,5 l/s correspondiente a IDA 2 para cualquier tipo de local).

Sin embargo, para el equipamiento escolar 2 que albergará una guardería se opta por un aire de calidad óptima, un IDA 1.

El mismo documento, establece un caudal determinado para cada tipo de edificio según la calidad del aire requerida, tal y como muestra la siguiente imagen:

<b>Tabla 1.4.2.1 Caudales de aire exterior, en dm<sup>3</sup>/s por persona</b>	
<b>Categoría</b>	<b>dm<sup>3</sup>/s por persona</b>
IDA 1	20
IDA 2	12,5
IDA 3	8
IDA 4	5

*Ilustración 59. Caudal de aire en locales [15]*

De este modo:

- Para IDA 1:  $q_v = 20$  litros/s por persona =  $72 \text{ m}^3/\text{s}$  por persona.
- Para IDA 2:  $q_v = 12.5$  litros/s por persona =  $45 \text{ m}^3/\text{s}$  por persona.

Edificio	Instalación	Ocupación (nº personas)	Pérdidas de calor por ventilación finales (W)
R1	24 Viviendas	72	31069
	Local	20	
R2	23 Viviendas	69	30069
	Local	20	
R3	24 Viviendas	72	31069
	Local	20	
R4	23 Viviendas	69	30069
	Local	20	
R5	24 Viviendas	72	31069
	Local	20	
R6	23 Viviendas	69	30069
	Local	20	
R7	24 Viviendas	72	31069
	Local	20	
T1	Cafetería	125	44178
T2	Supermercado	120	42411
EE1	Infantil + Primaria	175	61850
EE2	Guardería	88	49700
ES1	Biblioteca	196	69200
ES2	Equipamiento Social	60	21250
ES3	Equipamiento Social	60	21250

*Ilustración 60. Pérdidas de calor por ventilación*

En este apartado, tras comprobar y verificar los resultados obtenidos, no se realiza una corrección de los datos obtenidos, dado que para ello se tendría que estimar un valor medio de superficie de un local y la dispersión de superficies que hay entre locales es muy grande (de 4400 m<sup>2</sup> a 600 m<sup>2</sup>). Además, la ocupación de los locales se ha llevado a cabo al alza y esto permite que los valores de pérdidas por ventilación sean un poco superiores a lo que tendrían que ser, lo justo para que haya una correcta ventilación de los locales en época de pandemia como la que se encuentra el mundo actualmente.

Finalmente, tras calcular las pérdidas de calor tanto por ventilación como por transmisión, se obtienen los valores de demanda de calor necesarios para determinar las características técnicas que debe poseer el sistema. Tal y como se hizo en el cálculo del consumo de ACS, en la demanda de calor también se aplica un factor de simultaneidad o centralización del mismo valor, es decir,  $k = 0.85$ , porque muy difícilmente se van a producir las pérdidas máximas en todos los edificios en un instante determinado.

Edificio	Pérdidas de calor por ventilación (KW)	Pérdidas de calor por transmisión (KW)	Demanda de calor (KW)	Demanda de calor con $k=0.85$ (KW)
R1	31	81	112	95
R2	30	78	108	92
R3	31	81	112	95
R4	30	78	108	92
R5	31	81	112	95
R6	30	78	108	92
R7	31	81	112	95
T1	44	20	64	55
T2	42	20	62	53
EE1	61	91	152	130
EE2	50	46	96	82
ES1	69	41	110	94
ES2	21	13	34	29
ES3	21	13	34	29
			<b>TOTAL</b>	<b>1128</b>

*Ilustración 61. Carga térmica de todos los edificios*

Como muestra la tabla, demanda de calor o carga térmica de la instalación a diseñar es de 1128 KW.

### 5.1.3.5. Cálculo potencia subestaciones

La potencia final de cada subestación viene dada por la carga térmica y la potencia instantánea de ACS. De la primera ya se tienen los datos, por lo que se proceden a calcular las potencias de ACS de cada edificio.

La fórmula para calcular dichas potencias es la siguiente:

$$P = \frac{qc \cdot \% \text{ acumulación} \cdot c_e \cdot (T_{ACS} - T_{AF})}{860 \cdot t_{preparación}} [E 5.11]$$

Donde:

- P es la potencia instantánea de ACS en KW.

- $Q_c$  es el consumo de ACS en litros/día.
- $c_e$  es el calor específico del agua en kcal/kg °C
- $T_{ACS}$  es la temperatura de uso de agua caliente en °C.
- $T_{AF}$  es la temperatura a la que llega el agua fría al intercambiador.
- % acumulación consiste en el porcentaje de agua que se va almacenar en el depósito de la subestación.
- $T_{preparación}$  hace referencia al tiempo que en horas que tarda en llenarse el depósito.

El coeficiente 1/860 se emplea para pasar las unidades de kcal/h a KW.

Por otro lado, se estima un porcentaje de agua acumulada en los depósitos del 50%, con un tiempo de preparación, es decir, un tiempo de llenado de 1 hora.

Sumando la potencia de ACS con la potencia de carga térmica se obtienen las dimensiones totales de cada subestación.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos:



Edificio	Consumo ACS (litros/día)	Potencia ACS (KW)	Carga Térmica (KW)	Potencia Total Edificio (KW)
R1 (24 viviendas)	1765	47	95	142
R2 (23 viviendas)	1693	45	92	137
R3 (24 viviendas)	1765	47	95	142
R4 (23 viviendas)	1693	45	92	137
R5 (24 viviendas)	1765	47	95	142
R6 (23 viviendas)	1693	45	92	137
R7 (24 viviendas)	1765	47	95	142
T1	106	3	55	58
T2	102	3	53	56
EE1	700	19	130	149
EE2	300	8	82	86
ES1	167	5	94	99
ES2	102	3	29	32
ES3	102	3	29	32
			<b>TOTAL</b>	<b>1491</b>

*Ilustración 62. Potencias subestaciones*

## 5.2. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

Con todos los cálculos realizados y los resultados obtenidos, en este apartado se procede a describir las características y especificaciones técnicas de la instalación diseñada.

La instalación diseñada está formada principalmente por 2 elementos: la central donde se calienta el agua y el circuito de tuberías que distribuyen dicho fluido hasta cada uno de los edificios y viceversa.

### 5.2.1. Central

La central corresponde al edificio que alberga los elementos que se encargan de calentar el agua y propulsarla para distribuirla por la red. Se encuentra localizada en una de las parcelas libres de la urbanización, concretamente al noroeste, aunque en el plano adjunto en el anexo se ve con más detalle.

Consiste en una central de biomasa que mediante la combustión de materiales vegetales calienta el agua. Se ha optado por este tipo de central porque este tipo de fuente es considerada una energía renovable y genera menos emisiones que por ejemplo una central de gas natural. El material vegetal que se puede emplear como fuente de combustión son pellets producidos de forma industrial, astillas procedentes de industrias de transformación de la madera o de tratamientos forestales como podas o cleros, residuos agroindustriales como huesos de aceituna, cáscaras de frutos secos, etc.

El elemento principal de la central consiste en la caldera. La caldera se elige según la potencia requerida por la demanda que debe cubrir la instalación y como se ha visto, esta potencia ha sido calculada anteriormente. Sin embargo, se adjuntan los resultados para facilitar la comprensión del trabajo.

Edificio	Consumo ACS (litros/día)	Potencia ACS (KW)	Carga Térmica (KW)	Potencia Total Edificio (KW)
R1 (24 viviendas)	1765	47	95	142
R2 (23 viviendas)	1693	45	92	137
R3 (24 viviendas)	1765	47	95	142
R4 (23 viviendas)	1693	45	92	137
R5 (24 viviendas)	1765	47	95	142
R6 (23 viviendas)	1693	45	92	137
R7 (24 viviendas)	1765	47	95	142
T1	106	3	55	58
T2	102	3	53	56
EE1	700	19	130	149
EE2	300	8	82	86
ES1	167	5	94	99
ES2	102	3	29	32
ES3	102	3	29	32
<b>TOTAL</b>				<b>1491</b>

*Ilustración 63. Potencias subestaciones instalación*

Haciendo el sumatorio de las potencias de todas las subestaciones se obtiene la potencia total que debe suministrar la central. Como se puede observar, la potencia total es de 1500KW, pero el alumno del trabajo decide elegir dos calderas con la mitad de potencia para evitar problemas de suministro en el caso que falle una de las calderas.

Con los parámetros de potencia descritos y teniendo en cuenta que las calderas tienen que calentar el agua a una temperatura de 80°C para propulsarla por las tuberías, se busca en una amplia gama de proveedores una caldera que satisfaga estos requisitos.

Las calderas elegidas son de la marca Herz, concretamente, el modelo Biofire 800W T-Control cuyo proveedor Termosun. Dicho proveedor, ha facilitado información de las calderas al autor del trabajo, de modo que se puedan mostrar especificaciones técnicas y ventajas de la misma.

A continuación, se definen los principales elementos que forman la central de la instalación diseñada.

### 5.2.1.1. *Sistemas de alimentación de combustible*

El sistema de alimentación de combustible está formado por:

- Depósito intermedio de combustible con control de nivel mediante sensores infrarrojos.
- Introdutor con doble sinfín de alimentación con compuerta hermética antirretorno de llama.
- Sistema de extracción de humos con variador de frecuencia en el ciclón.
- Control de aire primario y secundario (I y II) con 4 ventiladores independientes de velocidad variable.



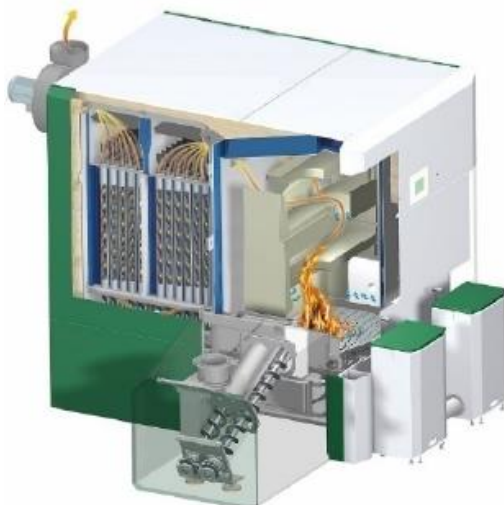
*Ilustración 64. Sinfín entrada combustible [16]*

### 5.2.1.2. *Cámara de combustión con parrilla móvil*

Cuerpo de la caldera formado por 2 módulos (combustión e intercambio) ambos refrigerados por agua, Water Jacket, y con aislamiento térmico de alta eficiencia que garantiza mínimas pérdidas de calor.

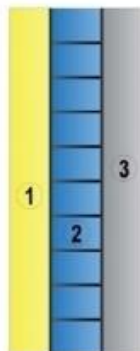
La zona de combustión Water Jacket presenta las siguientes ventajas:

- Ausencia total de estrés térmico: Durante el encendido y la modulación del régimen térmico y durante el cambio de combustible de húmedo a seco.
- Refrigeración de los refractarios: Los refractarios utilizados por HERZ son de SiC (Carburo de Silicio) para altas temperaturas. Al estar refrigerados por agua en toda la cámara de combustión, se evitan temperaturas elevadas y se mejora la durabilidad.
- Permite la construcción de calderas más compactas, más robustas y con menor peso.



*Ilustración 65. Imagen ilustrativa cámara de combustión [16]*

#### Sección de una caldera con WaterJacket



1. Aislamiento.
2. Refrigeración por agua (WaterJacket).
3. Refractario.

*Ilustración 66. Revestimiento cámara de combustión [16]*

El módulo de combustión está formado por:

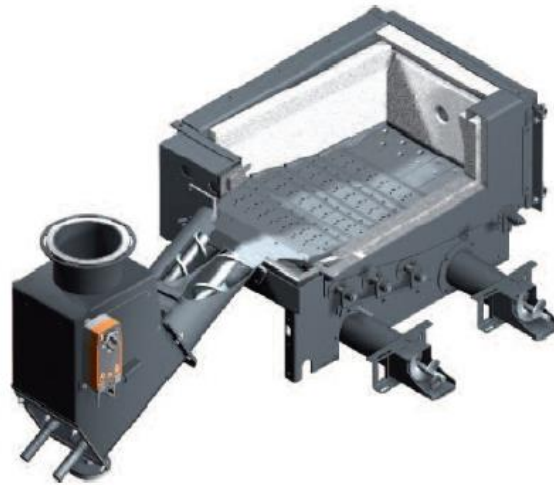
- Una parrilla móvil principal con control en 3 zonas y una parrilla móvil debajo de la parrilla principal para la recogida de cenizas. También está provista de 2 zonas de aire primario y 2 zonas de aire secundario, controladas cada una por un ventilador con control de velocidad elementos de la parrilla. De esta manera, se proporciona un óptimo caudal de aire que garantiza una combustión eficiente.
- Zona de combustión recubierta de refractario, siendo todo el cuerpo, incluso la zona de combustión, refrigerado por agua.

- Elementos de la parrilla fabricados con materiales de fundición de alta calidad: aleación de cromo del 29%.
- La zona de combustión está recubierta de refractario de SiC (resistencia hasta 1550°C), siendo todo el cuerpo, incluso la zona de combustión, refrigerado por agua.

La parrilla móvil cuenta con movimiento continuo regulable en velocidad, a 2 tramos controlando la velocidad en cada tramo por separado generando así 3 zonas de combustión. Las principales ventajas de la parrilla móvil son:

- Diseño industrial.
- Limpieza totalmente automática.
- Evita la formación de escoria.
- Optimización del tiempo de residencia del combustible en función de sus características (regulando el tiempo de avance de la parrilla).
- Módulo de combustión formado por:
  - Una parrilla móvil principal con control en 3 zonas.
  - Parrilla con aleación de cromo del 29%.
  - Apta para astillas con contenido de agua de hasta el 40%.
  - Se pueden sustituir las parrillas de manera individual.

En esta imagen, se muestra el sinfín introductor del combustible a la cámara de combustión y la cámara de combustión con sistema de parrilla móvil. Con el movimiento de la parrilla de combustión se consigue una limpieza de los elementos de la parrilla fabricados con materiales de fundición de alta calidad (cromo del 29% según norma 1.4776).

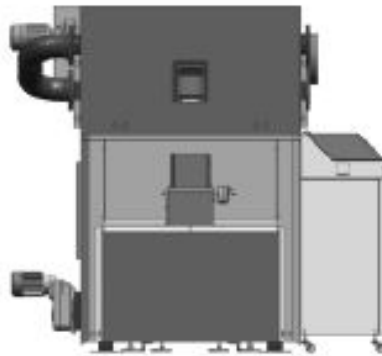


*Ilustración 67. Sinfín introductor de combustible [17]*

De esta manera se proporciona un óptimo caudal de aire que garantiza una combustión óptima y mínimo mantenimiento.

A modo resumen, las especificaciones técnicas de la cámara de combustión son las siguientes:

- Rango de potencia: 240-800kW
- Presión máxima de trabajo: 5bar (opcionalmente 6bar)
- Características de combustible: Astilla M40 (contenido de humedad máx. 40%) según norma EN ISO 17225-4: Clase A1, A2, B1 y tamaño de partículas P16S, P31S o Pellets según norma: EN ISO 17225-2: Clase A1, A2.
- Temperatura máx. de trabajo: 102°C
- Superficie parrilla móvil: 0,83m<sup>2</sup>
- Conexión eléctrica (V, Hz, A): 3x400, 50, 32
- Diámetro exterior salida de humos: 300mm
- Depresión mínima chimenea: 5Pa
- Depresión máxima chimenea: 10Pa



*Ilustración 68. Cámara de combustión completa [16]*

### 5.2.1.3. Intercambiadores

Intercambiadores de calor verticales con sistema de limpieza automática linealmente independiente, que se activan incluso durante el funcionamiento de la caldera. El sistema proporciona un mayor rendimiento de la caldera, un elevado nivel de eficiencia, bajo consumo de combustible y garantizan una limpieza máxima de los pasos de humos. Su disposición vertical mejora el mantenimiento de la caldera e implica menores limpiezas manuales.

### 5.2.1.4. Sistemas de limpieza de intercambiadores

El sistema de limpieza del intercambiador de HERZ, al no ser un muelle de cuerpo hueco, crea una turbulencia aumentando el recorrido de gases. Al aumentar el tiempo de residencia se mejora el rendimiento y se eliminan más partículas.

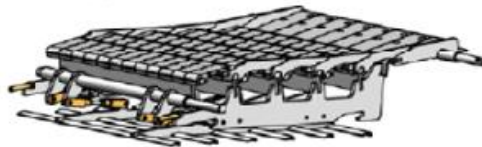


*Ilustración 69. Sistema de limpieza de intercambiadores[16]*



#### 5.2.1.5. *Limpieza de cenizas*

Sistema de limpieza totalmente automático de las cenizas bajo parrilla. Todas las cenizas que caen bajo la parrilla son transportadas hasta el sinfín de extracción de cenizas.



*Ilustración 70. Parrilla móvil para la limpieza de cenizas [17]*

#### 5.2.1.6. *Extracción de cenizas*

HERZ dispone de sinfines de extracción de cenizas para el módulo intercambiador y de combustión independientes. Las cenizas son conducidas hasta cajones independientes de gran capacidad con sistema de conexión por palanca para un vaciado rápido y cómodo.

Además, opcionalmente, si se desea una mayor autonomía y comodidad se puede centralizar a un contenedor de grandes dimensiones.



*Ilustración 71. Depósito extractor de cenizas[17]*

#### 5.2.1.7. Depósitos

En algunas instalaciones de Calefacción Urbana, la instalación cuenta con una acumulación donde se almacena el agua caliente, es decir, el agua no se calienta de forma instantánea y se lleva al punto de consumo, sino que antes pasa por unos acumuladores. Sin embargo, en la instalación diseñada en este documento el autor decide colocar estos acumuladores en cada subestación, de modo que la caldera de la central solo tendrá que activarse y funcionar cuando alguno de los acumuladores de las subestaciones se encuentre por debajo del nivel mínimo o a una temperatura inferior a la marcada como temperatura de uso.

Además de esto, al seleccionar la caldera mediante la suma de las potencias requeridas en cada una de las subestaciones y sin aplicar ningún coeficiente de simultaneidad, ésta sería capaz de suministrar instantáneamente el agua caliente necesaria.

Para calcular las potencias de las subestaciones, se ha estimado un porcentaje de acumulación del 50% para cada uno de los edificios. Siguiendo la misma metodología y tomando como referencia otros proyectos parecidos, también se estima una acumulación del 50% del agua que circula por el circuito cerrado de la central y la red de tuberías.

### 5.2.1.8. Bombas

El agua hay que propulsarla por la red de tuberías para que llegue a las distintas subestaciones. Esta propulsión se lleva a cabo mediante bombas situadas en la central a la salida del acumulador e impulsa el agua a una fuerza que permite la ida a la subestación y el retorno.

Como la red de distribución de la instalación diseñada está formada por dos redes independientes que cubren distintas zonas de la urbanización, se va a usar una bomba para cada una. Para elegir la bomba, los parámetros que hay que tener en cuenta son el caudal que circula, las pérdidas de carga debidas al rozamiento del fluido con las tuberías y la temperatura de circulación (80°C ida y 60°C de retorno).

	Caudal	Pérdidas de carga
Red 1	40.807 litros/hora	1.82 bar
Red 2	29.455 litros/hora	1.51 bar

Las pérdidas de carga a las que tiene que hacer frente cada bomba son 1.82 bar y 1.51 bar respectivamente. Sin embargo, los intercambiadores de calor situados en cada edificio no se han tenido en cuenta en estas pérdidas de carga, por lo que el alumno estima un incremento del 20% de las pérdidas de carga, tomando estas un valor final de 2.18bar y 1.81bar.

Con estos datos, se procede a buscar un proveedor que cumpla los requisitos de caudal y pérdidas de carga. El autor se puso en contacto con Saltoki y este proveedor le recomendó dos bombas de la marca Grundfos, modelos TPE 65-210/2 S-A-F-A-BQQE-JDB y TPE 50-290/2 S-A-F-A-BQQE-JDB.

La técnica para escoger una bomba se basa en el uso de un diagrama cuya curva pone en relación el caudal que circula con las pérdidas de carga calculadas. A continuación, se adjuntan los diagramas de ambas bombas:

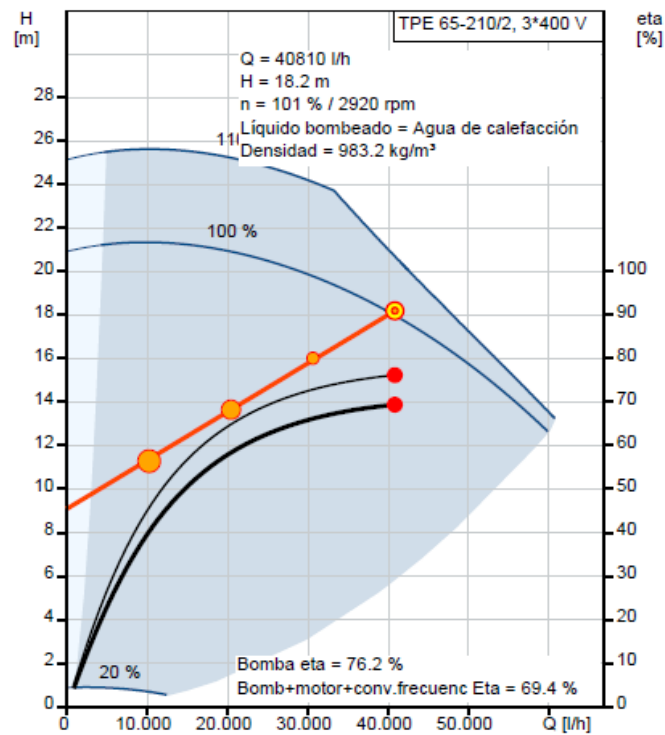


Ilustración 72. Diagrama bomba 1 [18]

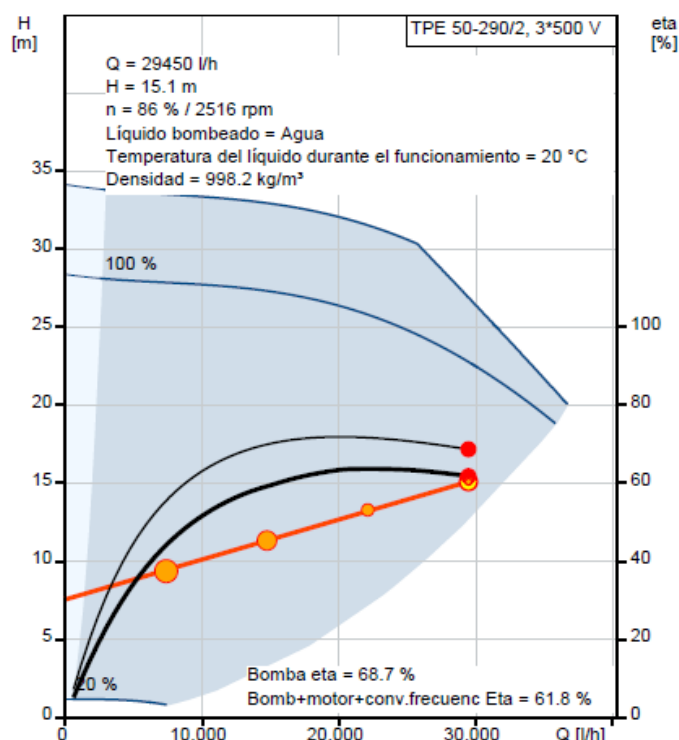


Ilustración 73. Diagrama bomba 2 [18]

Son bombas pensadas para instalaciones de calefacción urbana de estas características, con un rango de temperatura de trabajo superior al empleado en el trabajo. Ambas bombas cuentan con una potencia nominal de 3KW.

Bombas de una etapa, con acoplamiento cerrado y voluta con puertos de aspiración y descarga en línea. La bomba está equipada con un cierre de fuelle de caucho no equilibrado y un motor síncrono de imanes permanentes refrigerados por ventilador.

En los anexos se adjunta el datasheet de ambas bombas, con las especificaciones técnicas más detalladas.

### 5.2.1.9. Chimenea

Para este apartado, la ordenanza municipal de Protección del Medio Ambiente del Ayuntamiento de Zaragoza exige que toda evacuación de humos, hases, vapores y emanaciones se debe realizar por medio de campanas de absorción, conductos y chimeneas de sección suficiente de tal forma que el dimensionado garantice un tiro correcto.

Además, dista que la boca de las chimeneas deben estar situadas por lo menos 1 metro por encima de las cubreras de los tejados, muros o cualquier otros obstáculo o estructura distante menos de 10 metros, o si estás están ubicadas en distancias

comprendidas entre 10 y 50 metros de cualquier construcción, deberán estar a nivel no inferior al borde superior del hueco más alto que tenga la construcción cercana.

Tendiendo todo esto en cuenta, como no hay ningún edificio a menos de 80 metros de la central, la altura mínima que debe tener la chimenea es de 1 metro superior al techo de la estructura de la central. Esta estructura tiene una altura de 5 metros, sin embargo, el fabricante de la caldera recomienda una altura de 7 metros y un diámetro de 250mm, por lo que se tomarán los valores recomendados.

Esta caldera está construida de acero inoxidable y suministrada por la empresa ECOTELIA, y se adjunta su presupuesto en el anexo de este documento.

#### 5.2.1.10. *Estructura de la nave*

Para este apartado, con la ayuda de la tutora de este TFG se ha llevado a cabo un diseño superficial de la nave donde iría ubicada la central térmica de biomasa de la instalación diseñada. Iría ubicada en una nave localizada en el extremo noroeste de la urbanización. Tanto la ubicación como el correspondiente Layout de dicha central se encuentran en los planos del anexo de este documento.

Esta nave tendría unas dimensiones de 20x12 metros. Estaría construida sobre una cimentación para nave industrial mediante zapatas, utilizando 6 pilares prefabricados de 5 metros de altura y tres vigas tipo delta de 12 metros de longitud de hormigón armado.

Los paneles del cerramiento estarían formados por paneles prefabricados de hormigón armado pretensado con una sección rectangular de 20 cm de espesor y una cubierta formada por panel de chapa de acero en perfil comercial, con láminas prelacadas con núcleo de espuma de poliuretano como aislante térmico.

#### 5.2.1.11. *Elementos de seguridad*

Elementos de seguridad de la caldera formados por:

- Sistema de protección de sobre temperatura mediante intercambiadores de seguridad.

- Caldera dotada de TUB (Protección térmica para almacén de combustible).
- Protección RZS contra retroencendido, capa de barrera de combustible.
- Control de depresión en la cámara de combustión (DÜF).
- Control de temperatura en la cámara de combustión (TÜF).
- Sistema automático de apertura de la compuerta de humos con salida directa a chimenea en caso de corte de suministro eléctrico.
- Control de nivel de almacén intermedio mediante sensores infrarrojos.
  - Además, la cámara de combustión cuenta con regulación mediante sonda Lambda, que supervisa de forma permanente los valores de los gases y reacciona a las distintas calidades de combustible, para la obtención de valores de combustión ideales y valores de emisiones muy reducidos.
  - Regulación integrada de serie mediante sistema T-CONTROL con pantalla táctil que permite:
    - Regulación de la combustión.
    - Regulación mediante sonda Lambda que controla el flujo de aire de combustión y entrada de combustible.
    - Regulación de la depresión.
    - Regulación del depósito de inercia mediante 3 sondas para una mejor estratificación.
    - Regulación del depósito de agua caliente sanitaria (ACS) con control de legionela.
    - Activación de circuito de elevación de temperatura.
    - Activación de la válvula motorizada para un rápido calentamiento del circuito de calefacción.
    - Activación del circuito de elevación de temperatura de retorno.
    - Visualización y gestión remota vía programa VNC o web "myHERZ".
    - Envío de datos vía Modbus TCP (de serie) y envío de mail en el caso de anomalía.

### 5.2.1.12. *Mantenimiento*

Toda la central en conjunto exige una utilización correcta de los equipos y un mantenimiento adecuado para cumplir sus funciones de manera eficiente a corto, medio y largo plazo. Un mantenimiento apropiado de las instalaciones de biomasa se traduce en:

- Un incremento del rendimiento de las instalaciones.
- En una mayor durabilidad de las máquinas.
- En un ahorro de combustible.
- En una reducción de los costes por piezas de desgaste.
- En la posibilidad de evitar averías y/o paradas incómodas e inoportunas.

Las revisiones se deben realizar anualmente o cada 3000 horas de funcionamiento, con los objetivos de:

- Corregir funcionamientos no adecuados.
- Optimizar rendimientos de parametrización.
- Detectar errores en componentes de la instalación que puedan afectar el funcionamiento de las instalaciones.
- Proponer correcciones de las instalaciones para mejorar el funcionamiento de la maquinaria y de la instalación.
- Avisar sobre mantenimientos no realizados de forma adecuada.
- Comprobar los sistemas de seguridad.
- Realizar la limpieza general y el engrase para evitar roturas o funcionamientos inadecuados.
- Mantener la garantía HERZ.

### 5.2.2. *Red de distribución*

En este apartado, se va a profundizar sobre las características técnicas que cumple la red de distribución diseñada y facilitada por REHAU. Además, también se explicará de forma breve como se tendrían que hacer las zanjas en el momento de ejecutar la obra.



### 5.2.2.1. Características técnicas

El primer de los factores que hay que tener en cuenta a la hora de diseñar la red de distribución es exactamente eso, como se distribuyen los puntos de consumo y a que distancia se encuentran de la central. El punto a favor de la urbanización es que la central se encuentra situada ahí mismo, los puntos de consumo están cerca y las calles son calles rectas y amplias, lo que facilita tanto la disposición en el plano como la obra de ejecución.

La red de distribución diseñada consiste en un circuito cerrado, es decir, el agua que sale de la central y llega a las subestaciones, donde al pasar por el intercambiador de calor regresa de vuelta a la central para volver a ser calentada. Este circuito cerrado está formado por dos redes, ya que debido a la superficie que tenía que cubrir la instalación, es la mejor opción.

A continuación, se muestran los edificios que suministra cada red:

RED 1		
Usuario	Nombre	Potencia (kW)
R3	Residencial	142
R4	Residencial	137
R6	Residencial	137
R7	Residencial	142
TS2	Comercial	110
EE1	Educativo	149
ES3	Público	32
ES4	Público	100

<b>RED 2</b>		
R1	Residencial	215
R2	Residencial	212
R5	Residencial	215
TC1	Comercial	47
EE2	Educativo	176
ES1	Público	119
ES2	Público	176
TC1	Comercial	47

La temperatura de propulsión es de 80°C, mientras que la de retorno es de 60°C aproximadamente. Estas temperaturas son importantes tenerlas en cuenta porque afectan de forma directa a las pérdidas de energía o de calor y por lo tanto a la eficiencia final del sistema.

A partir de aquí, los datos de consumos, potencias, temperaturas de propulsión y retorno y distancia entra cada uno de los edificios y la central son introducidos en un programa informático propiedad de la empresa REHAU y a la que el alumno no ha podido tener acceso. Es un software elaborado por ellos mismo y en el que basan la parte esencial de su actividad comercial.

<b>El cálculos se realiza bajo los siguientes datos</b>		
	<b>Rugosidad (mm):</b>	<b>0.007</b>
	<b>Viscosidad (10e-6):</b>	<b>0.48</b>
	<b>Densidad (kg/m³):</b>	<b>983</b>
		70
	<b>Impulsión (°C):</b>	<b>80</b>
	<b>Retorno (°C):</b>	<b>60</b>
	<b>Diferencia de temperatura (K):</b>	<b>20</b>

*Ilustración 74. Valores bajo los que se han ejecutado los cálculos*

Para la RED 1, la hoja de parámetros técnicos obtenidos es la siguiente:

Nº	Longitud	Potencia	Caudal	Dimensión de la tubería	Perdidas de carga (max 250)	Perdidas de carga	Velocidad (max 1,8)
TRAMO	m	kW	l/h	mm	Pa/m	bar	m/s
T1 CENTRAL	45	949	40807	125 x 11,4 (DN 125) 5"	139.5	0.15	1.4
T2	48	428	18404	90 x 8,2 (DN 80) 3"	160.0	0.17	1.2
R4	10	137	5891	63 x 5,7 (DN 50) 2"	112.5	0.03	0.8
T3	4	291	12513	75 x 6,8 (DN 63) 2 1/2"	190.8	0.03	1.2
R3	10	142	6106	63 x 5,7 (DN 50) 2"	120.1	0.03	0.8
EE1	119	149	6407	63 x 5,7 (DN 50) 2"	131.1	0.32	0.9
T4	73	521	22403	110 x 10,0 (DN 100) 4"	86.1	0.14	1.0
T5	45	279	11997	75 x 6,8 (DN 63) 2 1/2"	176.6	0.18	1.1
R7	10	142	6106	63 x 5,7 (DN 50) 2"	120.1	0.03	0.8
R6	10	137	5891	63 x 5,7 (DN 50) 2"	112.5	0.03	0.8
T6	80	242	10406	75 x 6,8 (DN 63) 2 1/2"	136.2	0.23	1.0
ES3	10	32	1376	32 x 2,9 (DN 25) 1"	216.4	0.05	0.7
T7	60	210	9030	63 x 5,7 (DN 50) 2"	245.0	0.31	1.2
TS2	10	110	4730	50 x 4,6 (DN 40) 1 1/2"	236.0	0.06	1.0
ES4	10	100	4300	50 x 4,6 (DN 40) 1 1/2"	198.5	0.05	0.9
Suma	544		166.4			1.82	

*Ilustración 75. Características Red 1*

Esta hoja presenta las dimensiones que tiene que tener la tubería en cada tramo, así como el caudal que transporta, las pérdidas de carga y la velocidad máxima a la que circula el agua por el interior.

Como cabía esperar, el tramo que concentra un caudal mayor de agua es el tramo T1 CENTRAL, que, aunque en el plano se ve con más detenimiento, es el tramo que sale de la central. También es el tramo en el que el agua circula a más velocidad, ya que es el más cercano a la bomba de impulsión situada en la central.

Sin embargo, el hecho de que circule más caudal y a mayor velocidad no se traduce en el tramo con mayor pérdida de carga, y esto es debido a que es un tramo con una única curvatura y precisamente las pérdidas de carga se concentran en las curvas.

Por otro lado, las pérdidas de energía, es decir, el calor perdido debido al transporte, se especifican a continuación:

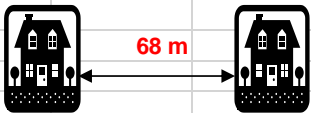

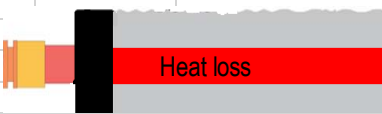
1. Distancia media de conexión entre usuarios			
	Longitud aproximada de zanjas (m)	544	
	Nº usuarios	8	
2. Densidad específica de energía (por metro lineal)			
		6542 kWh/m.a	
3. Pérdida específica de energía (por metro lineal)			
		1.75%	carga total
		7.00%	carga parcial 25% (h/año)max
		3.50%	carga parcial 50% (h/año)max
		2.33%	carga parcial 75% (h/año)max

Ilustración 76. Especificaciones Red 1

Obteniéndose un valor final del 1.75%.

Para la RED 2, se puede seguir la misma metodología de extracción de datos para los siguientes resultados obtenidos:

Nº	Longitud	Potencia	Caudal	Dimensión de la tubería	Perdidas de carga (max 250)	Perdidas de carga	Velocidad (max 1,8)
TRAMO	m	kW	l/h	mm	Pa/m	bar	m/s
T8 CENTRAL	150	685	29455	110 x 10,0 (DN 100) 4"	142.3	0.45	1.3
ES2	10	32	1376	40 x 3,7 (DN 32) 1 1/4"	75.5	0.02	0.5
T9	105	653	28079	110 x 10,0 (DN 100) 4"	130.3	0.29	1.2
T10	40	228	9804	75 x 6,8 (DN 63) 2 1/2"	122.2	0.11	0.9
R5	10	142	6106	63 x 5,7 (DN 50) 2"	120.1	0.03	0.8
EE2	10	86	3698	50 x 4,6 (DN 40) 1 1/2"	151.0	0.04	0.8
T11	48	425	18275	90 x 8,2 (DN 80) 3"	158.0	0.17	1.2
R2	10	137	5891	63 x 5,7 (DN 50) 2"	112.5	0.03	0.8
T12	4	288	12384	75 x 6,8 (DN 63) 2 1/2"	187.2	0.03	1.2
R1	10	142	6106	63 x 5,7 (DN 50) 2"	120.1	0.03	0.8
T13	82	146	6278	63 x 5,7 (DN 50) 2"	126.3	0.22	0.8
TC1	10	47	2021	40 x 3,7 (DN 32) 1 1/4"	150.3	0.04	0.7
ES1	12.5	99	4257	50 x 4,6 (DN 40) 1 1/2"	194.9	0.06	0.9
Suma	501.5		133.7			1.51	

Ilustración 77. Características Red 2

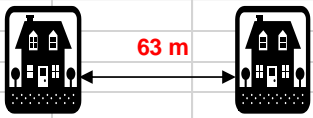


1. Distancia media de conexión entre usuarios			
	Longitud aproximada de zanjas (m)	501.5	
	Nº usuarios	8	
2. Densidad específica de energía (por metro lineal)			
	8547 kWh/m.a		
3. Pérdida específica de energía (por metro lineal)			
	1.47%	carga total	
	5.88%	carga parcial 25% (h/año)max	
	2.94%	carga parcial 50% (h/año)max	
	1.96%	carga parcial 75% (h/año)max	

Ilustración 78. Especificaciones Red 2

## 5.2.2.2. Zanjas

Rehau plantea 3 tipos de zanjas dependiendo del lugar por donde pasa: por debajo de la calzada, por debajo de la acera o por debajo de suelo vegetal.

### 5.2.2.2.1. Zanja bajo calzada

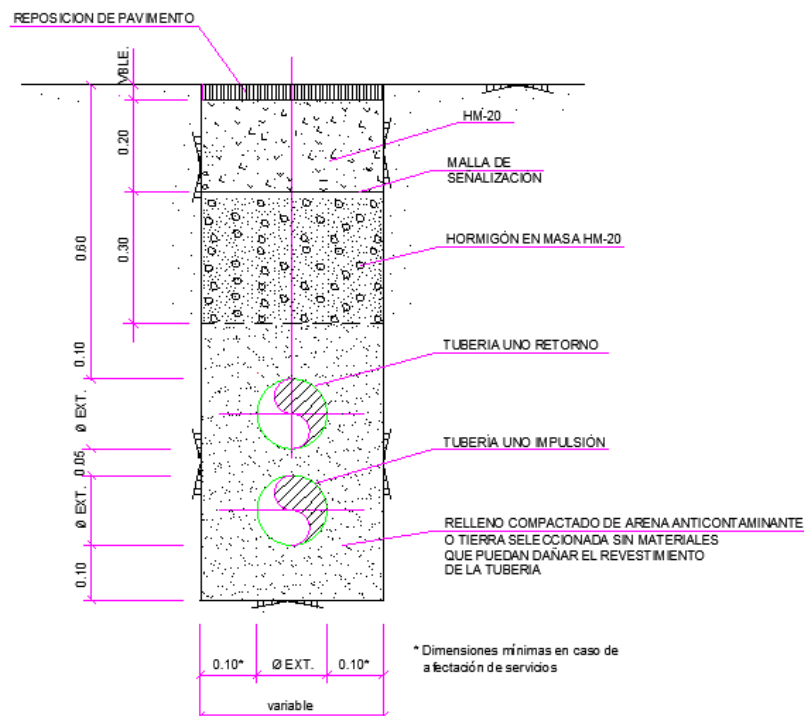


Ilustración 79. Zanja bajo calzada

### 5.2.2.2.2. Zanja bajo acera

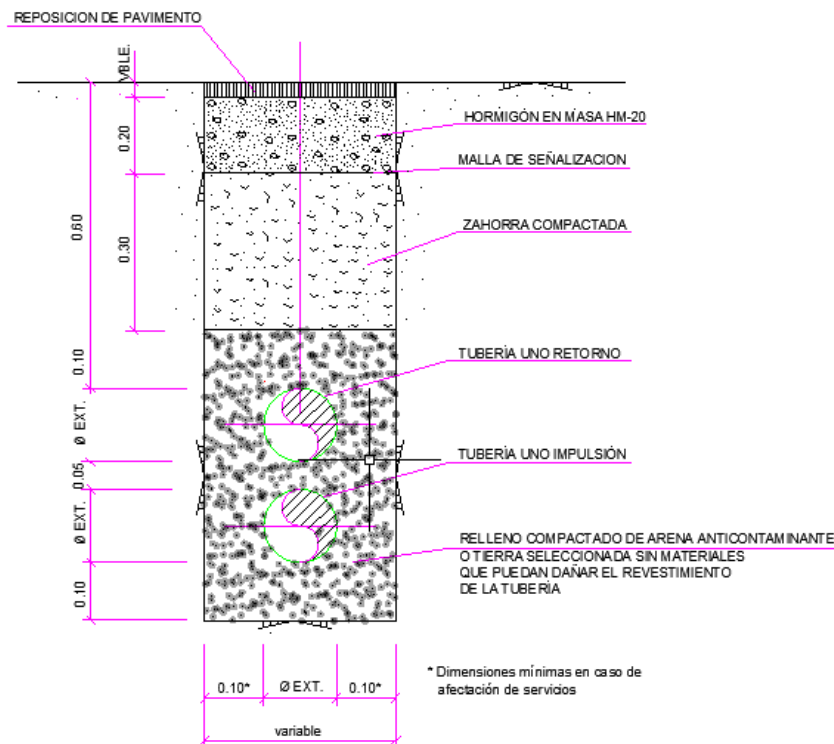


Ilustración 80. Zanja bajo acera

### 5.2.2.2.3. Zanja bajo jardin

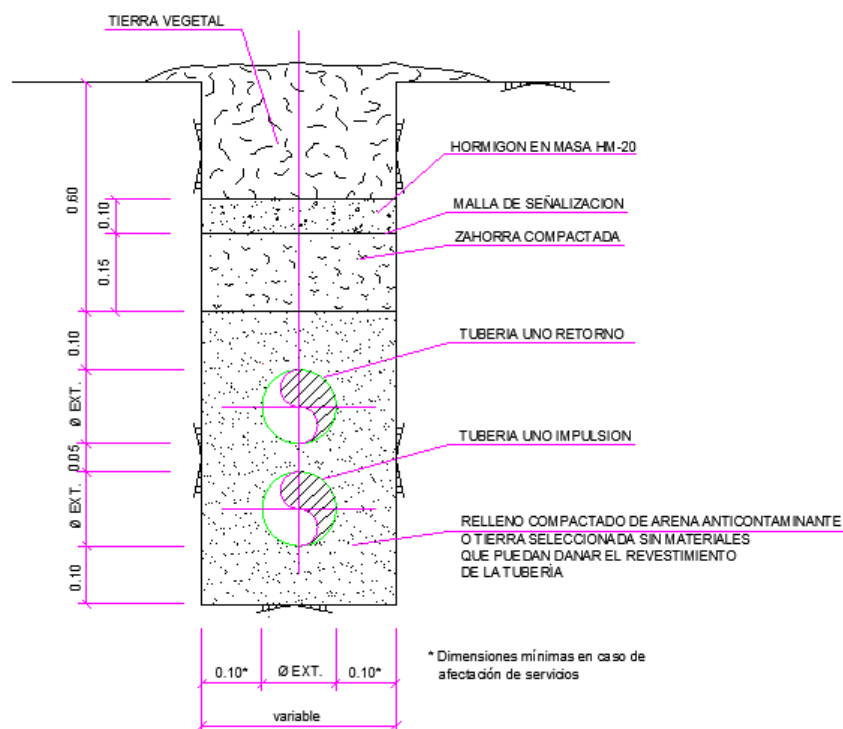


Ilustración 81. Zanja bajo suelo vegetal

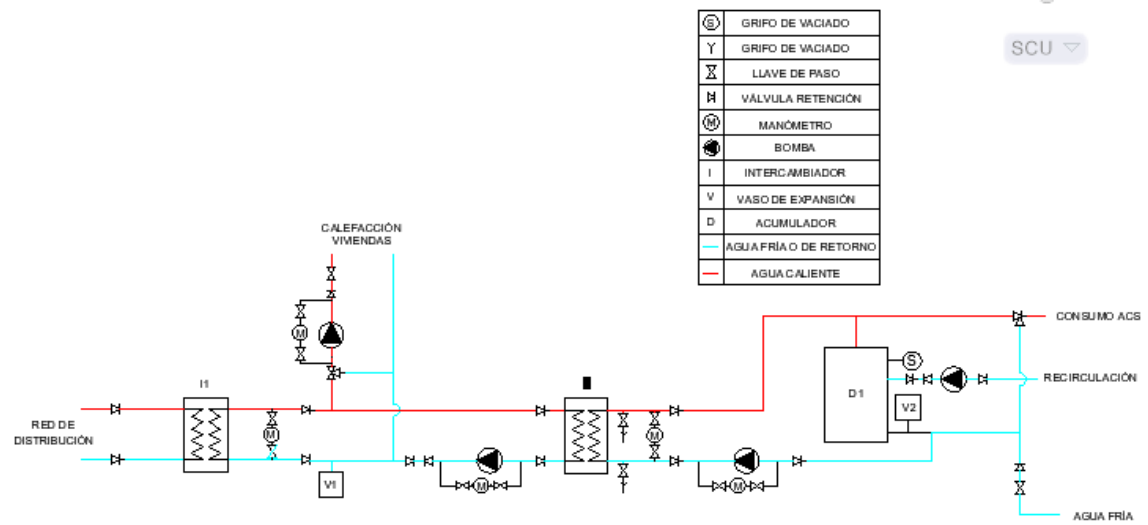
Como se puede observar, los 3 tipos de zanjas son muy parecidas. Las principales diferencias radican en el recubrimiento del pavimento superior y en el espesor de la capa de hormigón en masa. Por lo demás, ambas en todos los casos las tuberías van rodeadas de relleno compactado de arena anticontaminante o tierra seleccionada sin materiales que puedan dañar el revestimiento de la tubería y pueda provocar una fuga en la misma.

Para terminar, después del hormigón y antes de la zona de arena compactada se coloca una malla de señalización precisamente para indiciar que a partir de esa profundidad hay tubería que transportan agua y que hay que ir con cautela al trabajar en esa zona.

### *5.2.3. Subestaciones*

Las subestaciones son el tramo final de la instalación y donde se lleva el intercambio de calor entre el agua de la red de distribución y el agua que se va a consumir en los puntos de consumo. Principalmente están formadas por 4 elementos: el intercambiador, las bombas, el depósito de acumulación y la red de tuberías y válvulas que conecta con cada punto de consumo.

Describir las especificaciones técnicas de estos elementos para cada uno de los edificios resulta imposible, porque, aunque se ha estimado el consumo de ACS y de calefacción para cada uno de los edificios, resulta muy complicado saber las características de los circuitos de cada uno de los edificios. Sin embargo, se adjunta un circuito estándar de como estarían ubicados y conectados los elementos:



*Ilustración 82. Instalación hidráulica tipo para cada subestación*



## 5.3. COMPARATIVA

### 5.3.1. Introducción

En este capítulo se va a llevar a cabo una comparación entre el sistema diseñado en el apartado anterior con otros dos tipos de instalaciones.

- Instalación individual: cada vivienda y cada edificio no residencial tiene una caldera propia.
- Instalación centralizada: cada edificio tiene una caldera general que calienta agua, se almacena en un depósito y se distribuye a cada punto de consumo.

Los parámetros que se van a comparar y que primero si tienen que calcular son:

- Potencia de cada caldera.
- Consumo
- Emisiones
- Precio de instalación y de mantenimiento

Para hacer más completa la comparativa, se valorará cada una de las instalaciones con una caldera mixta instantánea de gas con condensación y una caldera de biomasa, más concretamente de pellets.

El primer tipo de caldera consiste en una caldera que calienta el agua al momento, de ahí el nombre de instantánea. Mediante la combustión de gas natural, calienta al agua que circula por la tubería. Por otro lado, que sea mixta significa que está formada por dos subsistemas: un circuito abierto que proviene de la red de agua fría y la calienta para ACS y un circuito cerrado para la calefacción que manda agua caliente a los radiadores y recoge el agua a menor temperatura de los mismos para volver a mandarla. Estos dos subsistemas son complementarios, es decir, o funciona uno o funciona el otro. Si usas ACS en la ducha, por ejemplo, no se calientan los radiadores. Esto solo sucede en instalaciones individuales. En instalaciones centralizadas la caldera es capaz de suministrar calor a los dos subsistemas a la vez.

En cuanto a la caldera de biomasa, como su nombre indica, es una caldera que utiliza como combustible biomasa, es decir materia orgánica. En este caso, al ser calderas domésticas, el combustible más habitual son los pellets, aunque en ámbitos más industriales se emplean residuos forestales o paja.

### 5.3.2. Cálculo datos de interés

Para calcular la potencia de cada una de las calderas se ha seguido la Guía Técnica de Agua Caliente Sanitaria Central del IDAE, el Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía.

#### 5.3.2.1. Potencias

##### 5.3.2.1.1. Instalación individual

La fórmula empleada para calcular la potencia de una caldera individual es la siguiente:

$$P = \frac{Q_c \cdot (T_{ACS} - T_{AF})}{(\eta \cdot 0.86)} [E 5.13]$$

Donde:

- P es la potencia de la caldera en KW.
- Q<sub>c</sub> es el caudal instantáneo en litros/hora.
- T<sub>ACS</sub> es la temperatura de uso de agua caliente en °C.
- T<sub>AF</sub> es la temperatura de la red de agua fría en °C.
- η es el rendimiento de producción de ACS.

Los valores de caudal instantáneo se tomarán de los calculados en el apartado anterior para cada vivienda, local y edificio comercial.

En cuanto a la temperatura de ACS, se toman 40°C que es a la temperatura a la que se suele calentar el ACS. Por otro lado, la temperatura de la red de agua fría viene determinada por la tabla 0.7 de la Guía Técnica de Agua Caliente Sanitaria Central del IDAE, que se muestra a continuación.

(Continuación)

Temperatura del agua de la red (°C)													Media
Mínimas	5	6	7	9	11	13	15	2	14	11	7	6	10
Máximas	15	15	16	16	17	19	21	21	20	18	17	16	17
Ciudad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Lérida	7	9	10	12	15	17	20	19	17	14	10	7	13
Logroño	7	8	10	11	13	16	18	18	16	13	10	8	12
Lugo	7	8	9	10	11	13	15	15	14	12	9	8	11
Madrid	8	8	10	12	14	17	20	19	17	13	10	8	13
Málaga	12	12	13	14	16	18	20	20	19	16	14	12	16
Murcia	11	11	12	13	15	17	19	20	18	16	13	11	15
Orense	8	10	11	12	14	16	18	18	17	13	11	9	13
Oviedo	9	9	10	10	12	14	15	16	15	13	10	9	12
Palencia	6	7	8	10	12	15	17	17	15	12	9	6	11
P. de Mallorca	11	11	12	13	15	18	20	20	19	17	14	12	15
Pamplona	7	8	9	10	12	15	17	17	16	13	9	7	12
Pontevedra	10	11	11	13	14	16	17	17	16	14	12	10	13
Salamanca	6	7	8	10	12	15	17	17	15	12	8	6	11
San Sebastián	9	9	10	11	12	14	16	16	15	14	11	9	12
Santander	10	10	11	11	13	15	16	16	16	14	12	10	13
Segovia	6	7	8	10	12	15	18	18	15	12	8	6	11
Sevilla	11	11	13	14	16	19	21	21	20	16	13	11	16
Soria	5	6	7	9	11	14	17	16	14	11	8	6	10
Tarragona	10	11	12	14	16	18	20	20	19	16	12	11	15
S. C. de Tenerife	15	15	16	16	17	18	20	20	20	18	17	16	17
Teruel	6	7	8	10	12	15	18	17	15	12	8	6	11
Toledo	8	9	11	12	15	18	21	20	18	14	11	8	14
Valencia	10	11	12	13	15	17	19	20	18	16	13	11	15
Valladolid	6	8	9	10	12	15	18	18	16	12	9	7	12
Vitoria	7	7	8	10	12	14	16	16	14	12	8	7	11
Zamora	6	8	9	10	13	16	18	18	16	12	9	7	12
Zaragoza	8	9	10	12	15	17	20	19	17	14	10	8	13
Datos Norma UNE 94.002/95													

*Ilustración 83. Temperaturas red de agua fría por meses. [19]*

En la tabla se muestra la temperatura de la red de agua fría dependiendo del mes y de la provincia donde se localice. En el caso de Zaragoza y haciendo la media de los 12 meses, se obtiene una temperatura de agua fría de 14.33°C.

El último término, el rendimiento de producción de ACS, se considera de 1.

Con estos datos y la fórmula [E5.1] se obtienen los siguientes resultados:

Edificio	Caudal instantáneo de ACS (l/h)	Potencia caldera gas convencional (KW)	Potencia caldera de condensación (KW)	Potencia caldera biomasa (KW)
1 vivienda	1150	34	25	25
R1 (24 viviendas)	27600	823	617	617
R2 (23 viviendas)	26450	780	592	592
Local	685	20	15	15
R3 (24 viviendas)	27600	823	617	617
R4 (23 viviendas)	26450	780	592	592
Local	685	20	15	15
R5 (24 viviendas)	27600	823	617	617
R6 (23 viviendas)	26450	780	592	592
Local	685	20	15	15
R7 (24 viviendas)	27600	823	617	617
T1	1176	35	27	27
T2	828	25	18	18
EE1	2331	70	52	52
EE2	1179	35	27	27
ES1	756	22	18	18
ES2	792	24	18	18
ES3	792	24	18	18
		<b>TOTAL</b>	<b>4492</b>	<b>4492</b>

*Ilustración 84. Potencias calderas individuales*

Como se puede observar en la imagen, se ha calculado la potencia tanto para una caldera de gas sin condensación como con condensación. La diferencia entre ambas que es la segunda emplea una tecnología que le permite ser más eficiente, reduciendo la potencia requerida un 25%.

También destacar que las calderas de gas con tecnología de condensación y las calderas de biomasa poseen eficiencias parecidas, por lo que se toma el mismo valor para ambas.

### 5.3.2.1.2. Instalación colectiva

La fórmula empleada para calcular la potencia de una caldera centralizada es la siguiente:

$$P = \frac{q}{\eta \cdot t \cdot 860} + Q \quad [E 5.14]$$

Donde:

- P es la potencia de la caldera en KW.
- Q es la demanda de calor en W.
- $\eta$  es el rendimiento de la instalación que se estima del 75%.
- t es el tiempo de preparación en horas.
- q es la cantidad de calor necesario para calentar el agua en kcal.

En este apartado, para calcular la potencia de la caldera se tiene en cuenta la carga térmica del edificio, es decir, la cantidad de W necesarios para hacer funcionar la calefacción. Esto se debe a que, al contrario de las calderas individuales, las calderas colectivas son capaces de suministrar agua caliente a la vez que hacen funcionar el sistema de calefacción.

El valor de t hace referencia al tiempo que tarda la caldera en calentar el agua a almacenar en el depósito y este valor suele ser de 0.5 horas a 1 hora. Se ha considerado un tiempo de llenado de 0.5 horas para los edificios residenciales porque requieren de un consumo más simultáneo y por lo tanto una demanda más rápida, mientras que para los edificios comerciales se ha tomado un tiempo de preparación de 1 hora.

A su vez q se calcula con la fórmula [E5.15]:

$$q = m \cdot c_e \cdot (T_{ACS} - T_{AF}) \quad [E5.14]$$

Donde:

- m es la masa de agua acumulada en (kg), es decir, el volumen en litros del depósito del acumulador.
- $c_e$  es el calor específico del agua en kcal/kg °C
- T ACS es la temperatura de uso de agua caliente en °C.
- T AF es la temperatura de la red de agua fría en °C.

En cuanto a los valores, el calor específico del agua es de 1 kcal/kg°C. La T ACS en este caso toma un valor de 60°C, porque al almacenar el agua cliente en un depósito, a menos temperatura se correría el riesgo de que se contaminara de legionela.

La temperatura del agua fría se obtiene del mismo modo que en el apartado anterior, tomando un valor de 14.33°C.

Por último, el valor de la masa acumulada toma el valor del depósito acumulador del sistema. Las dimensiones de este depósito varían en función del % de agua que debe de calentar el sistema y en este trabajo el autor y la tutora han considerado un porcentaje del 50% del consumo de ACS en todo el edificio. Una vez obtenida la capacidad del depósito, se busca el depósito normalizado más próximo.

Edificio	Demanda de calor (KW)	Consumo ACS (litros día)	Depósito (litros)	Potencia caldera gas convencional (KW)	Potencia caldera de condensación (KW)	Potencia caldera biomasa (KW)
R1 (24 viviendas)	95	1765	1000	216	162	162
R2 (23 viviendas)	92	1693	1000	213	160	160
R3 (24 viviendas)	95	1765	1000	216	162	162
R4 (23 viviendas)	92	1693	1000	213	160	160
R5 (24 viviendas)	95	1765	1000	216	162	162
R6 (23 viviendas)	92	1693	1000	213	160	160
R7 (24 viviendas)	95	1765	1000	216	162	162
T1	55	106	50	58	44	44
T2	53	102	50	55	42	42
EE1	130	700	500	156	117	117
EE2	82	300	200	94	71	71
ES1	94	167	100	100	75	75
ES2	29	102	50	32	24	24
ES3	29	102	50	32	24	24
<b>TOTAL</b>					<b>1525</b>	<b>1525</b>

*Ilustración 85. Potencias calderas colectivas*

Como en el caso anterior, se ha calculado la potencia para calderas de gas con y sin tecnología de condensación, habiendo una eficiencia energética del 25% entre ambas, es decir, se requiere un 25% menos de potencia para la caldera de gas con condensación. También como en el apartado anterior, la caldera de biomasa toma el mismo valor que la de gas con condensación, al poseer éstas una eficiencia muy similar.

### 5.3.2.2. Consumos

En la siguiente tabla se recogen los datos de las potencias según el tiempo de caldera y el tipo de instalación, datos necesarios para calcular el consumo de cada una de ellas.

Edificio	Instalación individual		Instalación centralizada		Instalación Calefacción Urbana
	Potencia caldera gas con condensación (KW)	Potencia caldera biomasa (KW)	Potencia caldera gas con condensación (KW)	Potencia caldera biomasa (KW)	Potencia caldera biomasa (KW)
R1	617	617	162	162	1500
R2	592	592	160	160	
R3	617	617	162	162	
R4	592	592	160	160	
R5	617	617	162	162	
R6	592	592	160	160	
R7	617	617	162	162	
T1	27	27	44	44	
T2	18	18	42	42	
EE1	52	52	117	117	
EE2	27	27	71	71	
ES1	18	18	75	75	
ES2	18	18	24	24	
ES3	18	18	24	24	
<b>TOTAL</b>	<b>4422</b>	<b>4422</b>	<b>1525</b>	<b>1525</b>	<b>1500</b>

*Ilustración 86. Tabla resumen potencias según instalación*

Para calcular el consumo de las calderas, hay que determinar el número de horas que ésta funciona. Así, multiplicando la potencia de la caldera por las horas de funcionamiento se obtendrá la energía de cada caldera y sabiendo el precio del KWh de las distribuidoras de gas se conseguir determinar el consumo.

$$E = P \cdot t \text{ [E5.16]}$$

Donde:

- E es la energía de la caldera en KWh.
- P es la potencia de la caldera en KW.
- t es el tiempo de funcionamiento anual de la caldera en horas.

Según varias fuentes consultadas en Internet, la media de horas de funcionamiento de una caldera individual en un hogar en España son 280 horas anuales. Sin embargo, el CTE cada vez es más exigente y pide mejores aislantes, de modo que el consumo de calefacción disminuye considerablemente porque no hay tantas pérdidas. Con esto el alumno decide estimar un consumo de 250 h de funcionamiento anual para calderas domésticas y 300h para calderas de edificios comerciales.

	Instalación individual		
Edificio	Horas funcionamiento	Energía caldera gas con condensación (KWh)	Energía caldera biomasa (KWh)
R1	250	154250	154250
R2	250	148000	148000
R3	250	154250	154250
R4	250	148000	148000
R5	250	154250	154250
R6	250	148000	148000
R7	250	154250	154250
T1	300	8100	8100
T2	300	5400	5400
EE1	300	15600	15600
EE2	300	8100	8100
ES1	300	5400	5400
ES2	300	5400	5400
ES3	300	5400	5400
	<b>TOTAL</b>	<b>1114400</b>	<b>1114400</b>

*Ilustración 87. Energía instalaciones individuales*

Por otro lado, para calcular las horas de funcionamiento de las instalaciones centralizadas, se contabilizan anualmente las horas al día que se tarda en llenar el depósito de preparación sumándole un porcentaje de las horas dedicadas a la calefacción. En este caso, con la ayuda de la tutora del trabajo, el alumno estima que el 50% de las horas de funcionamiento de una caldera individual se destinan a calentar la calefacción.

	Instalación centralizada		
Edificio	Horas funcionamiento	Energía caldera gas con condensación (KWh)	Energía caldera biomasa (KWh)
R1	490	79380	79380
R2	490	78400	78400
R3	490	79380	79380
R4	490	78400	78400
R5	490	79380	79380
R6	490	78400	78400
R7	490	79380	79380
T1	515	22660	22660
T2	515	21630	21630
EE1	515	60255	60255
EE2	515	36565	36565
ES1	515	38625	38625
ES2	515	12360	12360
ES3	515	12360	12360
	<b>TOTAL</b>	<b>757175</b>	<b>757175</b>

*Ilustración 88. Energía instalaciones centralizadas*



Finalmente, para calcular las horas de funcionamiento de la instalación de Calefacción Urbana diseñada y así la energía que consume la misma, se sigue el siguiente procedimiento:

- 490 horas a pleno rendimiento (1500 KW) para satisfacer el tiempo de preparación de cada una de las subestaciones.
- 25 horas para satisfacer la diferencia con los edificios comerciales restantes a la potencia de la suma de estos (512 KW).

Instalación Calefacción Urbana		
Edificio	Horas funcionamiento	Energía caldera biomasa (KWh)
R1	490h (pleno rendimiento) + 25 h (solo ecc)	747800
R2		
R3		
R4		
R5		
R6		
R7		
T1		
T2		
EE1		
EE2		
ES1		
ES2		
ES3		

Ilustración 89. Energía Instalación Calefacción Urbana

Para las instalaciones para uso residencial privado, el CTE marca unos valores límites de energía por unidad de superficie consumida anualmente.

Tabla 3.2.a - HE0  
Valor límite  $C_{ep,tot,lim}$  [kW·h/m<sup>2</sup>·año] para uso residencial privado

	Zona climática de invierno					
	$\alpha$	A	B	C	D	E
Edificios nuevos y ampliaciones	40	50	56	64	76	86
Cambios de uso a residencial privado y reformas	55	75	80	90	105	115

En territorio extrapeninsular (Illes Balears, Canarias, Ceuta y Melilla) se multiplicarán los valores de la tabla por 1,15

Ilustración 90. Tabla 3.2 HE0 CTE [13]

Tomando la zona climática D para la ciudad de Zaragoza y edificios de nueva construcción, la energía/m<sup>2</sup> de superficie de las viviendas queda limitado a 76 KWh/m<sup>2</sup>.

Para las viviendas diseñadas en este trabajo, con una energía de 6750KWh por vivienda y una superficie de 90m<sup>2</sup>, se obtiene un valor de 75 KWh/m<sup>2</sup>, justo dentro de los valores límites marcados por la normativa.

Para el caso de los edificios no destinados a uso residencial, la normativa no dicta valores límites.

Con las energías calculadas, se procede a calcular el consumo que hay que pagar de factura de gas natural o de biomasa.

En la actualidad, el precio del KWh de gas está alrededor de 0.08€/KWh, mientras que el precio del pellet está alrededor de 0.283€/kg, lo que es equivalente a 0.063€/KWh.

Con todo, en la siguiente tabla se resumen los consumos de los dos tipos de calderas y los tres tipos de instalación.

	Instalación individual		Instalación centralizada		Instalación Calefacción Urbana
Edificio	Consumo caldera gas con condensación (€)	Consumo caldera biomasa (€)	Consumo caldera gas con condensación (€)	Consumo caldera biomasa (€)	Consumo caldera biomasa (€)
R1	12340	9718	6350	5000	47111
R2	11840	9324	6272	4940	
R3	12340	510	6350	5557	
R4	11840	9780	6272	5464	
R5	12340	10206	6350	5557	
R6	11840	9780	6272	5464	
R7	12340	10206	6350	5557	
T1	648	510	1813	1424	
T2	432	340	1730	1363	
EE1	1248	983	4820	3797	
EE2	648	510	2925	2304	
ES1	432	340	3090	2434	
ES2	432	340	989	779	
ES3	432	340	989	779	
<b>TOTAL</b>	<b>89152</b>	<b>62887</b>	<b>60572</b>	<b>50419</b>	<b>47111</b>

*Ilustración 91. Consumo según tipo de instalación*

### 5.3.2.3. Emisiones

En este apartado se calculan las emisiones, la contaminación ambiental que generan las distintas calderas en cada una de las instalaciones.

Las emisiones reflejan los gases emitidos a la atmosfera. Se miden en Toneladas de CO<sub>2</sub>. De los combustibles empleados en las instalaciones estudiadas en este apartado, la biomasa se considera una energía renovable, es decir, utiliza recursos inagotables de la naturaleza y su uso no emite emisiones a la atmósfera. Sin embargo, el gas natural sí que genera emisiones y se puede relacionar con la energía de las calderas de gas de la siguiente forma:

$$1\text{KWh} = 1.860465^{-4} \text{ Toneladas de CO}_2$$

De este modo se obtiene la siguiente tabla:

	Instalación individual		Instalación Colectiva	
Edificio	Energía caldera gas con condensación (KWh)	Emisiones (Toneladas de CO <sub>2</sub> )	Energía caldera gas con condensación (KWh)	Emisiones (Toneladas de CO <sub>2</sub> )
R1	154250	28.7	79380	14.77
R2	148000	27.53	78400	14.6
R3	154250	28.7	79380	14.77
R4	148000	27.53	78400	14.6
R5	154250	28.7	79380	14.77
R6	148000	27.53	78400	14.6
R7	154250	28.7	79380	14.77
T1	8100	1.51	22660	4.22
T2	5400	1	21630	4.02
EE1	15600	2.9	60255	11.21
EE2	8100	1.51	36565	6.8
ES1	5400	1	38625	7.18
ES2	5400	1	12360	2.3
ES3	5400	1	12360	2.3
	<b>1114400</b>	<b>207.31</b>	<b>757175</b>	<b>140.91</b>

*Ilustración 92. Emisiones según instalación*

Destacar que 1kg de CO<sub>2</sub> tiene una masa de 0.2727kg de carbono equivalente, por lo que una tonelada son 272.7kg de carbono.

Como dato curioso y equiparable para facilitar la percepción y la comparación, una tonelada de CO<sub>2</sub> equivale al volumen de una piscina de aproximadamente 10m de ancho, 25m de largo y 2m de profundidad o un viaje de ida y vuelta de Madrid a Nueva York (11536km).

#### 5.3.2.4. Costes de instalación y de mantenimiento

En este apartado se indican los precios de instalación y mantenimiento de los sistemas de calefacción, tanto individuales como colectivos. Para ello, el autor ha contado con la ayuda de ECOTELIA, empresa ubicada en La Rioja y con una amplia experiencia en el campo de las energías renovables que les permite ofrecer proyectos

integrales en las áreas de Energía Solar Fotovoltaica para autoconsumo y conexión a red, Energía Solar Térmica, Biomasa, Micro-cogeneración.

El precio de la instalación incluye una estimación del precio que costaría la caldera y demás elementos que componen la instalación (bombas, depósitos, tuberías, depósitos de inercia, etc) de forma aproximada, ya que no se sabe cómo va a ser la distribución interna de los edificios. Por otro lado, el precio de mantenimiento es un precio anual.

Los precios que se muestran a continuación son precios facilitados por la empresa en cuestión según proyectos y trabajos realizados anteriormente por ellos mismos. Se pretende aclarar que para las instalaciones individuales y centralizadas no se ha llevado a cabo una hoja de cálculo o un presupuesto específico para cada una de ellas, así como sí se ha hecho para la instalación de Calefacción Urbana que se ha diseñado y cuyo presupuesto se adjunta en el anexo de este trabajo.

	Calefacción individual		Calefacción centralizada	
Edificio	Precio instalación + mantenimiento caldera gas con condensación (€)	Precio instalación + mantenimiento caldera biomasa (€)	Precio instalación + mantenimiento caldera gas con condensación (€)	Precio instalación + mantenimiento caldera biomasa (€)
1 vivienda	3300+150	6500+250	2000+50	3500+100
R1	80.000 + 3500	150.000 + 5000	50.000+1000	90.000+2500
R2	80.000 + 3500	150.000+ 5000	50.000+1000	90.000+2500
R3	80.000 + 3500	150.000 + 5000	50.000+1000	90.000+2500
R4	80.000 + 3500	150.000+ 5000	50.000+1000	90.000+2500
R5	80.000 + 3500	150.000 + 5000	50.000+1000	90.000+2500
R6	80.000 + 3500	150.000+ 5000	50.000+1000	90.000+2500
R7	80.000 + 3500	150.000 + 5000	50.000+1000	90.000+2500
T1	3300+150	6000+250	5500+350	12000+500
T2	3000+150	5500+250	5500+350	12000+500
EE1	6500+250	12.000+500	15.000+500	30.000+800
EE2	4000+250	8000+400	8500+500	15.000+500
ES1	2700+150	5000+250	9000+150	16.000+300
ES2	2700+150	5000+250	4000+150	8000+250
ES3	2700+150	5000+250	4000+150	8000+250
<b>TOTAL</b>	<b>584.900+25.750</b>	<b>1.096.500+37.650</b>	<b>401.500+9.150</b>	<b>731.000+20600</b>

*Ilustración 93. Precios según instalación*

### 5.3.3. Tabla resumen comparación

En este apartado, se recoge en una tabla los datos obtenidos anteriormente, de modo que la comparación entre sistemas resulta más fácil.

	Intalación individual		Instalación colectiva		Instalación Calefacción Urbana
	Caldera de gas con condensación	Caldera de biomasa	Caldera de gas con condensación	Caldera de biomasa	Caldera de biomasa
<b>Potencia (KW)</b>	4.492	4.492	1.525	1.525	1.500
<b>Energía (KWh)</b>	1.114.400	1.114.400	757.175	757.175	747.800
<b>Consumo (€)</b>	89.152	62.887	60.572	50.419	47.111
<b>Emisiones (Toneladas CO2)</b>	207,31	0	140,91	0	0
<b>Costes de instalación y mantenimiento (€)</b>	586.800 + 25.800	1.104.500 + 44.150	263.800 + 8.850	523.500 + 20.550	737.875,29

*Ilustración 94. Tabla comparativa instalaciones*

## 6. CONCLUSIONES

En este último apartado del trabajo antes de dar paso a los anexos del mismo, se llevan a cabo las conclusiones extraídas de todo el trabajo realizado anteriormente.

Estas conclusiones se van a tratar en tres divisiones: por un lado se sacarán conclusiones de la comparativa realizada en el anterior apartado, por otro lado se analizarán las conclusiones de la instalación de calefacción urbana diseñada y finalmente se concluirá con una vista general del trabajo y del cumplimiento de los objetivos iniciales.

La tabla del apartado anterior, refleja de forma numérica las ventajas y desventajas con las que cuenta la instalación de Calefacción Urbana diseñada con respecto a las otras alternativas más empleadas en la actualidad en términos de producción de ACS y calefacción.

Observando el primer punto y el principal que repercute en todos los demás, es evidente que cuanto más se centraliza y se comparten los recursos de la instalación, más baja resulta la potencia necesaria para satisfacer los requisitos de consumo del usuario. Esto se debe a que las instalaciones individuales ofrecen su potencia independientemente de que se empleen, mientras que las colectivas permiten un uso simultáneo, ya difícilmente se van a emplear todos los puntos de consumo a la vez.

El hecho de que las instalaciones individuales trabajen de forma instantánea, es decir, calienten el agua al momento en vez de emplear depósitos de almacenaje como las instalaciones centralizadas, hace que la potencia requerida sea más elevada y el número de horas de funcionamiento también se vea incrementado. Sin embargo, el autor pensaba que estos valores todavía estarían más distanciados entre una instalación y las demás, y esto se debe a que las calderas individuales funcionan de forma conmutada (se calienta ACS o calefacción) y hace que la carga térmica no sea un añadido como lo son en las otras dos instalaciones, sino que está incluida en el cálculo. Es por esto que en algunos edificios comerciales la potencia de las instalaciones centralizadas es superior a la individual cuando por uso compartido de recursos y depósitos de almacenaje no debería ser así.

Inequívocamente estos valores de potencia repercuten en los valores de consumo de cada uno de los tipos de instalación, ya que a menor potencia menor energía. Un punto importante a tratar del punto de consumos es la fuente de energía de la caldera.

Como se puede observar, el uso de calderas de biomasa disminuye el precio a pagar en la factura a final de año y esto se debe a que la materia prima, en este caso los pellets, son más económicos que el gas natural. Remarcar que, en el caso de que se empleara como material combustible componentes más económicos como paja, residuos forestales, residuos urbanos o energía solar, este precio todavía se vería más reducido.

El apartado de las emisiones emitidas a la atmósfera es un punto delicado que necesita de una valoración. Por definición, la biomasa es considerada una fuente de energía renovable y como consecuencia se considera que no genera de emisiones de gases nocivos y peligrosos a atmósfera, por lo que coloca en una posición de clara desventaja aquellas calderas alimentadas con gas natural. Sin embargo, el autor de este trabajo se muestra crítico con esta consideración, ya que cree que no es verdad que una central de biomasa no emita gases a la atmósfera. Aunque pase por un sistema de circulación de humos y chimeneas muy sofisticado y en algunos casos el material combustible sean desechos que con otros procedimientos todavía contaminarían más, se quema materia y toda combustión genera CO<sub>2</sub> y otros humos, por lo que no es cierto que la emisión de las centrales de biomasa es nula.

Todos los puntos tratados anteriormente en la comparativa los cumple con creces la instalación de calefacción urbana diseñada. Menor potencia acumulada, menor tiempo de funcionamiento y por lo tanto menor consumo, 0 emisiones al tratarse de una instalación de energía renovable, etc. Sin embargo, cuenta con la dificultad y el inconveniente principal de estos tipos de instalaciones y es que requieren una inversión inicial muy elevada. No basta con colocar una caldera, sino que hay que construir una central de generación, una inversión importante en tuberías y la colocación de las mismas y un elevado número de equipos cuyo precio es elevado. Sin embargo, aunque en este trabajo no se ha calculado, hay muchos estudios y ejemplos reales de que el tiempo de recuperación de la inversión no es muy elevado, de unos 10 años aproximadamente, y que a partir de ese momento el dinero que ahorrado en los consumos es mayor que el invertido en la infraestructura.

En cuanto al proceso de cálculo de datos de interés necesarios para el dimensionamiento de la instalación diseñada, el autor quiere manifestar varias conclusiones.

Empezar que es de agradecer que la normativa sea clara y existan tantos documentos y guías con ejemplos que facilitan el cálculo de estos datos. Esto permite que gente que no es especialista en este ámbito, como en el caso del autor, se anime a realizar estos cálculos por su cuenta.

Remarcar que, aunque los cálculos se han llevado a cabo de la forma más rigurosa, exacta y precisa posible, no saber las dimensiones reales de los edificios ni las actividades desarrolladas en los edificios comerciales ha hecho que se tengan que estimar algunos datos y que la localización de la instalación sea de baja importancia. Salvo datos dependientes de la zona geográfica, la instalación diseñada se podría localizar en otro sitio o su extrapolación sería sencilla. No obstante, como los datos estimados han sido los mismos empelados en la comparación con las otras instalaciones alternativas, la comparativa realizada está basada en igualdad de condiciones y refleja de forma certera los resultados obtenidos.

Sustraídas las conclusiones de la instalación diseñada, el autor quiere ensanchar un poco el foco y hablar de la Calefacción Urbana en general. Pese a las incontables ventajas que se han ido viendo en el desarrollo de este trabajo y del inconveniente principal como es la inversión inicial que hay que desembolsar, uno de los obstáculos principales con los que cuentan estos sistemas es la escasa información que tienen las administraciones públicas y la ciudadanía sobre la existencia de estas tecnologías, además de la existencia de unas condiciones fiscales poco atractivas y la ausencia de reglamentación comprometida que promocióne su implantación. Esto se traduce en que tan solo el 1% de la población española utiliza este tipo de tecnología a la media europea del 16% o que España se vea superada en producción de energía solar térmica por países como Alemania, Polonia y Dinamarca y en energía solar eléctrica por reino Unido. No es por desprestigiar estos países ni mucho menos, simplemente que se encuentran más al norte y unas condiciones meteorológicas menos atractivas que las que ofrece nuestro país. A pesar de ello, los gráficos evolutivos muestran que tanto el número de redes de calefacción urbana como la potencia instalada aumenta cada año en España y que hecho de que la nueva normativa del CTE HE ya haga mención de los sistemas de calefacción urbana, indica que se avanza por el buen camino.



En cuanto al cumplimiento de los objetivos marcados al inicio del proyecto, salvo el cálculo del tiempo de recuperación de la inversión y tratar con más profundidad los equipos de monitorización de seguridad y automatización, el resto de objetivos, tanto principales como secundarios, se han cumplido. Con la realización de este trabajo se ha complementado la formación recibida durante los estudios del Grado de Ingeniería Mecatrónica y, es más, se ha visto incrementado el conocimiento sobre la generación de energía y el ahorro energético. Se ha comprobado y mostrado como mediante una instalación de calefacción urbana, se puede satisfacer todas las necesidades energéticas en cuanto a consumo de ACS y calefacción y de una forma más económica y más respetuosa con el medio ambiente que las otras alternativas presentadas y más presentes en la actualidad.

Para finalizar y ahora ya en primera persona, me muestro muy contento con el desarrollo y el resultado del trabajo. Pese a los inconvenientes y obstáculos que me he ido encontrando por el camino y que han hecho que la entrega se alargara un poco, he disfrutado realizando este trabajo. Se trataba de un ámbito que no dominaba y que se salía de los temas estándar de la carrera y esto ha sido un aliciente más para el reto. Me ha pasado rápido el tiempo realizando el trabajo y no me ha importado dedicarle muchas horas, todo lo contrario. Me ha gustado este ámbito y creo que me gustaría dedicarme a ello. La Calefacción Urbana es un sistema que sobre todo en este país todavía está por explotar pero que en un futuro cercano estará muy presente en nuestra sociedad.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] «Climatización Urbana en las ciudades españolas». Accedido: nov. 01, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.redciudadesclima.es/sites/default/files/2020-06/b7e75a5a739b40b44fc98ecad533842.pdf>
- [2] «Waste-to-energy incineration should be “last resort” as Josh Frydenberg flags expansion - ABC News». <https://www.abc.net.au/news/science/2018-04-27/waste-incineration-last-resort-experts-warn-frydenberg/9702490> (accedido nov. 14, 2020).
- [3] «¿Qué es la Energía Geotérmica? Fuentes, usos, ventajas y desventajas de la energía geotérmica», *Erenovable.com*, sep. 07, 2020. <https://erenovable.com/energia-geotermica/> (accedido nov. 14, 2020).
- [4] «Los ecologistas asturianos, en contra la central de biomasa de la Zalia». <https://elperiodicodelaenergia.com/los-ecologistas-asturianos-en-contra-la-central-de-biomasa-de-la-zalia/> (accedido nov. 14, 2020).
- [5] «Energía solar térmica: Usos y aplicaciones - Ecosolar». <https://www.ecosolaresp.com/energia-solar-termica-usos-y-aplicaciones/> (accedido nov. 14, 2020).
- [6] «Instalación Nuevo Depósito Agua Caliente Sanitaria Acs | Ideas Calefacción», *habitissimo.es*. <https://proyectos.habitissimo.es/proyecto/instalacion-nuevo-deposito-agua-caliente-sanitaria-ac> (accedido nov. 14, 2020).
- [7] R. Garay, «District Heating & Cooling o redes urbanas de calor y frío; ventajas de un sistema eficiente - PODCAST - caloryfrio.com». <https://www.caloryfrio.com/calefaccion/district-heating-cooling-redes-urbanas-calor-y-frio-ventajas-de-sistema-eficiente.html> (accedido nov. 01, 2020).
- [8] «Tubería preasilada para la calefacción a distancia».
- [9] «EVOH», *Wikipedia, la enciclopedia libre*. may 11, 2020. Accedido: ene. 19, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=EVOH&oldid=125981474>
- [10] «REHAU RAUTHERMEX pre-insulated pipe by Mibec», *Mibec*. <https://mibec.co.uk/products/pre-insulated-pipe/rehau-systems/rehau-rauthermex/> (accedido ene. 19, 2021).
- [11] «Subestaciones - District Heating», *Indelcasa*. <https://www.indelcasa.es/subestaciones-district-heating/> (accedido nov. 14, 2020).
- [12] «AsociacionPerso8\_1540226118.pdf». Accedido: nov. 17, 2020. [En línea]. Disponible en: [http://www.adhac.es/Priv/ClientsImages/AsociacionPerso8\\_1540226118.pdf](http://www.adhac.es/Priv/ClientsImages/AsociacionPerso8_1540226118.pdf)
- [13] «DBHE.pdf». Accedido: mar. 30, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HE/DBHE.pdf>
- [14] «DBHS.pdf». Accedido: mar. 31, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HS/DBHS.pdf>

- [15] «Guia\_ACS.pdf». Accedido: jul. 22, 2021. [En línea]. Disponible en: [https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/Reconocidos/Gu%C3%ADas%20t%C3%A9cnicas/Guia\\_ACS.pdf](https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/Reconocidos/Gu%C3%ADas%20t%C3%A9cnicas/Guia_ACS.pdf)
- [16] P. I. E. Ramassar, «TERMOSUN ENERGÍAS, S.L.», n.º 1, p. 7.
- [17] «Ventajas de las Calderas HERZ DC\_148\_18.00.pdf».
- [18] «bombas central.pdf».
- [19] «documentos\_08\_Guia\_tecnica\_agua\_caliente\_sanitaria\_central\_906c75b2.pdf». Accedido: may 11, 2021. [En línea]. Disponible en: [https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_08\\_Guia\\_tecnica\\_agua\\_caliente\\_sanitaria\\_central\\_906c75b2.pdf](https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_08_Guia_tecnica_agua_caliente_sanitaria_central_906c75b2.pdf)
- [20] cogeneracioneficiente, «Cogeneración Eficiente - AChee Chile», *Cogeneración Eficiente*. <https://www.cogeneracioneficiente.cl/> (accedido nov. 14, 2020).
- [21] «Estudi viabilitat d'una planta cicle combinat utilitzant gas natural enriquit (hidrogen)».
- [22] Effenmark, «¿Qué es la cogeneración? ¿Cuáles son sus pros y sus contras?», *Effenmark*, oct. 02, 2019. <http://www.effenmark.es/que-es-la-cogeneracion-pros-y-sus-contras/> (accedido oct. 28, 2020).
- [23] «Energética21 - Revista de Energía - Energías renovables, Solar, Autoconsumo, Eólica, Eficiencia energética ...Detalles de la planta de autoconsumo en , instalada por», *Energética XXI, revista de noticias de energía, biomasa, eólica, fotovoltaica, solar, autoconsumo*. <http://www.energetica21.com/articulos-y-entrevistas-online-ver/cogeneracion-energia-eficiente-para-la-industria> (accedido oct. 29, 2020).
- [24] O. US EPA, «What Is CHP?», *US EPA*, ago. 19, 2015. <https://www.epa.gov/chp/what-chp> (accedido oct. 13, 2020).
- [25] L. Antinori, «Combinación de calor y energía», *Termodinamica*, ago. 16, 2018. <https://www.termodinamica.com.pe/2018/08/16/energia-combinacion-de-calor-y-potencia/> (accedido oct. 13, 2020).
- [26] Ambientum, «Sistemas de cogeneración - Enciclopedia Medioambiental», *Ambientum Portal del Medioambiente*. <https://www.ambientum.com/> (accedido oct. 13, 2020).
- [27] «¿Qué se produce en los sistemas de cogeneración de electricidad?», *Energya*, ene. 31, 2018. <https://www.energyavm.es/que-produce-sistemas-cogeneracion-de-electricidad/> (accedido oct. 13, 2020).
- [28] «Las Plantas de Cogeneración». <http://www.plantasdecogeneracion.com/index.php/las-plantas-de-cogeneracion> (accedido oct. 13, 2020).
- [29] «La cogeneración y la eficiencia energética, que es y como aprovecharla», *efENERGIA*. <https://www.efenergia.com/instalaciones-eficiencia-energetica/termicas/cogeneracion/> (accedido oct. 13, 2020).
- [30] «Tipos de Plantas DE COGENERACION». [http://energiza.org/index.php?option=com\\_k2&view=item&id=1110:tipos-de-plantas-de-cogeneracion](http://energiza.org/index.php?option=com_k2&view=item&id=1110:tipos-de-plantas-de-cogeneracion) (accedido oct. 14, 2020).

- [31] «Los tipos de plantas de cogeneración eléctrica», *Tecsa*, ago. 29, 2019. <https://www.tecsaqro.com.mx/blog/tipos-de-plantas-de-cogeneracion/> (accedido oct. 14, 2020).
- [32] «→ La cogeneración: Guía completa», *Tecnoloblog*, dic. 02, 2019. <https://www.tecnoloblog.com/cogeneracion/> (accedido oct. 14, 2020).
- [33] «Turbina de vapor - EcuRed». [https://www.ecured.cu/Turbina\\_de\\_vapor#Tipos\\_de\\_turbinas\\_de\\_vapor](https://www.ecured.cu/Turbina_de_vapor#Tipos_de_turbinas_de_vapor) (accedido oct. 21, 2020).
- [34] «Plantas de Cogeneracion, operacion y mantenimiento». <http://opex-energy.com/cogeneracion/cogeneracion.html> (accedido oct. 28, 2020).
- [35] «Cogeneración | IDAE». <https://www.idae.es/tecnologias/eficiencia-energetica/transformacion-de-la-energia/cogeneracion> (accedido oct. 28, 2020).
- [36] «Cómo determinar la eficiencia de una cogeneración | Blog SEAS». <https://www.seas.es/blog/energias-renovables/como-determinar-eficiencia-de-cogeneracion/> (accedido oct. 28, 2020).
- [37] «Trigeneración», *Wikipedia, la enciclopedia libre*. jul. 02, 2020. Accedido: oct. 28, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Trigeneraci%C3%B3n&oldid=127414216>
- [38] «Qué es la trigeneración y su relación con la eficiencia energética», *efENERGIA*. <https://www.efenergia.com/instalaciones-eficiencia-energetica/termicas/trigeneracion/> (accedido oct. 28, 2020).
- [39] «Principio de la trigeneración | Absorsistem». <https://www.absorsistem.com/tecnologia/cogeneracion/principio-de-la-trigeneracion> (accedido oct. 28, 2020).
- [40] «Trigeneración». <http://icogen-sa.com/eficiencia-energetica-3/transformacion-de-la-energia/trigeneracion.html> (accedido oct. 28, 2020).
- [41] «Trigeneración: avanzando hacia la eficiencia energética», *Twenergy*, dic. 31, 2015. <https://twenergy.com/energia/energias-renovables/trigeneracion-avanzando-hacia-la-eficiencia-energetica-2016/> (accedido oct. 28, 2020).
- [42] «Cogeneración: Qué es y cómo funciona. Ventajas y desventajas», *Lean Manufacturing 10*, sep. 04, 2018. <https://leanmanufacturing10.com/cogeneracion-que-es-y-como-funciona> (accedido oct. 28, 2020).
- [43] «Instal·lació d'un sistema de microgeneració per gas en una bugaderia per a produir electricitat i aigua calenta».
- [44] «La calefacción urbana ¿pasado, presente o futuro de las ciudades? - Ferroservice». <https://serviciotecnicoferroli.es/calefaccion-urbana-futuro-de-las-ciudades/> (accedido nov. 01, 2020).
- [45] «¿Qué es el District Heating?: orígenes y funcionamiento», *Blog de Ingeniería Industrial*, dic. 10, 2018. <https://blogs.udima.es/ingenieria-industrial/que-es-el-district-heating-origenes-y-funcionamiento/> (accedido nov. 01, 2020).

- [46] «Les xarxes de calefacció i refrigeració urbanes abastides amb fonts d'energia renovable. B#20|15/06/16», *Departament de Territori i Sostenibilitat*. <http://territori.gencat.cat/ca/detalls/Article/Xarxes-DHC> (accedido nov. 01, 2020).
- [47] «¿Qué es un “District Heating”? - IMARTEC - Servicios energéticos», *IMARTEC*, abr. 30, 2014. <https://www.imartec.es/que-es-un-district-heating/> (accedido nov. 01, 2020).
- [48] «District Heating: Central Heating and Cooling Network - DEXMA», jul. 21, 2019. <https://www.dexma.com/blog-en/what-is-district-heating/> (accedido nov. 01, 2020).
- [49] «District heating: calefacción urbana». <https://www.hogarsense.es/calefaccion/disctrict-heating#que> (accedido nov. 01, 2020).
- [50] «District Heating». <https://www.termosun.com/district-heating/#None> (accedido nov. 01, 2020).
- [51] «District Heating», *DISTRICT HEATING ECO ENEGÍAS*. <https://www.dhecoenergias.es/district-heating/> (accedido nov. 01, 2020).
- [52] AVEBIOM, «¿Qué son los District Heatings? ¿Cómo funciona una red de calefacción con biomasa?», *AVEBIOM*. <https://www.avebiom.org/blog-biomasa/que-son-los-district-heatings-como-funciona-una-red-de-calefaccion-con-biomasa> (accedido nov. 01, 2020).
- [53] R. C. Grados, «Calefacción urbana – Revista Cero Grados». <https://0grados.com.mx/calefaccion-urbana/> (accedido nov. 01, 2020).
- [54] calefacc, «¿Qué es la calefacción urbana?», *Calefacción, Calefactores para Uso Industrial, Comercial y Residencial :: H2O TEK*, abr. 26, 2017. <https://www.calefaccionenmexico.com.mx/que-es-la-calefaccion-urbana/> (accedido nov. 01, 2020).
- [55] «District Heating urbano como alternativa de calefacción - Construction21», *construction21.org*. <https://www.construction21.org/espana/articles/es/district-heating-urbano-como-alternativa-de-calefaccion.html> (accedido nov. 01, 2020).
- [56] «Calefacción Urbana (District heating) - Naturgy - Negocios y autónomos». [https://www.naturgy.es/empresas/blog/tecnologias\\_eficientes/calefaccion\\_urbana\\_district\\_heating](https://www.naturgy.es/empresas/blog/tecnologias_eficientes/calefaccion_urbana_district_heating) (accedido nov. 01, 2020).
- [57] «Calefacción urbana», *Arkiplus*, sep. 04, 2016. <https://www.arkiplus.com/calefaccion-urbana/> (accedido nov. 01, 2020).
- [58] C. Abele, «District Heating o calefacción urbana», *El Diario De La Energía*, dic. 12, 2018. <http://www.eldiariodelaenergia.com/district-heating-o-calefaccion-urbana/1655> (accedido nov. 01, 2020).
- [59] admin, «District heating: redes de calor y frío | Alfa Laval», *Intercambiadores de calor Alfa Laval | T-Soluciona distribuidor oficial*, ene. 04, 2018. <https://t-solucion.com/district-heating-redes-de-calor-y-frio/> (accedido nov. 01, 2020).
- [60] Expobiomasa, «Casi todas las ciudades de Suecia tienen un District Heating alimentado con biomasa», *Expobiomasa*, dic. 11, 2019. <https://www.expobiomasa.com/calefaccion-industrial-district-heating/ciudades-suecia-tienen-district-heating-biomasa> (accedido nov. 01, 2020).

- [61] «Sistemas REHAU para calefacción a distancia».
- [62] «SISTEMAS PARA EL ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA TÉRMICA RAUVITHERM Y RAUTHERMEX».
- [63] «INFORMACIÓN TÉCNICA SISTEMAS PARA EL ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA TÉRMICA RAUVITHERM Y RAUTHERMEX».
- [64] «District heating and cooling para edificios». <https://www.danfoss.com/es-es/markets/district-energy/dhs/district-heating-and-cooling-for-buildings/> (accedido nov. 14, 2020).
- [65] «Ecoheatcool\_WP3\_Web.pdf». Accedido: nov. 30, 2020. [En línea]. Disponible en: [https://www.euroheat.org/wp-content/uploads/2016/02/Ecoheatcool\\_WP3\\_Web.pdf](https://www.euroheat.org/wp-content/uploads/2016/02/Ecoheatcool_WP3_Web.pdf)
- [66] «¿Qué es el polietileno reticulado?», *comunidad.leroymerlin.es*, sep. 16, 2016. <https://comunidad.leroymerlin.es/t5/Bricopedia-Construcci%C3%B3n-y/Qu%C3%A9-es-el-polietileno-reticulado/ta-p/114439> (accedido ene. 19, 2021).
- [67] «¿Qué es el EVOH?», *Arapack*. <https://www.arapack.com/faq/que-es-el-evoh/> (accedido ene. 19, 2021).
- [68] «Espuma de poliuretano», *Wikipedia, la enciclopedia libre*. oct. 12, 2020. Accedido: ene. 19, 2021. [En línea]. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Espuma\\_de\\_poliuretano&oldid=130006949](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Espuma_de_poliuretano&oldid=130006949)
- [69] «Consumo diario de ACS en el certificado energético con el nuevo DB HE». <https://www.certificadosenergeticos.com/consumo-diario-de-acsc-certificado-energetico> (accedido mar. 10, 2021).
- [70] «Cálculo de cargas térmicas de calefacción», *IngenierosIndustriales.com*, feb. 06, 2019. <https://www.ingenierosindustriales.com/calculo-de-cargas-termicas-de-calefaccion/> (accedido mar. 18, 2021).
- [71] J. Ponce, «Javier Ponce Formación Técnica: Cálculo de la carga térmica en calefacción según el RITE 2.007», *Javier Ponce Formación Técnica*, mar. 26, 2011. <http://javiponce-formatec.blogspot.com/2011/04/calculo-de-la-carga-termica-en.html> (accedido mar. 18, 2021).
- [72] E. M. dice, «Calculo de carga térmica de calefacción de vivienda», *CoolProyect*, oct. 25, 2016. <https://coolproyect.es/2016/10/25/calculo-de-la-carga-termica-de-calefaccion-de-una-vivienda/> (accedido mar. 18, 2021).
- [73] «INEbase / Demografía y población /Cifras de población y Censos demográficos /Encuesta continua de hogares / Últimos datos», *INE*. [https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica\\_C&cid=1254736176952&menu=ultiDatos&idp=1254735572981](https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176952&menu=ultiDatos&idp=1254735572981) (accedido mar. 30, 2021).
- [74] «Cargas térmicas de climatización», *Wikipedia, la enciclopedia libre*. may 08, 2020. Accedido: mar. 31, 2021. [En línea]. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Cargas\\_t%C3%A9rmicas\\_de\\_climatizaci%C3%B3n&oldid=125872923](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Cargas_t%C3%A9rmicas_de_climatizaci%C3%B3n&oldid=125872923)
- [75] «Cómo calcular el caudal simultáneo de agua en un edificio de viviendas», *IngenierosIndustriales.com*, ene. 10, 2019.



- <https://www.ingenierosindustriales.com/como-calculas-el-caudal-simultaneo-de-agua-en-un-edificio-de-viviendas/> (accedido abr. 10, 2021).
- [76] RAE, «Definición de caudal máximo instantáneo de captación - Diccionario panhispánico del español jurídico - RAE», *Diccionario panhispánico del español jurídico - Real Academia Española*. <https://dpej.rae.es/lema/caudal-m%C3%A1ximo-instant%C3%A1neo-de-captaci%C3%B3n> (accedido abr. 10, 2021).
- [77] «Apuntes Tema 1 Instalaciones de agua fría.pdf».
- [78] «Dime qué sistema de calefacción usas y te diré cuánto gastas», *ELMUNDO*, nov. 24, 2015. <https://www.elmundo.es/economia/2015/11/24/565344d5268e3ea5298b4668.html> (accedido may 11, 2021).
- [79] clickrenovables, «Cómo calcular la potencia, las necesidades de combustible y el ahorro que obtienes con una instalación de biomasa (Caso práctico y comparativa)», *Click Renovables*, mar. 24, 2014. <https://clickrenovables.com/blog/como-calculas-la-potencia-las-necesidades-de-combustible-y-el-ahorro-que-obtienes-con-una-instalacion-de-biomasa-caso-practico-y-comparativa/> (accedido may 11, 2021).
- [80] «Consumo de caldera». <https://www.hogarsense.es/calefaccion/consumo-caldera> (accedido may 11, 2021).
- [81] «¿Cuál es el consumo medio de gas natural en un inmueble?», *preciogas.com*. <https://preciogas.com/faq/consumo-medio-gas-casa> (accedido may 11, 2021).
- [82] «calderas-de-condensacion-vaillant-782247.pdf». Accedido: may 11, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.vaillant.es/downloads/productos/ecotec/old/calderas-de-condensacion-vaillant-782247.pdf>
- [83] «¿Cuántos Kg de pellets consume al año una vivienda?», *Ecomind Pellets*, abr. 02, 2020. <https://ecomindpellets.com/cuantos-kg-pellets-consume-al-ano-una-vivienda-media/> (accedido may 11, 2021).
- [84] «ADA | Consultores [Conversor de CO2]». <https://www.ada-c.com/es/conversor-co2.html> (accedido may 15, 2021).
- [85] «Huella del carbono ¿Qué es? ¿Cómo se mide?» <https://www.nueva-iso-14001.com/2019/09/huella-del-carbono-que-es-como-se-mide/> (accedido may 15, 2021).
- [86] «Recomendaciones para la mejora de la eficiencia energética: una parte interesante del Certificado de Eficiencia Energética», *zonahogar*, dic. 24, 2019. <https://www.zonahogar.es/recomendaciones-para-la-mejora-de-la-eficiencia-energetica-una-parte-interesante-del-certificado-de-eficiencia-energetica/> (accedido may 16, 2021).
- [87] «Centrales de biomasa: ¿sabías cómo funcionan?» <https://www.endesax.com/es/recursos/historias/centrales-de-biomasa> (accedido jun. 03, 2021).





## Relación de documentos

☒ Memoria 121 páginas

☐ Anexos 97 páginas

☐ Planos 5 páginas

La Almunia de Doña Godina, a 19 de septiembre de 2021

Firmado:

