

# Trabajo Final de Máster

Máster Universitario de Ingeniería Industrial (MUEI)

Propuesta urbanística para convertir el barrio de Canyelles en un barrio autosuficiente energéticamente

## MEMORIA

Septiembre de 2021

**Autor:** Álvaro Rodríguez Gorgojo

**Director:** Xavier Fernández

**Convocatoria:** 06/2021



Escola Tècnica Superior d'Enginyeria  
Industrial de Barcelona



ETSEIB



## RESUMEN

Este trabajo pretende proponer un modelo de abastecimiento energético diferente al actual, en el que los barrios puedan ser energéticamente independientes con respecto a la ciudad en la que se hallen.

Con el fin de demostrar la viabilidad de dicha propuesta, se presentará, a continuación, un estudio en el que se implementa dicho modelo energético para un barrio concreto de Barcelona, el barrio de Canyelles.

Asimismo, se pretende presentar este trabajo como una propuesta urbanística real para el ayuntamiento de Barcelona.



# ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>7</b>
1.1. Objetivos del proyecto .....	8
1.2. Alcance del Proyecto .....	8
1.3. Limitaciones .....	9
<b>2. CANYELLES</b> .....	<b>10</b>
2.1. DATOS TÉCNICOS .....	11
<b>3. CONSUMO ENERGÉTICO DEL BARRIO</b> .....	<b>13</b>
<b>4. SISTEMA GLOBAL</b> .....	<b>18</b>
<b>5. SISTEMA TÉRMICO</b> .....	<b>21</b>
5.1. ACS .....	21
5.1.1. Demanda de ACS y Potencia del Sistema .....	22
5.1.2. Diseño del Sistema de Distribución.....	25
5.1.2.1. Propuesta de trazado de la red de distribución .....	25
5.1.2.2. Dimensionamiento del Acumulador de ACS .....	26
5.1.2.3. Diseño del Intercambiador de calor .....	28
5.1.2.4. Dimensionamiento de las tuberías de la red .....	29
5.1.2.5. Bomba de Circulación de la Red de Distribución .....	39
5.1.3. Dimensionamiento del Sistema de Generación Energética .....	41
5.1.3.1. Dimensionamiento de la Bomba de Calor .....	41
5.1.3.2. Dimensionamiento del Intercambiador Geotérmico.....	43
5.2. Calefacción .....	45
5.2.1. Demanda de Calefacción y Potencia del Sistema .....	46
5.2.2. Diseño del Sistema de Distribución.....	47
5.2.2.1. Propuesta de trazado de la red de distribución .....	48
5.2.2.1. Dimensionamiento del Acumulador de Calefacción .....	49
5.2.2.2. Diseño del Intercambiador de calor .....	50
5.2.2.3. Dimensionamiento de las tuberías de la red .....	51
5.2.2.4. Bomba de Circulación .....	52
5.2.3. Diseño del Sistema de Generación Energética .....	53
5.2.3.1. Dimensionamiento de la Bomba de Calor .....	53
5.2.3.1. Dimensionamiento del Intercambiador Geotérmico.....	54
<b>6. SISTEMA ELÉCTRICO</b> .....	<b>55</b>
6.1. Demanda Eléctrica.....	56
6.2. Dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico .....	57
<b>7. ANÁLISIS ECONÓMICO</b> .....	<b>63</b>

<b>8. ESTUDIO DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL .....</b>	<b>68</b>
<b>9. CONCLUSIONES .....</b>	<b>71</b>
<b>10. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>73</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

Como consecuencia de la crisis climática que, en la actualidad, sufre nuestro planeta, es imprescindible cambiar, cuanto antes, la manera que tenemos de relacionarnos con el entorno. Es por ello que nuestra sociedad debe tener como cometido empezar a pensar en maneras de producir o generar recursos y materias que no dañen la Tierra. Esto, aplicado al campo que abarca el contenido de este trabajo, es decir, el de la ingeniería, y más concretamente, el de la energía, significa generar, transformar o distribuir la energía de manera limpia, intentando que el impacto medioambiental que ello conlleva sea mínimo, así como eficiente en su desarrollo.

Asimismo, con el fin de continuar contextualizando el presente trabajo, es necesario destacar, por otro lado, que una parte de nuestro mundo está sufriendo una crisis energética grave. Los recursos no solo son escasos, sino que, además, están mal distribuidos; la energía no llega a todas partes, o, cuando menos, no llega por igual.

A su vez, las ciudades cada vez crecen y se pueblan más, estimando la ONU, que continuaran haciéndolo, con un ritmo creciente, hasta el 2050, de forma que el desarrollo sostenible de las mismas dependerá de cómo se gestione su crecimiento urbano (1).

Este trabajo pretende ofrecer una solución a los problemas reseñados, tomando como parámetro base de referencia el concepto “ECOBARRIO”, que es un territorio ubicado dentro de la ciudad, diseñado para disminuir la huella ecológica y responder a necesidades sociales colectivas (2).

Dicha solución consiste en diseñar un sistema energético, en el que se genere y distribuya la energía que la comunidad en cuestión necesite, de una manera eficiente y sostenible, convirtiendo el barrio en energéticamente autosuficiente, al no depender éste del suministro público que ofrezca su ciudad. Cabe remarcar que la calidad de vida de la población no podrá ni deberá verse afectada por el cambio de sistema que se quiere proponer.

El trabajo se centrará en demostrar la viabilidad del sistema expuesto, tomando como modelo de trabajo y actuación el barrio barcelonés de Canyelles, con el objeto de transformarlo en un barrio energéticamente autosuficiente, eficiente y sostenible.

## 1.1. Objetivos del proyecto

- Luchar contra el cambio climático basando la propuesta urbanística en un modelo de generación energética eficiente y renovable.
- Evitar la desigualdad energética, proponiendo un sistema autosuficiente e independiente del sistema convencional.
- Favorecer al crecimiento de las urbes con sistemas que aboguen por la conciencia social, medioambiental y la solidaridad vecinal.
- Diseñar y dimensionar el sistema de generación energética para Canyelles. Dicha generación deberá cubrir las siguientes necesidades: agua caliente sanitaria -en adelante ACS-, calefacción y electricidad.
- Diseñar y dimensionar el sistema de distribución energética para Canyelles. Cada necesidad energética -ACS, calefacción y electricidad- requerirá de un tipo de red de distribución diferente.
- Encontrar el equilibrio entre la viabilidad material y la viabilidad económica de la propuesta urbanística, con el fin de poder presentarla al Ayuntamiento de Barcelona.

## 1.2. Alcance del Proyecto

Este trabajo pretende dar solución a los problemas planteados en el apartado “1. Introducción”, realizando un estudio básico de cada una de las áreas que abarcan la presente propuesta, pudiendo, en consecuencia, considerarse como la fase cero de un proyecto.

El estudio se estructura y comprende las siguientes áreas:

- Análisis del consumo energético de Canyelles.
- Dimensionamiento y diseño del sistema de generación energética en función del consumo que tiene Canyelles, del tipo de servicio que se quiere dar - ACS, calefacción y electricidad-, y de la ubicación desde donde se genera la energía.



- Dimensionamiento y diseño del sistema de distribución energética en función del servicio que se quiere dar -ACS, calefacción y electricidad- y del emplazamiento -situación geográfica, orografía, morfología del terreno, etc.- de Canyelles.
- Estudio del impacto medioambiental de la propuesta urbanística.
- Estudio económico de las implicaciones derivadas de realizar la propuesta urbanística.

Este trabajo, por su finalidad y características, no recoge ni tiene en cuenta el marco normativo ni la regulación legal que afecta y debería constar en este tipo de proyectos, ni presenta un estudio del mantenimiento de los equipos, ni, tampoco, recoge el sistema de control que debería aplicarse para la supervisión de la producción energética.

### **1.3. Limitaciones**

Esta propuesta urbanística, al ser tan amplia y multidisciplinar, es decir, al abarcar tantas áreas diferentes -no solo áreas de la ingeniería-, requiere de una gran inversión en horas de trabajo y de dedicación, horas de las que una única persona no dispone en tan solo seis meses.

Asimismo, al ser también tan exigente y compleja en diversas materias, requiere disponer de un equipo de profesionales capaces de trabajar, de forma conjunta y coordinada, en diferentes campos. En otras palabras, una persona sola difícilmente podrá profundizar en las diferentes áreas del proyecto, ya sea por falta de tiempo, conocimiento o experiencia.

Finalmente, cabe destacar la dificultad que, en este proyecto, presenta la obtención y recopilación de información relevante, pues se requiere disponer de datos muy específicos que apenas se encuentran en bases de datos públicas. A título de ejemplo se mencionan los siguientes: información acerca de los consumos energéticos del barrio, propiedades del terreno en el que se necesita excavar, propiedades de los materiales de los cimientos, fachadas, muros, etc. de los edificios, interés de los vecinos por la iniciativa.

## 2. CANYELLES

Antes de decidir que la propuesta urbanística se implementaría en el barrio de Canyelles, se llevó a cabo un estudio estratégico acerca del barrio de Barcelona a escoger para impulsar la iniciativa energética. Para ello, se tuvieron en cuenta varios factores.

El primero de ellos, y fundamental, era poder realizar obras sin necesidad a verse abocado a paralizar la actividad diaria de la ciudad. En otras palabras, el levantamiento de la calzada -necesario para el proyecto- y su inhabilitación temporal no debía afectar a vías importantes de la circulación rodada, por cuanto las mismas forman parte esencial del núcleo socio-económico de la ciudad. Ejemplos de barrios que presentan un mayor riesgo de alterar el normal desarrollo de la actividad ciudadana son, entre otros, todos aquellos que forman parte del distrito de la Eixample.

Asimismo, el segundo extremo importante era el de no inhabilitar -debido a las obras a ejecutar- barrios de gran concentración de persona constituidos por pequeñas y estrechas calles, callejuelas y placetas, pues eso afectaría de forma notoria al normal desplazamiento y deambular de los peatones. Dos ejemplos claros serían los barrios de los distritos de Gracia y Ciutat Vella.

El siguiente punto que se tuvo en cuenta está directamente relacionado con el aspecto económico y basado en el objetivo de hacer frente y luchar contra la desigualdad energética, la cual sufre, sobre todo, el sector de población económicamente vulnerable. Por ello, el tercer requisito pasaba por hacer el proyecto en un barrio con una renta per cápita baja, consiguiendo aliviar así, la factura de aquellos que económicamente más lo necesitan.

El cuarto requisito era el de la innovación, o sea, que no se hubiera hecho ya un proyecto similar en el barrio objeto de estudio; que el barrio escogido no se nutriera ya de un sistema de redes de transporte de frío o de calor, o de un sistema eléctrico para el autoconsumo, como del que ya dispone, por ejemplo, el distrito 22@ de Barcelona gracias a la empresa District Clima.

Finalmente, el quinto y último factor era que las viviendas afectadas por el proyecto se encontrasen en buen estado, presentando un buen aislamiento térmico, pues al disponer de tales condiciones es cuando la mejora energética tiene más sentido y es más eficiente.

Así pues, todos estos requisitos los cumplía el barrio de Canyelles, razón por la que, a priori, éste era el barrio barcelonés idóneo para ser el objeto del proyecto. Como factor de refuerzo en cuanto a la elección del citado barrio, nos encontramos con un dato revelador. Este es que, en el 2015, Canyelles participó en un proyecto innovador *-Grow Smarter-* de rehabilitación de fachadas en el que, no solo se cambió el aspecto visual del barrio, sino que se mejoró la calidad de las fachadas, haciendo que las viviendas estuvieran mejor aisladas -lo que supuso una mejora de la eficiencia energética-, demostrando Canyelles, de esta forma, que es un barrio que apoya el cambio y es proclive a la innovación. En consecuencia, y tras lo indicado, un proyecto urbanístico como éste, en principio, presenta más posibilidades de llevarse a cabo con éxito en este barrio que en cualquier otro.

## 2.1. DATOS TÉCNICOS

Canyelles es un barrio que forma parte del distrito de Nou Barris de la ciudad de Barcelona. Se encuentra situado en la falda de la montaña de Collserola, y está orientado hacia el Noroeste, a un nivel de 130 metros sobre el mar. Según la tabla a del Anejo B del Documento Básico de Ahorro de la Energía -DB-HE-, del Código Técnico de la Edificación, el barrio se encuentra en la zona climática C2, tal y como se puede apreciar en la tabla 1 y en la ilustración 1.

Provincia	Altitud sobre el nivel del mar (h)																								
	≤ 50 m	51 m	101 m	111 m	201 m	251 m	301 m	351 m	401 m	451 m	501 m	551 m	601 m	651 m	701 m	751 m	801 m	851 m	901 m	951 m	1001 m	1051 m	1051 m	1251 m	251 m
Barcelona	C2				D2				D1				E1												

Tabla 1. Tabla a-Anejo B del DB-HE. Zonas climáticas

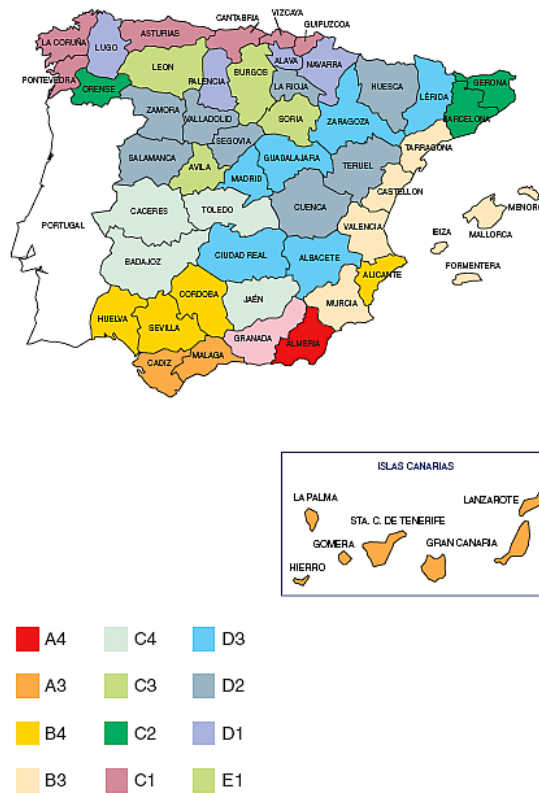


Ilustración 1. Mapa de las zonas climáticas de España

Tiene 6.879 habitantes, y aproximadamente cuenta con un total de 2.920 viviendas (3) - repartidas en aproximadamente 75 edificios-, construidas entre los años 70 y 80, que actualmente se encuentran en buen estado.

### 3. CONSUMO ENERGÉTICO DEL BARRIO

Antes de calcular el consumo energético del barrio, es necesario recordar que la realización de este ejercicio es fundamental para poder dimensionar el sistema de generación energética que se quiere proponer, pues a partir del consumo que se precise, se definirán las demandas energéticas que el nuevo sistema deberá cubrir.

Así pues, para obtener el consumo energético anual de Canyelles, se deberá calcular con carácter previo, el consumo energético anual requerido por una vivienda estándar del barrio.

Posteriormente, el resultado obtenido se multiplicará por el número total de viviendas existentes en Canyelles, obteniendo así, el consumo total del barrio.

Para poder calcular, con un mínimo de fiabilidad, el consumo de una vivienda tipo será necesario definir, cuando menos, los siguientes parámetros: tipo de vivienda, superficie, número de personas que la habitan, servicios energéticos de los que goza, equipos o aparatos energéticos de los que dispone y su potencia, tiempo de uso de cada equipo, y factor de trabajo de cada equipo.

A modo de guía objetiva y por tratarse de un documento de trabajo comúnmente aceptado, se recurrirá al informe del proyecto SECH-SPAHOUSEC “Análisis del consumo energético del sector residencial en España”, realizado por el IDAE -Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía- (4), con el fin de adecuar, fidedignamente a la realidad, las características de lo que se calificará, a los efectos de este trabajo, como una vivienda estándar del barrio.

En primer lugar, se considera que la vivienda tipo será un piso con una superficie media de 82,20 m<sup>2</sup> (3) en el que conviven 3 personas, dato este último resultante del siguiente cálculo:

$$\frac{6.879 \text{ personas}}{2.920 \text{ viviendas}} \approx 3 \frac{\text{personas}}{\text{vivienda}}$$

En segundo lugar, es preciso definir los servicios energéticos de los que disfruta el piso estándar. Según el proyecto SECH-SPAHOUSEC, al formar la vivienda parte de un bloque

de pisos que pertenecen a la zona del Mediterráneo, ésta dispone de los servicios y electrodomésticos que aparecen en la tabla 2. No obstante, lo hace en la medida porcentual en la que se muestra, considerándose esa, la tasa de equipamiento media del hogar.

	ZONA ATÁNTICO NORTE		ZONA CONTINENTAL		ZONA MEDITERRÁNEA	
	Bloque	Unifamiliar	Bloque	Unifamiliar	Bloque	Unifamiliar
<b>CALEFACCIÓN</b>	93,3%	91,5%	97,4%	89,4%	86,3%	85,9%
<b>AGUA CALIENTE SANITARIA</b>	100,0%	99,6%	99,9%	99,3%	100,0%	99,7%
<b>COCINA</b>	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
<b>AIRE ACONDICIONADO</b>	1,3%	0,3%	40,3%	36,9%	66,2%	67,8%
<b>ILUMINACIÓN</b>	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
<b>ELECTRODOMÉSTICOS</b>						
<i>Frigoríficos</i>	100,0%	99,5%	99,7%	100,0%	99,4%	99,4%
<i>Congeladores</i>	21,1%	56,0%	14,2%	43,2%	15,8%	35,6%
<i>Lavadoras</i>	90,1%	97,0%	93,4%	95,6%	92,2%	93,1%
<i>Lavadoras-Secadoras</i>	9,9%	3,0%	6,6%	4,4%	7,8%	6,9%
<i>Lavavajillas</i>	41,7%	42,3%	53,6%	61,4%	48,8%	65,7%
<b>TV</b>	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
<i>Secadoras</i>	16,0%	28,2%	16,9%	32,7%	31,3%	42,8%
<i>Horno</i>	79,7%	90,4%	74,9%	76,6%	77,2%	76,8%
<i>Microondas</i>	87,5%	88,9%	90,6%	91,3%	89,4%	91,1%
<i>Ordenadores Fijos</i>	45,9%	45,1%	50,4%	49,2%	55,8%	54,1%
<i>Ordenadores Portátiles</i>	36,8%	34,9%	40,8%	36,0%	42,7%	42,1%
<i>Otro Equipamiento</i>	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Tabla 2. Tasa equipamiento en los hogares según zona climática y tipo de vivienda

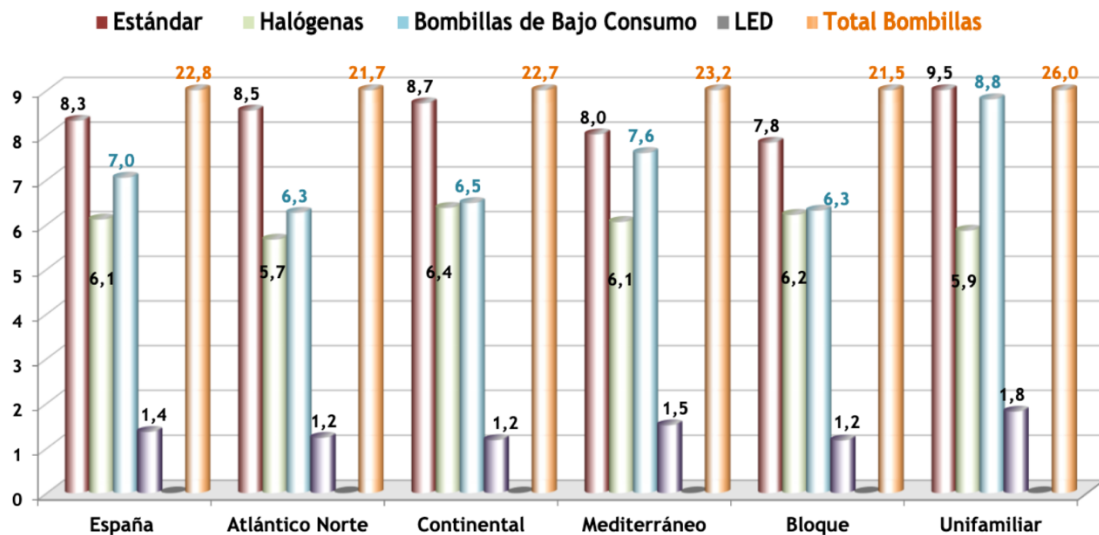
En tercer lugar, se tiene que definir la potencia de cada uno de los electrodomésticos y aparatos que suministran servicio energético al piso. Dicha potencia es función directa de las características del piso, es decir, del número de personas que viven en él, de su tamaño, y de la zona climática en la que éste se encuentra.

Asimismo, para definir la potencia de los equipos que suministran servicio, tales como calefacción, ACS, cocina, aire acondicionado e iluminación, es necesario, a su vez, conocer el tipo de sistema que se emplea -si para la calefacción se utiliza, p.e. bomba de calor o caldera normal-, pues cada equipo tendrá su potencia asociada.

No obstante, teniendo en cuenta que el ejercicio se realiza sobre una vivienda tipo, y que ésta no tiene un sistema de generación determinado, sino que los tiene todos, pues en el estudio deben tenerse en cuenta todas las posibilidades -ajustando de esta manera el valor teórico al

valor real-, se debe calcular, también, el consumo del servicio energético fijando la potencia de cada uno de los equipos pertenecientes a los diferentes sistemas que abastecen dicho servicio, y realizando, posteriormente, la suma ponderada de ellos.

A modo aclaratorio y como ejemplo: la iluminación puede llevarse a cabo mediante bombillas LED, halógenas, estándar o de bajo consumo, tal y como se puede ver en la gráfica 1. Es por ello que, fijando la potencia a cada tipo de bombilla existente en la vivienda, y teniendo en cuenta el porcentaje de uso que, dentro del hogar, tiene cada una de las diferentes bombillas, se calculará el consumo final de la iluminación, haciendo la suma ponderada del consumo de éstas.



Gráfica 1. Equipamiento medio de bombillas en los hogares por zona climática y tipo de vivienda

También en este caso los porcentajes de uso de los sistemas utilizados en cada servicio - calefacción, ACS, cocina, aire acondicionado e iluminación- se han obtenido del proyecto SECH-SPAHOUSEC.

En cuarto lugar, y dado que una de las variables para el cálculo del consumo es el tiempo, es preciso definir el tiempo de uso que tiene cada uno de los equipos y aparatos del piso a lo largo del año. Sin embargo, debido a que la puesta en marcha de algunos de los equipos depende del período estacional, para facilitar la labor de determinar el tiempo de uso de cada equipo, es conveniente distinguir entre dos épocas del año: la de invierno y la de verano.

Se considera que la de invierno va de octubre a mayo, contando así, un total de 243 días. Y la de verano va de junio a septiembre, abarcando éste un período de 122 días.

A su vez, el tiempo de uso de cada uno de los aparatos también dependerá de la altura en la que se encuentre situada la vivienda, pues en función de eso, los equipos se utilizarán más o menos tiempo. En este sentido, y como ejemplo, baste señalar que cuanto mas arriba esté situado el piso, más fría será la temperatura del exterior en invierno, y más horas de calefacción serán necesarias. Por ello, se definen tres situaciones en las que puede encontrarse la vivienda: planta baja, planta media y planta alta. Posteriormente, se realizará el cálculo final del consumo de la vivienda estándar que se obtendrá de la media resultante de calcular los consumos que se produzcan en las tres situaciones.

En quinto y último lugar, se aplica al cálculo del consumo de cada equipo, su correspondiente factor de trabajo. Este concepto indica el régimen de potencia bajo el que suele trabajar el equipo respecto a su potencia nominal. Así, una caldera de gas natural mixta de 24 kW no utilizará siempre toda la potencia de la que dispone para, p.e. calentar agua sanitaria para un solo usuario, sino que solo utilizará toda su potencia cuando se le exija un consumo de agua caliente alto; o una nevera no consumirá lo mismo si está todo el día con la puerta cerrada -manteniendo el frío-, a si, por el contrario, está con la puerta abierta la mayor parte del tiempo -obligándole a trabajar a mayor potencia para enfriar el producto-.

Posteriormente, y teniendo en cuenta todos los parámetros comentados, el consumo de cada uno de los equipos se calculará utilizando la siguiente fórmula:

$$Consumo_{equipo} \left[ \frac{kWh}{año} \right] = Pot \cdot N \cdot \frac{(Tua_{planta\ baja} + Tua_{planta\ media} + Tua_{planta\ alta})}{3} \cdot \frac{Te \cdot Ft \cdot Po}{10^6}$$

Donde:

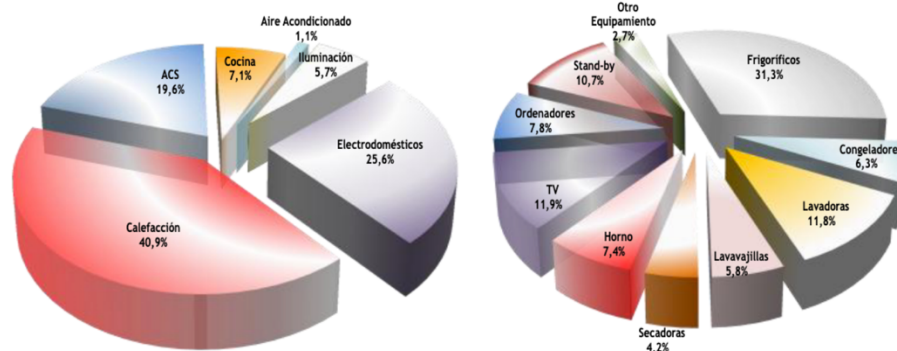
- **Pot**= potencia del equipo [kW]
- **N**= nº equipos
- **Tua**= tiempo de uso anual [h]



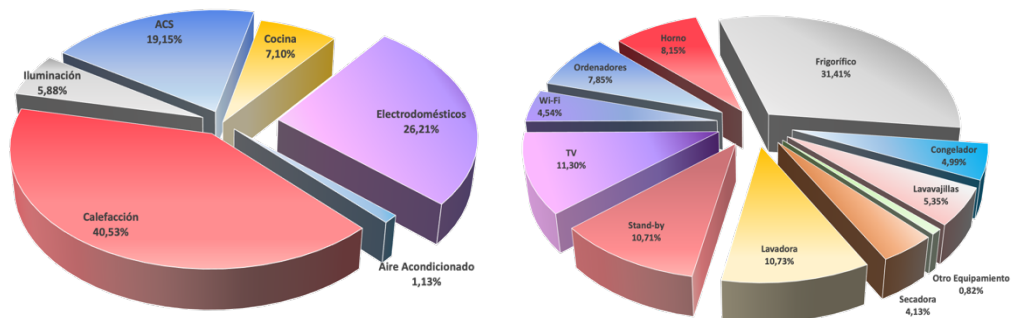
- $T_e$  = % tasa de equipamiento
- $F_t$  = % factor de trabajo
- $P_o$  = % popularidad del equipo

Finalmente, se sumará el consumo de todos los equipos y electrodomésticos, concluyéndose, de esta forma, que el consumo anual final de la vivienda es de 8.567,41 kWh, siendo, en consecuencia, el consumo anual final del barrio de 25.702,24 MWh. Este consumo concuerda con el estipulado por el IDAE, el cual es de 8.959 kWh al año y hogar.

Asimismo, con la finalidad de corroborar que el procedimiento empleado es el correcto, también se ha comprobado que los porcentajes de consumo que representan cada servicio energético sobre el total del consumo, concuerden con los calculados en el proyecto SECH-SPAHOUSEC para la zona del Mediterráneo. A continuación, se presenta la comparativa mediante los gráficos 2 y 3:



Gráfica 2. Estructura de consumos para la zona del Mediterráneo según cálculos del IDAE



Gráfica 3. Estructura de consumos de la vivienda tipo de Canyelles

## 4. SISTEMA GLOBAL

La idea que persigue este proyecto no es solo la de promover que el barrio sea energéticamente autosuficiente, y poder así, generar a largo plazo energía a muy bajo coste, sino también la de que éste sea energéticamente eficiente. Esto último se consigue, entre otras cosas, centralizando la generación de energía del sistema, pues tanto el coste de mantenimiento como el coste del sistema versus lo que éste genera es menor en este caso que en los sistemas de generación individual -los cuales se hallan frecuentemente en las viviendas-. Además, permite que el exceso de calor generado se reutilice, a diferencia de los sistemas individuales. Finalmente, cabe destacar que un sistema más seguro, pues evita el riesgo de explosión de combustibles en el domicilio.

Así pues, para construir un sistema basado en la generación centralizada, se requiere de un sistema de distribución que llegue a todas las viviendas. Este sistema se basará en (i) redes de frío y calor, para transportar directamente la energía térmica, que garantice el confort térmico del usuario, a la vivienda, y de (ii) una red eléctrica que suministre servicio a los equipos eléctricos de ésta, quedando el sistema global simplificado en dos subsistemas, uno térmico y otro eléctrico.

El sistema térmico deberá cubrir el suministro de los siguientes servicios: ACS, calefacción y aire acondicionado. No obstante, y dado que el consumo de aire acondicionado es irrelevante en comparación con lo que consumen otros servicios -tal y como se puede apreciar en el gráfico 3-, se ha decidido prescindir de la construcción de la red de frío. Por lo tanto, tan solo se instalará una red de calor que cubrirá el consumo de ACS y de calefacción. No obstante prescindirse de la red de frío en el sistema térmico, sí que se tendrá en cuenta el consumo eléctrico del aire acondicionado en el dimensionamiento del sistema eléctrico dado que dicho equipo se conservará.

Por su parte, los servicios que deberá garantizar el sistema eléctrico son: iluminación, electrodomésticos, y el servicio de cocina, que funciona mediante electricidad -no se realizarán cambios en las cocinas que funcionen con gas-.

Por consiguiente, para dimensionar dichos subsistemas es necesario conocer la cantidad de energía, tanto térmica como eléctrica, que se necesita suministrar; es decir, se requiere conocer la demanda térmica y eléctrica que tiene Canyelles.

Por un lado, para calcular la demanda eléctrica que presenta el barrio, se tienen que sumar directamente los consumos eléctricos obtenidos en el apartado anterior relativos a los siguientes servicios: iluminación, electrodomésticos, aire acondicionado y el 60% del consumo de cocina. En este caso no se tendrán en cuenta los rendimientos eléctricos de los equipos, pues al no sustituir éstos, solo se tiene que garantizar que su consumo sea el mismo. En otras palabras, se quiere dar servicio eléctrico a la vivienda, no para mejorar la eficiencia energética del sistema, sino para que el consumo de los equipos de ésta sea de electricidad generada de un modo respetuoso con el medio ambiente (de manera sostenible y no mediante la quema de combustibles fósiles). En consecuencia, el resultado de la demanda eléctrica anual del barrio es de: 9.597,38 MWh.

Y, por otro lado, para calcular la demanda energética térmica, se deberá multiplicar el consumo térmico de cada equipo, que da servicio de ACS y calefacción, por su respectivo rendimiento -pues en esta situación sí se sustituirán los equipos por otros sistemas de generación térmica-, y sumarlo todo. En el caso de los equipos que tienen un consumo eléctrico y no térmico, se tiene que aplicar la ratio de conversión que tiene la máquina térmica a la hora de convertir la energía eléctrica en energía térmica. Para el caso de la bomba de calor se aplica un COP aproximado de 3. Para el caso de los radiadores eléctricos se supone que 1 kilovatio hora eléctrico equivale a 1 kilovatio hora térmico, siendo su rendimiento del 100% (5). Y, para el acumulador eléctrico se aplica un rendimiento del 99% (6). Por otro lado, a la caldera, que ya tiene un consumo térmico, se le aplicará un rendimiento térmico del 92% (7).

El resultado de la demanda térmica anual del barrio es de: 16.601,87 MWh. Sin embargo, ésta, a su vez, para un mejor estudio tal y como se desarrollará en el siguiente apartado 5, la demanda térmica anual total se descompondrá en dos subdemandas térmicas:

- Demanda ACS anual del barrio: 4.666,94 MWh
- Demanda calefacción anual del barrio: 11.934,93 MWh

Finalmente, y una vez se tengan definidas las demandas energéticas del barrio, se procederá a diseñar los sistemas térmico y eléctrico, abarcando el proceso de desarrollo de cada uno de ellos desde el momento inicial de la generación de energía hasta el de su distribución final.

## 5. SISTEMA TÉRMICO

Tal y como se ha comentado en el apartado anterior, se ha decidido dividir el sistema térmico del proyecto en dos subsistemas térmicos diferenciados: el de ACS y el de calefacción, pues las características de consumo son distintas, ya que se requiere de potencias diferentes en los equipos de generación habida cuenta de que las temperaturas de suministro de los servicios son distintas. Esto implicará, también, que cada servicio energético requiera de su propio sistema de distribución individualizado.

### 5.1. ACS

El sistema de generación energética y distribución para ACS que se quiere llevar a cabo está basado en una bomba de calor geotérmica. La idea consiste en coger el calor de la tierra mediante un fluido caloportador, y a través de su distribución, a lo largo del barrio, mediante una tubería calorifugada, realizar un intercambio de calor entre el agua de la red de cada edificio y el fluido, de manera que le llegue al usuario el ACS a una temperatura de servicio de 60°C, tal y como exige por normativa el Real Decreto 865/2003 y la UNE 100.030.

Para ello, será necesario, en primer lugar, conocer la demanda térmica necesaria que deberá cubrir el sistema, en segundo lugar, se deberá diseñar el sistema de distribución que hará posible el traslado de la energía térmica desde el centro de generación hasta cada edificio, y finalmente, se dimensionará el sistema de generación en función de este último.

A continuación, se presenta la imagen 2 para ilustrar el funcionamiento del sistema recién explicado:

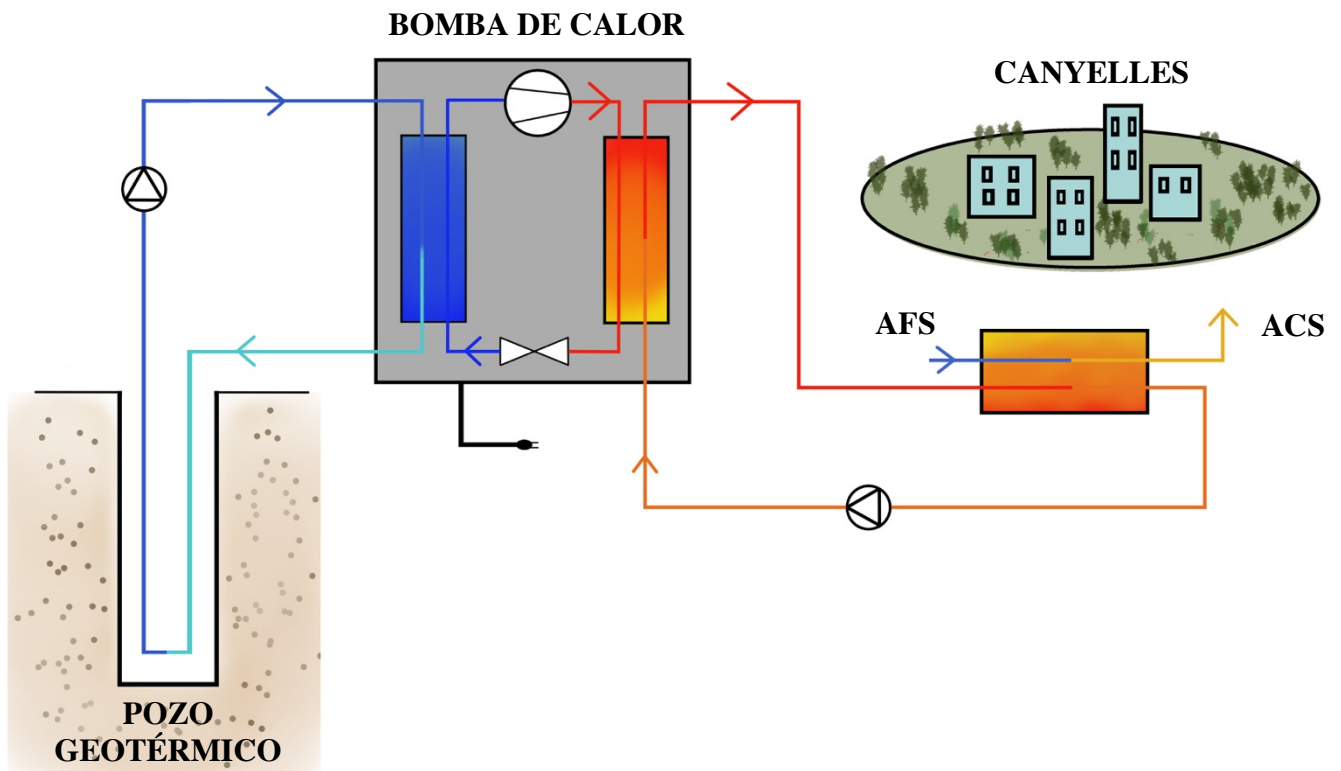


Ilustración 2. Método de funcionamiento del Sistema Térmico para ACS

### 5.1.1. Demanda de ACS y Potencia del Sistema

La demanda térmica anual de ACS del barrio de Canyelles se ha calculado en el anterior apartado “4. Sistema global”, siendo esta de 4.666,94 MWh. No obstante, para saber de que manera varía ésta a lo largo del año, y poder calcular así la potencia que debe tener el sistema de ACS, se recurrirá al Anejo D, F y G del DB-HE (8).

Primero se calculará el consumo de ACS teórico por mes que debería tener el barrio. Para ello, deberá tenerse en cuenta que para un edificio de uso residencial privado se considera necesario disponer de 28 litros al día por persona, a una temperatura de 60°C. Asimismo, se debe tener en cuenta, tanto el número de personas que viven en el piso -que ya se ha especificado en el apartado “3. Consumo energético del barrio”-, como el factor de centralización en viviendas multifamiliares, el cual es del 0,85.

Las fórmulas que se aplican al cálculo del consumo de ACS teórico por cada mes son las siguientes:

$$\text{Consumo}_{\text{teórico ACS/día}}: 3 \frac{\text{personas}}{\text{vivienda}} \cdot 3.000 \text{ viviendas} \cdot 28 \frac{\text{l}}{\text{día-persona}} \cdot 0,85 = 214.200 \frac{\text{l}}{\text{día}}$$

$$\text{Consumo}_{\text{teórico ACS/mes}}: n^{\circ} \frac{\text{días}}{\text{mes}} \cdot 214.200 \frac{\text{l}}{\text{día}}$$

En segundo lugar, se calculará la energía necesaria para proporcionar dicho consumo. Dicha energía dependerá de la temperatura del agua de red, dependiendo ésta, a su vez, del mes del año en que nos encontremos. A continuación, se muestra la tabla de las temperaturas por cada mes del año, y la fórmula a emplear:

Capital de provincia	Altitud	EN	FE	MA	AB	MY	JN	JL	AG	SE	OC	NO	DI
Barcelona	12	9	10	11	12	14	17	19	19	17	15	12	10

Tabla 3. Temperatura diaria media mensual de agua fría (°C)

$$\text{Energía necesaria}_{\text{mes}} [kWh]: \text{Consumo}_{\text{teórico ACS mes}} \cdot (60 - T^{\text{a}} \text{ AFS}_{\text{mes}}) \cdot 0,00116 \frac{kWh}{\text{l} \cdot ^{\circ}\text{C}}$$

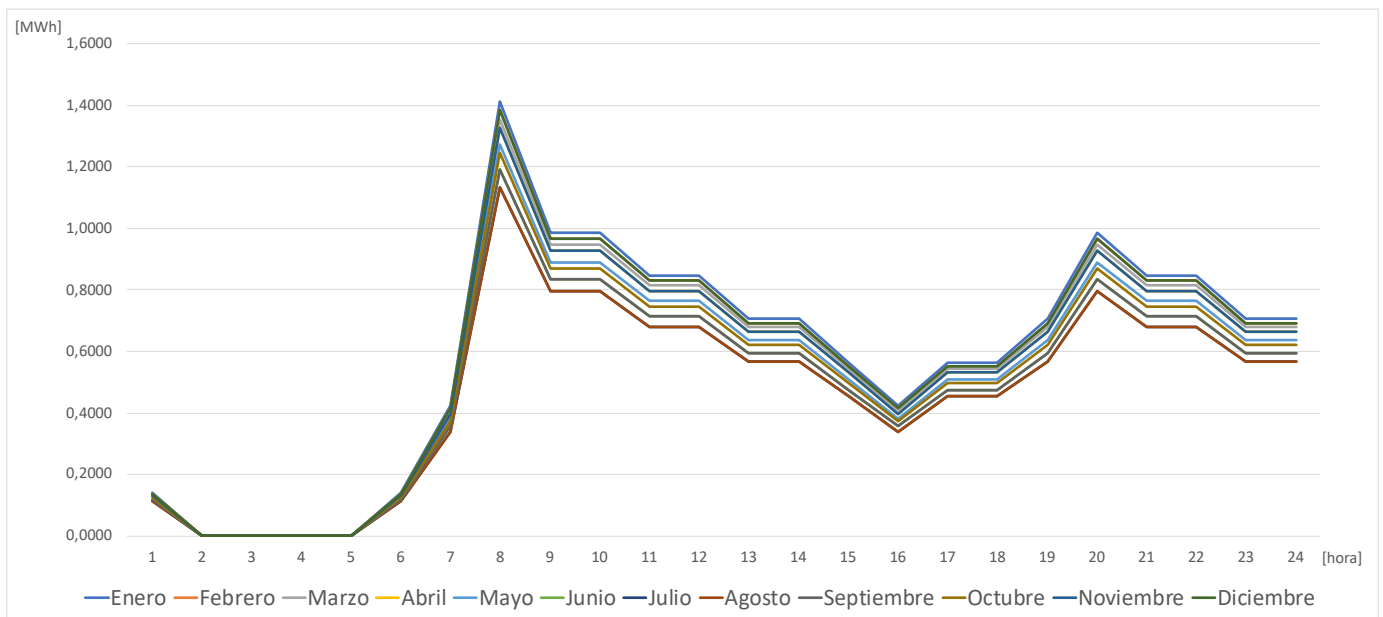
En tercer lugar, se calculará el peso porcentual que representa la energía de cada mes respecto de la total necesaria, y dicho porcentaje se aplicará sobre la demanda total de ACS real - calculada en el apartado 4- para comprobar cómo evoluciona ésta a lo largo del año.

Por consiguiente, teniendo en cuenta la tabla 4, la cual muestra el perfil de uso de ACS que refleja el Anejo D, se obtiene el gráfico 4, en el que se puede ver como fluctúa la demanda de ACS a lo largo del día y en función del mes.

Hora	%	Hora	%	Hora	%	Hora	%
0h	1	6h	3	12h	5	18h	5
1h	0	7h	10	13h	5	19h	7
2h	0	8h	7	14h	4	20h	6
3h	0	9h	7	15h	3	21h	6
4h	0	10h	6	16h	4	22h	5
5h	1	11h	6	17h	4	23h	5

El % se refiere al tanto por ciento respecto a la demanda diaria de ACS.

Tabla 4. Perfil de uso de ACS en espacios de uso residencial privado



Gráfica 4. Perfil de la demanda energética para ACS a lo largo del día en función del mes

Tal y como se puede observar, el consumo de ACS a lo largo del año es bastante constante, variando muy poco entre el mes con más demanda energética y el mes con menos. Eo significa que no será ineficiente dimensionar el sistema para el mes más desfavorable, pues aquél no quedará muy sobredimensionado respecto del mes que requiera una menor demanda energética. Así pues, el mes sobre el que se dimensionará el sistema es el de enero.

Por consiguiente, para saber la potencia del sistema requerida, habrá que dimensionar, en primer lugar, el acumulador, pues la potencia del sistema dependerá de este. Y, en segundo lugar, calcular el rendimiento de distribución de las tuberías (una vez se hayan dimensionado éstas) y aplicarlo, tal y como se puede ver en la siguiente fórmula:

$$Potencia_{real} = \frac{P_{consumo\ punta}}{\eta_{intercambiador} \cdot \eta_{distribución} \cdot \eta_{acumulador\ ACS}}$$



## **5.1.2. Diseño del Sistema de Distribución**

Para diseñar el sistema de distribución, con carácter previo, es necesario conocer el mecanismo de generación de ACS.

Éste, tal y como ya se ha comentado, se basa en un intercambio de calor, en el mismo edificio, entre el fluido caloportador -que será el que circule por la red de distribución- y el agua de la red -que será la que acabe transformándose, por obtención de calor, en ACS-.

Así pues, para poner en práctica dicho sistema será necesario: (i) diseñar una propuesta de trazado para la red de distribución de calor; (ii) dimensionar el acumulador de ACS del que deberá disponer todo edificio; (iii) diseñar el intercambiador de calor que tendrá cada edificio; (iv) dimensionar las tuberías de la red en función de las pérdidas de presión y de calor; y (v) calcular la potencia de la bomba encargada de hacer circular el fluido caloportador a través de la red

### **5.1.2.1. Propuesta de trazado de la red de distribución**

Teniendo en cuenta el mapa de Canyelles, se propone como trazado de la red de distribución para el sistema de ACS el esquema 1, que se encuentra en el Anejo de este trabajo.

En este esquema, tal y como se puede ver, aparecen 2 redes de diferente color.

La de color rojo es la red de impulsión, la cual se diseñará para una temperatura de 70°C. Es una red troncal, que va desde la bomba de calor geotérmica hasta el ramal de servicio del edificio.

La red de color amarillo es la red de retorno, y es también una red troncal. Va desde la salida del ramal de servicio del edificio hasta la bomba de calor geotérmica, diseñándose ésta para una temperatura de 40°C.

Las dos redes juntas formarán el circuito troncal cerrado de distribución de ACS, el cual tendrá, aproximadamente, 1.830 metros de longitud -915 metros cada red-.

A su vez, los ramales que van desde las redes troncales hasta el intercambiador del edificio y viceversa, no se han tenido en cuenta en el dimensionamiento, al ser despreciables en comparación con las redes troncales.

Por último, cabe destacar que se ha decidido situar el centro de generación energética en un punto periférico del barrio que apenas está urbanizado, tal y como se puede observar en el anterior esquema, pues lo que se persigue es tanto evitar vibraciones a los edificios, como causar contaminación acústica al barrio, y/o generar posibles problemas al perforar el suelo cuando se haga el pozo geotérmico.

### **5.1.2.2. Dimensionamiento del Acumulador de ACS**

Dado que el consumo de ACS (caudal demandado) puede llevarse a cabo por cualquier usuario en cualquier momento, y éste, a su vez, tiene que poder ofrecerse de manera instantánea, es necesario disponer de un acumulador de ACS, pues sería muy ineficiente dimensionar la capacidad del intercambiador para garantizar el suministro instantáneo de cualquier valor de demanda que pudiera generarse en el edificio.

Por ello, el acumulador se diseñará para que la energía útil que proporcione ayude a cubrir la demanda al intercambiador en la hora punta. En consecuencia, la energía proporcionada por el sistema será la suma de la que aporte el intercambiador más la almacenada en el acumulador.

Siguiendo la guía técnica de agua caliente sanitaria del IDAE (9), para dimensionar el acumulador se tomará como hipótesis de trabajo el caso más desfavorable, en el que el consumo, en la hora punta, equivale al 25% del consumo diario medio en un edificio de viviendas (pese a saber, a resultas de lo indicado en el apartado 5.1.1, que la demanda térmica de ACS, en la hora punta, equivale al 10% respecto a la demanda térmica diaria media del edificio) y que la capacidad de acumulación será de un 65% respecto del consumo en la hora punta.

Como resultado se obtiene que se precisará, por cada edificio, de un acumulador de 500 litros, siendo sus medidas de 1,7 metros de alto y 0,65 metros de ancho (10).

Asimismo, aplicando la fórmula que aparece a continuación para el mes de enero -mes con más demanda energética para ACS-, se obtiene la potencia necesaria que debe tener el sistema para cubrir el consumo en la hora punta de ACS a 60°C, teniendo en cuenta la energía ya acumulada.

$$Potencia = \frac{(Caudal_{punta} \cdot (T_{ACS} - T_{AFS}) - V_{acumulación} \cdot (T_{acumulación} - T_{AFS}) \cdot F_{uso\ acumulación}) \cdot 1,16}{\eta_{producción\ ACS}}$$

$$\eta_{producción\ ACS} = \eta_{acumulador\ ACS} \cdot \eta_{intercambiador/caldera}$$

$$F_{uso\ acumulación} = 0,63 + 0,14 \cdot \left( \frac{altura_{acumulador}}{diámetro_{acumulador}} \right)$$

Esta potencia deberá ser de 19,2 kW por edificio. No obstante, además del sistema diseñado, habrá que disponer de un equipo de *backup*, no solo por si hay consumos mayores a los esperados, sino porque un equipo de apoyo es esencial para casos en los que se deba hacer mantenimiento en algún tramo de la línea de distribución del sistema general térmico de ACS, o haya algún imprevisto que afecte a la dinámica del sistema. Así pues, el equipo de *backup* será una caldera de gas de 20 kW de potencia (11).

Asimismo, el tiempo de recuperación para el calentamiento del acumulador se considera aceptable, pues tarda menos de lo recomendado (4 horas), tanto si lo lleva a cabo la caldera como si lo hace el sistema térmico para ACS, consiguiéndolo ambos, en un tiempo de dos horas, tal y como se puede comprobar aplicando el siguiente cálculo:

$$Tiempo_{recuperación\ acumulador} [h] = \frac{1.000\ l \cdot (65^{\circ}C - 9^{\circ}C) \cdot 1,16 \frac{kWh}{l \cdot K}}{Potencia_{util\ equipo} \cdot 1.000 \cdot \eta_{producción\ ACS\ equipo}}$$

Finalmente, cabe mencionar que el acumulador tendrá un indicador de nivel, de manera que, si baja por debajo del límite, la válvula de entrada al intercambiador se abrirá, dejando fluir agua por él. También tendrá una sonda de temperatura que gobernará la válvula de entrada al intercambiador, haciendo que se abra en caso de que la temperatura caiga por debajo de los 55°C.

### 5.1.2.3. Diseño del Intercambiador de calor

El intercambiador del sistema ACS estará diseñado para que el agua de la red se almacene a 65°C en el acumulador de ACS. Para ello, el fluido caloportador deberá entrar a 70°C y salir a 40°C.

Asimismo, teniendo en cuenta que (i) se dimensiona el intercambiador para el mes con la temperatura de agua de red más fría -enero-, (ii) que el rendimiento del intercambiador es del 90%, (iii) que el rendimiento del acumulador de ACS es de 0,85 (9) (iv) y que su potencia útil, tal y como se ha calculado en el apartado anterior “5.1.2.2. Dimensionamiento del acumulador de ACS” debe ser de 19,2 kW, será necesario que pase por cada intercambiador de calor un caudal del fluido caloportador de 0,50 m<sup>3</sup>/h. No obstante, dado los equipos que ofrece el mercado, se escogerá un intercambiador de 25 kW (12).

Por consiguiente, el caudal total que deberá aportarse al inicio de la tubería troncal de impulsión del barrio es de 37,12 m<sup>3</sup>/h. A continuación, se presentan las ecuaciones:

$$Energía_{m\acute{a}x. intercambiador edificio en 1h} = 19,17 kW \cdot 1h \cdot \eta_{acumulador ACS}$$

$$Caudal_{m\acute{a}x.intercambiador} = \frac{Energía_{m\acute{a}x. suministrada a 1 edificio en 1h}}{C_p agua \cdot (T_{IN intercambiador} - T_{OUT intercambiador})}$$

Cabe resaltar que para realizar el anterior cálculo no se ha tenido en cuenta el rendimiento de distribución del fluido caloportador por la red, el cual hará variar ligeramente el caudal que

deberá circular por las tuberías. Éste se tendrá en cuenta en el siguiente apartado, obteniendo, así, el caudal real total que tendrá que aportarse al inicio de la tubería de impulsión.

#### **5.1.2.4. Dimensionamiento de las tuberías de la red**

Antes de hacer el diseño de las tuberías, es necesario, en primer lugar, seleccionar el fluido caloportador que se encargará de transportar, a lo largo de la red, el calor generado por la bomba de calor hasta el intercambiador de cada edificio.

Es importante que el fluido seleccionado no varíe de estado termodinámico a causa de las temperaturas de servicio de la red con las que se quiere trabajar. Asimismo, es básico que absorba grandes cantidades de calor en relación a su masa sin que su temperatura aumente demasiado, pues eso reducirá sustancialmente el coste y hará que el sistema sea más eficiente. Por todo ello, el fluido caloportador seleccionado es el agua.

Así pues, una vez definido el fluido, ya se puede iniciar el diseño de las tuberías. Para ello, habrá que determinar el diámetro interior de éstas, la presión y temperatura que deberán soportar, y el material del que deberán estar fabricadas, estando todos estos parámetros relacionados entre sí.

Para calcular el diámetro interior de las tuberías de la red de distribución, tanto de la red de impulsión como de la red de retorno, se deberá conocer el caudal de agua que circula por ellas y su velocidad.

Para calcular el caudal que circulará por las tuberías es importante tener en cuenta que este deberá ir disminuyendo conforme el agua vaya fluyendo al punto más lejano de la red respecto al centro de generación energética del sistema. En otras palabras, aquél dependerá de la energía térmica que tenga que llegar a cada punto de la red, o lo que es lo mismo, del número de edificios que haya en cada nodo a los que se tenga que dar servicio energético.

Por ello se ha seccionado la red de distribución en diferentes puntos de suministro, y se ha asignado a cada uno de éstos, un número determinado de edificios, tal y como se puede ver en el esquema 2 del Anejo, obteniéndose así, la potencia térmica que le tiene que llegar a cada nodo de la red.

Por tanto, teniendo en cuenta que se dimensionan las tuberías para el caudal máximo de agua que puede circular por el intercambiador de cada edificio, que es de 0,50 m<sup>3</sup>/h, y el número de edificios que hay en cada nodo de abastecimiento energético, se calculará el caudal total que debe pasar por cada sección de la red. A su vez, al tener cada tramo de la red de distribución un caudal diferente, el diámetro interior de cada uno de éstos variará.

En cualquiera caso, hay que precisar que el caudal calculado no será el real, pues no se está teniendo en cuenta, todavía, el rendimiento de distribución de la propia red.

Por otro lado, a la hora de determinar la velocidad a la que viaja el agua dentro de las tuberías, será necesario conocer el material del que están hechas, pues en función del mismo se admitirá una velocidad u otra.

Teniendo en cuenta que se decide seleccionar tuberías preaisladas de plástico, concretamente tuberías de polietileno reticulado (PEX), la velocidad máxima a la que podrá distribuirse el agua es de 3,5 m/s (13). Dadas las circunstancias de trabajo (70°C y 3 bares) en función del consumo), no se necesitan tuberías robustas capaces de aguantar grandes temperaturas ni presiones y, además, aquéllas son más económicas que las tuberías metálicas, son más fáciles de montar y no se corroen. No obstante lo anterior, se escoge una velocidad de distribución de 2,5 m/s, pues ésta ya es mayor a la velocidad máxima permitida en tuberías metálicas, que es de 1,5 m/s (14), y es superior a la mínima exigida para evitar sedimentaciones, la cual es de 0,5 m/s (15).

Una vez conocidos los caudales de cada sección de las redes troncales, la velocidad de diseño del agua, y el material de la tubería, se obtienen los diámetros interiores de cada una de las secciones aplicando la siguiente fórmula:

$$Diámetro_{int} = \sqrt{\frac{4 \cdot Caudal}{velocidad \cdot \pi}}$$

No obstante, este diámetro interior será orientativo, ya que deberá escogerse el diámetro interior normalizado inmediatamente superior al calculado, pues éste será el diámetro óptimo de la conducción (16). A continuación, se presenta la tabla 5 con los diámetros normalizados

de cada sección de la red de distribución -siendo iguales tanto para la red de impulsión como para la red de retorno-.

SECCIÓN	Potencia [kW]	Q [m3/h]	D int [mm]	Dint Normalizado [m]
1-2	1437,80	37,15	72,49	0,0900
2-3	1437,80	37,15	72,49	0,0900
3-4	460,10	11,89	41,01	0,0514
4-5	364,24	9,41	36,49	0,0514
5-6	172,54	4,46	25,11	0,0408
5-7	191,71	4,95	26,47	0,0408
3-8	977,70	25,26	59,78	0,0736
8-9	862,68	22,29	56,15	0,0736
9-10	594,29	15,35	46,61	0,0614
10-11	517,61	13,37	43,50	0,0614
11-12	421,75	10,90	39,26	0,0514
12-13	172,54	4,46	25,11	0,0408
12-14	249,22	6,44	30,18	0,0408
14-15	153,37	3,96	23,68	0,0326
14-16	95,85	2,48	18,72	0,0326

Tabla 5. Diámetros interiores normalizados de las tuberías de cada sección de la red de distribución

Sin embargo, estos diámetros, pese a estar normalizados, no tienen por que ser los adecuados. Ante tal circunstancia se llevarán a cabo cuatro medidas para corroborar el buen dimensionamiento de las tuberías.

### **Pendiente hidráulica**

La primera medida consiste en calcular las pérdidas de carga lineales por metro de tubería en cada tramo de la red de distribución (pendiente hidráulica) para el caudal máximo, y verificar que el valor obtenido es un valor razonable. Si la pendiente hidráulica es muy alta, habrá que escoger un diámetro mayor, siempre y cuando la velocidad no se vea afectada por los límites anteriormente impuestos. Un valor de pendiente hidráulica razonable en tuberías de plástico queda limitado entre 100 y 500 Pa/m (15).

Así pues, para calcular la pendiente hidráulica, primero se tienen que calcular las pérdidas de carga lineales ( $h_f$ ), que son las pérdidas de presión que se producen en un fluido debido al

rozamiento de éste con las paredes de la tubería. No obstante, previamente es necesario saber qué tipo de flujo se está tratando a la hora de calcular las pérdidas lineales, siendo preciso saber si el flujo es laminar o turbulento.

En un flujo laminar las partículas del fluido se mueven en paralelo, por capas, sin mezclarse entre sí. Eso hace que la velocidad del fluido en la tubería sea desigual. En un flujo turbulento las capas se mezclan entre sí, homogeneizando la velocidad del fluido y sus características.

Por consiguiente, para saber cómo es el fluido, será necesario calcular el número de *Reynolds*, que es un número adimensional que caracteriza el movimiento del fluido. Si éste es menor que 4.000, el flujo será laminar. Y si es mayor, será turbulento.

El número de *Reynolds* se calcula teniendo en cuenta: la densidad del fluido -que depende de la temperatura-, la velocidad del flujo, el diámetro interior de la tubería y la viscosidad dinámica del fluido -que también depende de la temperatura-. Su fórmula es la siguiente:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu}$$

Una vez se conoce como es el flujo, se aplica, a continuación, la fórmula de *Darcy-Weisbach* para el cálculo de las pérdidas de carga lineales. Cabe destacar, que esta fórmula puede aplicarse independientemente de cómo sea el flujo.

$$hf = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Las variables de la ecuación se explican como:

- $f$  = factor de *Darcy-Weisbach* -el cual depende de los parámetros de la tubería y del flujo-
- $L$  = longitud de la tubería



- $D$  = diámetro interior
- $v$  = velocidad media fluido
- $g$  = aceleración de la gravedad

Asimismo, el factor de *Darcy-Weisbach* ( $f$ ) se calcula utilizando la ecuación de *Haaland*, donde:  $k/D$  es la rugosidad relativa de la tubería y  $Re$  es el número de *Reynolds*.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1,8 \cdot \log_{10} \left( \left( \frac{k/D}{3,7} \right)^{1,1} + \frac{6,9}{Re} \right)$$

Una vez calculadas las pérdidas de carga lineales, éstas se dividen entre la longitud de la sección obteniendo, así, la pendiente hidráulica de cada tramo de tubería.

El resultado se muestra en las tablas 6 y 7, en las que se recogen los diámetros corregidos de cada sección de las redes de impulsión y de retorno, habiéndose modificado aquéllos de manera que la pendiente hidráulica de las tuberías no sobrepase los límites aconsejables.

SECCIÓN	Q [m3/h]	Dint Normalizado [m]	Velocidad fluido [m/s]	j [Pa/m]
1-2	37,15	0,0900	1,62	214,43
2-3	37,15	0,0900	1,62	214,43
3-4	11,89	0,0514	1,59	405,44
4-5	9,41	0,0514	1,26	263,47
5-6	4,46	0,0408	0,95	206,82
5-7	4,95	0,0408	1,05	250,68
3-8	25,26	0,0736	1,65	281,36
8-9	22,29	0,0736	1,46	223,11
9-10	15,35	0,0614	1,44	272,21
10-11	13,37	0,0614	1,25	210,97
11-12	10,90	0,0514	1,46	345,20
12-13	4,46	0,0408	0,95	206,82
12-14	6,44	0,0408	1,37	405,58
14-15	3,96	0,0326	1,32	498,01
14-16	2,48	0,0326	0,82	211,33

Tabla 6. Diámetros interiores de las tuberías de cada sección de la red de impulsión corregidos y sus pendientes hidráulicas

SECCIÓN	Q [m <sup>3</sup> /h]	Dint Normalizado [m]	Velocidad fluido [m/s]	j [Pa/m]
1-2	37,15	0,0900	1,62	230,23
2-3	37,15	0,0900	1,62	230,23
3-4	11,89	0,0514	1,59	436,88
4-5	9,41	0,0514	1,26	285,33
5-6	4,46	0,0408	0,95	225,71
5-7	4,95	0,0408	1,05	272,97
3-8	25,26	0,0736	1,65	302,31
8-9	22,29	0,0736	1,46	240,34
9-10	15,35	0,0614	1,44	293,62
10-11	13,37	0,0614	1,25	228,22
11-12	10,90	0,0514	1,46	372,67
12-13	4,46	0,0408	0,95	225,71
12-14	6,44	0,0408	1,37	439,15
14-15	3,96	0,0408	0,84	182,60
14-16	2,48	0,0326	0,82	231,76

Tabla 7. Diámetros interiores de las tuberías de cada sección de la red de retorno corregidos y sus pendientes hidráulicas

### **Garantizar presión óptima intercambiador**

La segunda comprobación necesaria para verificar que se ha realizado un buen dimensionamiento de las tuberías de la red de distribución, pasa por demostrar que, a los diferentes intercambiadores del sistema, les llegue la presión necesaria para trabajar en condiciones óptimas cuando se opera en situación de máxima potencia. Esta presión debe estar entorno los 3 bares, dependiendo del intercambiador (12).

Así pues, para ello, en primer lugar, hay que calcular las pérdidas de carga (hfs) de todos los tramos de la red de impulsión.

Para ello, es necesario tener en cuenta, que las pérdidas de carga se calculan como la suma de las pérdidas de carga lineales (hf) y las pérdidas de carga singulares (hs), las cuales son debidas, éstas últimas, a cambios de dirección en el fluido, es decir, se dan en codos, estrechamientos, válvulas, etc.

El valor de las pérdidas singulares sólo puede determinarse de forma experimental, pero, puesto a que son debidas a una disipación de energía motivada por las turbulencias, se pueden expresar en función de la altura cinética, corregida mediante un coeficiente empírico llamado factor K (17). Su expresión es la siguiente:

$$h_s = \frac{K \cdot v^2}{2 \cdot g}$$

Este factor K dependerá del tipo de singularidad, siendo  $K=16 \cdot f$  para los codos de 45 grados,  $K=30 \cdot f$  para los codos de 90 grados, y  $K=20 \cdot f$  para las uniones estándar en forma de T.

En segundo lugar, se tiene que aplicar la ecuación de la conservación de la energía del fluido, teniendo en cuenta las fuerzas de fricción recién calculadas (pérdidas de carga), desde el centro de generación energética hasta el nodo más lejano de cada tramo.

$$\frac{P_1}{\rho_{agua} \cdot g} + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} + Z_1 - h_{fs} = \frac{P_2}{\rho_{agua} \cdot g} + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + Z_2$$

Así pues, teniendo en consideración que la presión 1 es igual a 3 bares ( $P_1$ ), que la altura  $Z_1$  es de 150 metros, que  $Z_2$  es la altura de cada nodo (18), y que las velocidades son las de la tabla 6, se obtiene un rango de presiones a la entrada del intercambiador ( $P_2$ ) de entre 4,5 y 3,1 bares, con lo que, los intercambiadores no correrán peligro.

### **Pérdidas térmicas**

La tercera comprobación consiste en asegurar que las pérdidas térmicas del tramo más desfavorable de la red de impulsión no afecten al buen suministro del nodo más desfavorable, pues de ser así, habría que redimensionar la potencia total de suministro, y en consecuencia el diámetro interior de las tuberías de la red de distribución.

Así pues, para calcular las pérdidas térmicas en las tuberías preaisladas, en primer lugar, hay que calcular la diferencia de temperatura entre la del fluido que circula por dentro de la tubería (70°C) y la del suelo.

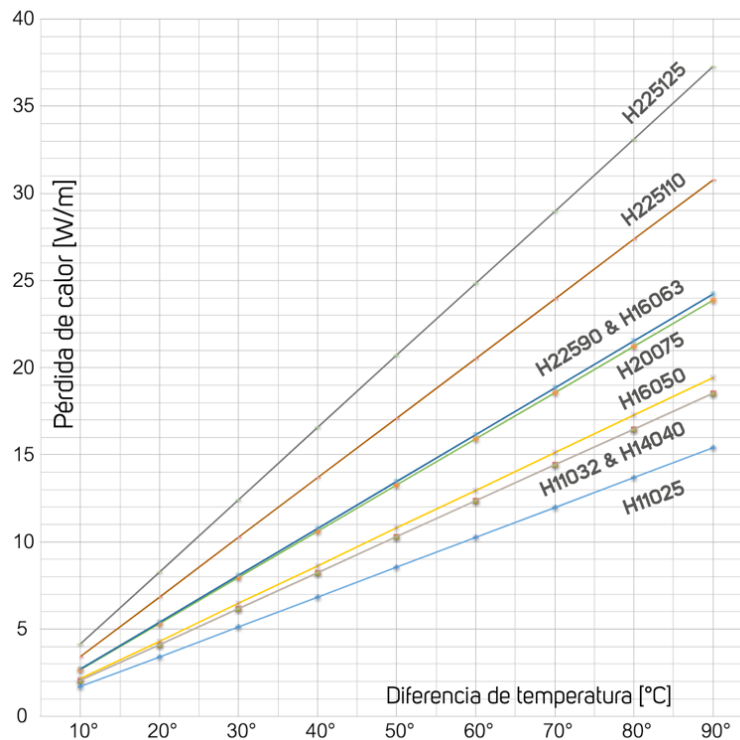
Para ello, es necesario conocer la temperatura del suelo. Ésta se ha obtenido a partir de la fórmula que aparece en la guía técnica del IDAE de “*Diseño y cálculo del aislamiento térmico de conducciones, aparatos y equipos*” (19), la cual se expresa así:

$$T_{suelo} = T_{media, suelo} - Va \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi}{365} \cdot (día - día_0)\right)$$

Donde:

- $T_{media, suelo}$  = Temperatura media dependiendo de la zona climática (Zona C= 17°C)
- $Va$  = Variación anual dependiendo de la zona climática (Zona C= 10°C)
- $día$  = día juliano (11 enero, al ser considerado el día más frío del año en Barcelona (20))
- $día_0$  = día valor mínimo dependiendo de la zona climática (Zona C= 32°C)

En segundo lugar, debe averiguarse cuál es el calor perdido por metro de tubería (W/m), para lo cual se deberá entrar en el gráfico de las pérdidas de calor (hecho por el fabricante), fijando la diferencia de temperatura calculada, y desplazarse en línea recta hasta cruzarse con la recta de la tubería en cuestión que se esté estudiando. Cabe destacar que estos valores son sólo válidos para la profundidad a la que se quiera enterrar las tuberías, que es de 0,8 metros. A continuación, se presenta el gráfico 5 con las rectas de cada una de las tuberías seleccionadas:



Gráfica 5. Pérdidas de Calor [W/m] de cada tubería en función de la diferencia de temperatura

En tercer lugar, se tienen que multiplicar las pérdidas térmicas unitarias por la longitud total de cada sección, y sumar las del tramo más desfavorable compuesto por las secciones 1-2-3-8-9-10-11-12-14-16 (pues el nodo más desfavorable, que es el 16, se encuentra en dicho tramo), obteniendo así, unas pérdidas térmicas iguales a 10,65 kW.

En este sentido, si se quiere garantizar el suministro completo al nodo más lejano, tiene que sumarse, a la potencia del nodo, las pérdidas térmicas calculadas. Esta nueva potencia deberá ser de 106,5 kW.

En consecuencia, teniendo en cuenta la nueva potencia que se debe garantizar, y la potencia que antes se le suministraba, se obtiene el rendimiento de distribución de la red de impulsión, el cual se le deberá aplicar a cada sección de la red de distribución para encontrar, ahora sí, la potencia real que debe llegar a cada nodo.

A continuación, se muestra la fórmula y el resultado:

$$\eta_{distribución\ red\ impulsión} = \frac{Energía\ intercambiador\ edificio\ 1h}{Energía_{intercambiador\ edificio\ 1h} + Q_{perdida}} = 0,90$$

Posteriormente, se realiza un proceso iterativo sobre ambas redes -impulsión y retorno- en el que:

- Se recalculan los caudales de cada sección, y se modifica el diámetro interior normalizado en caso de ser necesario.
- Se recalculan las pendientes hidráulicas de cada tramo, pues los caudales son distintos, y se redimensionan aquellas tuberías que sobrepasen el límite de los 500 Pa/m.
- Se recalculan las pérdidas de carga de cada tramo con los nuevos diámetros, caudales, y velocidades del agua, y se comprueba que llegue la presión óptima de trabajo a cada intercambiador.
- Se recalculan las pérdidas térmicas en caso de haber modificado el diámetro interior normalizado de las tuberías, y se comprueba que éstas no perjudiquen al suministro energético del nodo del tramo más desfavorable.

Este proceso acaba cuando todos los puntos anteriores son satisfactorios.

A continuación, se presenta la tabla 8 con los diámetros finales de las tuberías de la red de impulsión y sus características (los diámetros interiores de la red de retorno son idénticos, lo único que varía son las pérdidas térmicas y la pendiente hidráulica de cada sección):

SECCIÓN	Potencia [kW]	Q [m3/h]	D int [mm]	Dext corrugado [mm]	Dext x e [mm]	Dint Normalizado [m]	Velocidad fluido [m/s]	Q perd invierno [W]	j [Pa/m]
1-2	1597,53	41,28	76,42	225	110x10	0,0900	1,80	2392,20	260,8
2-3	1597,53	41,28	76,42	225	110x10	0,0900	1,80	1256,95	260,8
3-4	511,21	13,21	43,23	200	75x6,8	0,0614	1,24	418,37	206,2
4-5	404,71	10,46	38,46	160	63x5,8	0,0514	1,40	1647,91	319,9
5-6	191,70	4,95	26,47	160	50x4,6	0,0408	1,05	1083,35	250,7
5-7	213,00	5,50	27,90	160	50x4,6	0,0408	1,17	493,88	304,0
3-8	1086,32	28,07	63,01	225	90x8,2	0,0736	1,83	894,77	342,2
8-9	958,52	24,77	59,19	225	90x8,2	0,0736	1,62	802,77	271,2
9-10	660,31	17,06	49,13	200	75x6,8	0,0614	1,60	813,45	330,8
10-11	575,11	14,86	45,85	200	75x6,8	0,0614	1,39	1878,23	256,2
11-12	468,61	12,11	41,39	160	63x5,8	0,0514	1,62	865,65	419,4
12-13	191,70	4,95	26,47	160	50x4,6	0,0408	1,05	656,14	250,7
12-14	276,90	7,15	31,81	160	63x5,8	0,0514	0,96	748,84	159,4
14-15	170,40	4,40	24,96	160	50x4,6	0,0408	0,94	504,10	202,2
14-16	106,50	2,75	19,73	140	40x3,7	0,0326	0,92	995,72	255,9

Tabla 8. Diámetros interiores finales de las tuberías de la red de impulsión y sus características

### **Pérdidas térmicas totales respecto potencia total suministrada**

Finalmente, la última comprobación a realizar consiste en verificar que la suma de las pérdidas térmicas de las tuberías, en el día más frío del año -tanto para la red de impulsión como para la de retorno- no supera el 4% de la potencia térmica total, tal y como se indica en la UNE-EN ISO 12241:2010 (21).

Por ello, con los resultados de la tabla 8, arriba transcrita, se procede a comprobar que la suma de las pérdidas térmicas, tanto de la red de impulsión, como de la de retorno, sea inferior al 4% de la potencia total:

$$\frac{Q_{p\acute{e}rdida\ impulsión} + Q_{p\acute{e}rdida\ retorno}}{Potencia_{real\ sistema\ ACS}} \cdot 100 = 1,53\%$$

### **5.1.2.5. Bomba de Circulación de la Red de Distribución**

La bomba de circulación es un equipo fundamental en la red de distribución, pues es la encargada de hacer que el agua circule por las tuberías y no se enfríe. Además, si ésta no circula, no hay intercambio de calor y, en consecuencia, el sistema diseñado no es de utilidad.

Por tanto, para asegurar, en todo momento, que el agua fluya, será necesario disponer de dos bombas en paralelo de igual potencia, de manera que, si una está en mantenimiento, con la otra se pueda seguir dando servicio.

Asimismo, otra función del grupo de presión es la de regular el caudal total que circulará por la red de distribución en función del consumo, tomando como caudal máximo el calculado en el anterior apartado 5.1.2.4. Este caudal se regulará mediante un variador de frecuencia que ajuste la curva de la bomba a las necesidades demandadas, fijando una presión de 3 bares, consiguiéndose así, una reducción significativa del consumo eléctrico de ésta, y, en consecuencia, de la bomba de calor.

No obstante, a la hora de diseñar la bomba, se deberá tener solamente en cuenta el caudal máximo, pues ésta es la condición más restrictiva.

Para ello, en primer lugar, se aplicará el teorema de la conservación de la energía del fluido - utilizado ya en el apartado “5.1.2.4. Dimensionamiento de las tuberías de la red” - desde uno de los puntos bajos de la red de distribución (situando allí la bomba), hasta el centro de generación energética. Sin embargo, debido a la geometría de la red, se dispondrá de dos grupos de presión distintos, pues se considera que hay dos puntos bajos diferentes en la red desde donde se necesita bombear el agua hacia el centro de generación, el nodo 14 y el nodo 5.

Así pues, tal y como se puede observar en la siguiente fórmula, la única variable nueva que aparece es la  $H_B$ , que no solo es la altura dinámica de cada bomba, sino que, también, es la incógnita que falta por conocer para poder realizar el cálculo de la potencia de cada bomba.

$$\frac{P_1}{\rho_{agua} \cdot g} + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} + Z_1 - hfs + H_B = \frac{P_2}{\rho_{agua} \cdot g} + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + Z_2$$

Por lo que, teniendo en cuenta que  $P_1$  vale 3,5 bares (pues es la presión media de operación de los intercambiadores menos su caída de presión), que  $P_2$  tiene que ser 3 bares, y que la diferencia de alturas entre  $Z_1$  y  $Z_2$  son 33 metros, se obtiene que la  $H_B$  de la primera bomba tiene que ser igual a 48,2 metros de columna de agua.

Para el cálculo de la segunda bomba, se debe tener en cuenta que la diferencia de alturas es de 27 metros, y que las pérdidas de carga serán distintas, con lo que la  $H_B$  será igual a

Finalmente, aplicando la siguiente fórmula, en donde el rendimiento de las bombas se considera del 85%, se obtiene la potencia real máxima de cada bomba (22).

$$Potencia_{real\ bomba\ nodo\ 14} = \frac{H_B \cdot Q_{m\acute{a}x\ 14} \cdot \rho_{agua} \cdot g}{\eta_{bomba}} = 1,1\ kW \approx 1,5\ kW$$



$$Potencia_{real\ bomba\ nodo\ 5} = \frac{H_B \cdot Q_{m\acute{a}x\ 5} \cdot \rho_{agua} \cdot g}{\eta_{bomba}} = 1,2\ kW \approx 1,5\ kW$$

Cabe destacar, además, que el consumo eléctrico de las bombas se tendrá en consideración en el dimensionamiento del apartado “6. Sistema Eléctrico”, pues no solo se quieren tener en cuenta los consumos eléctricos del barrio, sino también los derivados del sistema global.

### **5.1.3. Dimensionamiento del Sistema de Generación Energética**

Para la generación de energía térmica se ha optado por un sistema geotérmico dado que: (i) es un sistema basado en un tipo de energía renovable, (ii) tiene una gran eficiencia, (iii) no tiene un impacto arquitectónico visible, y (iv) se basa en una fuente energética constante, que apenas varía a lo largo del año.

Los componentes que deberá tener el sistema de generación energética para ACS, tal y como se puede ver en la ilustración 2, son los siguientes: una bomba de calor, un intercambiador geotérmico y una bomba de circulación. No obstante, se prescindirá de diseñar la bomba de circulación, pues muchos fabricantes ya la incorporan en sus modelos.

#### **5.1.3.1. Dimensionamiento de la Bomba de Calor**

La bomba de calor geotérmica es el corazón del sistema térmico de ACS, pues es la encargada de convertir el calor absorbido de la tierra en energía térmica útil para el sistema de distribución.

Una bomba de calor dispone siempre de un evaporador, un compresor, un condensador, una válvula de expansión y un líquido refrigerante -que será el encargado de absorber y ceder el calor a los diferentes medios del sistema-. Ésta puede trabajar de dos maneras: modo

calefacción o modo refrigeración. En nuestro caso en concreto, donde lo que se quiere es calentar el fluido caloportador de la red de distribución, deberá trabajar en modo calefacción, por lo que su funcionamiento será el que, a continuación, se describe.

En primer lugar, el refrigerante absorberá el calor de la tierra a través del evaporador, dando lugar a que se convierta en vapor. Posteriormente, pasará por un compresor en el que se le aumentará su presión, y, en consecuencia, su temperatura. En tercer lugar, este mismo vapor caliente, por el condensador, cederá todo su calor a la red de distribución, saliendo así a una temperatura más baja y en estado líquido. En cuarto lugar, el refrigerante pasará por una válvula de expansión, donde perderá presión y se enfriará. Por último, el refrigerante volverá a entrar al evaporador, repitiéndose así, el ciclo.

Por consiguiente, en función de la temperatura a la que se quiera elevar el fluido caloportador de la red de distribución, y del retorno de éste a la bomba de calor, es decir, del intercambio calorífico que haya en el condensador, la potencia térmica de la bomba de calor variará.

En este caso, la potencia térmica de la bomba de calor deberá ser de 1,6 MW, tal y como se ha justificado en el apartado “5.1.2.4. Dimensionamiento de las tuberías de la red”, recogiendo dicho valor en la tabla 8. No obstante, debido a las limitaciones existentes en el mercado a la hora de encontrar una máquina con tal potencia, se ha optado por colocar dos bombas de calor en serie, de 967 kW cada una. A su vez, esto implicará un ahorro económico importante, ya que permitirá modular la potencia térmica del suministro en función de la demanda energética que tenga el barrio en cada momento.

Por último, cabe recordar que, para que las bombas de calor funcionen, éstas necesitan consumir electricidad -debido a los compresores-. Así, para averiguar el consumo eléctrico total de la bomba de calor general (de cara a dimensionar el sistema eléctrico), es necesario conocer el COP de la máquina térmica global pues, como ya se ha explicado en el apartado “4. Sistema global”, éste relaciona la potencia eléctrica consumida con la potencia térmica producida.

Por ello, considerando un COP global igual a 3, el consumo eléctrico máximo de la bomba de calor global será de 644,7 kW (23).

### 5.1.3.2. Dimensionamiento del Intercambiador Geotérmico

Los intercambiadores geotérmicos son tuberías enterradas a lo largo de pozos (o fosas) tanto horizontales, como verticales, por las que circula un fluido caloportador encargado de capturar la energía calorífica del terreno.

Asimismo, dependiendo de la profundidad a la que dichas tuberías estén enterradas, su diámetro, su material y el tipo de terreno o la distancia que haya entre pozos (perforaciones), la energía transmitida a la bomba de calor, a través del evaporador, será mayor o menor.

Para el dimensionamiento del intercambiador geotérmico se seguirá la guía del IDAE “*Guía técnica: Diseño de sistemas de intercambio geotérmico de circuito cerrado*” (24).

Así pues, en primer lugar, será necesario decidir el tipo de sistema que se quiere emplear. Dado que la bomba de calor requerida para ACS tiene una gran potencia térmica, y que se quieren evitar todas las posibles fluctuaciones de temperatura del terreno (debido a los cambios estacionales) que puedan afectar al suministro de dicho servicio energético, se decide optar por un intercambiador geotérmico de tipo vertical. Éstos, pese a su instalación ser más cara que la de los sistemas horizontales, requieren de menos tubería debido a las temperaturas estables que se encuentran a partir de los 10 metros de profundidad (y que se mantiene hasta los 100 metros). Además, otro punto a su favor, es que este tipo de sistema precisa de menos terreno que un sistema horizontal.

En segundo lugar, será necesario definir las tuberías. Éstas, dadas las características termodinámicas del fluido caloportador que se quiere utilizar (agua), serán tuberías de polietileno en forma de U. Además, para garantizar un régimen turbulento que favorezca al intercambio térmico, se seleccionarán tuberías de diámetro de 5,08 cm por las que circulará un caudal de agua de 19.700 l/h.

Otros factores importantes a tener en cuenta serán las propiedades térmicas del terreno; a destacar, la conductividad, la capacidad y la difusividad térmica.

La conductividad térmica indica la capacidad que posee el terreno para conducir calor y se expresa en  $W/m^{\circ}C$ . La capacidad térmica representa el cociente entre el calor que se suministra a un sistema y la variación de temperatura provocada en este, y se expresa en las

unidades  $J/m^3 \cdot ^\circ C$ . Y, la difusividad térmica del terreno es la relación entre la conductividad y la capacidad térmica del terreno, la cual se expresa en  $m^2/día$ .

Así pues, para obtener dichos parámetros, se considerará que el terreno de Canyelles sobre el que se realizarán las perforaciones será una mezcla de arcilla y limo secos (25).

En cuarto lugar, se debe definir la temperatura de salida del evaporador. Para ello, se recurre a la gráfica del fabricante de la bomba de calor, en la que, a partir del COP de la bomba de calor, y de la temperatura de salida del agua caliente del condensador, se obtiene la temperatura de salida del agua en el lado del evaporador. Ésta será de aproximadamente  $8^\circ C$ .

Seguidamente, se deberá calcular la temperatura del terreno para una profundidad de entre 10 y 100 metros ( $X_s$ ), asumiendo que a partir de los 100, la temperatura se incrementará en 15 grados cada kilómetro. Ésta, se calculará a partir de la siguiente fórmula, donde  $A_s$  es la amplitud anual de la temperatura media diaria y  $T_m$  es la temperatura media anual del lugar.

$$T(X_s) = T_m - A_s \cdot e^{\left(-X_s \cdot \sqrt{\frac{\pi}{365 \cdot \text{difusividad}_{\text{terreno}}}}\right)}$$

En sexto lugar, se tendrá que definir el número de perforaciones, su distribución en el terreno (teniendo en cuenta que será de manera matricial), el diámetro de cada una, y la distancia entre ellas, debiendo considerarse que esta última influirá en la resistencia térmica del terreno.

Finalmente, teniendo en cuenta la energía que debe proporcionarse al sistema de distribución del sistema de ACS, la potencia de la bomba de calor, y los datos anteriores, se procederá a calcular la profundidad de cada perforación y la longitud del intercambiador geotérmico vertical. Para dicho cálculo se utilizará una herramienta de Excel, basada en un modelo desarrollado por *Pablo Schoennenbeck Grohnert* (26). A continuación, se presenta la tabla 9 con las características del intercambiador geotérmico:

<b>GENERAL</b>	Longitud total Intercambiador [m]	1926,00
	Longitud por Perforación [m]	64,20
<b>BOMBA DE CALOR</b>	Tª salida agua Bomba de Calor [°C]	8,62
	Tª media agua en Perforación [°C]	9,31
<b>PERFORACIÓN</b>	Nº Perforaciones	30
	Geometría de Perforación	15 X 2
	Distancia entre Perforaciones [m]	4,5
	Radio de Perforación [m]	0,06

Tabla 9. Características del Intercambiador Geotérmico del Sistema de Generación Energética para ACS

## 5.2. Calefacción

El mecanismo de funcionamiento del sistema de generación energética y distribución para calefacción será prácticamente el mismo que el del sistema de ACS, tal y como se puede ver en la ilustración 3, por ello este apartado se estructurará igual que el anterior.

En términos generales, la idea del sistema de calefacción consiste en que cada edificio, mediante su intercambiador de calor, vaya acumulando agua caliente, de manera que, cuando una vivienda ponga en marcha la calefacción mediante el grupo de presión propio del edificio, se bombee agua caliente al circuito de calefacción de ésta, calentando así el hogar. Posteriormente, esta agua -más fría después de haber cedido su calor- entrará de nuevo en el intercambiador, volviéndose a repetir el ciclo.

Para ello, deberán realizarse instalaciones nuevas de calefacción por agua en aquellas viviendas que no dispongan de ella.

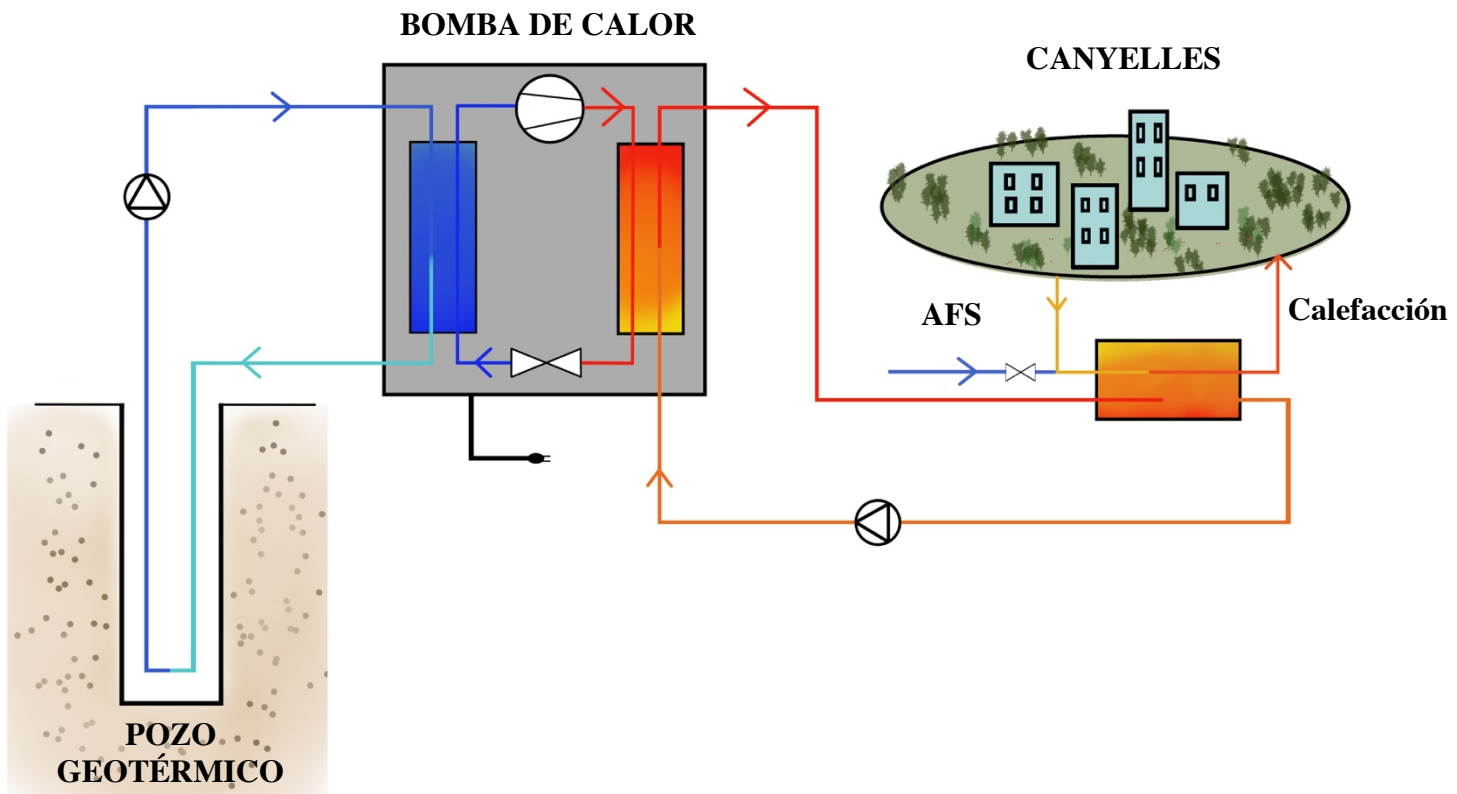


Ilustración 3. Esquema del funcionamiento del Sistema Térmico para Calefacción

### 5.2.1. Demanda de Calefacción y Potencia del Sistema

La demanda térmica anual de Calefacción del barrio de Canyelles se ha calculado en el apartado “4. Sistema global”, siendo ésta de 11.934,93 MWh. No obstante, con la finalidad de conocer de que forma varía la demanda a lo largo del año y, en consecuencia, poder así calcular la potencia que debe tener el sistema térmico de calefacción, se tomará como base el concepto “grados-día de calefacción”, que es una unidad que se utiliza para medir el nivel del rigor invernal en una localidad, y que relaciona la temperatura media exterior durante la época fría del año con una cierta temperatura de confort para calefacción en interiores (27).

Así pues, para ello, en primer lugar, se deben obtener los datos, mes a mes, de los últimos 3 años, de los grados-día de calefacción para Barcelona, en base a una temperatura de confort de 15°C (28). Éstos se tomarán de la estación meteorológica de Barcelona situada en el aeropuerto (29).

En segundo lugar, se tendrá que hacer la media de los datos de cada año para cada mes, y, sumando los grados-día de calefacción de todos los meses del año, se calculará el peso porcentual que tiene cada mes sobre la demanda de calefacción, considerándose como únicos meses con demanda significativa los siguientes: enero (31%), febrero (13%), marzo (14,5%), abril (7%), octubre (2,5%), noviembre (12%) y diciembre (20%).

En tercer lugar, se escogerá el mes con mas demanda, siendo éste, tal y como se puede ver, el mes de enero, y se le aplicará a la demanda térmica total de calefacción el porcentaje recién calculado, obteniendo así que, para el mes de enero, deberá aportarse un total de 3.658 MWh térmicos al barrio. No obstante, la demanda térmica dentro del mes de enero no tiene porqué ser homogénea. Por ello, se volverá a repetir el proceso hecho hasta ahora, pero esta vez solo para el mes de enero, y con los grados-día de calefacción, día a día, de los últimos 3 años, resultando así que, la mayor demanda térmica, será la del día 12 de enero e igual a 173,84 MWh al día.

No obstante, conociendo el valor máximo de energía total que debería suministrarse al barrio a lo largo del día, y el comportamiento diario de la demanda de calefacción hora a hora -considerando que se comporta, tanto en horas pico como en horas valle, igual que la demanda de ACS (tabla 4)-, se concluye que, si se decidiera dimensionar el sistema de calefacción en función de este valor, el sistema quedaría muy sobredimensionado respecto la demanda de los otros meses, por lo que se opta por cubrir solo el 65% de la demanda total del día 12 de enero y, en caso de necesitar más potencia, recurrir al sistema de *backup* del acumulador de cada edificio.

Finalmente, la potencia del sistema quedará determinada por la capacidad del acumulador, el cual se dimensionará a continuación.

## **5.2.2. Diseño del Sistema de Distribución**

El sistema de distribución para calefacción tiene el mismo funcionamiento que el de ACS. Por ello, y a fin de evitar innecesarias repeticiones, se prescindirá de explicar otra vez los mismos

conceptos teóricos, procediéndose, únicamente, a desarrollar las ideas nuevas, y a mostrar los resultados finales de cada subapartado con sus respectivas justificaciones.

### **5.2.2.1. Propuesta de trazado de la red de distribución**

Como propuesta de trazado de la red de distribución para el sistema de calefacción se propone el plasmado en el esquema 3, incorporado en el Anejo del presente trabajo. En dicho esquema se pueden ver dos redes de diferente color.

La red de color marrón es la red de impulsión, la cual se diseñará para una temperatura de 80°C. Es una red troncal, que va desde la bomba de calor geotérmica hasta el ramal de servicio del edificio.

La red de color naranja es la red de retorno, y va desde la salida del ramal de servicio del edificio hasta la bomba de calor geotérmica. Ésta también es una red troncal, y estará diseñada para una temperatura de 50°C.

Las dos redes juntas formarán el circuito troncal cerrado de distribución para el sistema de calefacción. Y, al igual que la red troncal de ACS, tendrán el mismo trazado y la misma longitud (915 metros de longitud cada red).

Asimismo, como en el apartado del ACS, los ramales que van desde las redes troncales hasta el intercambiador del edificio, y viceversa, no se han tenido en cuenta en el dimensionamiento, al ser, en comparación con las redes troncales, despreciables.

Por último, destacar que el centro de generación energética para el sistema de calefacción estará al lado del de ACS.



### 5.2.2.1. Dimensionamiento del Acumulador de Calefacción

Debido a que el consumo de calefacción (caudal demandado) puede llevarse a cabo por cualquier usuario en cualquier momento, y éste, a su vez, tiene que poderse ofrecer de manera instantánea, es necesario disponer de un acumulador de agua caliente. Además, sería muy ineficiente dimensionar la potencia del intercambiador hasta cubrir cualquier pico de demanda instantánea.

Por ello, el acumulador se diseñará para que la energía útil que proporcione, más la que genere en una hora el intercambiador, sea capaz de cubrir el 65% de la demanda máxima del mes de enero -las demandas de los demás meses quedarían cubiertas- en la hora punta.

Así pues, teniendo en cuenta que el consumo de calefacción en la hora punta equivale al 10% -sigue la tendencia de la demanda de ACS- del consumo diario medio de calefacción en un edificio de viviendas en el mes de enero, y teniendo en cuenta que la capacidad de acumulación debe ser de un 65% respecto del consumo en la hora punta, se obtiene que se precisará, por cada edificio, de un acumulador de 4.000 litros, siendo sus medidas de 2,65 metros de alto y 1,7 metros de ancho (30).

Por consiguiente, se necesitará un equipo con una potencia de 68,3 kW para cubrir el consumo en la hora punta de calefacción, teniendo en cuenta, no obstante, que solo se ha diseñado para cubrir el 65% de la demanda térmica del día más frío del año. Por ello, habrá que instalar un sistema de *backup* -de 68,3 kW también- para ayudar al acumulador en los picos de consumo, y para los momentos en los que haya que hacer mantenimiento en el algún tramo de la red, o haya una mal función de algún equipo de la misma, y no se pueda operar con el intercambiador. Este equipo será una caldera de 68 kW de potencia (31).

Finalmente, comentar que el tiempo de recuperación para el calentamiento del acumulador se considera aceptable, pues tarda menos de lo recomendado (4 horas), tanto si lo lleva a cabo la caldera, como si lo hace el intercambiador. Este tiempo es de 2 horas y 10 minutos.

### 5.2.2.2. Diseño del Intercambiador de calor

A la hora de definir los parámetros del intercambiador debe tenerse en cuenta el proceso que sigue el sistema de calefacción por agua caliente de cada edificio.

Éste se basa en un sistema cerrado a nivel de edificio, en el que el agua que se calienta en el intercambiador, y posteriormente se almacena en el acumulador, es la misma agua que antes se ha bombeado desde éste y que ha circulado por la instalación de calefacción de cada vivienda del edificio. Es decir, es un sistema de calefacción a nivel global de edificio, cuya idea se basa en canalizar el flujo de agua que sale de la instalación de calefacción de cada hogar, de manera que el calor residual que tiene el agua después de haber climatizado el piso se aproveche. Huelga decir que, como toda instalación de calefacción por agua individual, el agua del circuito se purgará cada año, por lo que, para volver a llenar el circuito de calefacción, se utilizará agua de la red.

Así pues, el agua de calefacción del edificio entrará en el intercambiador a una temperatura prácticamente igual a la de la salida de los radiadores de cada vivienda, considerándose ésta de 50°C (32), y saldrá del intercambiador a la temperatura de almacenamiento, la cual será de 75°C, pues, posteriormente, se necesita distribuir dicha agua por el edificio a 70°C, al ser ésta la temperatura de entrada a los radiadores. Para ello, el fluido caloportador de la red de distribución deberá entrar a 80°C en el intercambiador, y salir a 50°C.

Por otro lado, teniendo también en cuenta que el rendimiento de cada intercambiador es del 90%, y que su potencia es de 68,5 kW -escogiendo en el mercado un intercambiador de 70 kW (33)-, es necesario que pase por cada intercambiador de calor un caudal del fluido caloportador de 1,77 m<sup>3</sup>/h.

Por consiguiente, el caudal total que deberá aportarse al inicio de la tubería troncal de impulsión del barrio es de 132 m<sup>3</sup>/h.

Cabe resaltar que no se ha tenido en cuenta el rendimiento de distribución del fluido caloportador por la red, haciendo que varíe ligeramente el caudal que deberá circular por las tuberías. Éste se tendrá en consideración en el siguiente apartado, a fin de obtener, de esta forma, el caudal real total que tendrá que aportarse al inicio de la tubería de impulsión.

### 5.2.2.3. Dimensionamiento de las tuberías de la red

Siguiendo la metodología empleada en el apartado homólogo del sistema de ACS, para el dimensionamiento de las tuberías, es necesario, en primer lugar, seleccionar el fluido caloportador que circulará por ellas. Éste, debido a los mismos argumentos anteriormente expuestos, será agua.

En segundo lugar, se calculará el caudal de cada sección, siendo éstas iguales en longitud a las secciones de la red troncal de ACS. Para ello, nuevamente se tendrá en cuenta, tanto el esquema 2 del Anejo, como la potencia total que debe suministrarse a cada nodo de la red.

En tercer lugar, debido a las características de presión y temperatura máxima a las que estarán sometidas las tuberías de la red (80°C y 3 bares), y del caudal que deberá circular por ellas, se seleccionarán, esta vez, tuberías de polipropileno *random* (PPR), las cuales también tienen pérdidas de carga y pérdidas térmicas muy bajas (34). Por consiguiente, al ser tuberías plásticas, se volverá a seleccionar una velocidad de diseño para el agua de 2,5 m/s.

Finalmente, se calculan los diferentes diámetros interiores de cada tubería, se normalizan y se comprueba que:

- la pendiente hidráulica de cada tubería se encuentre entre 100 y 500 Pa/m;
- llegue a cada intercambiador la presión necesaria para trabajar en condiciones óptimas cuando se opere en situación de máxima potencia;
- las pérdidas térmicas del tramo más desfavorable de la red de impulsión no afecten al buen suministro del nodo más desfavorable;
- el valor de las pérdidas térmicas totales respecto a la potencia total suministrada sea inferior al 4%.

Es preciso recordar que las tuberías irán enterradas a una profundidad de 0,8 metros con respecto a la superficie.

A continuación, se presenta la tabla 10 con los diámetros interiores normalizados de cada sección y sus respectivas características para la red de impulsión (los diámetros interiores de la red de retorno son idénticos, y lo único que varía son las pérdidas térmicas y la pendiente

hidráulica de cada sección), el rendimiento de distribución de las tuberías, y el porcentaje de pérdidas térmicas respecto de la potencia total suministrada.

SECCIÓN	Potencia [kW]	Q [m3/h]	D int [mm]	Dext corrugado [mm]	e [mm]	Dint Normalizado [m]	Velocidad fluido [m/s]	Q perd invierno [W]	j [Pa/m]
1-2	5276,96	136,34	138,88	200	18,2	0,1636	1,80	1932,10	128,2
2-3	5276,96	136,34	138,88	200	18,2	0,1636	1,80	1015,20	128,2
3-4	1688,63	43,63	78,56	125	11,4	0,1022	1,48	440,30	154,9
4-5	1336,83	34,54	69,90	110	10,0	0,0900	1,51	1703,32	187,3
5-6	633,24	16,36	48,11	90	8,2	0,0736	1,07	1393,51	126,2
5-7	703,59	18,18	50,71	90	8,2	0,0736	1,19	635,28	153,1
3-8	3588,33	92,71	114,53	200	18,2	0,1636	1,23	757,93	62,6
8-9	3166,18	81,81	107,58	160	14,6	0,1308	1,69	680,00	148,5
9-10	2181,14	56,35	89,29	160	14,6	0,1308	1,16	856,09	74,4
10-11	1899,71	49,08	83,33	125	11,4	0,1022	1,66	1976,68	192,8
11-12	1547,91	39,99	75,22	110	10,0	0,0900	1,75	894,76	246,0
12-13	633,24	16,36	48,11	90	8,2	0,0736	1,07	843,99	126,2
12-14	914,67	23,63	57,82	90	8,2	0,0736	1,54	774,02	248,6
14-15	562,88	14,54	45,36	75	6,8	0,0614	1,36	648,41	246,2
14-16	351,80	9,09	35,86	63	5,8	0,0514	1,22	1330,04	247,2

Tabla 10. Diámetros interiores finales de las tuberías de la red de impulsión y sus características

$$\eta_{\text{distribución red impulsión}} = \frac{\text{Energía}_{\text{intercambiador edificio 1h}}}{\text{Energía}_{\text{intercambiador edificio 1h}} + Q_{\text{perdida}}} = 0,97$$

$$\frac{Q_{\text{pérdida impulsión}} + Q_{\text{pérdida retorno}}}{\text{Potencia}_{\text{real sistema ACS}}} \cdot 100 = 0,48\%$$

#### 5.2.2.4. Bomba de Circulación

Al igual que en el sistema de ACS, se dispondrá de dos bombas -con variador de frecuencia- en cada grupo de presión, para asegurar el funcionamiento del sistema en caso de mantenimiento o avería.

Asimismo, nuevamente, y dada la geometría de la red, se dispondrá de dos grupos de presión en dos puntos diferentes de la red. Uno estará situado en el nodo 14, y otro en el nodo 5.

La potencia de las bombas será:

- las del nodo 14 de  $3,17 \text{ kW} \approx 3,3 \text{ kW}$ ,
- y las del nodo 5 de  $3,32 \text{ kW} \approx 3,3 \text{ kW}$ .

### **5.2.3. Diseño del Sistema de Generación Energética**

Para la generación de energía térmica se ha vuelto a optar por un sistema geotérmico, por los mismos motivos que se hizo en el caso del sistema de ACS.

En consecuencia, y en base a la ilustración 3, se divide este apartado en el dimensionamiento de la bomba de calor y en el dimensionamiento del intercambiador geotérmico.

#### **5.2.3.1. Dimensionamiento de la Bomba de Calor**

Para el caso de la calefacción, la potencia térmica de la bomba de calor deberá ser de  $5,3 \text{ MW}$ , tal y como se ha justificado en el apartado “5.2.2.3. Dimensionamiento de las tuberías de la red”, recogiendo dicho valor en la tabla 10.

No obstante, debido a las limitaciones existentes en el mercado a la hora de encontrar una máquina con tal potencia, se ha optado por colocar 6 bombas de calor en serie de  $967 \text{ MW}$  cada una (23). Esto implicará un ahorro económico importante, ya que permitirá modular la potencia térmica del suministro en función de la demanda energética que, en cada momento, tenga el barrio.

Por último, considerando un COP global igual a 3, el consumo eléctrico máximo de la bomba de calor global será de  $1934 \text{ kW}$ .

### 5.2.3.1. Dimensionamiento del Intercambiador Geotérmico

Para el dimensionamiento del Intercambiador geotérmico del sistema para Calefacción, se recurrirá a la misma herramienta de diseño que se ha utilizado en el apartado del ACS.

Para ello, el razonamiento a seguir será el mismo, siendo, las perforaciones a realizar verticales. Por consiguiente, se presenta la tabla 11 con las características del intercambiador.

<b>GENERAL</b>	Longitud total Intercambiador [m]	7806,47
	Longitud por Perforación [m]	86,74
<b>BOMBA DE CALOR</b>	Tª salida agua Bomba de Calor [°C]	8,09
	Tª media agua en Perforación [°C]	9,04
<b>PERFORACIÓN</b>	Nº Perforaciones	90
	Geometría de Perforación	18 X 5
	Distancia entre Perforaciones [m]	2,1
	Radio de Perforación [m]	0,06

Tabla 11. Características del Intercambiador Geotérmico del Sistema de Generación Energética para Calefacción

## 6. SISTEMA ELÉCTRICO

El sistema de generación eléctrica que se quiere llevar a cabo estará basado en la energía fotovoltaica, pues el sol es un recurso inagotable y gratuito del que, afortunadamente, Barcelona goza en una gran cantidad.

No obstante, antes de empezar a dimensionar el sistema fotovoltaico, será necesario definir el tipo de sistema que se quiere confeccionar. Por un lado, existe la opción de crear un sistema aislado, el cual consiste en capturar la energía solar mediante paneles solares fotovoltaicos y almacenarla en baterías, de manera que dicha energía pueda consumirse en momentos en los que la generación fotovoltaica, dada la irradiación que llega, sea insuficiente para satisfacer la demanda eléctrica en cuestión.

Por otro lado, puede optarse por un sistema conectado a la red, en el que la energía eléctrica generada se inyecta directamente en la red de distribución eléctrica. No obstante, a diferencia del primer tipo, en caso de no poder satisfacer la demanda eléctrica a partir de la energía generada de forma fotovoltaica, se podrá recurrir a la red, pues ésta siempre ofrecerá la continuidad del servicio.

Así pues, para el presente trabajo, y dado que el sistema a dimensionar deberá tener una capacidad muy grande, se opta por un sistema conectado a la red, ya que el coste de las baterías es muy elevado y no compensa su inversión inicial. Además, las baterías son el elemento, dentro de una instalación fotovoltaica, con una menor vida útil, estimándose ésta de unos 10 años. Asimismo, se decide aprovechar la ventaja de tener una red eléctrica disponible (la subestación eléctrica de la Trinitat está a menos de 2 km), en la que en caso de necesitar energía, se pueda recurrir a ella -contratando una tarifa- y, en caso de tener un excedente, se pueda vender dicha energía -para ello, el requisito es que la instalación supere los 100 kW- (35).

Una vez definido el tipo de sistema, será preciso conocer la demanda eléctrica necesaria que deberá cubrir el sistema eléctrico y su variación a lo largo del año, para, a continuación, y, en consecuencia, diseñar el sistema de generación fotovoltaico.

## 6.1. Demanda Eléctrica

La demanda eléctrica anual del barrio de Canyelles se ha calculado en el anterior apartado “4. Sistema global”, siendo esta de 9.597,38 MWh. No obstante, en ella solo se han tenido en cuenta los consumos propios de las viviendas, y no los generados por los equipos del sistema térmico, por lo que éstos se deberán sumar, dado que también se quieren tener en cuenta en el dimensionamiento eléctrico.

Sin embargo, a la hora de dimensionar la potencia del sistema fotovoltaico, lo importante no es solo conocer el valor final de la demanda, sino saber, igualmente, como ésta fluctúa a lo largo del año. Para ello, se realizará un estudio en el que se separarán los consumos mensuales de todos los equipos que entren en juego en el dimensionamiento del sistema eléctrico, empezando por los consumos de los servicios de las viviendas, continuando con los del sistema de ACS, y terminando con los del sistema de calefacción.

Así pues, en primer lugar, de acuerdo con el cálculo a realizar, se considerará que los consumos eléctricos de los servicios de las viviendas se distribuirán a lo largo del año tal que así:

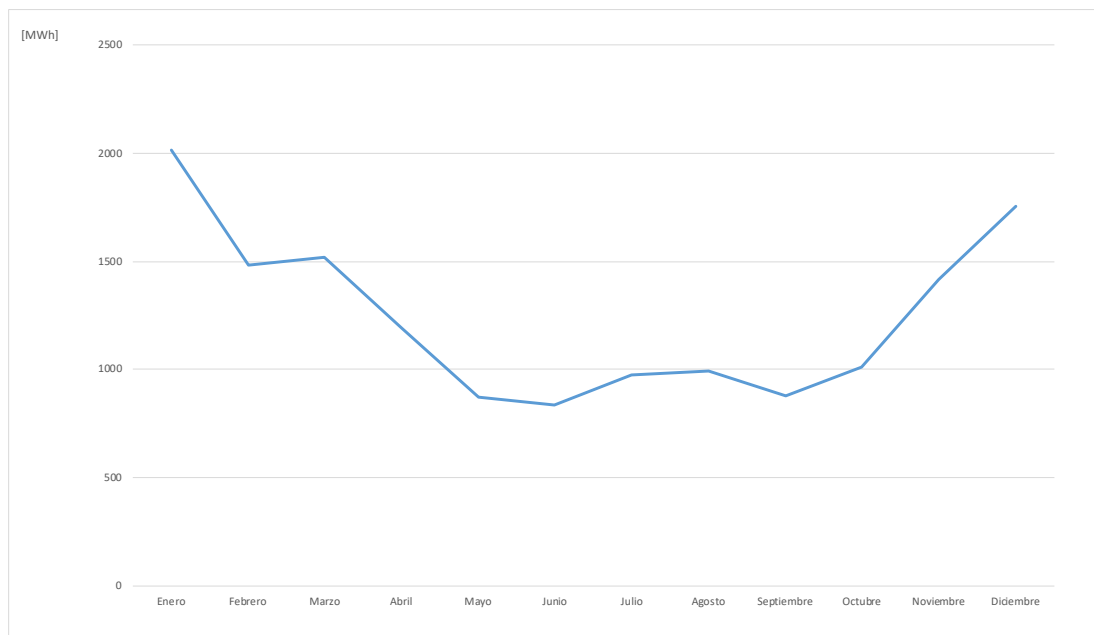
- Electrodomésticos: homogéneo a lo largo del año (mismo consumo cada mes);
- Cocina eléctrica: homogéneo a lo largo del año (mismo consumo cada mes);
- Aire acondicionado: solo dará servicio los meses de julio y agosto.
- Iluminación: se calculará teniendo en cuenta la relación que hay por cada mes entre las horas que no hay sol y las horas útiles en las que no hay luz y se necesita, aplicando dicha relación porcentual de cada mes sobre el consumo de iluminación anual.

En segundo lugar, dado el consumo energético térmico mensual que tendrá el sistema térmico para ACS, la potencia total máxima que tendrá la bomba de calor -teniendo en cuenta que ésta será modulable, pudiéndose ajustar a potencias demandas más bajas-, y el COP de la máquina térmica, se podrá calcular la energía eléctrica mes a mes que necesitará dicho sistema. Asimismo, habrá que incluir la energía eléctrica demandada por las dos bombas de circulación, la cual irá en función del caudal que éstas bombeen.



En tercer, y último lugar, habrá que repetir el paso anterior, pero esta vez para el sistema térmico para Calefacción. En este caso, y dado que la potencia térmica que demandará el sistema, en según qué horas, superará la potencia máxima del sistema térmico, para el cálculo del consumo eléctrico en tales horas, se considerará el correspondiente al de la bomba funcionando a máxima potencia (la potencia que faltaría por aportar la daría la caldera de cada edificio). Nuevamente, habrá que incluir la energía demandada por las dos bombas de circulación.

A resultados de lo anterior se obtendrá la siguiente demanda eléctrica anual, tal y como se ve en el gráfico 6.



Gráfica 6. Perfil de la demanda eléctrica anual

## 6.2. Dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico

A la hora de hacer el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, es necesario, en primer lugar, conocer los equipos que forman dicho sistema, pudiéndose identificar dos a grandes rasgos. Estos serían las placas fotovoltaicas y el inversor.

Las placas fotovoltaicas son las encargadas de generar electricidad mediante la captación de irradiación solar. No obstante, esta corriente eléctrica generada por la placa lo es en continua, y los equipos que se quieren alimentar trabajan en corriente alterna. Por ello, para solucionar el problema, es necesaria la presencia de un inversor, pues éste es el encargado de convertir la corriente continua en corriente alterna.

En segundo lugar, se deben conocer las características intrínsecas de cada equipo mencionado.

- Placas fotovoltaicas (36):
  - Potencia de pico: 500 Wp (Condición de prueba estándar: Irradiancia 1000 W/m<sup>2</sup>, temperatura de la celda 25°C, masa de aire 1.5)
  - Rendimiento: 19,5%
  - Área útil: 2,56 m<sup>2</sup>
  - Dimensiones: 1956 x 1310 x 45 mm
- Inversor (37):
  - Rendimiento: 90%

En tercer lugar, además de los rendimientos propios de los equipos, se aplicarán: (i) un factor de seguridad (*F.S*) en el dimensionado del conjunto del 12%, que corresponde a posibles errores de orientación, suciedad en los paneles, pérdidas en las conexiones, pérdidas por temperatura, etc., (ii) un margen de seguridad (*M.S*) de captación del 10%, y (iii) un factor en el que se tendrá en consideración que cada panel fotovoltaico proporcionará, en valor medio, el 80% de la potencia máxima (*Fp*).

En cuarto lugar, se calculará, gracias a la herramienta PVgis (38), el histórico mensual de la irradiación global que recibiría el barrio de Canyelles (desde el año 2010 hasta el 2016), en función del ángulo de inclinación de las placas, los cuales pueden ir desde 0° hasta 90°.

A continuación, se presenta dicha información en la tabla 12:

Mes	Global Irradiation [kWh/m2·mes]										
	Ángulo										
	0º	10º	20º	30º	40º	50º	60º	70º	80º	90º	
Enero	133,57	84,55	100,81	114,57	125,38	132,88	136,82	137,06	133,57	126,46	
Febrero	130,26	101,21	115,13	126,25	134,19	138,68	139,53	136,70	130,26	120,38	
Marzo	147,80	150,07	162,11	170,35	174,46	174,24	169,64	160,75	147,80	131,16	
Abril	127,03	172,85	178,50	180,08	177,46	170,63	159,73	145,02	127,03	106,33	
Mayo	121,66	210,10	210,69	206,57	197,68	184,18	166,49	145,39	121,66	94,87	
Junio	112,44	220,80	218,47	211,38	199,40	182,78	162,48	138,85	112,44	84,40	
Julio	120,95	226,85	226,00	219,94	208,67	192,48	172,32	148,07	120,95	91,96	
Agosto	138,14	208,56	213,14	212,69	207,12	196,50	181,20	161,60	138,14	111,70	
Septiembre	137,69	156,85	166,32	171,92	173,39	170,62	163,62	152,55	137,69	119,51	
Octubre	138,53	120,92	134,12	144,17	150,71	153,48	152,36	147,33	138,53	126,20	
Noviembre	121,38	83,43	97,40	109,02	117,89	123,71	126,28	125,51	121,38	114,03	
Diciembre	135,08	80,35	97,37	111,95	123,62	131,99	136,78	137,83	135,08	128,61	

Tabla 12. Irradiación Global para el barrio de Canyelles en función del mes y del ángulo de inclinación de la placa fotovoltaica

Así pues, tal y como se puede ver en la tabla, el mes con menos generación eléctrica será noviembre, de forma que se dimensionará el sistema en función de éste. Para ello, habrá que seleccionar el ángulo que maximice su generación respecto a los demás meses. Éste será de 60°.

Seguidamente, con todos los datos anteriores, se procederá a calcular el número teórico de placas fotovoltaicas que deberá tener el sistema. Para ello deberá calcularse: (i) el suministro, mes a mes, al que deberá hacer frente el sistema fotovoltaico, (ii) la energía solar que llegará, cada mes, al panel, y (iii) la energía real que capturarán los paneles por cada mes. A continuación, se presentan las fórmulas, y sus respectivos cálculos representados en la tabla 13:

$$\text{Suministro}_{\text{mes}} [\text{MWh}] = \frac{\text{Demanda eléctrica}_{\text{mes}} \cdot (1 + F.S)}{\eta_{\text{inversor}}}$$

$$\text{Energía solar}_{\text{mes}} \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{mes} \cdot \text{panel}} \right] = \text{Irradiación } 60^{\circ}_{\text{mes}} \cdot \text{Área útil}_{\text{panel}}$$

$$\text{Energía capturada}_{\text{mes}} \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{mes} \cdot \text{panel}} \right] = \text{Energía solar}_{\text{mes}} \cdot \eta_{\text{placa}} \cdot F_p$$

$$\text{Número paneles teórico}_{mes} = \frac{\text{Suministro}_{mes} \cdot 10^3 \cdot (1 + M.S)}{\text{Energía capturada}_{mes}}$$

	Suministro [MWh]	Energía solar [kWh/mes-panel]	Energía panel [kWh/mes-panel]	Nº paneles finales teórico
Enero	2505,00	350,64	54,73	50349
Febrero	1844,89	357,59	55,81	36362
Marzo	1890,58	434,75	67,86	30648
Abril	1485,90	409,35	63,89	25583
Mayo	1080,51	426,68	66,60	17848
Junio	1039,16	416,40	64,99	17588
Julio	1214,28	441,62	68,93	19379
Agosto	1234,54	464,38	72,48	18737
Septiembre	1090,04	419,32	65,45	18321
Octubre	1260,35	390,47	60,94	22749
Noviembre	1762,92	323,63	50,51	38392
Diciembre	2185,51	350,54	54,71	43941

Tabla 13. Número de paneles fotovoltaicos por cada mes, en función de la irradiación global a 60° y la demanda eléctrica a cubrir

Posteriormente, se simulará el comportamiento del sistema fotovoltaico -nuevamente, con la herramienta PVgis-, teniendo en cuenta la potencia máxima de pico que tendrá el sistema. Para ello, deberá multiplicarse la potencia de pico de 1 panel, por el número de paneles máximo calculados en el apartado anterior, que son 50.349 paneles.

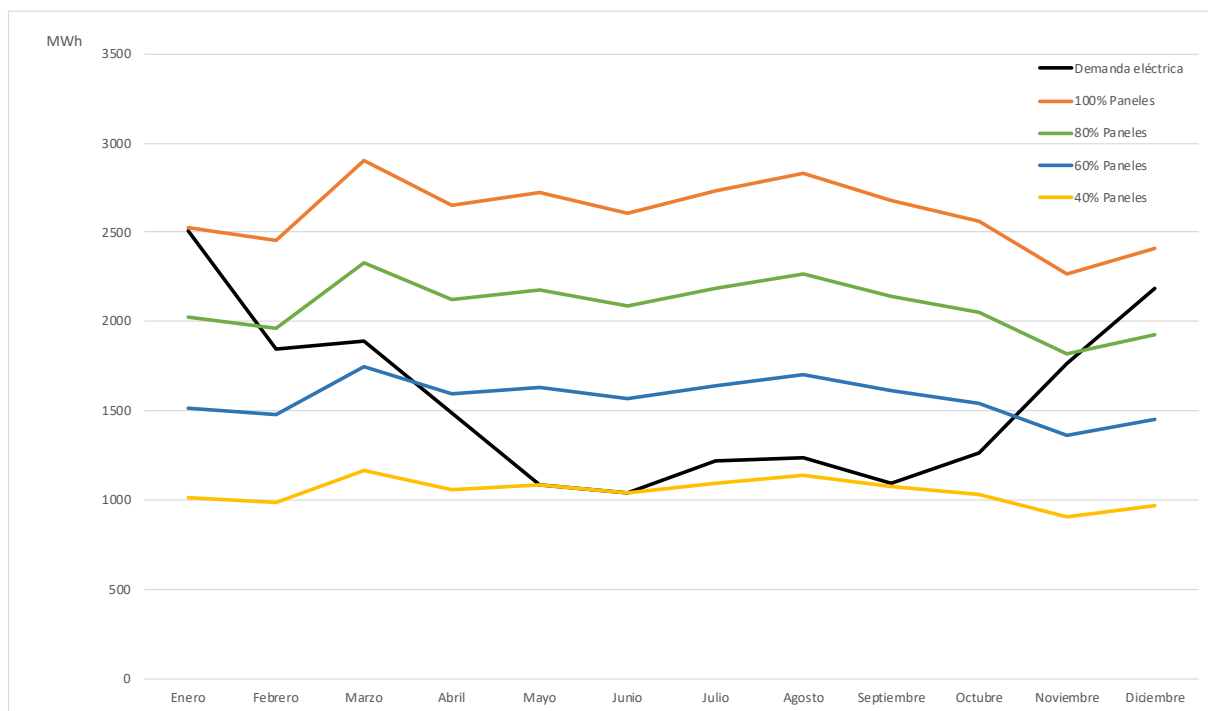
Finalmente, se procederá a optimizar dicho sistema, aplicando una reducción progresiva del 20% en el número de paneles (o potencia) instalados con respecto a los paneles calculados en el apartado anterior. A continuación, cada sistema se comparará económicamente con el anterior y se escogerá aquel que: (i) tenga el periodo de retorno más pequeño, y menor a 25 años, pues esa es la vida útil teórica de las placas, (ii) tenga el periodo de retorno relativo al coste que supondría un sistema convencional más bajo, y (iii) el que suponga el mayor ahorro, en 25 años, con respecto a un sistema convencional.

Para ello, se considerará:

- que el coste anual de mantenimiento y operación del sistema fotovoltaico será igual, en base a la experiencia de otros proyectos fotovoltaicos, al 5% respecto a la inversión inicial de los equipos;

- que las placas irán colocadas en los tejados de los edificios, teniendo en cuenta que la superficie disponible es de 35.000 m<sup>2</sup>, y que, en caso de necesitar más espacio para colocarlas, se deberá comprar el terreno existente encima de Canyelles (existiendo disponibles hasta un total de 60.000 m<sup>2</sup>), el cual se estima que tendrá un valor de mercado de 220 €/m<sup>2</sup>. Asimismo, cabe destacar, que este terreno es de titularidad pública y está destinado a otros usos, tal y como indica el PIU -*Portal d'Informació Urbanística*- por lo que el Ayuntamiento deberá considerar su venta y su pertinente recalificación posterior, en caso de querer aprobar la propuesta (39);
- que la energía que se genere y no pueda consumirse se venderá a la red a precio de 53€/MWh (40), y la que se necesite, por falta de generación, se comprará a 81,18€/MWh (41);
- que el coste de cada placa será de 255€ (36);
- que el Ayuntamiento de Barcelona dará subvenciones de hasta el 50 % del coste de la instalación, con un máximo de 3.500 euros por vivienda o de 60.000 euros por edificio, a aquellos proyectos basados en generación energética renovable (42); y
- que se cobrará, a cada usuario que forme parte del sistema, una tarifa equivalente al 80% del precio del kWh eléctrico que haya en el momento en cuestión.

Por todo ello, se concluye, que, el sistema económicamente más rentable será el que corresponde a una potencia de pico igual al 60% de los paneles calculados en el punto seis, siendo su curva de generación energética la que se muestra en la gráfica 7 de color azul. Esta potencia de pico será de 15,1 MW. Asimismo, constará de 30.210 placas fotovoltaicas, tendrá un periodo de retorno igual a 16 años y 6 meses, y se estima que, a partir del séptimo año, la inversión ya habría sido rentable en comparación con el coste generado por contratar el suministro de luz con una compañía cualquiera. Por último, es conveniente comentar que el sistema fotovoltaico estará constituido, tan sólo, por un 14% de energía sucia, pudiendo también afirmar, a modo de nueva conclusión, que el sistema global será un sistema renovable y respetuoso con el medioambiente.



Gráfica 7. Generación energética en función del número de paneles instalados y la demanda eléctrica que se debe cubrir

## 7. ANÁLISIS ECONÓMICO

Para conseguir materializar y ejecutar la propuesta presentada, es muy importante que ésta sea económicamente viable, y, por lo tanto, que implique no solo una mejora medioambiental, sino también una mejora económica, ya sea bien reduciendo los costes, bien aumentando los beneficios -a decidir en función de cómo se quiera enfocar el proyecto-.

En este caso en particular, la idea que se persigue es conseguir reducir a cero la factura energética del barrio de Canyelles.

Sin embargo, dado que para llevar a cabo dicho proyecto es necesaria una inversión inicial muy grande, que los propios ciudadanos de Canyelles no podrían afrontar, sería fundamental el apoyo de un inversor. Esta solución implicaría que los habitantes del barrio tuviesen que hacer frente, de forma directa y personal, a un gasto económico, a fin de que el inversor no solo recuperase la inversión inicial, sino que, también, obtuviera una cierta rentabilidad por haber aportado el dinero y financiado, en consecuencia, el proyecto, habida cuenta de que, de no ser así, nadie querría acometer la inversión necesaria.

Es por ello que la única forma de conseguir que el barrio pagase lo mínimo posible sería mediante la opción de que un tercero, que no persiga un interés mercantilista y que busque servir al interés público, financiase el proyecto, extremo que ineludiblemente pasaría por conseguir la implicación y el soporte económico de alguna Administración pública: Ayuntamiento de Barcelona, Generalitat de Cataluña y/o Estado central. En otras palabras, esto solo se conseguiría creando una empresa energética de carácter público encargada de suministrar energía al barrio de Canyelles.

Así pues, la opción escogida, en aras a hacer atractivo y económicamente viable el proyecto, ha sido la de que sea el Ayuntamiento de Barcelona quien gestione dicha empresa, consiguiendo, así, que la inversión inicial dependa exclusivamente de éste. No obstante, para no generar pérdidas al Ayuntamiento, y que éste sea proclive a acometer la financiación de la operación, se decide cobrar, en función del dinero que se haya recuperado hasta la fecha de estudio en cuestión y del consumo de cada hogar, una tarifa energética a cada vivienda que quiera disponer de dicho servicio. Huelga decir, que la tarifa a pagar sería siempre menor que

el importe de la tarifa que cobraría cualquier empresa comercializadora energética por proporcionar el suministro.

En resumen, el Ayuntamiento de Barcelona será capaz, con el tiempo, de recuperar la totalidad de la inversión a la par que el usuario, que forma parte del sistema energético de Canyelles, obtendrá un sustancial ahorro en su factura energética.

Cabe destacar, que en caso de que el Ayuntamiento empezase a ganar dinero, éste debería reinvertirlo en el sistema, ya fuese costeando el mantenimiento regular de las instalaciones o equipos, comprando nuevos equipos en caso de quedar éstos obsoletos, o, si fuese posible, rebajando aún más la tarifa energética al usuario.

Por consiguiente, para llevar a cabo el análisis económico se ha tenido en cuenta:

- (i) La inversión inicial de cada equipo, la cual se muestra en la tabla 17.
- (ii) Los costes de la obra civil para llevar a cabo el proyecto, los cuales se han obtenido a partir del generador de precios del CYPE (43), y que se muestran en la tabla 18.
- (iii) La vida útil de cada equipo.
- (iv) Una estimación de que, hasta el quinto año del proyecto, no todos los ciudadanos de Canyelles habrán contratado el servicio energético del Ayuntamiento.
- (v) El coste que supone el consumo de agua cada año.
- (vi) En caso de no producir suficiente electricidad en el momento de la demanda, el hecho de que ésta deberá comprarse a la red eléctrica, y que tendrá un coste de 81,18€/MWh (el cual irá aumentando cada año un 4% respecto el año anterior).
- (vii) En caso de necesitarse gas para cubrir la demanda de ACS o calefacción, que éste se comprará a un precio estable de 0,0446€/kWh.
- (viii) El coste de los salarios, teniendo en cuenta que habrá 5 turnos de trabajo compuesto por 2 trabajadores (pues la instalación requerirá de supervisión las 24h del día, los 7 días de la semana), y que cada año el salario aumentará un 1,5% respecto del año anterior.



- (ix) En caso de que sobre energía eléctrica, por alta producción y baja demanda, ésta se venderá a la red eléctrica a 53€/MWh (teniendo en consideración que cada año irá subiendo el precio un 3% respecto el anterior).
- (x) El presupuesto anual para el mantenimiento del sistema global será de un 5% respecto de la inversión inicial.
- (xi) Y que deberá comprarse el terreno ubicado en la parte superior del barrio de Canyelles, para la instalación tanto del centro de generación energética como de las placas fotovoltaicas.

Tomando, por tanto, en consideración todos los puntos descritos, se consigue calcular la factura anual que deberá pagar, cada año, el barrio de Canyelles, por el servicio energético del sistema, estimando que éste tendrá, como mínimo, una esperanza de vida de más de 50 años.

No obstante, lo importante de esta medida radica en el ahorro que esta factura representará para cada uno de los habitantes de Canyelles, en comparación con lo que tendrían que pagar si continuaran contratando el servicio eléctrico y térmico directamente a una empresa habitual del sector.

Así pues, el ahorro acumulado será del 21% en 25 años, del 34% en 35, del 48% en 50, y del 54% en 60.

A continuación, se presenta (i) la tabla 14, con el resultado del ejercicio, (ii) la tabla 15, con el coste que le supondría al barrio, en función del año, continuar contratando un servicio energético convencional, (iii) la tabla 16, con el ahorro que el barrio de Canyelles tendría en la factura, si en vez de pagar a una empresa energética habitual, contratara el servicio del Ayuntamiento, (iv) la tabla 17, con la inversión inicial de cada equipo y su vida útil, y (v) la tabla 18, con el coste de la obra civil:

SISTEMA PROPUESTO	AÑO 0	ACUMULADO AÑO 25	ACUMULADO AÑO 35	ACUMULADO AÑO 50	ACUMULADO AÑO 60
<b>INGRESOS</b>					
• Ingreso Tarifa Térmica		12.313.456,50 €	15.323.992,43 €	18.715.115,19 €	20.223.799,01 €
• Ingreso Tarifa Eléctrica		44.825.741,98 €	65.774.291,95 €	93.870.105,54 €	106.357.133,80 €
• Ingreso venta Electricidad Red		5.572.978,12 €	9.502.270,21 €	16.249.362,00 €	20.747.423,18 €
• Subvención	4.500.000,00 €				
<b>TOTAL</b>	<b>4.500.000,00 €</b>	<b>62.712.176,60 €</b>	<b>90.600.554,60 €</b>	<b>128.834.582,72 €</b>	<b>147.328.356,00 €</b>
<b>GASTOS</b>					
• Coste Energía Eléctrica comprada		- 9.099.722,83 €	- 16.541.774,71 €	- 29.849.967,24 €	- 38.722.095,60 €
• Coste Gas Natural		- 699.489,79 €	- 999.058,24 €	- 1.448.410,91 €	- 1.747.979,35 €
• Coste Agua		- 2.392,00 €	- 3.312,00 €	- 4.692,00 €	- 5.612,00 €
• Obra Civil	- 9.285.257,00 €				
• Coste Mantenimiento Térmico		- 3.101.229,16 €	- 4.429.378,70 €	- 6.421.603,00 €	- 7.749.752,53 €
• Coste Mantenimiento Eléctrico		- 9.985.727,40 €	- 14.262.270,18 €	- 20.677.084,36 €	- 24.953.627,14 €
• Equipo Térmico+Eléctrico+Fotovoltaico	- 10.692.434,56 €	- 1.160.613,06 €	- 11.743.949,92 €	- 12.370.686,28 €	- 12.371.491,28 €
• Coste personal técnico		- 11.437.085,24 €	- 17.347.835,33 €	- 28.039.873,30 €	- 36.616.048,68 €
• Coste Compra Terreno	- 9.332.465,40 €				
• Coste Honorarios Profesionales	- 16.800,00 €				
<b>TOTAL</b>	<b>- 29.326.956,96 €</b>	<b>- 35.486.259,48 €</b>	<b>- 65.327.579,07 €</b>	<b>- 98.812.317,08 €</b>	<b>- 122.166.606,59 €</b>
<b>RESULTADO</b>					
<b>TOTAL</b>		<b>2.398.960,16 €</b>	<b>446.018,57 €</b>	<b>5.195.308,68 €</b>	<b>334.792,45 €</b>

Tabla 14. Resultado del análisis económico del sistema global a 60 años vista

SISTEMA CONVENCIONAL	ACUMULADO AÑO 25	ACUMULADO AÑO 35	ACUMULADO AÑO 50	ACUMULADO AÑO 60
<b>GASTOS</b>				
• Coste Electricidad	- 62.116.318,11 €	- 109.800.808,01 €	- 195.072.112,94 €	- 251.919.593,13 €
• Coste Gas Natural	- 9.918.719,82 €	- 13.886.207,74 €	- 19.837.439,63 €	- 23.804.927,56 €
<b>TOTAL</b>	<b>- 72.035.037,92 €</b>	<b>- 123.687.015,76 €</b>	<b>- 214.909.552,57 €</b>	<b>- 275.724.520,69 €</b>

Tabla 15. Coste de contratación de un sistema energético convencional

	AÑO 25	AÑO 35	AÑO 50	AÑO 60
<b>AHORRO</b>	14.895.839,45 €	42.588.731,37 €	102.324.331,85 €	149.143.587,87 €
<b>% AHORRO</b>	21%	34%	48%	54%

Tabla 16. Ahorro económico que supone el proyecto en la factura, versus un sistema energético convencional

	Uds	Precio [€/u]	Precio Total	Vida útil [años]
<b>Equipos Sistema Térmico ACS</b>				
Bomba de Calor	2	292.500,00 €	585.000,00 €	25
Bomba de Circulación	4	200,00 €	800,00 €	20
Variador de frecuencia	1	59,99 €	59,99 €	25
Intercambiadores	75	399,00 €	29.925,00 €	20
Acumulador ACS	1	1.480,00 €	1.480,00 €	10
Caldera de Gas	1	1.246,18 €	1.246,18 €	15
Tubería Dint 90 mm	4	161,50 €	646,00 €	50
Tubería Dint 73,6 mm	2	155,50 €	311,00 €	50
Tubería Dint 61,4 mm	4	103,10 €	412,40 €	50
Tubería Dint 51,4 mm	4	75,53 €	302,12 €	50
Tubería Dint 40,8 mm	5	67,50 €	337,50 €	50
Tubería Dint 32,6 mm	2	54,90 €	109,80 €	50
<b>Equipos Sistema Térmico Calefacción</b>				
Bomba de Calor	6	292.500,00 €	1.755.000,00 €	25
Bomba de Circulación	4	1.499,62 €	5.998,48 €	20
Variador de frecuencia	1	113,99 €	113,99 €	25
Intercambiadores	75	672,00 €	50.400,00 €	20
Acumulador agua caliente	1	3.646,70 €	3.646,70 €	10
Caldera de Gas	1	4.490,00 €	4.490,00 €	15
Tubería Dint 163,6 mm	74	150,5	11.137,00 €	50
Tubería Dint 130,8 mm	31	89,55	2.776,05 €	50
Tubería Dint 102,2 mm	70	48,7	3.409,00 €	50
Tubería Dint 90 mm	38	38,95	1.480,10 €	50
Tubería Dint 73,6 mm	35	25,15	880,25 €	50
Tubería Dint 61,4 mm	4	18,35	73,40 €	50
Tubería Dint 51,4 mm	8	12,45	99,60 €	50
<b>Equipos Sistema Fotovoltaico</b>				
Paneles solares Fotovoltaicos	30210	255,00 €	7.703.550,00 €	25
Inversores	15	35.250,00 €	528.750,00 €	10

<b>TOTAL</b>	<b>10.692.434,56 €</b>
--------------	------------------------

Tabla 17. Inversión inicial de cada equipo del sistema y su vida útil

OBRA CIVIL	COSTE
Perforación Pozo + Instalación Geotérmica	5.520.000,00 €
Zanjas Tuberías red de distribución	322.867,00 €
Estructura paneles fotovoltaicos	996.975,00 €
Desbrozar parcela paneles Fotovoltaicos	38.178,00 €
Gestión de Residuos	3.227,00 €
Seguridad y Salud Obra Civil	21.950,00 €
Nuevas instalaciones de Gas viviendas	2.205.000,00 €
Instalación de Control	177.060,00 €
<b>TOTAL</b>	<b>9.285.257,00 €</b>

Tabla 18. Coste de la obra civil de la propuesta urbanística

## 8. ESTUDIO DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

Antes de concluir el estudio de la propuesta urbanística, es importante realizar un ejercicio en el que se mida y cuantifique el impacto medioambiental que supone el proyecto presentado. Dicho en otras palabras, es necesario calcular cuantitativamente tanto la implicación que, medioambientalmente, conlleva instaurar un sistema térmico-eléctrico basado en energías renovables, como lo que supondría basar la misma en un sistema de quema de combustibles, con el fin de comparar ambos sistemas y constatar el beneficio y las bondades que suponen para el planeta la ejecución de proyectos como éste.

Así pues, para calcular el beneficio medioambiental que comporta esta propuesta urbanística se recurrirá al concepto de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes, el cual determina la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> que el sistema evita.

En síntesis, esto supone tener que responder al siguiente interrogante: ¿cuánto menos CO<sub>2</sub> genera este sistema comparado con lo que generaría, en las mismas condiciones, otro sistema basado en una generación energética convencional de combustibles fósiles?

Ni que decir tiene, que, cuanto mayor sea el número de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente de un sistema, más sostenible será éste y, por lo tanto, mayor huella de carbono conseguirá compensar.

En este sentido, según el IDAE, se pueden cuantificar las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes (en kilos) que supone el sistema renovable, aplicando un factor de emisión de 0,385 kg de CO<sub>2</sub> por cada kWh de energía eléctrica producido en la península (44).

Cabe recordar que este proyecto en ocasiones dependerá de sistemas energéticos convencionales, ya sea porque deba comprarse energía eléctrica a la red, al no tener suficiente capacidad de generación fotovoltaica, o porque deba quemarse gas natural, debido a la existencia de elevados picos de consumo de calefacción o de ACS. Esto supondrá, en consecuencia, que deban descontarse del cálculo de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente aquellos kWh eléctricos de los que se desconoce su procedencia o aquellos que se generen mediante la combustión del gas natural.

Asimismo, para realizar el cálculo de las emisiones de CO<sub>2</sub> que se conseguirán evitar gracias a esta propuesta, se distinguirá entre kWh eléctricos y kWh térmicos.

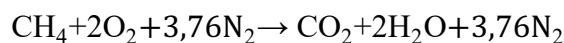
### Eléctricos

Por un lado, suponiendo que anualmente el barrio de Canyelles consume 16.929.625 kWh eléctricos de la red, y que con la propuesta urbanística tan solo requerirá de 2.642.188 kWh de ésta, el ahorro anual de emisiones de CO<sub>2</sub>, en lo referente a la electricidad, será el siguiente:

$$CO_{2\text{ equivalente}} = (16.929.625 - 2.642.188) \frac{kWh}{\text{año}} \cdot \frac{0,385 \text{ kg } CO_2}{kWh} = 5.500.663 \frac{kg}{\text{año}}$$

### Térmicos

Por otro lado, y previendo que anualmente Canyelles consume 8.772.614 kWh térmicos producidos por la combustión de Gas Natural, y que, con el sistema a implementar, tan solo se consumirán 646.936 kWh de éste, el ahorro anual de emisiones de CO<sub>2</sub>, en lo referente al servicio de calefacción y ACS, se muestra en el cálculo recogido más abajo. Para éste, se ha tomado como referencia que el PCS (poder calorífico superior) del Gas Natural es igual a 11,7 kWh/m<sup>3</sup>, que su densidad es de 0,737 kg/m<sup>3</sup>, y que la relación de combustión es la que se muestra en el cuadro (se debe tener en cuenta que el Gas Natural está compuesto por un 95% de metano):



$$Kg \text{ de GN} = (8.772.614 - 646.936) \frac{kWh}{\text{año}} \cdot \frac{1 \text{ m}^3 \text{ GN}}{11,7 \text{ kWh}} \cdot \frac{0,737 \text{ kg GN}}{1 \text{ m}^3 \text{ GN}} = 511.848 \frac{kg \text{ GN}}{\text{año}}$$

$$CO_2 \text{ evitado} = 511.848 \frac{kg \text{ GN}}{\text{año}} \cdot \frac{1 \text{ kmol GN}}{16 \text{ kg GN}} \cdot \frac{1 \text{ kmol } CO_2}{1 \text{ kmol GN}} \cdot \frac{44 \text{ kg } CO_2}{1 \text{ kmol } CO_2} = 1.407.583 \frac{kg \text{ CO}_2}{\text{año}}$$

Finalmente, y considerando que, en la construcción de las instalaciones nuevas del sistema global, el CO<sub>2</sub> emitido por las máquinas será aproximadamente de 19.000 toneladas de CO<sub>2</sub> (datos calculados por el CYPE), se obtiene, a partir de la suma de los cálculos anteriores del ahorro de CO<sub>2</sub>, y de las emisiones de las máquinas, que el total de emisiones de CO<sub>2</sub> que el sistema evitará al año será igual a **6.592 toneladas de CO<sub>2</sub>**.

## 9. CONCLUSIONES

La principal conclusión de este proyecto es que materialmente un sistema como el planteado, puede ejecutarse sin mayores problemas, pues está capacitado para cubrir perfectamente las necesidades energéticas de la población. Además, debido a la magnitud del proyecto, pueden utilizarse sistemas energéticamente más eficientes que los que se pueden llegar a utilizar en instalaciones individuales, pues la inversión inicial requerida, proporcionalmente, no es tan elevada, y el rendimiento de una sola máquina, cuando ésta encima tiene una gran potencia, es mejor que el rendimiento global de muchos equipos individuales.

Asimismo, con la implantación de este sistema, (i) se evitarán posibles fugas de gas en las viviendas (haciéndolas más seguras), (ii) se evitará la emisión de 6592 toneladas de CO<sub>2</sub> cada año, y (iii) se conseguirá reducir la factura de electricidad que deben abonar los residentes de Canyelles, hasta en un 50%, sin generar pérdidas al inversor (Ayuntamiento).

No obstante, la ejecución de un proyecto de estas características, a día de hoy, no puede realizarse, sin más, en cualquier barrio, ya que hay diversos factores que lo dificultan: las obras llevarían a una paralización del barrio; se precisará disponer de un gran espacio para ubicar e instalar las placas fotovoltaicas; se requerirá tener una superficie de terreno apta para perforar los pozos geotérmicos; incluso, en muchos casos, también será necesario llevar a cabo una recalificación de los terrenos; problemas, todos ellos, que dificultan, aun más si cabe, el desarrollo de la propuesta planteada.

En todo caso, es conveniente remarcar que un sistema basado en energías renovables, a día de hoy, solo puede funcionar eficientemente si tiene el apoyo de fuentes energéticas convencionales (basadas en la quema de combustibles fósiles), salvo que se sobredimensione muchísimo su capacidad de generación energética, implicando, entonces, que su viabilidad económica disminuya hasta el punto, quizás, de hacerlo inviable.

Por otro lado, la opción de que para materializar esta propuesta sea necesaria la implicación del Ayuntamiento, creando, tal y como se ha comentado anteriormente, una empresa energética de carácter público, inviabiliza en cierto modo el proyecto, pues, desgraciadamente, hoy por hoy, la inversión privada es la que acomete las grandes inversiones

millonarias, siempre y cuando el proyecto le ofrezca una atractiva rentabilidad. Por ello, si el actual proyecto no presenta una mínima rentabilidad futura, a pesar de generar un ahorro a los ciudadanos y satisfacer el interés común en su vertiente medioambiental al ayudar no contaminando el planeta, lo más probable es que ninguna empresa privada se decida a apostar e invertir en él.

Finalmente, se consigue demostrar que llevar a la práctica una idea como ésta es merecedora de una oportunidad, no solo por el ahorro sustancial que puede llegar a generar, sino porque, paralelamente, favorece al medio ambiente. Además, bien gestionada y ejecutada, puede derivar en la formación de cambios de mentalidad en la población en la que se desarrolle el proyecto, consiguiendo que se promuevan y fomenten conceptos tales como la eficiencia energética, la sostenibilidad y la autosuficiencia.



## 10. BIBLIOGRAFÍA

1. **ONU.** Naciones Unidas. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. *Las ciudades seguirán creciendo, sobre todo en los países en desarrollo.* [En línea] 16 de mayo de 2018. [Citado el: 4 de marzo de 2021.]  
<https://www.un.org/development/desa/es/news/population/2018-world-urbanization-prospects.html>.
2. **Florencia, Sánchez R.** LADERA SUR. *Ecobarrios: En búsqueda de un urbanismo más sostenible.* [En línea] 18 de febrero de 2020. [Citado el: 9 de marzo de 2021.]  
<https://laderasur.com/articulo/ecobarrios-en-busqueda-de-un-urbanismo-mas-sostenible/>.
3. **Ajuntament de Barcelona.** [www.barcelona.cat](http://www.barcelona.cat). *Estadística i Difusió de Dades.* [En línea] 2021. [Citado el: 2 de marzo de 2021.]  
[https://ajuntament.barcelona.cat/estadistica/catala/Estadistiques\\_per\\_territori/Barris/Habitatge\\_i\\_mercat\\_immobiliari/Dades\\_cadastrals/habitatges/a2021/sup2021.htm](https://ajuntament.barcelona.cat/estadistica/catala/Estadistiques_per_territori/Barris/Habitatge_i_mercat_immobiliari/Dades_cadastrals/habitatges/a2021/sup2021.htm).
4. **IDAE.** IDAE. *Análisis del consumo energético del sector residencial en España.* [En línea] 16 de julio de 2011. [Citado el: 2 de marzo de 2021.]  
[https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_Informe\\_SPAHOUSESEC\\_ACC\\_f68291a3.pdf](https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Informe_SPAHOUSESEC_ACC_f68291a3.pdf).
5. **Abraham.** Nergiza. *Calefacción eléctrica por efecto Joule: el calor más simple.* [En línea] 7 de octubre de 2013. [Citado el: 3 de abril de 2021.] <https://nergiza.com/calefaccion-electrica-por-efecto-joule-el-calor-mas-simple/>.
6. **Carbonell, Marcos.** HOGARSENSE. *Termo eléctrico de bajo consumo .* [En línea] 16 de marzo de 2021. [Citado el: 3 de abril de 2021.] <https://www.hogarsense.es/agua-caliente/termo-electrico-eficiente>.
7. **Abele, Christian.** HOGARSENSE. *Caldera estanca o de condensación: ¿cuál me conviene más?* [En línea] 2 de julio de 2021. [Citado el: 4 de abril de 2021.]  
<https://www.hogarsense.es/calefaccion/caldera-estanca-o-condensacion>.
8. **Ministerio Fomento.** [codigotecnico](http://codigotecnico.org). *Documento Básico HE - Código Técnico.* [En línea] 20 de Diciembre de 2019. [Citado el: 23 de junio de 2021.]  
<https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HE/DccHE.pdf>.
9. **IDAE.** IDAE. *Guía técnica agua caliente sanitaria central.* [En línea] junio de 2010. [Citado el: 5 de julio de 2021.]  
[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).
10. **SALVADOR ESCODA S.A.** SALVADOR ESCODA S.A. *Agua Caliente Sanitaria.* [En línea] [Citado el: 13 de junio de 2021.]  
[https://www.salvadorescoda.com/tarifas/Agua\\_Caliente\\_Sanitaria\\_Tarifa\\_PVP\\_SalvadorEscoda.pdf](https://www.salvadorescoda.com/tarifas/Agua_Caliente_Sanitaria_Tarifa_PVP_SalvadorEscoda.pdf).

11. **Ecoclimagroup.** Ecoclimagroup. *Caldera Wolf CGB 20 - Condensación Sólo Calefacción.* [En línea] [Citado el: 30 de julio de 2021.] <https://www.ecoclimagroup.com/calderas/calderas-murales-a-gas/831-caldera-wolf-cgb-20-condensacion-solo-calefaccion.html>.
12. **Electro Engineering.** Circalefacción. *Intercambiador de Calor - Acondicionamiento Térmico.* [En línea] [Citado el: 4 de junio de 2021.] [https://www.circalefaccion.com/adj/images/archivos/manual\\_intercambiador\\_electro.pdf](https://www.circalefaccion.com/adj/images/archivos/manual_intercambiador_electro.pdf).
13. **Bruno.** ingenierosindustriales.com. *Procedimiento de cálculo de tuberías para una instalación de fontanería.* [En línea] [Citado el: 25 de mayo de 2021.] <https://www.ingenierosindustriales.com/procedimiento-de-calculo-de-tuberias-para-una-instalacion-de-fontaneria/>.
14. **Ugr.** *Diseño del Sistema de Tuberías y Cálculo de las Bombas.* [En línea] [Citado el: 25 de mayo de 2021.] <https://www.ugr.es/~aulavirtualpfcicq/descargas/documentos/BOMBAS%20Y%20TUBERIAS.pdf>.
15. **Configuración de redes de agua para instalaciones de refrigeración y climatización así como de conductos de aire.** Junta de Andalucía. [En línea] [Citado el: 2021 de junio de 16.] [http://www.juntadeandalucia.es/averroes/centros-tic/21700502/moodle/file.php/76/2\\_Curso/0039.\\_Configuracion\\_de\\_instalaciones\\_de\\_frio\\_y\\_climatizacion/Capitulo\\_II/Cap\\_II\\_Ud\\_3\\_0039c.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/averroes/centros-tic/21700502/moodle/file.php/76/2_Curso/0039._Configuracion_de_instalaciones_de_frio_y_climatizacion/Capitulo_II/Cap_II_Ud_3_0039c.pdf).
16. **Tupersa.** Catálogo TERRA 2019. *Tupersa.* [En línea] 2019. [Citado el: 3 de junio de 2021.] [https://tupersa.com/wp-content/uploads/Catalogo-TERRA-2019\\_tuberias-preaisladas.pdf](https://tupersa.com/wp-content/uploads/Catalogo-TERRA-2019_tuberias-preaisladas.pdf).
17. **Pirobloc.** PIROBLOC. *Cálculo de pérdidas de carga.* [En línea] 10 de enero de 2019. [Citado el: 29 de abril de 2021.] <https://www.pirobloc.com/blog-es/calculo-perdidas-carga/>.
18. **topographic-map.** topographic-map.com. *Mapa topográfico España, altitud, relieve.* [En línea] [Citado el: 21 de julio de 2021.] <https://es-es.topographic-map.com/maps/60lb/Espa%C3%B1a/>.
19. **IDAE.** IDAE. *Guía técnica para el diseño y el cálculo del aislamiento térmico en conducciones, aparatos y equipos.* [En línea] 2007. [Citado el: 8 de julio de 2021.] [https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_10540\\_Disenyo\\_y\\_calculos\\_aislamiento\\_AISLAM\\_GT3\\_07\\_01ee3c15.pdf](https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10540_Disenyo_y_calculos_aislamiento_AISLAM_GT3_07_01ee3c15.pdf).
20. **Weatherspark.** Weatherspark. *El clima y el tiempo promedio en todo el año en Barcelona.* [En línea] [Citado el: 15 de julio de 2021.] <https://es.weatherspark.com/y/47213/Clima-promedio-en-Barcelona-Espa%C3%B1a-durante-todo-el-a%C3%B1o>.
21. **UNE.** UNE Normalización Española. *Aislamiento térmico para equipos de edificación e instalaciones industriales. Método de cálculo. (ISO 12241:2008).* [En línea] 2010. [Citado el: 8 de julio de 2021.] <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0046295>.
22. **Made-in-China.** Made-in-China. *El uso interno de 0,75 KW con 1,5 kw de potencia la circulación de la bomba de agua .* [En línea] [Citado el: 11 de agosto de 2021.] [https://es.made-in-china.com/co\\_swimmingpool/product\\_Domestic-Use-0-75kw-1-5kw-Power-Circulating-Water-Pump\\_rnyeenshg.html](https://es.made-in-china.com/co_swimmingpool/product_Domestic-Use-0-75kw-1-5kw-Power-Circulating-Water-Pump_rnyeenshg.html).

23. **Carrier.** Carrier. *Calefacción Inteligente - Carrier*. [En línea] [Citado el: 31 de julio de 2021.] [https://www.carrier.com/commercial/es/es/media/NE1839A\\_10026\\_Commercial%20brochure\\_12\\_2018\\_61XWHZE\\_tcm205-59431.pdf](https://www.carrier.com/commercial/es/es/media/NE1839A_10026_Commercial%20brochure_12_2018_61XWHZE_tcm205-59431.pdf).
24. **IDAE.** IDAE. *Guía técnica - Diseño de sistemas de intercambio geotérmico de circuito cerrado*. [En línea] junio de 2021. [Citado el: 1 de agosto de 2021.] [https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones\\_idae/documentos\\_14\\_guia\\_tecnica\\_diseno\\_de\\_sistemas\\_de\\_intercambio\\_geotermico\\_de\\_circuito\\_cerrado\\_1a7cff37.pdf](https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/documentos_14_guia_tecnica_diseno_de_sistemas_de_intercambio_geotermico_de_circuito_cerrado_1a7cff37.pdf).
25. **Instituto Geológico y Minero de España.** IGME. *Mapa Geológico de España*. [En línea] [Citado el: 4 de agosto de 2021.] [http://info.igme.es/cartografiadigital/datos/magna50/pdfs/d4\\_G50/Magna50\\_421.pdf](http://info.igme.es/cartografiadigital/datos/magna50/pdfs/d4_G50/Magna50_421.pdf).
26. **Schoennenbeck Grohnert, Pablo.** UPCommons. *Bombas de calor geotérmicas. Diseño de intercambiadores de calor verticales enterrados*. [En línea] junio de 2014. [Citado el: 6 de agosto de 2021.] <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/23032?locale-attribute=es>.
27. **Wikipedia, La enciclopedia libre.** Wikipedia. *Grados día de calefacción*. [En línea] 5 de diciembre de 2020. [Citado el: 16 de agosto de 2021.] [https://es.wikipedia.org/wiki/Grados\\_d%C3%ADa\\_de\\_calefacci%C3%B3n](https://es.wikipedia.org/wiki/Grados_d%C3%ADa_de_calefacci%C3%B3n).
28. **Fornieles, Francesc.** Francesc Fornieles. *Qué son los grados día*. [En línea] 2 de septiembre de 2017. [Citado el: 11 de agosto de 2021.] <https://fornieles.es/gestion-energetica/que-son-los-grados-dia/>.
29. **BizEE.** BizEE - Degree Days. *Heating & Cooling Degree Days - Free Worldwide Data Calculation*. [En línea] [Citado el: 14 de agosto de 2021.] [www.degreedays.net](http://www.degreedays.net).
30. **Merkasol.** Merkasol. *Acumulador Depósito de Inercia 5000 litros*. [En línea] [Citado el: 18 de agosto de 2021.] [https://merkasol.com/epages/62387086.sf/?Locale=es\\_ES&ObjectPath=/Shops/62387086/Products/acumulador042&ViewAction=ViewProductViaPortal&esp=googlemerchan&gclid=CjwKCAjwyvaJBhBpEiwA8d38vAHWYquwE\\_yXfK-D\\_n2OnsLsA2dEtiI6T6IzwiMAkRoqrn0QFqGQHxoCKbAQAvD\\_BwE](https://merkasol.com/epages/62387086.sf/?Locale=es_ES&ObjectPath=/Shops/62387086/Products/acumulador042&ViewAction=ViewProductViaPortal&esp=googlemerchan&gclid=CjwKCAjwyvaJBhBpEiwA8d38vAHWYquwE_yXfK-D_n2OnsLsA2dEtiI6T6IzwiMAkRoqrn0QFqGQHxoCKbAQAvD_BwE).
31. **Wolf.** Wolf. *Caldera mural de condensación a gas de hasta 68KW*. [En línea] [Citado el: 3 de agosto de 2021.] <https://spain.wolf.eu/portalparaprofesionales/sistemas-wolf/generacion-de-calor-con-tecn-de-condensacion/caldera-mural-de-condensacion-a-gas-de-hasta-68kw-cgb-2-1/>.
32. **FLX.** DT INGENIERIA. *Emisión térmica de un radiador. 60 °C de temperatura media*. [En línea] 1 de junio de 2015. [Citado el: 12 de julio de 2021.] <https://dtingenieria.wordpress.com/2015/06/01/emision-termica-de-un-radiador-60-oc-de-temperatura-media/>.
33. **Martin Flores, Juan Antonio.** Silo Tips. *Electro Engineering*. [En línea] 5 de Febrero de 2016. [Citado el: 20 de Agosto de 2021.] <https://silo.tips/download/los-especialistas-en-calefaccion-de-piscinas>.

34. **Reboca.** Repolen. *Ficha técnica tubería PPR Faser Clima - Isoterm.* [En línea] [Citado el: 17 de Agosto de 2021.] <https://www.isoterm.es/fotos-productos/climatizacion/repolen-tuberia-ppr/tuberia-ppr/tubo-repolen-clima-ficha-tecnica.pdf>.
35. **Greening.** Greening. *El precio del excedente vertido a la red y sistemas de compensación.* [En línea] [Citado el: 3 de septiembre de 2021.] <https://greening-e.com/el-precio-del-excedente-vertido-a-la-red-y-sistemas-de-compensacion/>.
36. **todoensolar.** Todo en energía solar. *Panel solar de 500W 24V y 96 celdas Bluesun.* [En línea] [Citado el: 6 de septiembre de 2021.] <https://www.todoensolar.com/panel-solar-500w-24v-96-celdas>.
37. **yubasolar.** YUBA. *Rendimiento de una instalación fotovoltaica.* [En línea] [Citado el: 6 de septiembre de 2021.] <http://www.yubasolar.net/2015/03/rendimiento-de-una-instalacion.html>.
38. **European Commission.** Photovoltaic Geographical Information System. *Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS).* [En línea] [Citado el: 26 de julio de 2021.] [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/es/#PVP](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/#PVP).
39. **Ajuntament de Barcelona.** [www.barcelona.cat](http://www.barcelona.cat). *Portal d'Informació Urbanística BCN.* [En línea] [Citado el: 1 de marzo de 2021.] <https://ajuntament.barcelona.cat/informaciourbanistica/cerca/ca/>.
40. **Aura Energía.** Aura Energía. *Tarifas Luz Industria Península.* [En línea] [Citado el: 8 de septiembre de 2021.] <https://www.aura-energia.com/tarifas-luz-industria-peninsula/>.
41. **Red Eléctrica de España.** Red Eléctrica de España. *Precio final de la energía.* [En línea] [Citado el: 8 de septiembre de 2021.] <https://www.esios.ree.es/es/mercados-y-precios>.
42. **Ayuntamiento de Barcelona.** [www.barcelona.cat](http://www.barcelona.cat) . *Energía Barcelona.* [En línea] [Citado el: 8 de Septiembre de 2021.] <https://energia.barcelona.es/ayudas-y-subsidios-convocatoria>.
43. **CYPE Ingenieros, S.A.** Generador de precios. España. *Generador de precios de la construcción. España. CYPE.* [En línea] [Citado el: 9 de septiembre de 2021.] <http://www.generadordeprecios.info/>.
44. **IDAE.** IDAE. *Auditorías Energéticas en Instalaciones Ganaderas - Parte 2: Protocolo para la realización de auditorías energéticas en instalaciones ganaderas y ejemplos de auditorías en cuatro instalaciones.* [En línea] junio de 2010. [Citado el: 6 de septiembre de 2021.] [https://www.idae.es/sites/default/files/publications/online/477/idae%202010%20agricultura%2015%20af%20alta\\_opf\\_files/pdfs/IDAE%202010%20-%20Agricultura%2015%20AF%20ALTA-.pdf](https://www.idae.es/sites/default/files/publications/online/477/idae%202010%20agricultura%2015%20af%20alta_opf_files/pdfs/IDAE%202010%20-%20Agricultura%2015%20AF%20ALTA-.pdf).

