

MÁSTER UNIVERSITARIO EN Ingeniería Industrial

TRABAJO FIN DE MÁSTER

INTEGRACIÓN DE SISTEMAS SOLARES NO ACRISTALADOS EN EL MARCO DE SISTEMAS COMBINADOS AISLADOS

Alumna *Palacios, Fernández de Arróyabe, Marina*
Director *Martin, Escudero, Koldobika*
Departamento Máquinas y motores térmicos
Curso académico 2017-2018

Bilbao, 4, junio, 2018

Índice

I. RESUMEN TRILINGÜE.....	3
II. LISTA DE TABLAS, ILUSTRACIONES Y ECUACIONES.....	5
III. MEMORIA.....	8
1. Introducción.....	9
2. Contexto.....	12
3. Objetivos y alcance del trabajo	14
4. Beneficios que aporta el trabajo.....	15
5. Análisis del estado del arte.....	17
5.1 Sistema solar	20
5.2 Bomba de calor	24
5.3 Depósito de acumulación	24
5.4 Sistema combinado	26
6. Análisis de alternativas.....	31
7. Descripción de la solución propuesta.....	32
IV. METODOLOGÍA SEGUIDA EN EL DESARROLLO DEL TRABAJO	34
8. Descripción de fases.....	35
9. Diagrama de Gantt/cronograma	47
10. Cálculos, algoritmos	49
11. Descripción de los resultados	51
V. ASPECTOS ECONÓMICOS	69
12. Descripción del presupuesto y/o del presupuesto ejecutado	70
VI.CONCLUSIONES.....	79
VII. BIBLIOGRAFÍA	83
ANEXO I: Código Técnico	85
ANEXO II: Desglose del precio de los sistemas	87

I. RESUMEN TRILINGÜE

La necesidad de reducir la dependencia energética de los edificios origina la búsqueda de alternativas sostenibles para fomentar el uso de sistemas renovables de generación de energía.

En este proyecto se presenta un innovador sistema combinado con aportación solar para su instalación sobre la fachada de un edificio. Incorpora la novedad del uso de una bomba de calor híbrida que permite su funcionamiento con dos modos de funcionamiento agua-agua y aire-agua. Con este proyecto se busca analizar este sistema para distintas localizaciones para poder analizar su impacto sobre el mercado de la edificación actual e introducir un sistema con numerosas ventajas arquitectónicas, puesto que su integración en fachada permite un mayor aprovechamiento del espacio disponible.

Eraikinen energia kontsumoa murritzearen beharrak, alternatiba berriztagarrien bilaketa sustatzen du.

Proiektu honetan eraikinen berokuntzarako sistema konbinatu berri bat aztertzen da. Sistema honetan Heat Pump sistema hibrido bat proposatzen da, energia iturri bezala, eraikinen fatxadan instalatutako sistema solarra erabiltzen duena. Sistema honek, bi bero iturriren artean, egokiena erabiltzen du, aire-ur eta ur-ur modoetan operatu daitekeena. Proiektu honen bitartez, sistema honen azterketa tekniko-ekonomiko egiten da, Europar-mendebaldeko zenbait klimatan, eraikinen fatxadetan integratua izateko dituen abantailak aztertuz.

Nowadays, due to the necessity of reducing the energetic dependency, there has been an increase in the research of sustainable systems. The aim is to promote renewable sources of energy.

In this project it is presented an innovative combined system with solar contribution to be installed in the façade of a residential building. It is included a hybrid heat pump that has two working modes: water-water and air-water. The objective is to analyze the system in different climates and compare the results, to evaluate the impact of the combined system in the actual market of residential buildings.



II. LISTA DE TABLAS, ILUSTRACIONES Y ECUACIONES

Ilustración 1. Mapa solar España, fuente IDAE [7]	13
Ilustración 2. Ejemplo sistema hidráulico con conexión en paralelo.....	18
Ilustración 3. Ejemplo sistema hidráulico con conexión en serie-paralelo	18
Ilustración 4. Representación de sistemas “Solar and Heat Pump Systems for Residential Buildings”[8].....	20
Ilustración 5. Tipos de colectores solares “Solar and Heat Pump Systems for Residential Buildings” [8].....	23
Ilustración 6. Esquema de la instalación	32
Ilustración 7. Mapa Europeo	36
Ilustración 8. Perfiles edificio	37
Ilustración 9. Diseño en TRNSYS	38
Ilustración 10. Simulación en TRNSYS.....	39
Ilustración 11. Esquema bomba reversible.....	40
Ilustración 12. Sistema completo	43
Ilustración 13. Esquema bomba de calor	44
Ilustración 14. Tareas de Gantt project.....	47
Ilustración 15. Diagrama de Gantt	48
Ilustración 16. Mapa de severidad climática, fuente EURIMA [13]	51
Ilustración 17. Climatología mensual	52
Ilustración 18. Climatología semanal	53
Ilustración 19. Radiación solar comparativa	54
Ilustración 20. Demanda mensual	55
Ilustración 21. Demanda semanal.....	56
Ilustración 22. Demanda horaria.....	57
Ilustración 23. Regresiones lineales.....	58
Ilustración 24. Curva teórica de rendimiento	59
Ilustración 25. Temperatura del tanque vs Tiempo Bilbao	60
Ilustración 26. Temperatura del depósito con offset a 5 grados (Bilbao).....	61
Ilustración 27. COP vs Offset.....	62
Ilustración 28. COP vs Offset (optimizado)	63
Ilustración 29. Diagrama de barras Bilbao	65
Ilustración 30. Diagrama de barras Logroño.....	65
Ilustración 31. Diagrama de barras Sevilla.....	66
Ilustración 32. Diagrama de barras Estrasburgo	66
Ilustración 33. Diagrama de Sankey.....	68
Ilustración 34. Costes anuales de la energía	71
Ilustración 35. Inversiones sistemas	73
Ilustración 36. Desglose de precios por sistema	74
Ilustración 37. NPV (€/año) inicial.....	75
Ilustración 38. NPV (€/año) con descuento en fachada.....	77

Tabla 1. Emisiones acumuladas de CO2 evitadas, fuente IDAE	16
Tabla 2. Principales principios para la definición de los límites del sistema, “Solar and Heat Pump Systems for Residential Buildings” [8]	28
Tabla 3. Dimensiones y peso	41
Tabla 4. Ficha técnica de la bomba	41
Tabla 5. Temperaturas mínimas y máximas	53
Tabla 6. Aproximaciones	58
Tabla 7. Parámetros de la curva de rendimiento	59
Tabla 8. Selección de COP	63
Tabla 9. Sensibilidad del depósito	64
Tabla 10 . Payback sistemas iniciales	76
Tabla 11. NPV /años inicial	76
Tabla 12. Payback sistemas (descuento de fachadas)	77
Tabla 13. NPV/ años (descuento de fachadas)	77
Ecuación 1. Fórmula del COP	29
Ecuación 2. Fórmula del SCOP	29
Ecuación 3. Eficiencia del colector solar.....	29

eman ta zabal zazu



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea

BILBOKO
INGENIARITZA ESKOLA

ESCUELA
DE INGENIERÍA DE BILBAO

III. MEMORIA

1. Introducción

Hoy en día el sector de la edificación tiene un consumo de energía de entorno al 40 % del mundial, siendo uno de los sectores que mayor contaminación produce [1]. Así mismo, este sector se encuentra en continua expansión, con consecuencias directas en las emisiones de gases de efecto invernadero. Es en este ámbito donde surge la necesidad de edificación sostenible y con menor dependencia energética. Se promueve una edificación que se ajuste a la Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y de Consejo, del 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios [2].

Las medidas adoptadas por esta directiva incluyen la reducción del consumo de energía junto con un mayor uso de energías renovables. Esta decisión se ha tomado para fomentar la seguridad del abastecimiento energético y el desarrollo tecnológico, así como para ofrecer oportunidades de empleo y desarrollo regional, especialmente en zonas rurales. A través de esta directiva, los Estados miembros se comprometen a establecer unos requisitos mínimos de eficiencia energética

En la búsqueda de fuentes renovables de energía, se encuentra la energía solar. En la actualidad la energía solar es una de las fuentes de energía que presenta mayores potenciales frente a las convencionales, pudiendo llegar a obtener una cantidad de energía muy superior a la de las fuentes fósiles en un periodo de tiempo más reducido [3]. Como consecuencia, cada vez toma más importancia este tipo de energías en la edificación promoviendo su estudio y desarrollo. Hay un requisito cada vez mayor de fracción renovable y de una reducción de consumos.

Este proyecto presenta la idea de instalación de colectores sobre fachada, permitiendo un mayor aprovechamiento del espacio disponible que sobre cubierta y una disposición que presenta ventajas en su utilización en invierno.

A la hora de implantar este tipo de tecnologías hay que tener en cuenta las exigencias del rendimiento, las cuales están detalladas en el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) [4]. Estas exigencias se plasman en:

- Mayor rendimiento energético en los equipos de generación de calor y de frío, así como los destinados al movimiento y transporte de fluidos.
- Mejor aislamiento en los equipos y conducciones de los fluidos térmicos.
- Mejor regulación y control para mantener las condiciones de diseño previstas en los locales climatizados.

- Utilización de energías renovables disponibles, en especial la energía solar y la biomasa.
- Incorporación de subsistemas de recuperación de energía y el aprovechamiento de energías residuales.
- Sistemas obligatorios de contabilización de consumos en el caso de instalaciones colectivas. Desaparición gradual de combustibles sólidos más contaminantes.
- Desaparición gradual de equipos generadores menos eficientes.

Generalmente estos sistemas se emplean para la obtención de agua caliente sanitaria (ACS) y la contribución solar mínima queda reflejada en el Código Técnico de la Edificación (CTE) en su Documento Básico DB-HE Ahorro de Energía [5]. La contribución solar suele representarse mediante una fracción solar o porcentaje sobre la demanda energética anual de ACS, valor que dependerá de la localización y de la demanda total. El consumo energético del servicio de ACS se obtendrá teniendo en cuenta la demanda energética resultante de la aplicación de la sección HE4 del Documento Básico.

La integración arquitectónica se define como una integración controlada y coherente de los colectores solares desde todos los puntos de vista, es decir, a nivel funcional, constructivo y formal.

Aun presentando innumerables ventajas, la tecnología solar está en vías de desarrollo bien puede ser por aspectos económicos, como por la falta de materiales adecuados para su integración en la arquitectura actual. La finalidad es emplear dichos sistemas de manera integrada en los edificios y no como elementos externos, de forma que cumpla con los requisitos funcionales para los que se ha diseñado y constituya un elemento constructivo más del edificio. Para ello deben seguir ciertas pautas a nivel arquitectónico [6]:

- El colector debe acoplarse a la superficie disponible en el edificio
- La integración del módulo solar debe combinarse con los elementos ya existentes
- El material, textura y color del colector debe ser compatible con el resto de materiales

La lista anterior mencionada corresponde con aspectos estéticos, pero se tiene que tener en cuenta que la fachada del edificio tiene que cumplir con los estándares del edificio:

- El colector debe soportar el desgaste por fuego y las condiciones atmosféricas.
- Tiene que resistir cargas de viento, y ser seguro en caso de que se dañe.
- Se tienen que evaluar los riesgos de que los dispositivos sean dañados por vandalismo y tomar las medidas correctas al respecto.
- La sujeción debe evitar puentes térmicos.
- Al incluir sistemas hidráulicos, hay que tener en cuenta las diferencias de presiones a diferentes alturas de la fachada. El sistema tiene que ser accesible y ser seguro.
- Los materiales de la fachada en contacto con los módulos solares tienen que soportar las altas temperaturas de trabajo.

La integración del revestimiento con sistemas solares combinados y bomba de calor permitirá, en última instancia, suministrar energía térmica para calefacción y ACS mediante una tecnología de alta eficiencia.

2. Contexto

Para poder saber en qué escenario está trabajando este proyecto es necesario conocer la situación de la energía solar térmica, tanto a nivel global como a nivel nacional.

La contribución de la energía solar térmica corresponde a un porcentaje aun pequeño en comparación al consumo global. Esto ha comenzado a cambiar en los últimos años debido a un cambio en la mentalidad de la población y a los incentivos que recibe. Actualmente la capacidad de energía solar instalada en el mundo supera a otras fuentes de energía con mayor índice de desarrollo (energía eólica).

Como primer uso de esta tecnología está el uso en producción de ACS, centrándose en esta aplicación gran parte de los estudios. En segundo lugar estaría el aporte de energía a los sistemas de calefacción, un uso que está en auge especialmente en viviendas familiares.

En cuanto a la situación en el mercado, China lidera el mercado mundial, estimándose que alrededor de un 40 % de la potencia instalada reside en dicho país. Siguiendo a China se encuentran Japón, Turquía o Alemania. Europa representa tan sólo un 9% del mercado, aunque en los últimos años ha experimentado un aumento de su capacidad. La investigación de nuevas tecnologías de origen renovable es una de las características europeas. Para fomentar el uso de tecnologías respetuosas con el medioambiente, se conceden ayudas públicas tanto a empresas como a particulares. El objetivo es potenciar la energía solar térmica y aumentar el potencial instalado actual. Este tipo de ayudas se conceden generalmente en modo de subvenciones directas.

Por último se estudia la situación de España en el mercado, siendo el cuarto país europeo, con un 6% respecto del mercado europeo. A finales de los años 70 se comenzó a explotar esta tecnología, que no supo cumplir con las expectativas y produjo un estancamiento. Sobre el año 90, con un descenso en la crisis energética se reimpulsó la energía solar, produciéndose avances significativos.

En la última década, la aportación solar térmica ha aumentado notablemente, gracias a las ayudas concebidas. La entrada en vigor del Código Técnico de la Edificación, ha sido un factor de gran importancia en el desarrollo de la tecnología, puesto que obliga a instalar un aporte de energía solar en las viviendas.

Con la ayuda de un mapa solar, se puede tener una visión global de la capacidad solar española, así como del número de horas de radiación solar en cada comunidad autónoma.

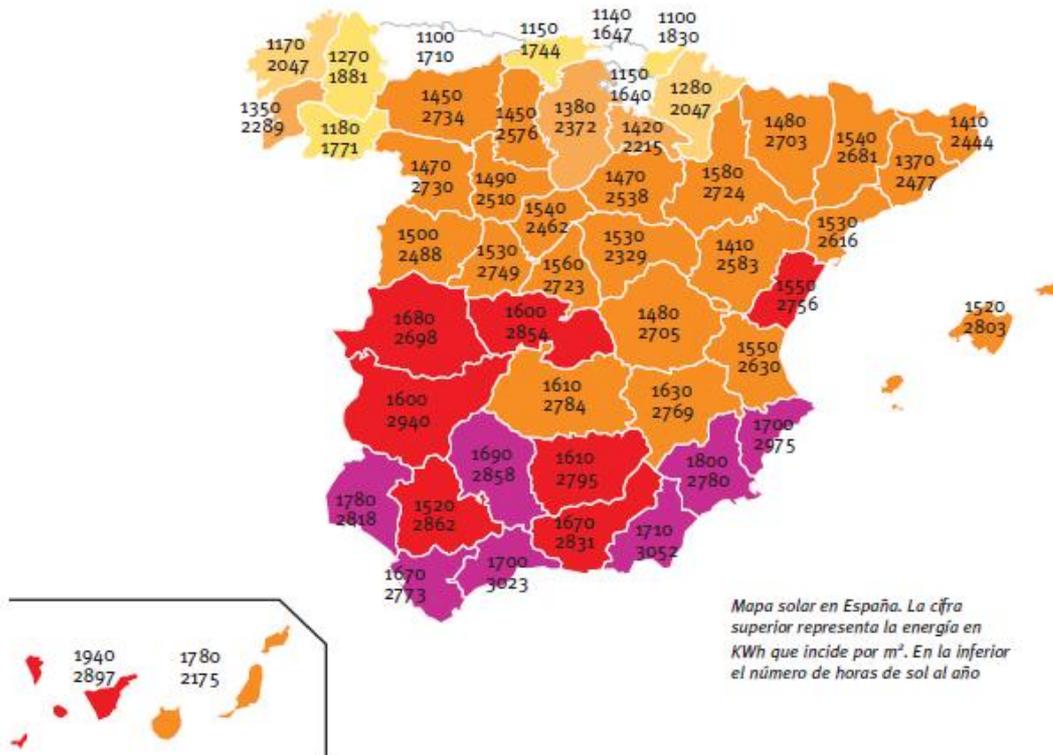


Ilustración 1. Mapa solar España, fuente IDAE [7]

3. Objetivos y alcance del trabajo

Para definir los objetivos se puede hacer una diferencia entre los objetivos principales y los secundarios. Dentro del primer grupo se encuentra el acoplamiento del sistema solar a la bomba de calor híbrida, mediante las ecuaciones que rigen cada uno de los sistemas, para cubrir la demanda de calefacción de una vivienda residencial. Un acoplamiento que permita un trabajo conjunto de ambos sistemas para un mejor funcionamiento, que se adapte a las distintas situaciones climáticas en la que esté instalado. Una vez diseñado, se realiza un análisis técnico económico, para conocer el funcionamiento de este sistema y compararlo con otros sistemas que dispongan de otra fuente de energía (bien sea renovable o no renovable).

En segundo plano, se encuentran los objetivos secundarios. Una vez diseñado el modelo de partida, es de interés estudiarlo en diferentes localizaciones para poder analizar el impacto que la localización tiene tanto en el funcionamiento del sistema como en el estudio técnico. Para ello se hará un simulación energética en cuatro ciudades europeas (los datos de los destinos se detallan más adelante). A su vez, un objetivo es analizar el dimensionamiento de las instalaciones, tanto del campo de colectores solares como de la bomba de calor y el depósito térmico de acumulación. Varios de los factores de diseño pueden ser modificados y resulta de interés estudiar el efecto que tienen sobre los resultados del sistema global.

Simplificando, el alcance de este proyecto es el diseño e implantación de un sistema combinado solar con una bomba de calor híbrida, en la fachada de un edificio para cubrir la demanda de calefacción.

4. Beneficios que aporta el trabajo

Mediante el diseño de un sistema de estas características, se puede obtener un buen sistema energético que espera tenga los siguientes beneficios, en cuanto a aspectos técnicos:

- El rendimiento de las bombas de calor (COP) puede oscilar entre 2 y 5, un valor notablemente más elevado que en sistemas convencionales, el COP de una caldera de gas es aproximadamente de un 0.9 y el de un radiador eléctrico en torno a 1.
- Sistema con reducidos costes de operación.
- Facilidad de operación con poca necesidad de mantenimiento. Puesto que es un sistema que no genera gases, humos o cenizas, se reducen los problemas derivados de la evacuación de gases, problemas muy presentes en sistemas como las calderas de gas.
- Sistema de inversión moderada con un periodo de retorno razonable.

No sólo presenta beneficios técnicos, sino que también de carácter medioambiental, lo que hace que sea de mayor interés. Con el desarrollo de la sociedad cada vez se ve más la importancia de conservar el medio ambiente, y las nuevas tecnologías buscan no sólo que sea un sistema eficiente si no que cumpla con estos requisitos medioambientales.

Es por ello que los nuevos sistemas combinados respetan el medioambiente a la vez que ofrecen un rendimiento óptimo. Estos sistemas se diseñan para que las emisiones de CO₂ sean menores que en los sistemas convencionales, lo que los hace competitivos frente a otras tecnologías. Esto deriva del protocolo de Kyoto, acuerdo para intensificar la lucha contra el calentamiento global. La generación de energía supone el 80% de las emisiones de gases de efecto invernadero, por lo que la implantación de energías renovables es imprescindible. En la siguiente tabla se reflejan las emisiones acumuladas entre el periodo de 2011 a 2020 de CO₂ evitadas por el parque de energías renovables. Esto ha sido calculado por el IDAE [7], con información propia de ellos. Refleja la importancia de las energías renovables en el impacto medioambiental.

	Emisiones evitadas en el período 2011-2020 (tCO ₂)
Energías Renovables - GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD (*)	
Hidroeléctrica normalizada	592.172
Eólica normalizada	62.712.996
Eólica marina	1.554.616
Solar termoeléctrica	32.569.924
Solar fotovoltaica	12.934.085
Biomasa	10.587.673
Biogás **	3.093.316
Residuos domésticos renovables	1.586.777
Energías del mar	235.108
Geotermia	217.767
TOTAL ÁREAS ELÉCTRICAS	126.084.435
Energías Renovables - CALEFACCIÓN/REFRIGERACIÓN	
Biomasa y residuos(cal/ref)	11.280.173
Biogás (cal/ref) **	975.152
Geotérmica (cal/ref)	65.412
Paneles solares y otros (cal/ref)	4.969.922
Bomba de calor (aerotérmica+ geotérmica)	486.308
TOTAL ÁREAS TÉRMICAS	17.776.967
Biocarburantes - TRANSPORTES	
Biodiesel	24.516.882
Bioetanol	2.543.943
TOTAL ÁREA TRANSPORTE	27.060.825
ACUMULADO CO₂ evitado en el período 2011-2020 (tCO₂)	170.922.226

* Emisiones evitadas frente a centrales de ciclo combinado de gas natural en generación eléctrica con un rendimiento medio del 50%.

** Adicionalmente, se estima que en el período 2011-2020 las emisiones acumuladas de CH₄ y N₂O evitadas por las nuevas instalaciones de digestión anaerobia de purines y estiércoles, expresadas como t CO₂_eq, serían 10.069.317 t CO₂_eq asociadas al objetivo eléctrico de biogás y 4.277.718 t CO₂_eq asociadas al objetivo térmico.

Tabla 1. Emisiones acumuladas de CO₂ evitadas, fuente IDAE

En definitiva, un sistema de estas características lograría reducir notablemente las emisiones de gases contaminantes y ajustarse a lo establecido en el protocolo Kyoto en materia medioambiental. Se plantea un diseño con un funcionamiento óptimo y sostenible que reduce la dependencia energética de fuentes no renovables, siempre cumpliendo con los requisitos de funcionalidad.

5. Análisis del estado del arte

Durante las últimas tres décadas se ha demostrado que los sistemas solares de calefacción son métodos maduros y tecnológicamente fiables. Aun disponiendo de innumerables ventajas, normalmente se dimensiona el sistema solar únicamente para parte del consumo complementándose con otras tecnologías. Una solución en auge es un sistema combinación de un sistema solar junto con una bomba de calor. En este marco es donde se desarrolla este proyecto.

Aunque por separado ambos sistemas están ampliamente desarrollados, en conjunto hay una falta de estudio y hay necesidad de invertir en su desarrollo y en buscar los parámetros óptimos de funcionamiento. Cada vez más compañías entran en el mercado de este tipo de sistemas, con un auge en torno a los años 2005 y 2010, aunque están muy lejos de alcanzar el nivel de participación de otros sistemas más convencionales.

Se propone un sistema combinado en el que la bomba de calor usa la energía solar térmica para incrementar la temperatura de la fuente de calor de la bomba y reducir el salto térmico y por tanto mejorar el rendimiento y la eficacia. Se han instalado más de 90 sistemas de este tipo en Europa, especialmente en Austria, Alemania y Suiza. Es importante seleccionar el sistema adecuado y hay 5 criterios de importancia para definir estos sistemas híbridos:

- Tipo de demanda de calor solicitada
- Fuentes de calor de baja temperatura de la bomba de calor
- Tipos de energía usados para hacer funcionar el sistema
- La función y la posición del depósito de almacenamiento
- La interacción entre todos los componentes.

A parte de estas consideraciones, hay otras que podrían caracterizar el sistema como pueden ser por el tipo de componentes, su tamaño o el control de los mismos. Varias publicaciones recogen amplia información referente a esta materia, de donde se ha contextualizado la situación de estos sistemas [6] y [8].

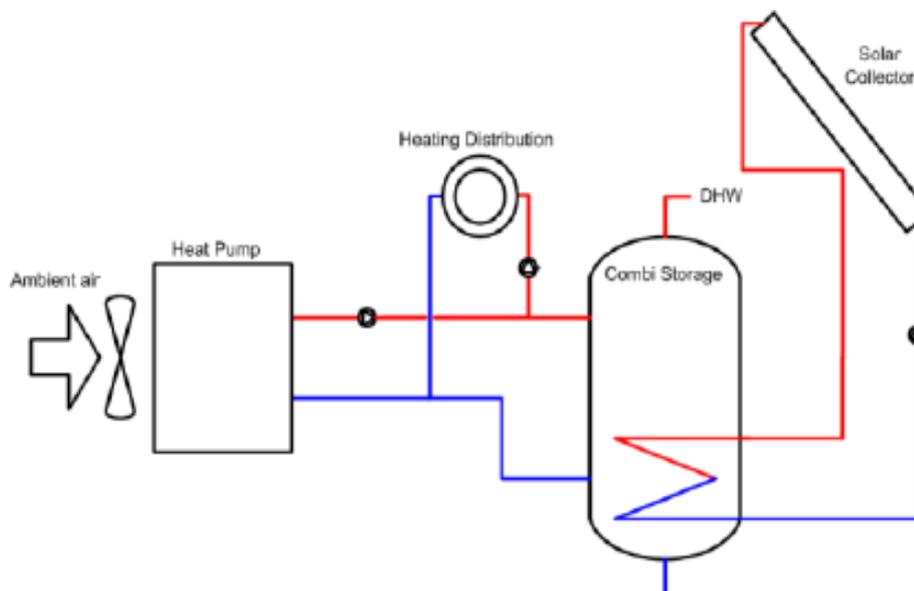


Ilustración 2. Ejemplo sistema hidráulico con conexión en paralelo

En la Ilustración 2 se puede apreciar, de manera simplificada, un sistema híbrido con conexión en paralelo. Éste combina un sistema solar con una bomba de calor. El colector y la bomba de calor aportan energía útil de manera independiente (calefacción y/o ACS), a través de un almacenamiento. Este tipo de conexiones se denomina en paralelo.

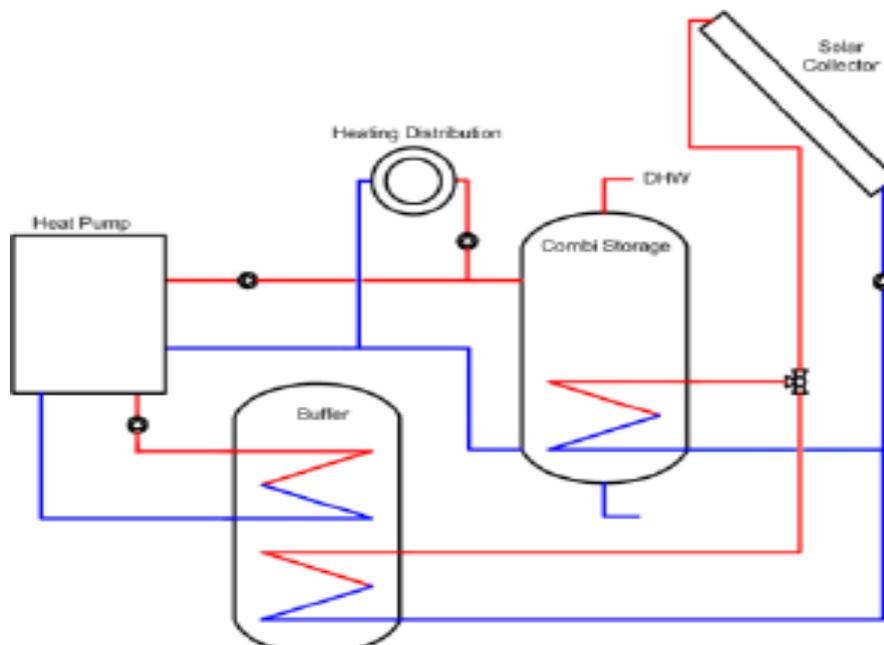


Ilustración 3. Ejemplo sistema hidráulico con conexión en serie-paralelo

Cuando el colector actúa como una fuente de calor de la bomba, bien sea de forma exclusiva o como una fuente adicional y de forma directa o a través de un almacenamiento, entonces se considera una configuración en serie (Ilustración 3).

El uso de energía solar para calentar la principal fuente de calor de la bomba se denomina regenerativo. Aunque el funcionamiento regenerativo puede asociarse como una subfunción de la configuración en serie, hay varias diferencias a nivel conceptual y operacional. El funcionamiento regenerativo se emplea generalmente para mejorar o al menos mantener la calidad de la fuente para largos periodos de tiempo o para prevenir la estagnación del colector solar y es por ello que se suele emplear en verano, cuando hay mayor capacidad solar y menor demanda de calor. No es de interés puesto que comúnmente se usa en geotermia.

Precisamente la calefacción y la producción de agua caliente sanitaria son las principales funciones de estos sistemas, cuando son instalados en edificios residenciales. Normalmente, ambas funciones están incluidas y rara vez se diseñan exclusivamente para la producción de ACS. Cuando están diseñados sólo para el agua caliente, se puede hacer una diferenciación en dos tipos de sistemas: un termosifón instalado en el tejado con ayuda de una bomba de calor con aire como forma de funcionamiento. Este tipo de instalaciones tienen un gran mercado en China. Y en segundo lugar, las instalaciones típicas Europeas constan de almacenamiento y una bomba de calor ambos instalados en el interior del edificio y como un único dispositivo, con el condensador de la bomba dentro del tanque de acumulación.

Para todos ellos las funciones de refrigeración pueden implementarse de manera supletoria, bien sea de manera activa a través de la bomba de calor o de manera pasiva a través del suelo o de agua como fuente de la bomba, lo que se conoce como refrigeración natural. En el siguiente gráfico (Ilustración 4) puede verse una representación de los sistemas usados y cuáles son los que tienen una mayor representación:

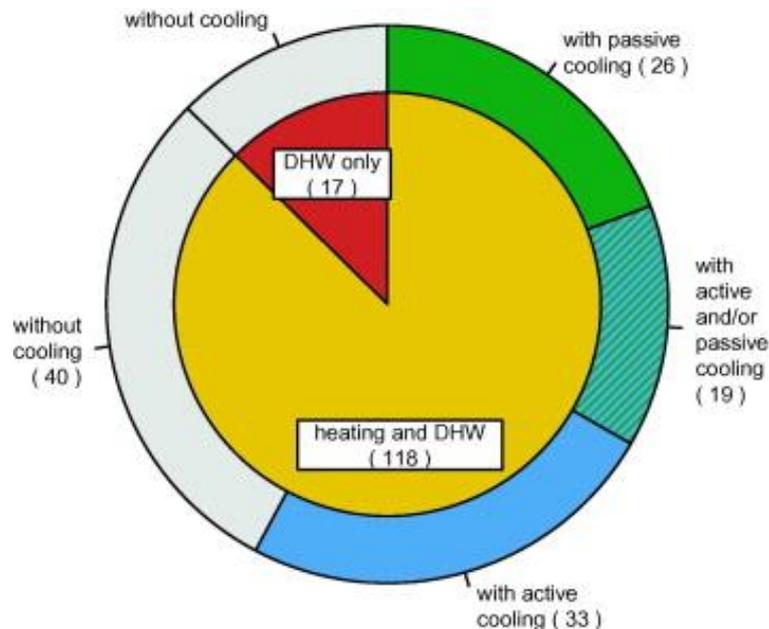


Ilustración 4. Representación de sistemas “Solar and Heat Pump Systems for Residential Buildings”[8]

Una vez que se tiene una idea general de la situación actual de estos sistemas híbridos, se va a detallar cada una de las partes que lo componen, explicando sus funciones y otros datos de interés. Y para ello se va a explicar el sistema solar, la bomba de calor y el tanque de almacenamiento.

5.1 Sistema solar

El factor económico supone una de las principales ventajas de esta tecnología y se debe principalmente a tres factores: el coste inicial del sistema solar, un correcto mantenimiento y el precio de las alternativas. Actualmente en Europa el coste de la energía solar térmica ya es menor que el de gas natural. El potencial es mayor que en otros sistemas, operando entre temperaturas de 20 a 90 C, puede reducir el consumo de fuel entre un 50 y un 70 % en agua caliente y entre un 30 y un 60% en calefacción.

Uno de los elementos fundamentales en el sistema solar son los colectores, pudiéndose clasificar según las siguientes características:

- Colectores de baja temperatura: proporcionan temperaturas inferiores a los 65 °C
- Colectores de media temperatura: cuando se requiere de una temperatura a inferior a los 300 °C

- Colectores de alta temperatura: temperaturas superiores a los 500 °C, usados generalmente en la obtención de energía eléctrica. Los colectores de alta temperatura están fuera del ámbito de este proyecto.

El sistema de captación elegido para cada caso dependerá principalmente de la distinción previa, dependiendo de la temperatura con la que se esté trabajando. Estudiar en detalle los sistemas de captación es de gran importancia puesto que representan el núcleo de los sistemas solar y hay una serie de información técnica que se debe conocer:

- Curvas de rendimiento
- Superficie útil de captación
- Peso
- Capacidad y tipo de líquido caloportador recomendado por el fabricante
- Materiales de constitución del absorbedor, circuito del líquido, cubierta y de la caja
- Sistema de sellado
- Tipos y espesores del aislamiento
- Temperatura de estancamiento

El funcionamiento de estos dispositivos se basa en tres principios físicos, el absorbedor, el efecto invernadero y el aislamiento. No toda la radiación incidente es absorbida, puesto que parte de ella es reflejada o atraviesa el elemento. Dispositivos oscuros y mates son los que obtienen mejores resultados. El atributo que más distingue a los colectores es si el absorbedor está cubierto por una recubierta transparente o no. Para los colectores que no están cubiertos se obtiene una curva de funcionamiento con ganancias de calor más elevadas pero que disminuyen más bruscamente con pequeñas diferencias de temperatura. Por el contrario, el otro tipo de sistemas inicialmente no presentan grandes ganancias, pero son capaces de mantener ganancias con incrementos mayores de temperatura.

Los sistemas típicos de sistemas cubiertos son colectores planos y de tubos de vacío (Más tarde se hablará de los tipos de colectores). La cubierta transparente reduce el intercambio térmico convectivo, lo que permite rendimientos más elevados con mayores temperaturas. En segundo lugar, los colectores sin cubierta son el sistema más básico y se caracteriza por ganancias elevadas de calor con temperaturas cercanas a la temperatura ambiental, pero también por un mayor intercambio convectivo con el exterior. Este aspecto puede resultar de ayuda para aquellas situaciones en

las que la temperatura de operación está por debajo de la ambiental, en las que el funcionamiento de los colectores se ve beneficiado.

Dentro de los captadores hay varias opciones, siendo los más habituales los captadores solares planos, A continuación se detallan varios tipos de captadores:

- Captadores solares planos: presentan una buena relación coste/efectividad en climas con temperaturas moderadas y tiene una gran cantidad de usos (ACS, calentamiento de piscinas, apoyo a calefacción...). Dentro de este tipo de colectores se pueden diferenciar dos nuevos tipos en función de la configuración del absorbedor: el paralelo y el "tipo serpentín", siendo la principal diferencia entre ambos que la configuración en paralelo favorece la estratificación de la temperatura en volúmenes mayores con rendimientos óptimos y por el contrario la configuración en serie está limitada por volúmenes más pequeños de agua de circulación.

El objetivo es obtener el mejor rendimiento posible, y debe conseguirse empleando la temperatura más baja posible, siempre y cuando logre los objetivos para los que se ha instalado. La energía se obtiene del fluido caloportador, que por lo general es una mezcla de agua con anticongelante e inhibidores de la corrosión. (Rango de operación: 30-80 °C).

- Captadores planos sin cubierta: poseen configuraciones flexibles lo que hace que sean sistemas económicos y con fácil instalación. La mayor desventaja que presentan estos sistemas es, que al no disponer de cubierta una vez que baja la temperatura ambiental por debajo de la temperatura de trabajo el rendimiento se desploma. Su uso es recomendado únicamente en aplicaciones con temperaturas de trabajo similares a la ambiental. (Rango de operación: 30-80 °C).
- Captadores solares de tubos de vacío: este sistema está formado por un grupo de tubos, formados por un absorbedor selectivo, situado sobre un reflector y envuelto por un cilindro de vidrio transparente. Se genera el vacío entre el cilindro exterior y el absorbedor, evitando así las pérdidas por conducción y convección, alcanzando temperaturas más elevadas (rango de operación: entre los 50 y los 200°C). La posibilidad de modificar la orientación de los tubos hace que sea un sistema con mucha utilidad y mayor aprovechamiento.

- **Captadores solares de cilindro parabólico:** es un sistema de concentración que refleja toda la radiación incidente sobre un punto, alcanzando temperaturas muy elevadas (rango de operación: temperaturas entre los 60 y los 200 °C). Requieren de sistemas complejos que hacen que su instalación no interese o sea rentable en sistemas domésticos. Estos captadores están compuestos de conducciones con un revestimiento selectivo que recorren longitudinalmente el captador haciendo el papel de absorbedores. La radiación solar se refleja sobre las paredes curvas logrando una cantidad de energía muy superior de otros sistemas.

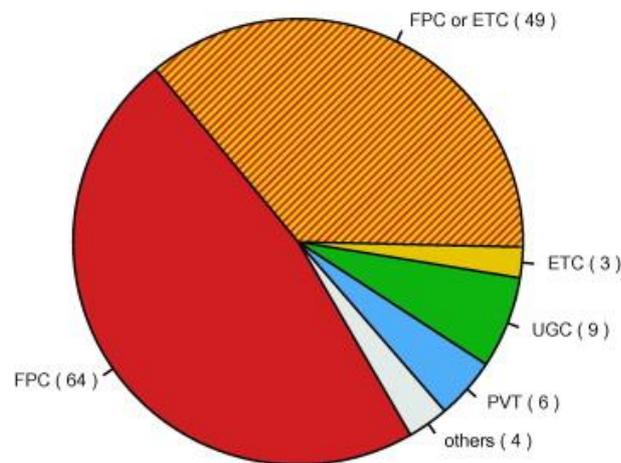


Ilustración 5. Tipos de colectores solares “Solar and Heat Pump Systems for Residential Buildings” [8]

En la Ilustración 5 se muestra los porcentajes que representan sobre el total los distintos sistemas solares. En él se puede apreciar claramente como los colectores planos representan casi la mitad del total (48%).

Por último a la hora de definir el sistema solar, hay que establecer la conexión entre los captadores, pudiendo ser en serie o en paralelo. En la primera, la salida del primer colector es la entrada del siguiente y esta disposición permite obtener saltos de temperatura mayores. Como inconvenientes se presenta una disminución del rendimiento del sistema a medida que la temperatura del sistema aumenta. Por el contrario, en la configuración en paralelo tanto las entradas como las salidas provienen de un punto en común. Este hecho hace que todos los captadores estén funcionamiento en el mismo punto de la curva de rendimiento. Normalmente se usa en sistemas de baja temperatura.

Con la configuración en serie, el colector puede operar a la temperatura ambiental o por debajo de ella. En caso de estar trabajando a una

temperatura por debajo de la ambiental, en lugar de estar perdiendo calor con el entorno se puede conseguir un efecto contrario y obtener calor del aire a temperatura ambiental. En general el funcionamiento que se consigue de los colectores es mejor trabajando con temperaturas más bajas. Al mismo tiempo, el COP de la bomba de calor aumenta a medida que aumenta la temperatura de la fuente de calor, por lo que se obtendrán COP mayores trabajando con la temperatura que se logra con el sistema térmico en lugar de con la temperatura ambiental.

5.2 Bomba de calor

En segundo lugar se tiene la bomba de calor, elementos que son capaces de extraer calor de diversas fuentes de calor (del ambiente, terreno, ríos...) a una temperatura baja y entregar energía para su consumo a una temperatura más elevada. Para poder llevar a cabo este proceso es necesario disponer de una fuente con un alto contenido exergético, concretamente para las bombas de ad/absorción dicha fuente es el calor.

Teóricamente el calor proveniente del sistema solar puede emplearse para satisfacer las demandas de calor en calefacción y ACS. En ausencia de la bomba de calor, la radiación solar no es aprovechable si la temperatura del colector no es mayor que la temperatura requerida por la demanda de calor que se define previamente por el sistema de almacenamiento de calor o por el sistema de distribución de calor.

Se pueden obtener incrementos del COP aumentando la temperatura de la fuente de calor de la bomba de 0.5 a 2.5 %/K y depende en gran medida del punto de funcionamiento de la bomba ([8] Capítulo referente a la bomba de calor).

5.3 Depósito de acumulación

Por último, un elemento indispensable en sistemas híbridos es el tanque de acumulación. Los tanques que más se usan se basan en calor sensible, generalmente usando agua como modo de acumulación. A parte de este proceso, se pueden usar procesos basados en cambio de fase o en procesos termoquímicos asociados a calores de sorción y desorción. Por ahora el cambio de fase como modo de almacenamiento está en vías de desarrollo y el único cambio que ha alcanzado resultados destacables es el cambio de agua a hielo. El almacenamiento termoquímico se puede obtener mediante reacciones químicas reversibles, logrando una densidad 10 veces mayor que para acumulaciones convencionales. A continuación se detallan los distintos tipos de acumulaciones posibles:

- **Acumulación de calor sensible:**
Este tipo de acumulación puede basarse en material líquido o sólido. Generalmente se usa agua como medio de acumulación, ya que tiene una capacidad calorífica elevada, precio bajo, no es tóxica y tiene inercia química. Comparado el agua con otros combustibles, su capacidad de almacenamiento es más reducida y los valores exergéticos son bastantes pobres.

Hay dos factores que hacen el uso del agua económicamente viable para periodos cortos de tiempo. A medida que aumenta el tiempo, también los hacen las pérdidas, por lo que en un periodo corto de tiempo se reducen. El segundo factor es su baja densidad de almacenamiento, que sólo hace que sea útil a corto plazo.

El almacenamiento no sólo se usa cuando hay picos de demanda, si no que se usa para almacenamiento en aquellas horas en las que no hay demanda. Estos almacenamientos pueden ser dobles, para calefacción y ACS, lo que hace que no haya necesidad de instalar dos tanques, reduciendo el volumen total que ocupa el sistema. Los principales aspectos que hay que tener en cuenta para una buena eficiencia son: un buen aislamiento sin puentes térmicos, válvulas de no-retorno para evitar circulaciones indeseadas. Por último, para los sistemas combinados, hay que conseguir una buena estratificación y mantenerla.

- **Acumulación de calor latente:**
La técnica más usada es el cambio de fase de agua a hielo y viceversa, la cual se ha utilizado durante los últimos años de manera efectiva para el almacenamiento de frío y que recientemente se ha implementado para el almacenamiento de calor. Hay que tener en cuenta la limitación de la temperatura de almacenamiento que no puede ser inferior a los 0 grados. En este funcionamiento el sistema solar se usa para la carga del tanque y la bomba para la descarga del mismo. Los almacenamientos de hielo pueden ser pequeños depósitos alojados en el interior de un edificio o grandes volúmenes enterrados en suelo fuera del edificio. La formación de hielo sobre la superficie de intercambio de calor conlleva un aumento de la resistencia al intercambio de calor a medida que avanza el tiempo.
- **Acumulación de reacciones termoquímicas y sorción:**
El calor puede ser absorbido o liberado por componentes químicos cuando interactúan bajo ciertas condiciones. La disociación de un componente en sus elementos constitutivos es generalmente endotérmica y la recombinación exotérmica. Por ese motivo durante la

carga del tanque la energía absorbida se usa para la disociación del material y es equivalente al calor de reacción o la entalpía de formación. En teoría, el almacenamiento de sorción puede incrementar la densidad de 3 a 4 veces comparando con los tanques de calor sensible con agua. Al mismo tiempo, cuando el tanque está cargado no hay más pérdidas de energía o exergía y esto hace que sea de especial interés para almacenamiento de periodos largos.

5.4 Sistema combinado

Una vez definidos por separado cada una de las partes del sistema, hay algunas consideraciones a tener en cuenta en cuanto al sistema general. Temperaturas bajas de operación para colectores solares y bombas de calor incrementan su rendimiento energético y por ello, la eficiencia del sistema combinado decrece con el incremento de la temperatura de la demanda de calor. Las pérdidas exergéticas incrementan la diferencia de temperatura entre la producción de calor y el calor final suministrado. La consecuencia de estas pérdidas es un incremento en las temperaturas de operación y con ello un descenso del rendimiento. Estas pérdidas se producen principalmente en el tanque de almacenamiento y sobre los controles del sistema. Un tanque ideal, sin pérdidas sería un tanque perfectamente estratificado, sin difusión térmica. Se han identificado tres procesos como los principales factores que reducen la estratificación: la conducción y difusión térmica del agua y otros materiales en la acumulación, la mezcla de chorros de entrada resultado de la energía cinética del agua con alta velocidad y el denominado efecto "arrastre de pluma", el cual tiene varios efectos sobre el control del fluido, incluyendo los momento de inercia, la difusión y una diferencia de densidades.

La actuación de los sistemas combinados en general se caracteriza por su eficiencia, la cual se expresa como un número sin ninguna descripción de las condiciones de operación o de las condiciones de contorno del sistema. Aun siendo lo más común expresarlo en función de su rendimiento, hay otra forma de caracterizarlo como un concepto que incluye datos de energía, economía y medio ambiente, dependientes de unas ciertas condiciones de contorno. Los límites del sistema usados para analizar la actuación son arbitrarios y pueden elegirse de acuerdo con aspectos como el método que se va a usar, el propósito del análisis o la información disponible. Por ello depende de los objetivos fijados, se elegirán unos límites u otros.

El uso combinado de colectores solares con bombas de calor permite ampliar el rango típico de funcionamiento de los colectores solares, incluyendo periodos de tiempos en los cuales no hay radiación solar y con temperaturas del colector que están por debajo de la temperatura ambiental. En caso de cumplirse la última condición mencionada habría que tener en cuenta otros tres factores que afectan directamente al rendimiento de los colectores: la condensación, la congelación y las pérdidas de calor debidas a la lluvia, siendo la primera la que presenta una mayor relevancia.

Para este proyecto en concreto, esta característica carece de interés puesto que se hará una selección de la fuente de energía en función de las condiciones que se dispongan en cada momento.

En la siguiente imagen se muestra la Tabla 2 con las principales limitaciones que se imponen al sistema:

System boundary	Purpose	Target group
Overall system performance including energy distribution system	Possibility of an energy-, economy-, and ecology-related evaluation of the whole system – overall energy balance, traded energy, free energy, emissions, and so on	Users, policy makers, statistical evaluation
Overall system performance without the energy distribution system	Possibility of an energy-, economy-, and ecology-related evaluation of the energy producing system, without the energy distribution system, which may vary for different applications. Comparison between different systems and technologies, product quality assurance, and labeling	Manufacturers, planners, installers, users, funding institutions, policy makers
Performance of the system without the influence of the end user storage losses	Mainly interesting for system analysis – storage management	System and component manufacturers, planners
Performance of each energy transformation unit, including all parts needed for its proper functioning	Performance of each unit under given circumstances gives information about the efficiency of every subsystem and possible improvements	Component and subcomponent manufacturers, planners, installers
Performance of each energy transformation unit itself, without influence of the auxiliary energy	This closely corresponds to the energy balance used currently in most quality assurance schemes for both solar thermal collectors and heat pumps (e.g., Solar Keymark, EHPA Quality Label). By comparison with other performance figures, an analysis of the system regarding peripheral energy consumption can be made	System and component manufacturers, planners, installers

Tabla 2. Principales principios para la definición de los límites del sistema, “Solar and Heat Pump Systems for Residential Buildings”[8]

Al ser la eficiencia una de las herramientas, es en este parámetro donde más estudios se han realizado. Se define como el ratio entre la energía útil que sale del sistema entre la energía que entra al mismo, la cual está limitada por la energía necesaria para transformar la energía primaria y/o la energía final en

energía útil. Dentro de este marco se definen varios parámetros que sirven para estudiar la actuación del sistema, como pueden ser los siguientes:

- El coeficiente de actuación (COP, Coefficient of performance), definido como el ratio entre la capacidad de calefacción y el consumo eléctrico global, ambos medidos en condiciones estables.

$$COP = \frac{\dot{Q}_{HP,H}}{P_{el,HP}} \quad (1)$$

Ecuación 1. Fórmula del COP

- El Coeficiente de actuación temporal (SCOP, Seasonal coefficient of performance), es un parámetro calculado a partir de las medidas tomadas en el laboratorio, asumiendo condiciones de operación tiempo-dependientes.

$$SCOP = \frac{Q_H}{\left(\frac{Q_H}{SCOP_{on}}\right) + W_{el,off}} \quad (2)$$

Ecuación 2. Fórmula del SCOP

En la Ecuación 2, Q_H representa la demanda anual de calor, $SCOP_{on}$ representa la eficiencia sólo para periodos de operación cuando la bomba de calor y el sistema de apoyo eléctrico están entregando energía útil y por último $W_{el,off}$ expresa el consumo eléctrico.

- La eficiencia del colector solar, que se expresa como la división entre la producción térmica y la irradiancia en el colector solar.

$$\eta_{coll} = \frac{\dot{Q}_{coll}}{G_g * A_{coll}} \quad (3)$$

Ecuación 3. Eficiencia del colector solar

Por último, como bien se sabe con el paso de los años y el desarrollo de la sociedad, la importancia de mantener el medio ambiente lo más protegido posible está cogiendo cada vez más peso. Es por este motivo que también para estos sistemas es necesario llevar a cabo un estudio medioambiental. Es

necesario disponer de conocimientos suficientes acerca de la energía suministrada de fuentes naturales así como de la electricidad que se necesita. Para tener claro esta información se definen tres tipos de energía:

- **Energía primaria:** es la energía contenida en varias fuentes naturales sin procesar, como aceite crudo, madera, aire o energía solar. Las fuentes pueden dividirse en renovables (aquellas que pueden usarse de manera ilimitada o se regeneran en periodos cortos de tiempo) y no renovables (las que tienen un límite y una vez agotadas necesitan periodos demasiado grandes para su regeneración).
- **Energía final:** energía suministrada al usuario, que generalmente ha sufrido algún tipo de conversión (refinado, enriquecimiento...) y se han transportado al sitio de consumo.
- **Energía útil:** energía útil proporcionada al usuario para el uso final que se esperaba (calefacción, refrigeración...) y que se disipa con el uso.

Hay que tener en cuenta que la energía final proveniente de las fuentes renovables de energía no es 100% renovable ya que hay que tener en cuenta los procesos de producción, transporte, procesos de instalación y otro tipo de operaciones que requieren de fuentes no renovables de energía.

Para poder analizar y comparar entre varios sistemas y tecnologías hay que destacar dos indicadores: el ratio de energía primaria proveniente de fuentes no renovables (PER NRE, Primary energy ratio of nonrenewable energy sources) que proporciona información del consumo de energía de fuentes no renovables para la provisión de energía útil saliente del sistema. El segundo indicador es el equivalente del impacto del calentamiento del sistema combinado (EWIsys), que se define como el ratio de emisiones de gases efecto invernadero respecto a la energía útil del sistema. La emisión de gases efecto invernadero se expresa en emisiones equivalentes de CO₂.

6. Análisis de alternativas

Este apartado está enlazado con las actividades que se describen en la memoria y está dividido en dos análisis dependientes uno del otro:

- **Lógica de control:** Las alternativas que se han estudiado se corresponden con distintos valores del Offset de control para así obtener el sistema que opere con las condiciones más favorables. Esta alternativa se incluye dentro de una de las fases de desarrollo del proyecto, que está detallada con posterioridad.

A su vez, podría diferenciarse entre dos fases en este estudio de alternativas: primeramente, se parte de unos valores de offset iguales para todas las localizaciones, obteniéndose una curva COP vs Offset (°C). Tras un análisis de las mismas, para cada ciudad se selecciona en torno a que valor del offset se obtienen los mejores resultados y se simula nuevamente para varios valores de Offset cercanos a dicho punto. En este caso cada ciudad tendrá valores distintos. Con este estudio, se ha obtenido el valor del Offset óptimo, necesario para el siguiente análisis.

- **Dimensionamiento del depósito:** El segundo grupo de alternativas que se han estudiado corresponden con la sensibilidad en el dimensionamiento del depósito, esto supone una modificación de la capacidad del almacenamiento para estudiar su efecto sobre los resultados de funcionamiento finales. Este análisis se ha llevado a cabo a partir de los resultados del paso anterior. El dato de partida del depósito es de 2 m³. Inicializando con los datos de COP y Offset óptimos, se ha variado el volumen del depósito (aumentándolo y disminuyéndolo), para establecer qué medida resulta la apropiada.

Tras realizar ambos grupos de modificaciones, se ha obtenido los resultados finales del proyecto.

7. Descripción de la solución propuesta.

El sistema que se analiza en este proyecto es un sistema combinado solar no acristalado con bomba de calor híbrida. Está desarrollado para una vivienda de uso residencial y se estudia para su aplicación en distintas localizaciones según varios climas. En la Ilustración 6 se puede ver un esquema del sistema a instalar.

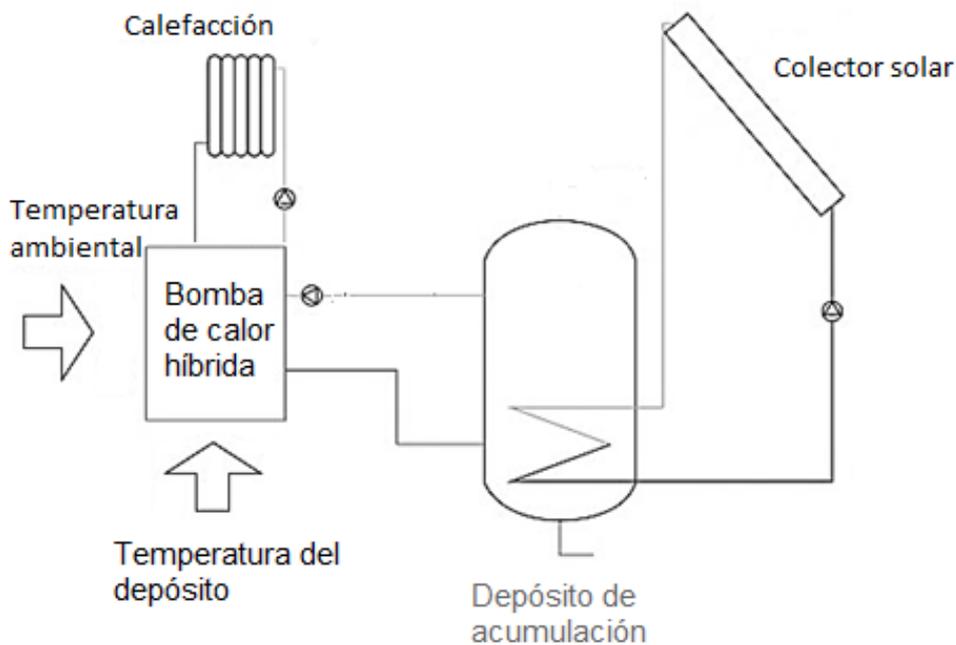


Ilustración 6. Esquema de la instalación

Como se puede apreciar, es un sistema combinado de un sistema solar y una bomba de calor híbrida. El sistema solar depende de la radiación recibida, que es función de la localización en la que esté instalado. Con esa radiación se calienta el fluido que hay dentro del depósito, siendo agua en este caso.

Por otro lado está la bomba de calor híbrida, un sistema que puede resultar novedoso. Este tipo de bombas tiene dos modos de funcionamiento, agua-agua o aire-agua. La bomba de calor agua-agua (en modo calefacción) extrae calor de un circuito externo, en este caso el sistema solar, y produce agua caliente en el circuito interior para su uso posterior. Estos modelos de bombas proporcionan valores de COP por encima de 3 [9].

Por el contrario, la bomba de calor aire-agua (en modo calefacción), aprovecha el calor del aire exterior y lo transfieren a un circuito de agua. Estos dispositivos son combinables con otros sistemas de generación como

calderas o captadores solares. Comparada con otro tipo de bombas de calor, éstas requieren una menor carga de refrigerante y una menor probabilidad de fuga del mismo. Hay que mencionar la gran dependencia de estos sistemas a la localización en la que se encuentre.

Se ha diseñado este sistema para cubrir la demanda de calefacción de una vivienda de uso residencial y por tanto, aunque este sistema se puede usar para la producción de ACS, no se ha estudiado en este proyecto.

Otro de los aspectos relevantes en el diseño de este proyecto es que su instalación completa es integrada en la fachada de un edificio. Se ha empleado la fachada con orientación sur para la instalación del sistema solar.

El alcance del diseño comprende desde el diseño del campo de colectores solares, al depósito y la bomba de calor así como la combinación de todos ellos.



IV. METODOLOGÍA SEGUIDA EN EL DESARROLLO DEL TRABAJO

8. Descripción de fases

En este apartado se van a definir las distintas etapas que se han desarrollado para la realización de este trabajo. Para ello, se van a describir independientemente cada una de ellas, con una breve descripción de todas las tareas desarrolladas. Este primer apartado es a nivel teórico, mostrando los resultados en los siguientes puntos. Se va a establecer desde la inicialización del edificio hasta los resultados finales.

8.1 Climatología (fase 1)

En este proyecto se ha llevado a cabo un análisis de 4 localizaciones: Estrasburgo, Bilbao, Logroño y Sevilla. La selección de las ciudades se basa en el interés de analizar diferentes climatologías, para estudiar su efecto sobre el sistema.

Primeramente dentro de España, se ha seleccionado tres ciudades con diferentes condiciones atmosféricas:

- Bilbao con un clima oceánico húmedo, con vientos predominantes del oeste, que suavizan las temperaturas y favorecen a un clima moderado a lo largo de todo el año. Carece de contrastes térmicos importantes gracias a la proximidad al mar. Información referente al clima [10].
- Logroño con un clima continental, suavizado por su localización en el valle del Ebro. En invierno las temperaturas alcanzan valores por debajo de los cero grados, mientras que en verano superan los 35 grados. Información referente al clima [11].
- Sevilla con un clima húmedo y tibio, con temperaturas muy cálidas durante el verano e inviernos templados, que rara vez descienden de los 15 grados. Información referente al clima [12].

Por último Estrasburgo ha sido seleccionado para analizar un clima Europeo, que difiere con los tres anteriores, puesto que destaca por ser un clima frío, con temperaturas por debajo de los cero grados gran parte del invierno, con grandes amplitudes térmicas.



Ilustración 7. Mapa Europeo

Para todos ellos se han obtenido los datos correspondientes a un año, y se ha diferenciado los datos en función del mes, semana, día del año y hora del día correspondiente. Primeramente se han obtenido los datos climatológicos para cada uno de ellos, obteniendo para cada hora del año la temperatura ambiental, la radiación total y la radiación difusa. Ésta última no aporta información relevante por lo que se ha descartado, quedando únicamente la radiación total. Para un análisis óptimo se ha dividido esta radiación para cada una de las orientaciones.

El fin de este análisis es obtener la temperatura mínima, máxima y media para cada situación, que posteriormente servirá para el cálculo del consumo energético.

Así mismo, gracias a esta fase se ha obtenido la radiación incidente en todas las orientaciones de edificio, que será necesaria para los cálculos posteriores. La radiación usada con posterioridad ha sido sobre la fachada de orientación sur, puesto que es que tiene mayor relevancia. Se ha realizado una comparación entre las cuatro ciudades y la radiación horaria que reciben.

8.2 Consumo edificio (fase 2)

Para la obtención de las demandas de calefacción y refrigeración se ha definido un edificio mediante el programa TRNSYS, concretando las características del mismo:

- Se ha construido un edificio de 5 plantas, con unas dimensiones de 50x20 metros y una altura de 3.5 metros por cada piso. Para optimizar los resultados, se ha dividido cada piso en 6 zonas adyacentes.
- Ocupación de las ventanas: 40% de cada una de las superficies del edificio.
- Vivienda familiar, con un consumo medio de agua caliente con un perfil horario que se ajusta al uso de este tipo de edificios. La información relativa a las demandas por persona se ha obtenido del código técnico, que puede encontrarse adjunto en el **ANEXO I: Código**.

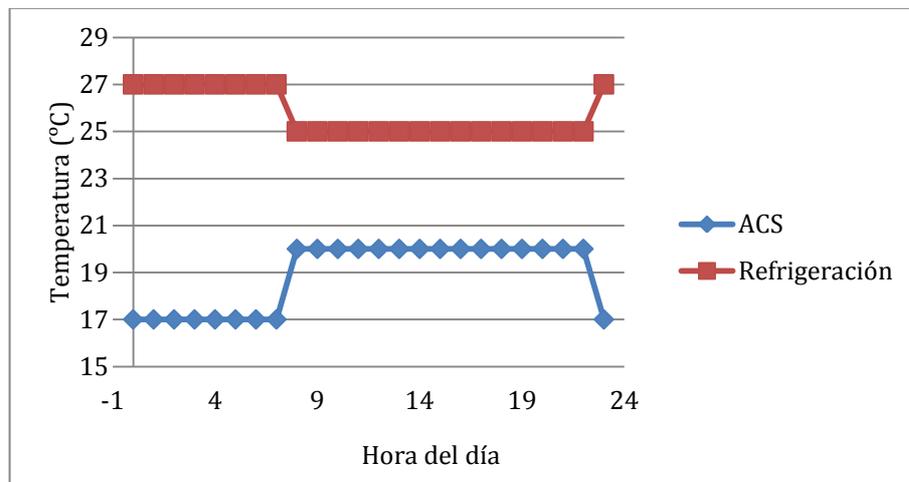


Ilustración 8. Perfiles edificio

- Tanto la infiltración como la ventilación se han supuesto constantes con valores 0.1 ACH y 0.5 ACH respectivamente.
- La calefacción y la refrigeración han seguido un perfil horario previamente establecido. Una mayor demanda en las primeras horas de la mañana y a últimas horas de la tarde en el caso de calefacción y al contrario para el segundo caso.
- Por último para establecer los valores referentes a las cargas internas se ha empleado datos del IDAE, Apéndice C apartado c.1 Perfiles de uso (la información concreta puede encontrarse en el **ANEXO I:**

Código). Un 30% de las cargas internas es radiativa y la restante convectiva.

A modo visual en la siguiente Ilustración 9, se muestra cómo se definen cada una de las zonas y todas las opciones de diseño. Arriba a la izquierda se aprecia los datos referentes a las paredes del edificio. Aquí es donde se define los materiales, el área, la orientación y la categoría. Esta última es la que define si es una pared exterior, adyacente a otra habitación, o límite con el suelo o el techo de la habitación. En esta definición, según la categoría de la pared, los materiales difieren entre ellos.

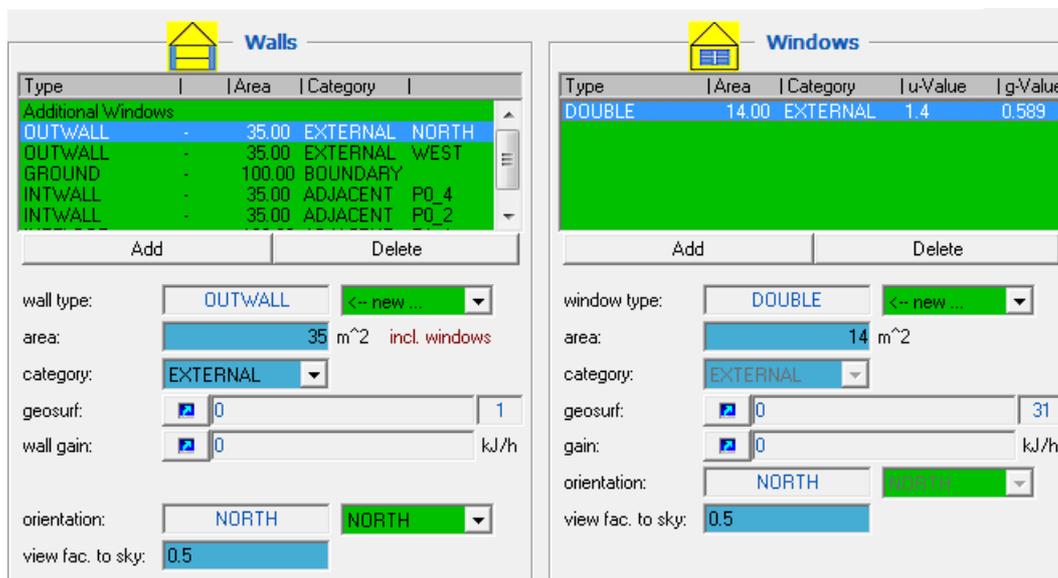


Ilustración 9. Diseño en TRNSYS

En la parte derecha de la imagen, se muestra la información de las ventanas. En este apartado, se puede seleccionar entre los distintos tipos de ventana que se han diseñado, la superficie que ocupan y al igual que con las paredes, la categoría de las mismas. Para la selección de las ventanas, todas ellas son de la misma categoría y no se ha hecho distinción entre ellas. Todas ellas han sido diseñadas con los mismos materiales para facilitar los cálculos y simplificar el diseño del edificio.

Con el edificio ya definido se ha trasladado a la herramienta Trnsys (en el Simulation Studio) que permite obtener las demandas en función de los datos climáticos que se le proporcionan. Esto se ha conseguido construyendo el sistema, empleando una climatología y el edificio definido con la

herramienta previa. Enlazando ambos componentes se pueden obtener los resultados deseados.

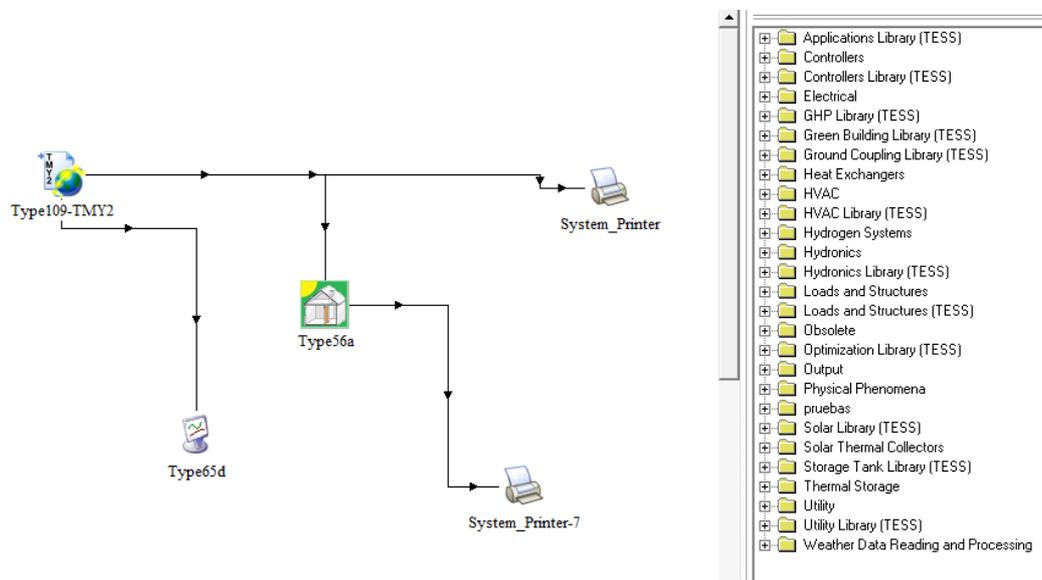


Ilustración 10. Simulación en TRNSYS

La Ilustración 10, muestra una imagen del programa de simulación, en el cual se han obtenido los datos del proyecto. En la parte izquierda de la pantalla se realiza la conexión del sistema. Se necesitan varios elementos, en primer lugar una información meteorológica (de la base de datos se seleccionan las ciudades). Estos datos se conectan a un edificio, en este caso el edificio que hemos diseñado previamente. Por último ambos elementos se conectan a unos dispositivos que nos permiten visualizar los resultados de las simulaciones.

En la parte derecha se muestra la biblioteca de elementos disponibles para construir el sistema.

8.3 Cálculo del COP (fase 3)

Con las demandas y las temperaturas ambientales calculadas es posible obtener las necesidades de aire/agua. Para ello es necesario conocer el COP correspondiente a cada una de las temperaturas ambientales y una vez asociada a cada temperatura ambiental un COP es posible obtener el consumo. Mediante la información proporcionada por la página NIBE, se ha seleccionado una bomba que cumpla con las necesidades que se están buscando. El dispositivo elegido es una bomba de calor reversible Aire/Agua con posibilidad de producción de agua caliente. Dentro de este modelo de

bomba hay varias opciones de diseño y se ha seleccionado la NIBE F1255. La ficha técnica de la bomba nos proporciona un esquema representativo de las dimensiones y el peso de la misma, según el modelo elegido. Una visión general del dispositivo nos aporta las siguientes características:

- Emulador de agua caliente sanitaria integrado.
- Eficiencia extraordinariamente elevada.
- Valor óptimo del factor anual de calefacción gracias a su compresor reversible.
- Potencia: 1.5-6 kW, 4-16 kW.
- Bomba de circulación de frecuencia variable que suministra el caudal necesario en cada momento.
- Costes de funcionamiento bajos, puesto que el compresor se adapta a la demanda térmica.
- Gama de alta temperatura: temperatura de caudal 65 °C y temperatura de retorno de hasta 58 °C.
- Programación: clima interior, ACS y ventilación.

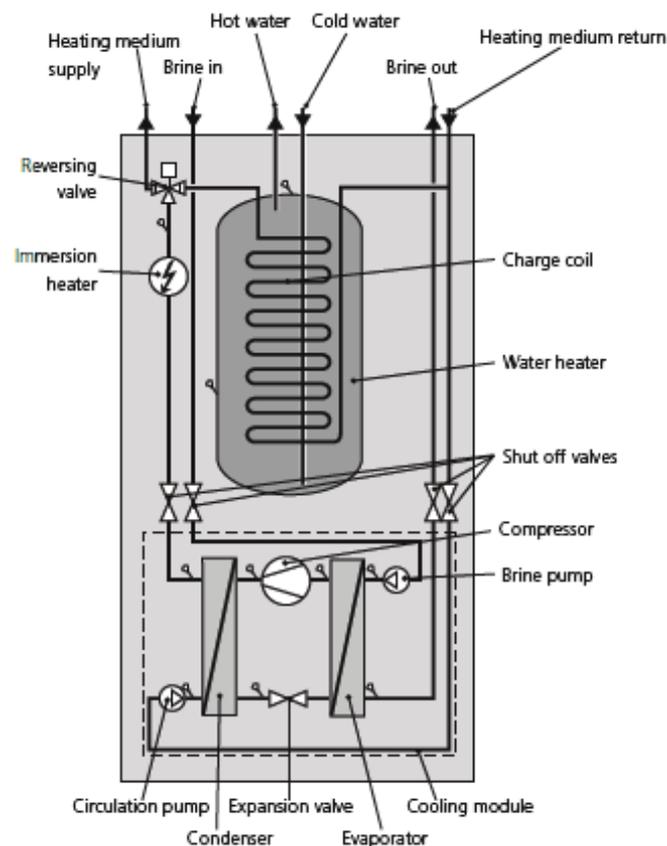


Ilustración 11. Esquema bomba reversible

Tamaño	40
Altura (mm)	1800
Anchura (mm)	600
Profundidad (mm)	620
Peso en vacío (kg)	220/245

Tabla 3. Dimensiones y peso

3x400V		4 - 16 kW	
Output data at nom flow <small>Values in performance of the heat pump without circulation pumps</small>			
0/35			
Specified output	kW		9,27
Electrical output	kW		1,81
COP			5,12
0/50			
Specified output	kW		8,95
Electrical output	kW		2,5
COP			3,59
Output data according to EN 14511:2011 nominal (50Hz)			
0/35			
Specified output	kW		8,89
Electrical output	kW		1,83
COP			4,85
0/45			
Specified output	kW		8,63
Electrical output	kW		2,29
COP			3,77
10/35			
Specified output	kW		11,22
Electrical output	kW		1,84
COP			6,11
10/45			
Specified output	kW		10,92
Electrical output	kW		2,32
COP			4,72

Tabla 4. Ficha técnica de la bomba

Con toda la información recogida de los datos de la Tabla 4, es posible obtener un documento en el que se puede calcular un COP para cada temperatura ambiental. Para ello se ha interpolado entre la información disponible para poder disponer de un mayor rango de datos. De partida se disponía la

temperatura de carga, la temperatura de fuente y un valor de COP asociado a dichas temperaturas.

Esta tabla se ha usado para la obtención de dos COP distintos, por un lado el COP correspondiente al funcionamiento de la bomba agua-agua (para el cual es necesaria la temperatura de acumulación) y por otro lado para el funcionamiento aire-agua (en este caso se ha trabajado con la temperatura ambiental).

8.4 Arquitectura del sistema (fase 4)

Fase 4.1: Implementación de las ecuaciones sistema solar

Para el cálculo teórico de las ecuaciones se han tenido que hacer unos cálculos previos para obtener la superficie total de la fachada que se puede aprovechar para la instalación de colectores solares. Se supone que la superficie bruta opaca es un 60% de la superficie bruta de la fachada y a su vez la superficie neta opaca supone un 80% de la bruta calculada, obteniendo para el caso de estudio una superficie total de 420 m². En el cálculo teórico de la curva de rendimiento se han hecho varias suposiciones, como la radiación incidente (500 W/m²), la superficie de cada colector (2 m²) y los parámetros de la ecuación de rendimiento del colector solar, el rendimiento óptico y los coeficientes de pérdidas. Así mismo, para este proceso se han colocado 10 colectores en serie, manteniendo este mismo número para el caso real de estudio.

Fase 4.2: Implementación de las ecuaciones sistema de acumulación

Por otra parte, se ha tenido que diseñar las ecuaciones que rigen el sistema de acumulación, al que se le han puesto varias condiciones. La temperatura del tanque ha sido acotada a un máximo y un mínimo, y en caso de obtener un valor fuera del rango, la temperatura se corresponderá con dichos límites. Para el caso teórico estos valores se han supuesto en 0 y 100 °C. En segundo lugar, otra de las condiciones impuestas es que la temperatura del tanque en un punto sea igual a la temperatura en dicho punto más el incremento de temperatura calculado en el punto previo. Por último, se ha introducido un balance de energía que permite obtener dicho incremento de temperatura.

Fase 4.3: Acoplamiento del sistema de ecuaciones

Antes de poder programar el acoplamiento, conviene visualizar el sistema, para saber cuáles son los factores que intervienen y la forma en la que interactúan entre ellos.

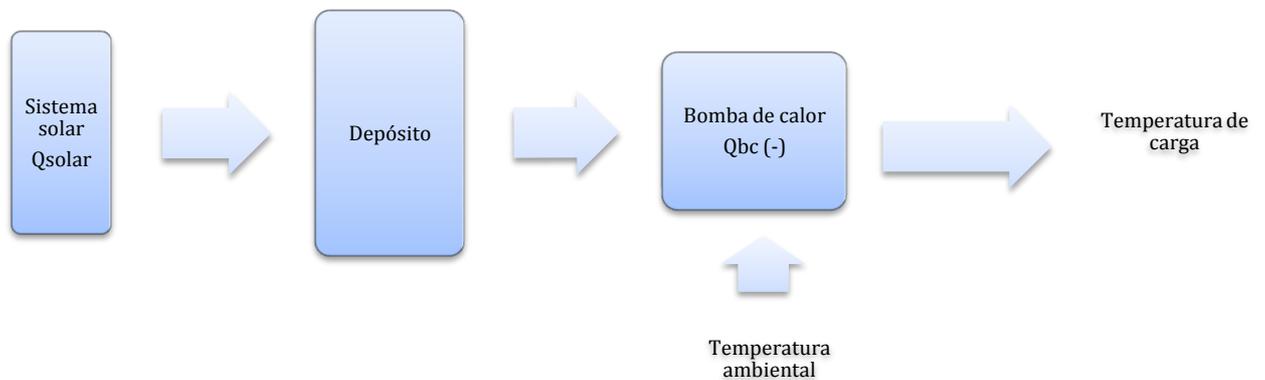


Ilustración 12. Sistema completo

Una vez establecidas las ecuaciones de ambos sistemas se han combinado para poder establecer las ecuaciones que rigen el sistema global. Para el acoplamiento de dichas funciones, se ha supuesto que en cada intervalo de tiempo se realiza un balance de energía, obteniéndose la temperatura de acumulación del depósito en el momento posterior. Ha sido necesario combinar las ecuaciones del sistema solar, las de la bomba de calor y las del sistema de acumulación para así poder obtener la temperatura final del depósito.

El siguiente paso en el desarrollo del sistema ha sido interpolar los datos de entrada a pasos de 0.1 horas para así poder obtener resultados más precisos acordes con los tiempos. De este paso se han obtenido los resultados finales, pero se tiene que tener en cuenta que hay que realizar varias correcciones a la potencia térmica entregada a la bomba de calor.

Fase 4.4: Lógica de control

Con los rendimientos calculados en el paso anterior, se ha implementado una lógica de control para establecer el valor de las demandas reales y poder con ello concretar el porcentaje de la demanda que está cubierto por el sistema en funcionamiento agua o aire.

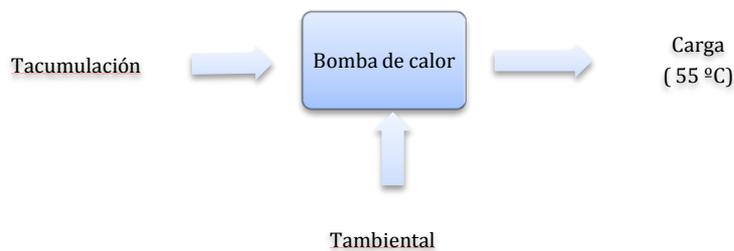


Ilustración 13. Esquema bomba de calor

En la Ilustración 13 se puede apreciar un esquema muy simplificado de la bomba de calor, en el que están separados por una parte el sistema de agua y por otra el de aire. El objetivo de la lógica de control es establecer un criterio según el cual se activará uno de los sistemas.

La bomba de calor estará en modo funcionamiento agua-agua en caso que la Ecuación 6. Si la afirmación anterior no se satisficiera sería necesario completar el sistema con el funcionamiento de la bomba aire-agua. Se ha estudiado los efectos de variar el valor de offset para 5, 10, 15, 20 y 30 °C. (Los offset son compensaciones que se aplican a las temperaturas para obtener mejores resultados).

Este proceso se ha llevado a cabo por repetición del programa, hasta que la temperatura al final del año en el depósito sea igual a la temperatura inicial. Para ello se han realizado varias pruebas y se ha modificado el valor de la temperatura inicial. El objetivo es que la temperatura final difiera de la inicial como mucho en un par de grados.

Esta fase ha sido la herramienta para seleccionar la fuente de la bomba de calor, es decir, su modo de funcionamiento. Puesto que se está trabajando

con una bomba híbrida, es necesario seleccionar la fuente con la que está funcionando en cada instante. Para cada paso de tiempo se ha establecido la fuente, y las potencias asociadas. Una vez seleccionada la fuente, se calculan dos valores de COP, uno para el agua y otro para el aire. A partir de estos valores se pueden calcular los consumos térmicos y eléctricos de ambos modos de funcionamiento.

8.5 Cálculo del COP anual (fase 5)

Con los cálculos previos realizados, es interesante analizar la evolución del COP en función de los distintos parámetros de offset estudiados. Para cada una de las localizaciones se representará en una gráfica el COP frente al offset, para establecer cuál es el valor óptimo de funcionamiento de la bomba. Para realizar este cálculo es necesario conocer los consumos térmicos y los consumos eléctricos. Ambos valores calculados para los dos modos de funcionamiento, agua-agua y aire-agua.

8.6 Estudio de alternativas (fase 6)

Dentro de esta fase se ha realizado el estudio de alternativas previamente mencionado, es decir, aumentar el número de valores de offset para así poder calcular el valor óptimo del COP. Lo que se ha optado por hacer es, una vez analizadas las gráficas de la fase anterior, establecer en torno a qué puntos del offset se encuentra el valor del COP máximo e introducir varios valores de offset en torno a dicho punto. De esta forma se logra una gráfica más precisa de los resultados y se puede extraer el valor del COP deseado.

Una vez que se han obtenido los valores del COP óptimo para cada una de las localizaciones, se han usado para mejorar el dimensionamiento del depósito con el fin de obtener un sistema que cumpla con los requerimientos de la mejor forma posible.

8.7 Diagramas de Sankey y de barras (fase 7)

Esta es la última fase del proyecto, en cuanto a modificaciones del sistema. Consiste en dos tipos de gráficos, que representen los resultados para una mayor visibilidad de los resultados. Primeramente se ha calculado el diagrama de barras, que ha representado como diagrama de barras acumulado, en el que se pueden ver los valores de la demanda térmica agua-agua, la térmica aire-agua y la demanda eléctrica. La barra con los tres

valores acumulados, tiene que ser igual a una barra con la demanda global del edificio, puesto que de esta demanda se han calculado los modos de funcionamiento y se ha establecido qué parte corresponde al modo agua-agua y cuál al aire-agua.

Con la ayuda de este diagrama se ha construido un diagrama de Shankey, que representa también información sobre la radiación solar del sistema.

8.8 Evaluación económica (fase 8)

Para concluir con el proyecto, se ha llevado a cabo un análisis económico. En éste no sólo se ha estudiado el sistema del proyecto en cuestión, sino que se ha hecho una comparativa entre varios sistemas con distintas fuentes de energía para comparar cuál de ellos es más rentable. En concreto se han elegido cuatro modelos de estudio, el actual estudiado a lo largo de todo el proyecto, una bomba de calor usando una fuente geotérmica, una bomba de calor de aire y por último una caldera de gas convencional. En el aparatado del estudio económico está detallado el proceso seguido.

9. Diagrama de Gantt/cronograma

Para este apartado del proyecto, se ha seguido el mismo esquema que durante el desarrollo del trabajo. Gracias a la herramienta del Gantt Project, se puede plantear la duración de cada una de las tareas.



Nombre	Fecha de inicio	Fecha de fin
TFM	19/01/18	31/05/18
III.MEMORIA	19/01/18	5/02/18
1. Introducción	19/01/18	23/01/18
2. Contexto	19/01/18	25/01/18
3. Objetivos y alcance del trabajo	25/01/18	25/01/18
4. Beneficios que aporta el trabajo	23/01/18	23/01/18
5. Análisis del estado del arte	24/01/18	2/02/18
6. Análisis de alternativas	23/01/18	23/01/18
7. Descripción de la solución propuesta	2/02/18	5/02/18
IV. METODOLOGÍA SEGUIDA EN EL DESARROLLO DEL TRABAJO	22/01/18	18/05/18
1. Descripción de las fases	22/01/18	9/02/18
2. Cálculos y algoritmos	12/02/18	6/04/18
3. Descripción de los resultados	9/04/18	18/05/18
V. ASPECTOS ECONÓMICOS	7/05/18	28/05/18
Descripción del presupuesto	7/05/18	28/05/18
I. RESUMEN	29/05/18	31/05/18
VI. CONCLUSIONES	29/05/18	31/05/18

Ilustración 14. Tareas de Gantt project

La Ilustración 14 muestra el reparto de tareas junto con la duración de las mismas. Éstas han sido definidas previamente en la descripción de fases. Como se puede apreciar, varias de ellas se han realizado simultáneamente.

Sólo queda por representar dichas tareas, lo cual se muestra a continuación.

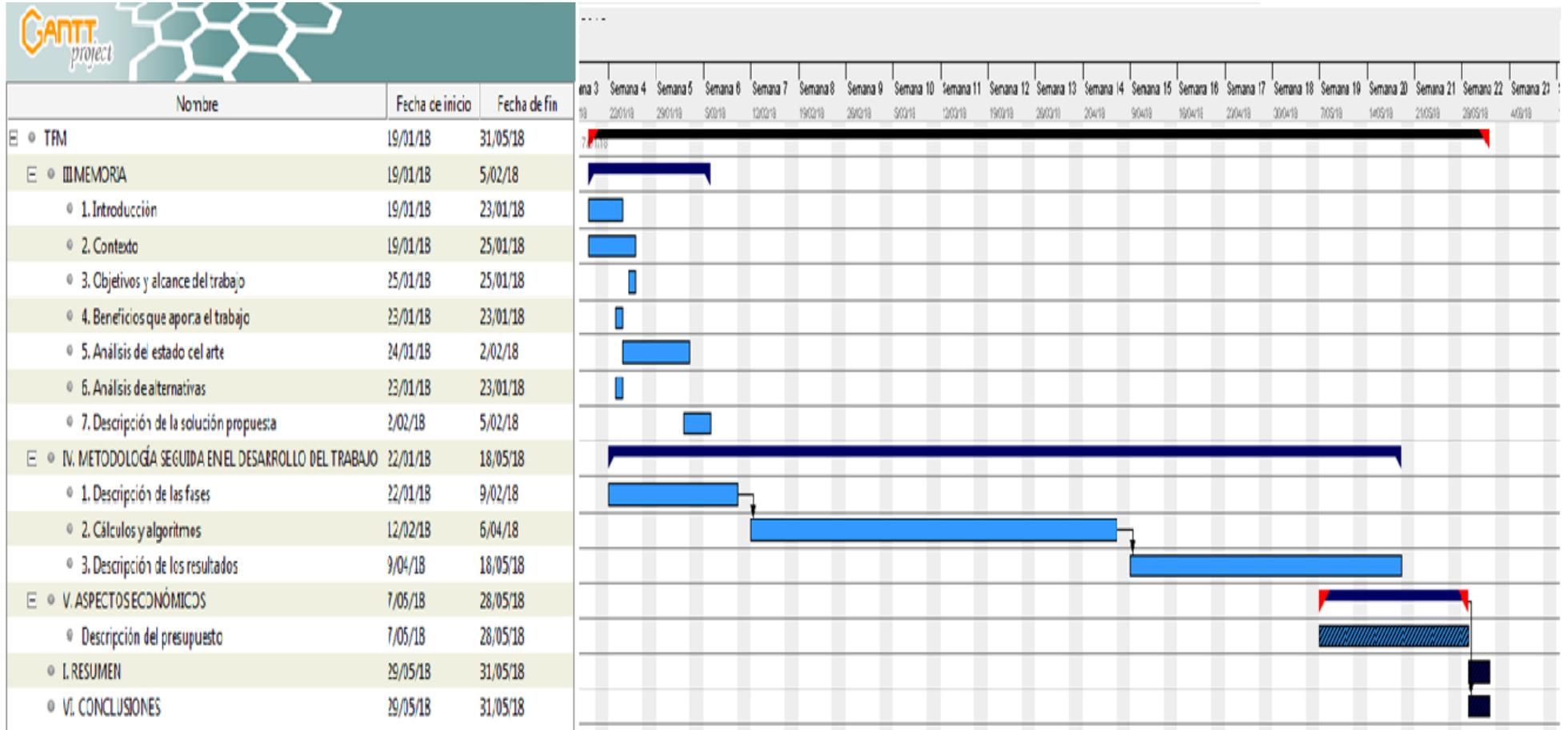


Ilustración 15. Diagrama de Gantt

10. Cálculos, algoritmos

La ecuación usada para el rendimiento en las ecuaciones del sistema solar (fase 4.1) es la correspondiente Ecuación 4.

$$\eta = a_0 - a_1 * \frac{\Delta T}{I} - b_1 * \frac{\Delta T^2}{I} \quad (4)$$

En ella aparecen varios términos, los coeficientes a_0 , a_1 y b_1 se obtienen de la curva teórica de rendimiento. Para poder obtener dicha curva, primeramente se han tenido que suponer unos datos de radiación de partida. Posteriormente se han empleado dichos resultados para los datos disponibles de este proyecto. El incremento de temperatura correspondiente a la Ecuación 4, hace referencia al salto de temperatura existente entre un colector solar y el siguiente, ambos conectados en serie.

Como se ha explicado previamente, para el cálculo de los parámetros del sistema de acumulación (fase 4.2) es necesario realizar un balance que se expresa con la Ecuación 5. El incremento de temperatura en este caso se corresponde con la diferencia de temperatura entre un paso de tiempo y el siguiente.

$$\sum Q = V * C_p * \rho * \Delta T \quad (5)$$

Una vez detallados los sistemas por separado es necesario realizar un acoplamiento de ambos sistemas (fase 4.3). En esta fase hay que programar las ecuaciones del sistema solar con las del depósito de acumulación.

La lógica de control que rige el sistema (fase 4.4) se ajusta a la Ecuación 6:

$$T_{acumulación} > T_{ambiental} + Offset \quad (6)$$

Esta ecuación se aplica a la bomba de calor, para conocer el modo de funcionamiento que va a seguir, es decir, para seleccionar la fuente.

Para realizar esta fase se ha seguido el siguiente procedimiento:

- En caso de que la Ecuación 6 se cumpla, la fuente seleccionada es agua-agua, en caso contrario el modo de funcionamiento es aire-agua.
- Una vez establecido el modo de funcionamiento, se establece la temperatura de carga a 55 °C y la de fuente, la temperatura de acumulación en caso de modo agua-agua o la temperatura ambiental en caso de aire-agua.
- Con las temperaturas de carga y fuente seleccionadas, se obtiene el COP para ambos modos y con ello se calculan los consumos térmicos y eléctricos.

Para obtener el COP (fase 5) se ha empleado la Ecuación 7, en la que intervienen la demanda y consumos eléctricos de la bomba de calor:

$$\text{COP} = \frac{\sum P_{t,demanda}}{\sum EE_{BC}} \quad (7)$$

El numerador se corresponde con la demanda del edificio inicial, dato de partida que se tiene para cada una de las localizaciones. El denominador se obtiene con la información de la fase anterior. Con los consumos eléctricos calculados de ambos modos.

11. Descripción de los resultados

En este apartado se muestran los resultados obtenidos en las fases del proyecto comentando las gráficas y los datos obtenidos. Se sigue el mismo orden definido en la descripción de fases.

Primeramente, se muestra un mapa de la severidad climática europea, para poder apreciar las diferentes zonas climáticas y poder analizar con posterioridad en qué zonas resulta de interés instalar el sistema de estudio.

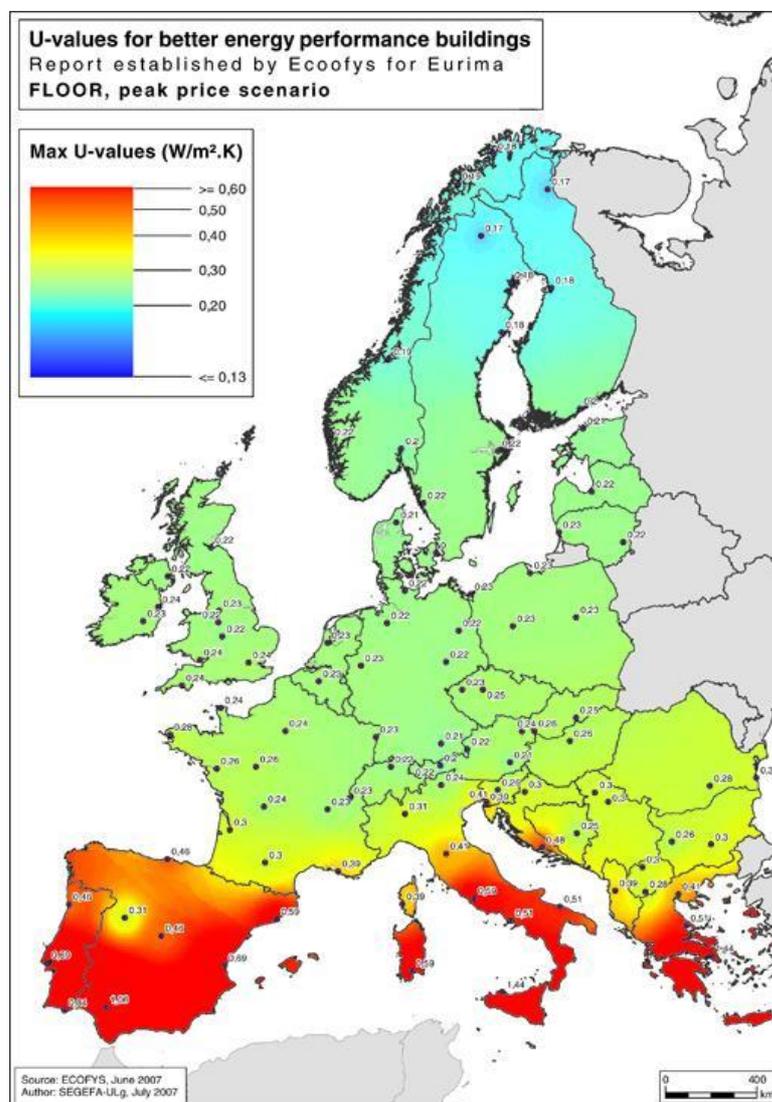


Ilustración 16. Mapa de severidad climática, fuente EURIMA [13]

Para la primera fase, se han agrupado los resultados en dos imágenes que muestran los datos climatológicos mensuales y semanales de las cuatro ciudades.

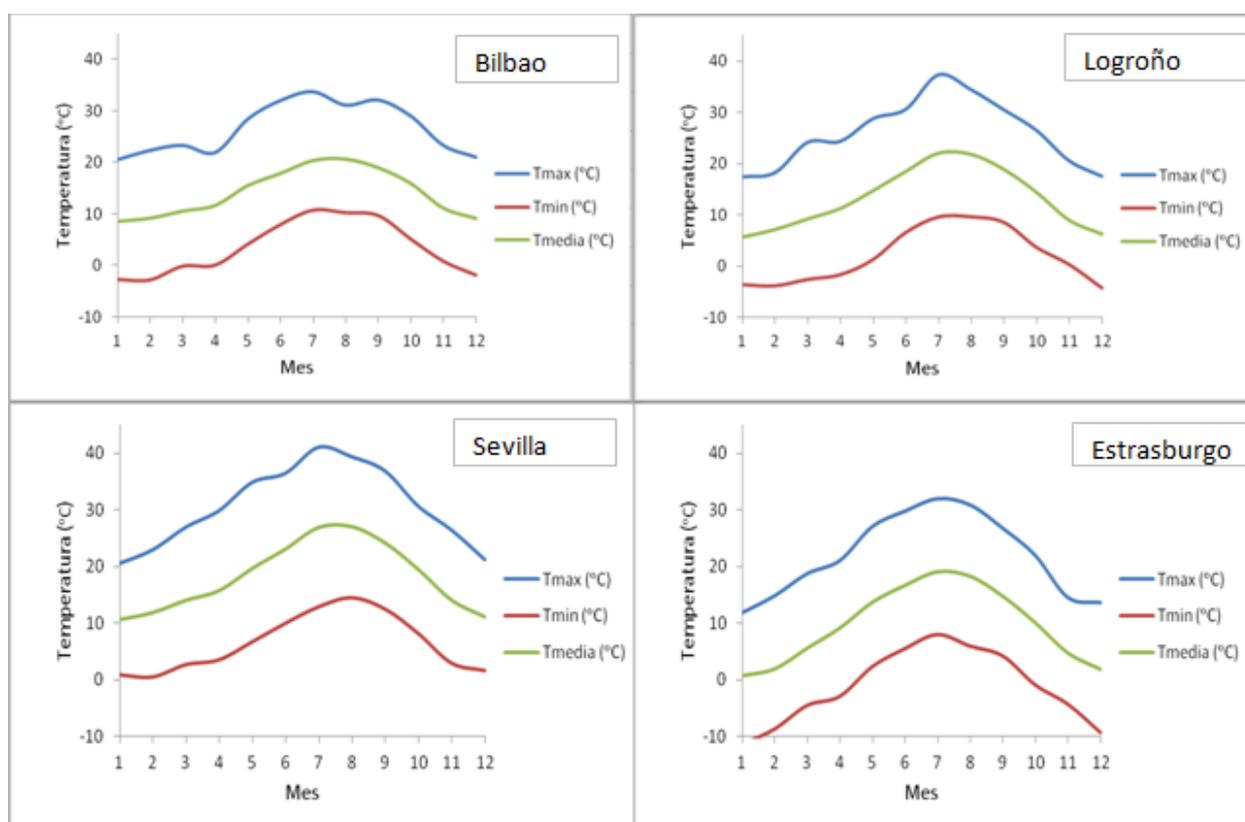


Ilustración 17. Climatología mensual

En los gráficos anteriores se muestran los resultados de la climatología mensual. A primera vista se aprecia como todos ellos presentan una forma de curva muy similar, con temperaturas más bajas en invierno y ascendentes en los meses de verano, como cabría esperar. La mayor diferenciación entre ellas ocurre en el último caso, Estrasburgo, con un clima más frío y por tanto con las curvas desplazadas hacia abajo.

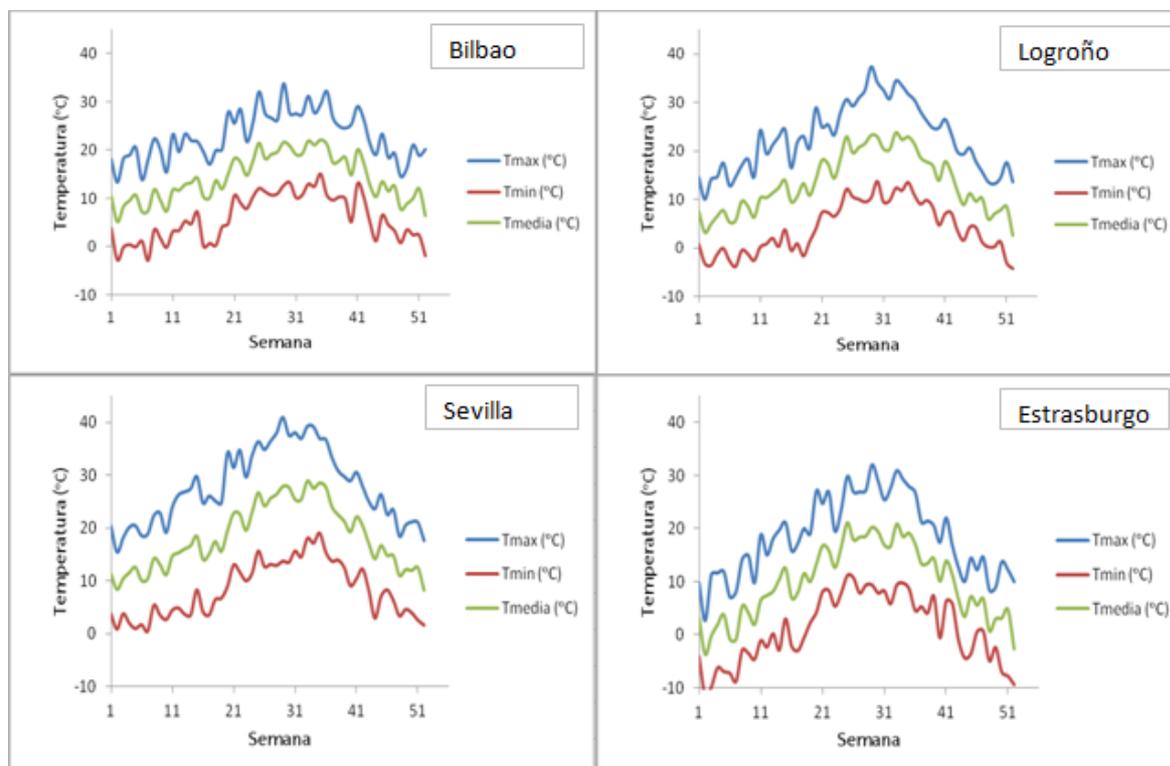


Ilustración 18. Climatología semanal

En cuanto a la temperatura semanal, sigue un análisis similar al anterior. En la Tabla 5 se muestra información referente a los cuatro climas, con la temperatura mínima, máxima y el mes al que corresponde:

Localización	Mínima		Máxima	
	Mes	Tmin (°C)	Mes	Tmax(°C)
Bilbao	Febrero	-2.84	Julio	33.7
Logroño	Diciembre	-4.27	Julio	37.3
Sevilla	Febrero	0.51	Julio	41
Estrasburgo	Enero	-11.5	Julio	32

Tabla 5. Temperaturas mínimas y máximas

Por último, dentro de la fase climatológica, se han realizado unos gráficos que permitan comparar la radiación solar (de mayor a menor) en las cuatro ciudades. Esta gráfica permite obtener qué ciudad posee mayor radiación solar.

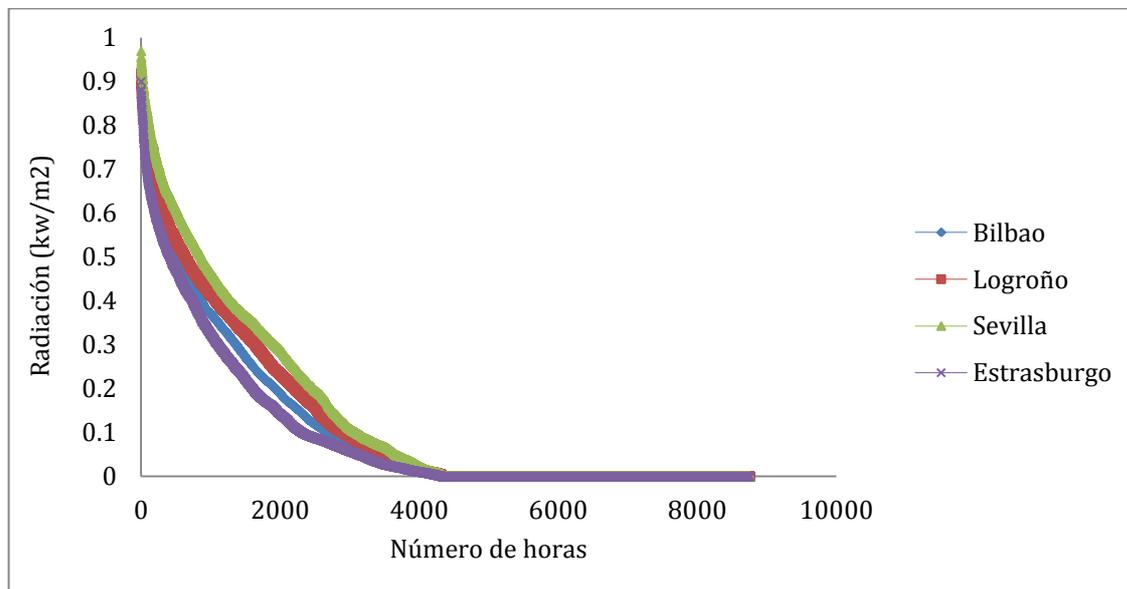


Ilustración 19. Radiación solar comparativa

De la Ilustración 19, se concluye que Sevilla dispone de una mayor radiación solar, con valores relativamente superiores a las otras ciudades, especialmente comparándolo con Estrasburgo. También se puede apreciar que todas ellas rondan las 4000 horas de radiación al año.

A continuación se muestran las gráficas de demandas energéticas (fase 2) correspondientes a cada una de las divisiones previamente mencionadas.

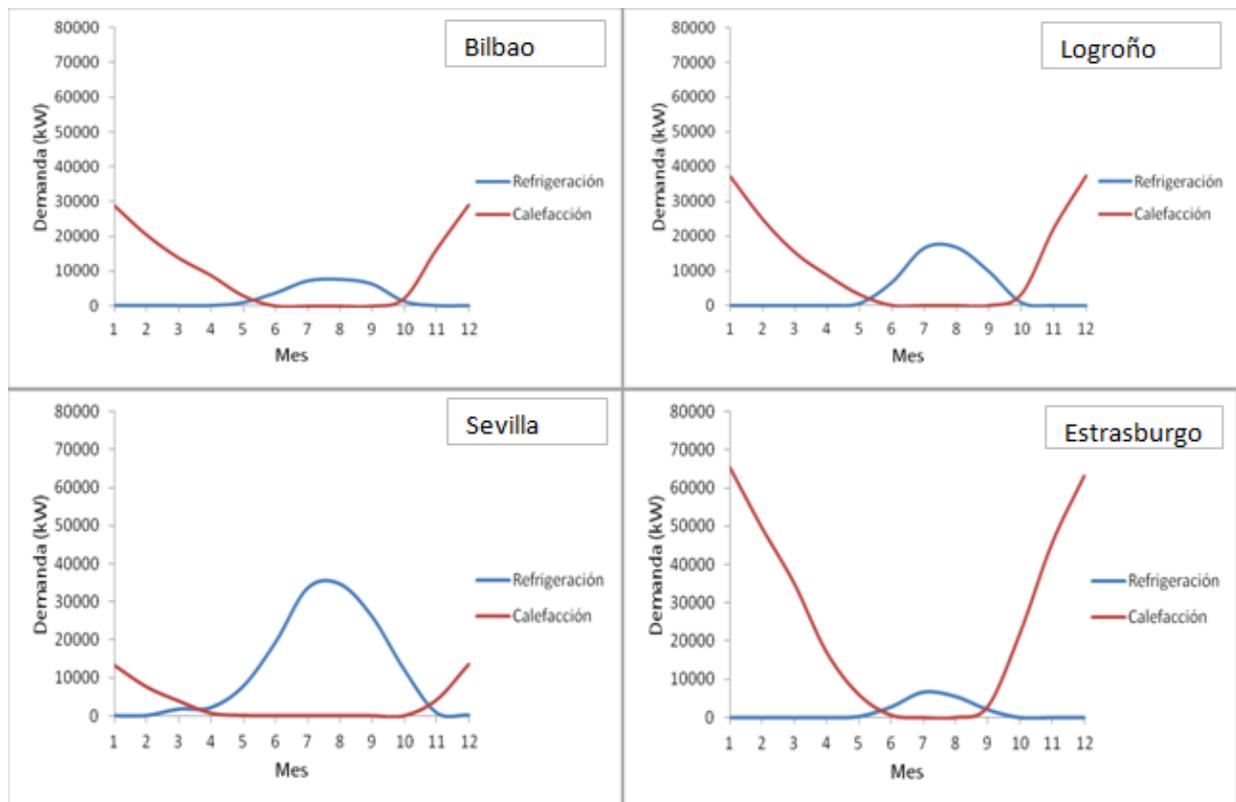


Ilustración 20. Demanda mensual

El primer análisis que se realiza es mensual y en los gráficos queda claramente reflejada la diferencia de demandas en función de la estación del año. Aun siendo gráficas que difieren, se puede apreciar en las 4 un patrón, la demanda azul corresponde a la necesidad de refrigeración que en los meses de invierno es prácticamente nula, aumentando en los meses de verano. Por otro lado la demanda roja corresponde a la necesidad de calefacción. Como es de esperar, esta demanda sigue una curva inversa a la anterior, con una demanda elevada en los meses de inviernos y notablemente menor en los meses de verano. Sin duda, Estrasburgo es la ciudad con mayor necesidad de calefacción, como consecuencia de su climatología.

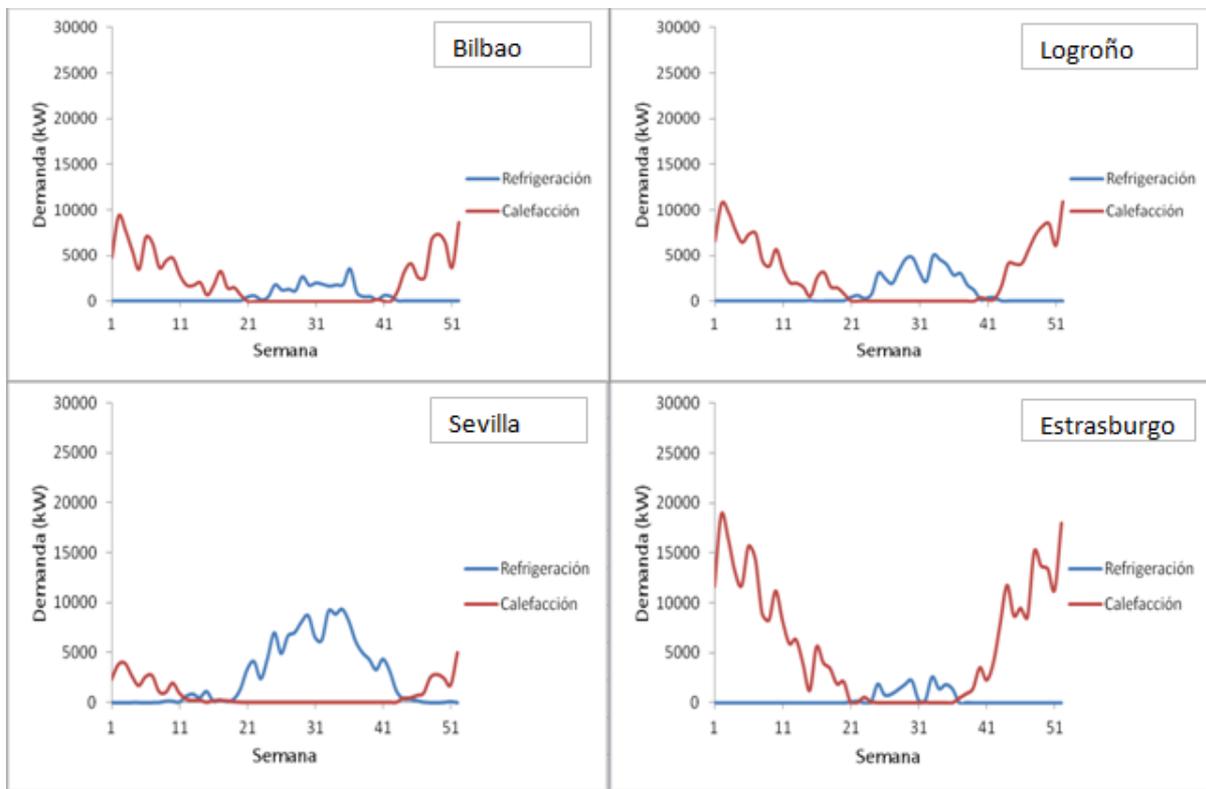


Ilustración 21. Demanda semanal

Para la demanda semanal se puede apreciar que todas ellas repiten nuevamente el patrón previamente mencionado, viendo en estas gráficas cómo el último caso tiene curvas más pronunciadas de calefacción.

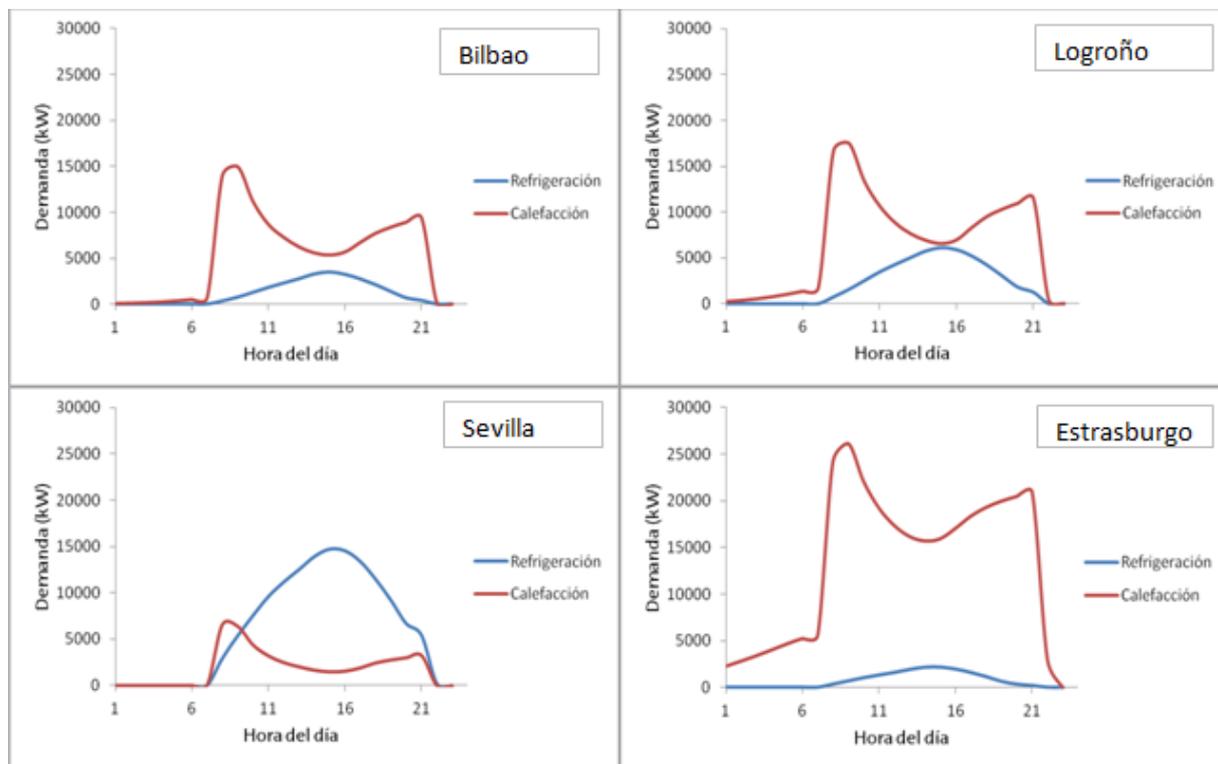


Ilustración 22. Demanda horaria

Para el caso de demanda horaria, sería el tercer clima (Sevilla) el que muestra mayor diferencia respecto a los otros climas. Se puede ver un pico de demanda de calefacción en torno a las 7 de la mañana, hora en la que comienza la actividad en una vivienda familiar, siendo nula esta demanda durante la noche. Esto se debe a que los sistemas de calefacción permanecen apagados durante la noche. En cuanto a la refrigeración la demanda se produce durante las horas del mediodía, cuando las temperaturas alcanzan sus máximos. En Estrasburgo, como cabría esperar, la demanda de refrigeración es muy moderada y la curva apenas cambia de pendiente.

Hay que matizar, que aunque en las gráficas anteriores se hace referencia tanto a la refrigeración como a la calefacción, sólo esta última ha sido empleada para los cálculos posteriores.

El último análisis comparativo que se ha llevado a cabo, corresponde con la demanda diaria, y para ello se ha hecho una regresión lineal de los datos. Se

ha considerado únicamente las demandas correspondientes a temperaturas ambientales por debajo de los 15 °C. Las gráficas se muestran a continuación:

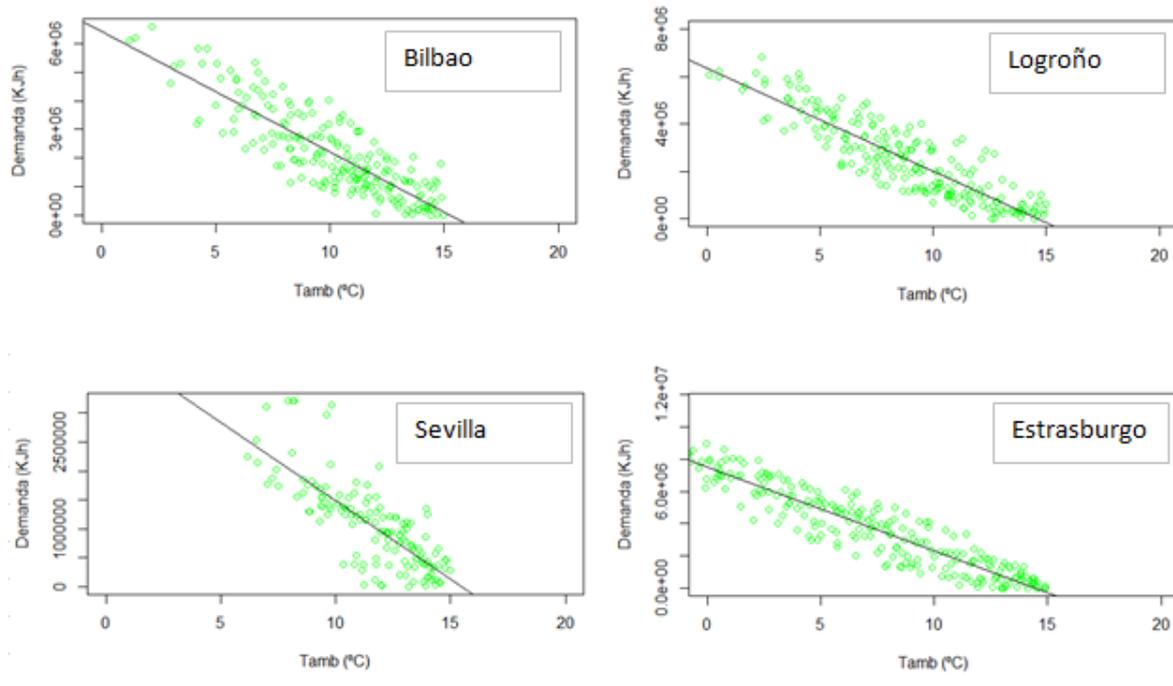


Ilustración 23. Regresiones lineales

Para cada una de ellas se ha obtenido su aproximación correspondiente

Localización	Aproximación lineal
Bilbao	$y = -420329x + 6E+06$
Logroño	$y = -436470x + 6E+06$
Sevilla	$y = -270938x + 4E+06$
Estrasburgo	$y = -521343x + 8E+06$

Tabla 6. Aproximaciones

En la Ilustración 24, se muestra el resultado de la fase 4.1, que nos permite obtener la curva teórica de rendimiento

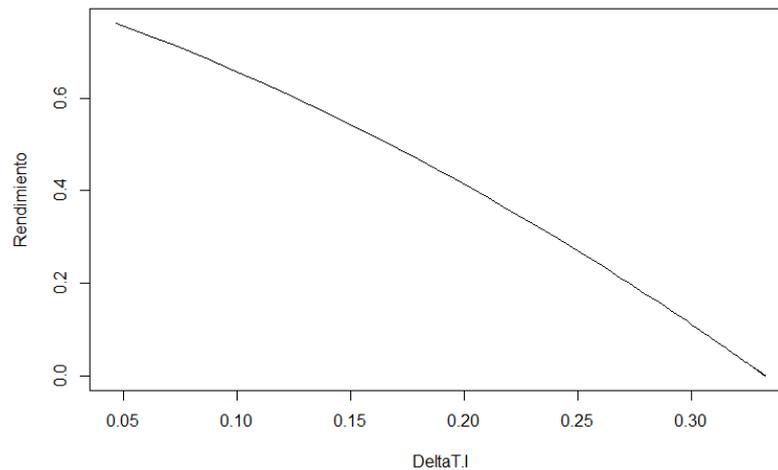


Ilustración 24. Curva teórica de rendimiento

De ella se extrae los parámetros característicos del rendimiento necesarios para el diseño del sistema solar. Dichos parámetros se especifican en la Tabla 7:

a_0	0.8451
a_1 (W/m ² K)	1.8976
b_1 (W/m ² K ²)	0.1506

Tabla 7. Parámetros de la curva de rendimiento

La situación real incluye los datos de la radiación de partida, que habían sido previamente proporcionados para cada localización así como las temperaturas ambientales. Para cada hora del año, se ha calculado el rendimiento del sistema solar y la potencia del mismo. Un aspecto que se ha tenido en cuenta a la hora de analizar los datos ha sido que la radiación incidente fuera mayor que 50 W y que todos aquellos resultados con rendimiento negativo se han considerado no válidos. Está realizado para 10 colectores conectados en serie.

A modo de visualización, una vez que las ecuaciones del sistema has sido acopladas (fase 4.3), en la imagen que se muestra a continuación, se puede ver una gráfica de la temperatura del tanque en función de la hora en la que se esté. Esta representación es orientativa, puesto que está realizada con los valores originales y será necesario posteriormente ajustar alguno de los parámetros.

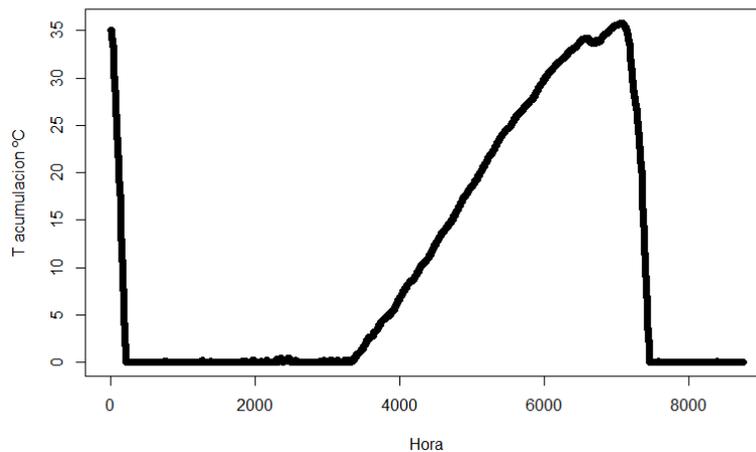


Ilustración 25. Temperatura del tanque vs Tiempo Bilbao

Tras realizar las primeras pruebas en Bilbao, se ha observado la necesidad de realizar varias modificaciones en los parámetros de diseño de los colectores solares. Lo que se ha hecho es modificar la temperatura de acumulación del depósito con la que se inicia la simulación. Como se puede apreciar en la imagen anterior, la simulación finaliza con 0 grados, por lo que es de interés establecer la temperatura inicial a 0 grados y analizar para este caso los resultados. Lo que sí se puede concluir de estas gráficas es que la temperatura de acumulación del depósito sube en verano puesto que la demanda de calefacción disminuye.

Tras realizar los cambios pertinentes (fase 4.4), se obtienen unas gráficas completamente distintas, pero que sí mantienen la misma lógica anterior.

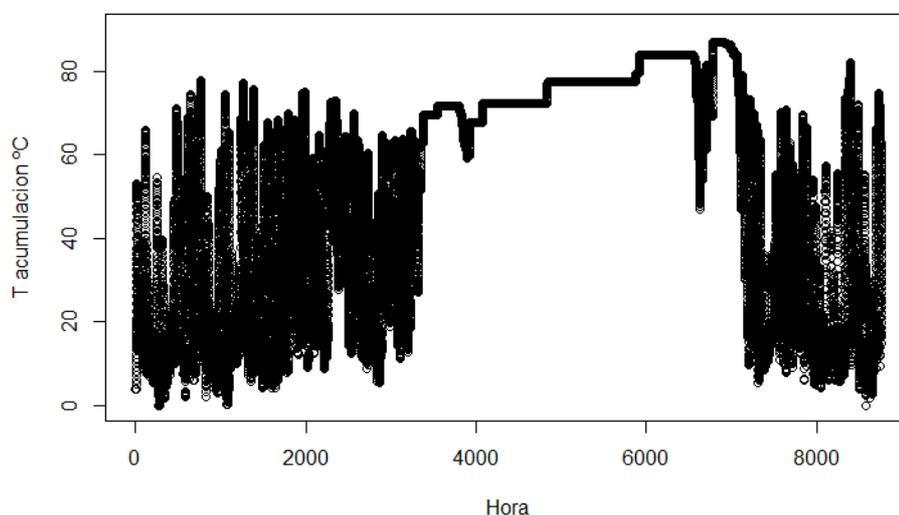


Ilustración 26. Temperatura del depósito con offset a 5 grados (Bilbao)

Aunque en la memoria únicamente se ha incluido la imagen correspondiente a aplicar un offset de 5 grados a Bilbao, se ha realizado este mismo proceso para las cuatro ciudades y para los offset que se habían establecido previamente en la descripción de esta fase. El motivo de no incluir todas las gráficas de los resultados, es que visualmente es difícil apreciar los cambios entre ellas y no aportaría la información deseada. Toda la información ha sido propiamente empleada en los cálculos pertinentes.

El análisis que se concluye de todas ellas es que, en verano el depósito consigue elevar su temperatura, como se ha mencionado anteriormente, por una disminución en el consumo de la demanda de calefacción. Otra de la información que se extrae de la gráfica es que, a lo largo del día el depósito sufre oscilaciones en la temperatura, como consecuencia del consumo de calefacción. Es difícil apreciarlo en la imagen puesto que se ha realizado para pasos de tiempo de 0.1 horas.

El cálculo del COP anual (fase 5) queda reflejado en las próximas imágenes, en el que se representa el COP anual frente a los distintos valores del Offset. Seguido a ellas, se muestran las mejoras correspondientes a la curva y bajo a ellas una tabla que recoge los valores del COP para los distintos valores del Offset.

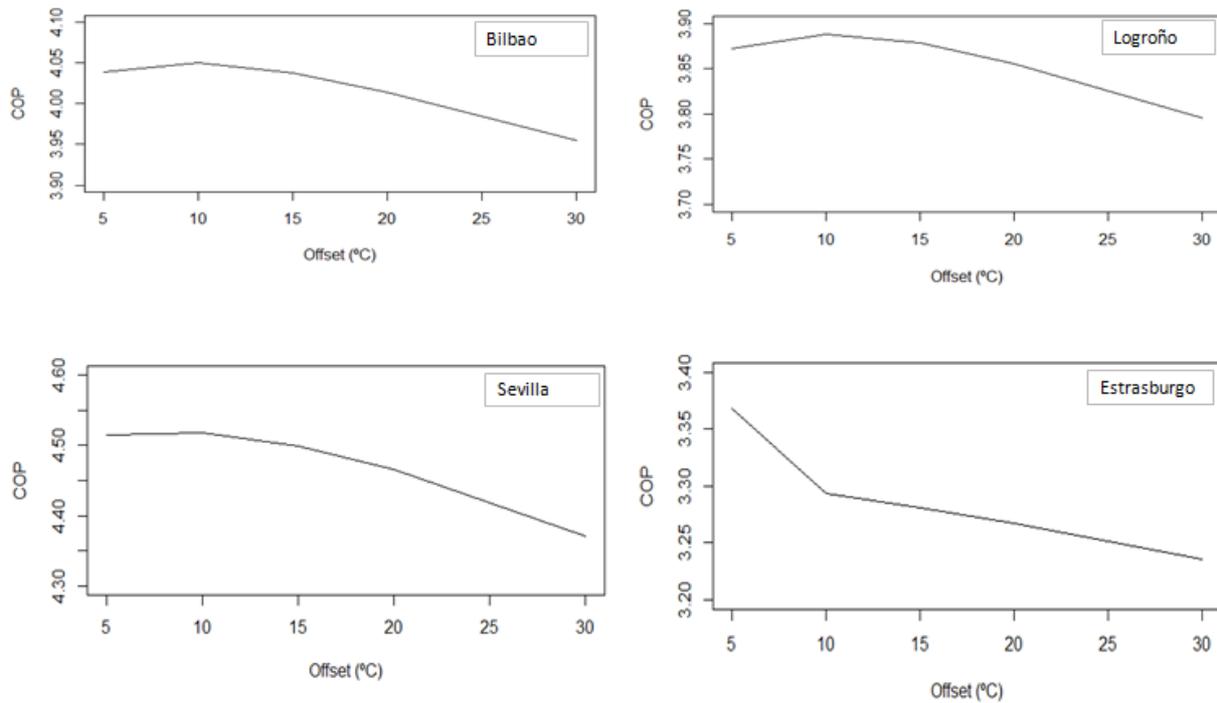


Ilustración 27. COP vs Offset

Tras los primeros resultados se ha procedido a su optimización (fase 6), con nuevas curvas. Para cada ciudad se ha representado la curva correspondiente y una tabla que recoge los distintos valores de offset que se han estudiado.

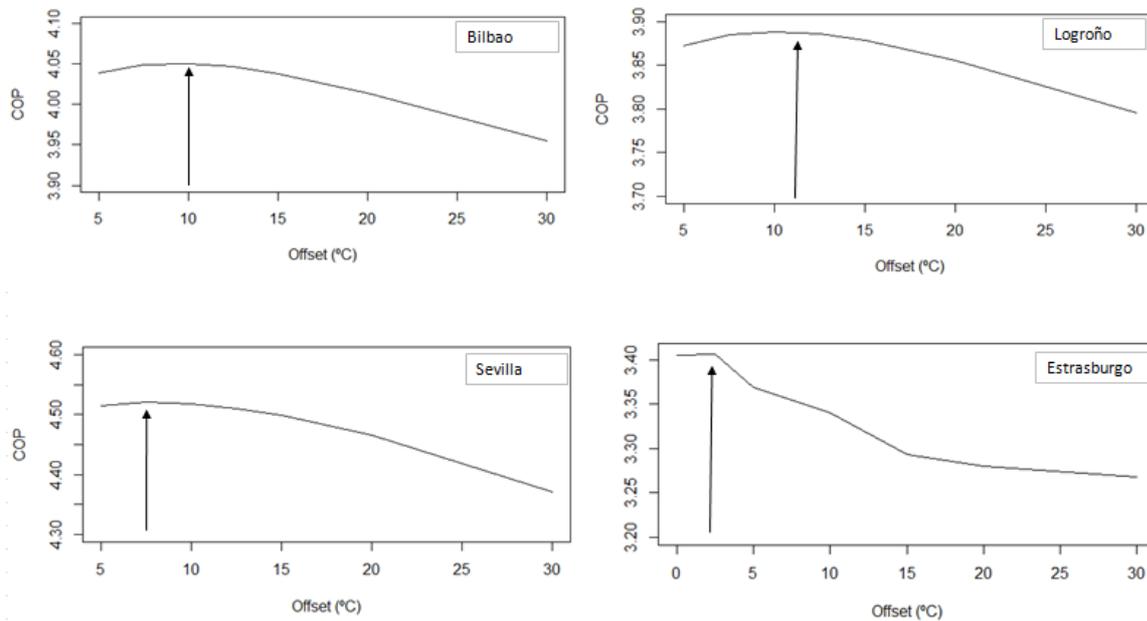


Ilustración 28. COP vs Offset (optimizado)

COP		Clima			
		Bilbao	Logroño	Sevilla	Estrasburgo
Offset	0	X	X	X	3.406
	2.5	X	X	X	3.406
	5	4.039	3.872	4.515	3.369
	7.5	4.049	3.885	4.52	3.340
	10	4.051	3.888	4.518	3.294
	12.5	4.047	3.886	4.51	X
	15	4.038	3.879	4.498	3.281
	20	4.014	3.856	4.465	3.268
	30	3.955	3.796	4.371	3.235

Tabla 8. Selección de COP

Los resultados correspondientes a la sensibilidad del depósito (fase 4.6) se recogen en la Tabla 9 :

	Bilbao	Logroño	Sevilla	Estrasburgo
Volumen	COP	COP	COP	COP
2	4.051	3.888	4.520	3.406
2.25	4.059	3.895	4.551	3.406

Tabla 9. Sensibilidad del depósito

Se concluye que para todos los casos, al aumentar el volumen del depósito, aumenta el valor del COP. El caso que mayor aumento experimenta es en Sevilla, y por el contrario el cambio en Estrasburgo es prácticamente nulo. El incremento analizado es de un 0.25 m³. Aumentar nuevamente el volumen del depósito, proporcionaría valores ligeramente superiores del COP, pero hay que tener en cuenta que no se puede aumentar en gran medida el volumen del depósito, ya que éste tiene que estar instalado en el edificio y sus dimensiones tampoco pueden excederse.

Por la parte del análisis del COP, se concluye que a medida que aumenta el valor del Offset, disminuye el funcionamiento óptimo.

Una vez calculados los valores del COP, para los Offset correspondientes se construyen los diagramas de barras (fase 7). En ellos se representa el consumo térmico del agua, del aire y el eléctrico de ambos.

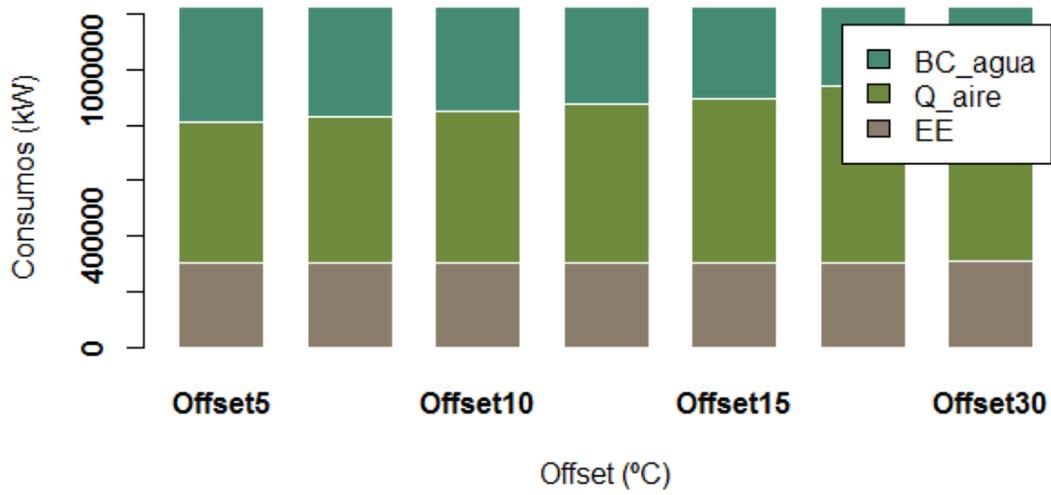


Ilustración 29. Diagrama de barras Bilbao

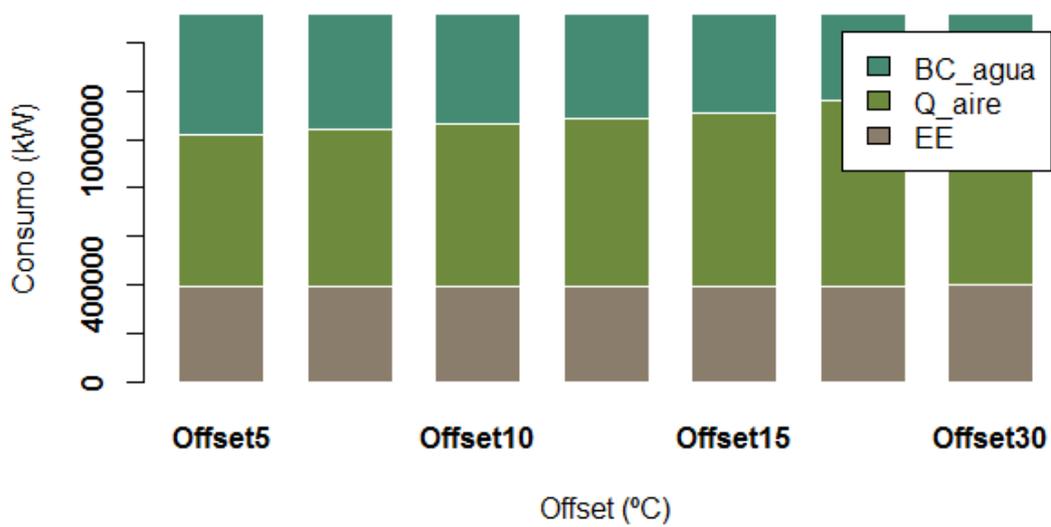


Ilustración 30. Diagrama de barras Logroño

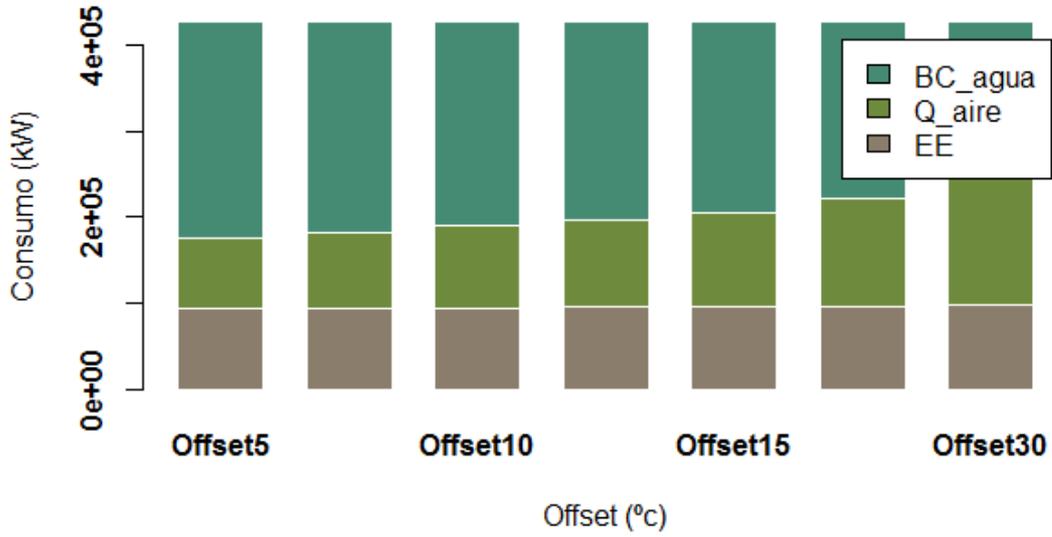


Ilustración 31. Diagrama de barras Sevilla

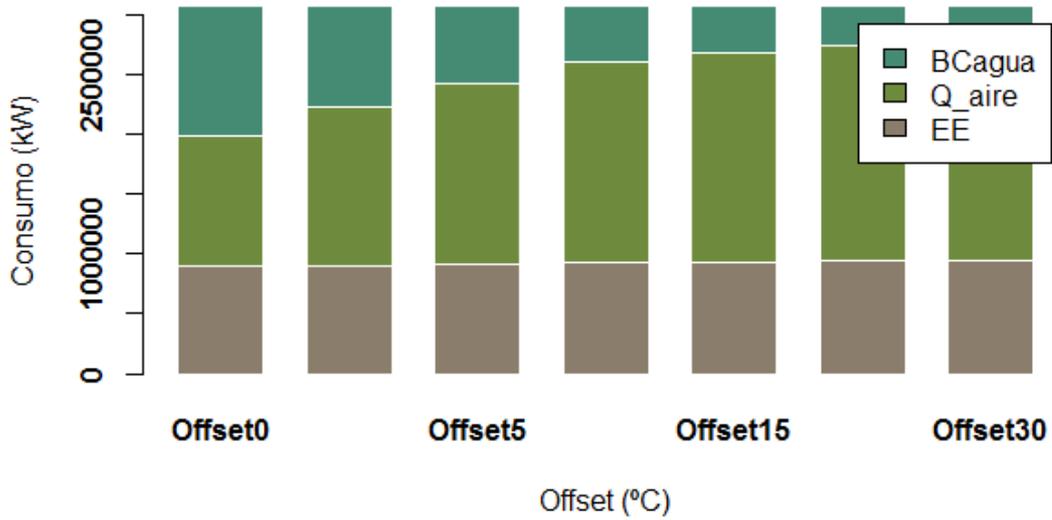


Ilustración 32. Diagrama de barras Estrasburgo

Tras analizar los gráficos anteriores, se puede concluir que a medida que aumenta el valor del offset del sistema, el consumo de la bomba de calor del agua disminuye, mientras que el valor del térmico del aire aumenta. Esta tendencia se mantiene para las cuatro ciudades, en mayor o menor medida. El consumo eléctrico permanece prácticamente inalterable, puesto que a medida que aumenta el offset el valor del COP disminuye, pero no lo hace a gran medida y por tanto la variación en el consumo eléctrico es muy pequeña.

Por último, se ha realizado un diagrama de Sankey, a modo genérico de todas las localizaciones. Los factores que intervienen en el diagrama quedan señalados en la leyenda del gráfico.

Este gráfico muestra la radiación solar incidente, la potencia solar y los consumos térmicos y eléctricos. La potencia de los colectores ha sido calculada a partir de la radiación solar. El consumo de la bomba de calor en modo agua-agua, ha de ser igual a dicha potencia de los colectores, asegurando así que el diseño ha sido diseñado correctamente. A este consumo térmico del agua se le suman el consumo eléctrico de ambos modos de funcionamiento y el eléctrico del modo aire-agua. Combinando todos los consumos, se ha obtenido como resultado la demanda del edificio.

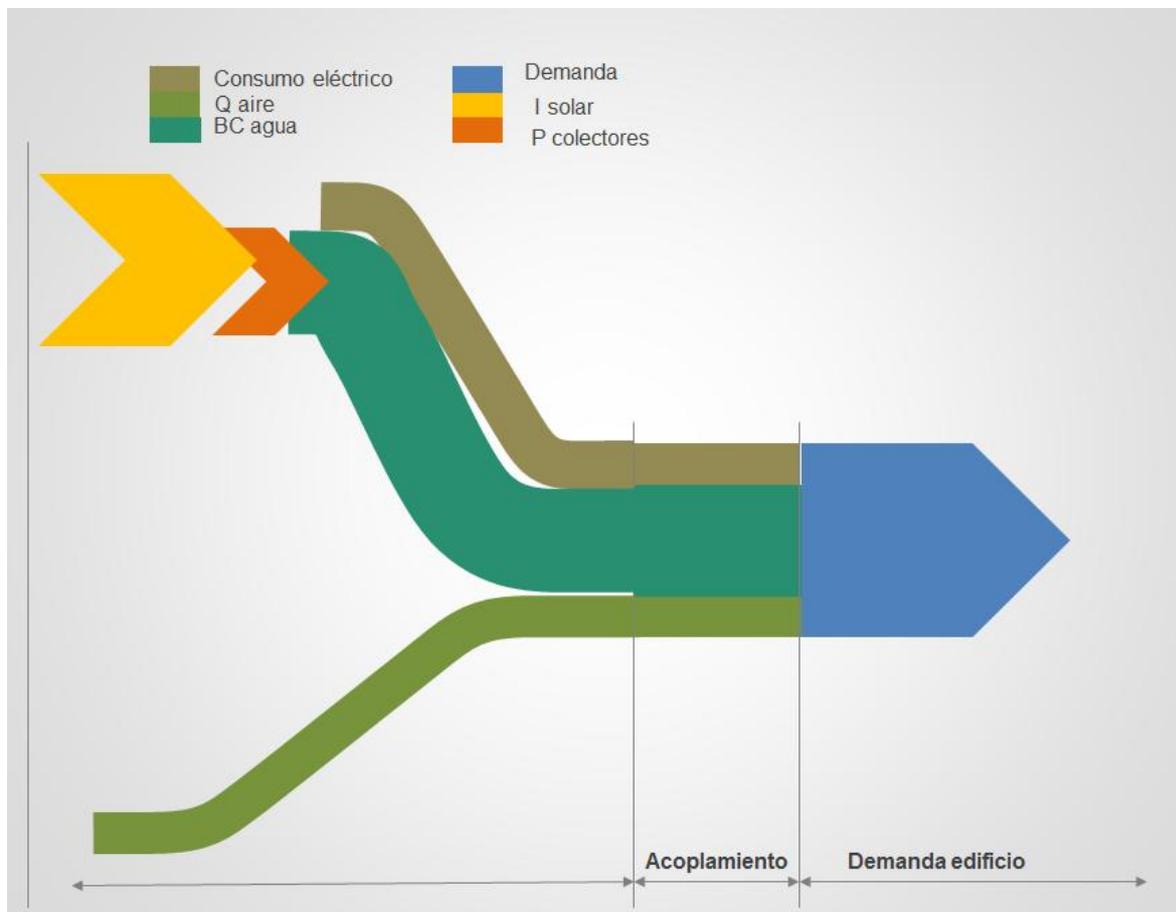


Ilustración 33. Diagrama de Sankey

Al igual que ocurre con los diagramas de barras, a medida que aumenta el valor del offset, se modifica el diagrama aumentando el valor del consumo térmico del aire y disminuyendo el consumo térmico del agua.

V. ASPECTOS ECONÓMICOS

12. Descripción del presupuesto y/o del presupuesto ejecutado

En el análisis económico está basado en el estudio comparativo de cuatro fuentes de energía:

- Caldera de gas natural
- Bomba de calor (aire)
- Bomba de calor usando energía geotérmica
- El sistema de desarrollo de este proyecto, bomba híbrida (aire-agua) con aporte solar.

Para un estudio óptimo es necesario separar este apartado en dos, por una parte los costes de energía y por otro lado los costes de inversión.

Por ello, primeramente se muestran los resultados asociados a los costes de energía. Para obtener los resultados, ha sido necesario tener en cuenta la información que se detalla a continuación sobre los rendimientos de los sistemas y los costes de la energía primaria:

- COP sistemas
 - Bomba de calor aire-agua (solar): la óptima seleccionada en la fase 4.6
 - Bomba de calor aire: 3.5
 - Bomba de calor geotérmica: 4.18 (valor obtenido de la tabla obtenida en la fase 4.3, con una temperatura de carga de 55 °C y una de fuente de 12 °C)
 - Caldera de gas: 0.9
- Coste de la energía primaria
 - Electricidad: 0.14€/kWh
 - Gas natural: 0.056€/kWh

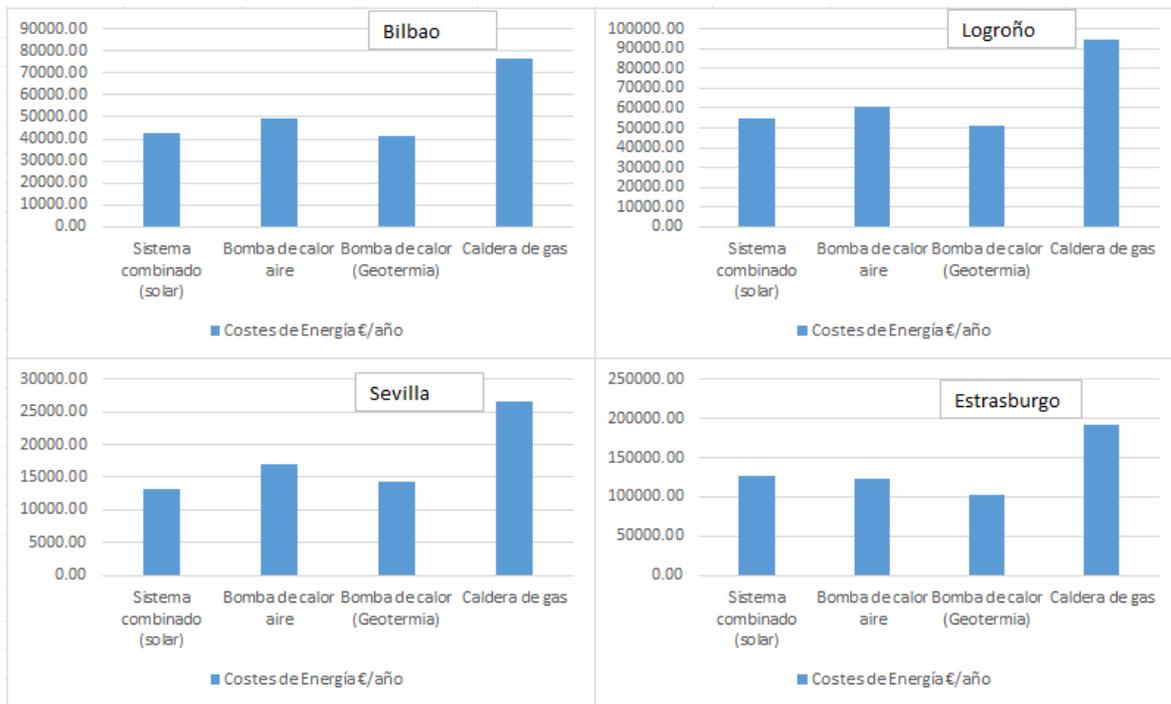


Ilustración 34. Costes anuales de la energía

Aun variando en el precio entre ciudades, las cuatro presentan un mismo patrón, siendo la caldera de gas la que tiene el precio más elevado. Entre las otras tres soluciones hay pequeñas variaciones, dependiendo de la ciudad seleccionada.

El análisis económico de la inversión se va a dividir a su vez en dos apartados, primeramente un estudio económico con toda la inversión desde el inicio y por otra parte un estudio que se basa en la rehabilitación de una fachada existente, y por tanto descontando el precio por metro cuadrado de fachada sobre la instalación con aporte solar.

Cada elemento que conforma el sistema, se ha registrado en una tabla en la que se recogen los precios del elemento en cuestión, incluyendo los precios de instalación oportunos. (ANEXO II) Toda la información referente a los precios se ha obtenido en la página correspondiente a la bibliografía [14]. De manera esquematizada, los sistemas constan de los siguientes elementos:

Caldera de gas natural

- La propia caldera
- Depósito térmico

Bomba de calor aerotérmica

- Bomba de calor
- Depósito térmico

Bomba de calor geotérmica

- Bomba de calor
- Campo geotérmico
- Depósito térmico

Bomba de calor con aportación solar:

- Bomba de calor
- Depósito térmico
- Sistema solar
- Tuberías de distribución

Para la segunda alternativa de estudio, primeramente se tiene que obtener el precio por metro cuadrado de fachada construida. Para obtener el resultado más preciso posible, se ha seleccionado entre varios tipos de fachada de [14], y se ha obtenido un precio medio por metro cuadrado. Dentro de las opciones disponibles se ha cogido la información de los siguientes tipos:

- Sistema Meteon "TRESPA" de revestimiento para fachada ventilada
- Sistema Placotherm V EGRG "PLACO" de placa de yeso laminado, para fachada ventilada.
- Sistema "KNAUF" de placa de cemento, para hoja exterior de fachada ventilada.
- Sistema Placotherm V "PLACO" de placa de cemento, para hoja exterior de fachada ventilada.
- Sistema "BUTECH" de placa de gres porcelánico, para fachada ventilada.
- Sistema de planchas de acero corten, para fachada ventilada
- Sistema "CORTIZO" de panel composite, para fachada ventilada.

Hay que tener en cuenta, que en el precio de estos elementos sólo se ha contabilizado el coste directo de material, por lo que no se ha incluido el precio de mano de obra, ni los costes indirectos. Con esta consideración, el precio por metro cuadrado es de 111.04 €/m².

Con todos los elementos y precios definidos se han podido establecer los costes de inversión de cada sistema. Se han representado de comparativa para poder analizar ambas alternativas simultáneamente.



Ilustración 35. Inversiones sistemas

Una vez realizada la gráfica comparativa de inversiones, es interesante mostrar cuánto del presupuesto se destina para cada uno de los elementos constitutivos de los sistemas. Este gráfico se ha calculado exclusivamente para la ciudad de Bilbao.

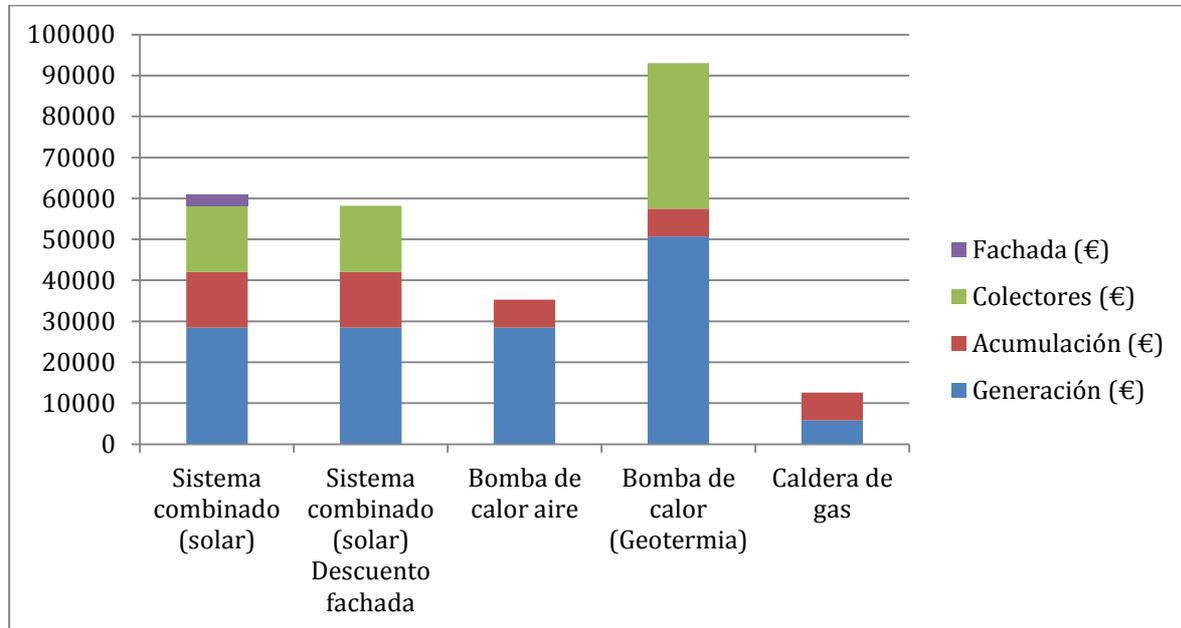


Ilustración 36. Desglose de precios por sistema

Se concluye de la ilustración anterior, que la mayor parte de los costes residen en los sistemas de generación, en mayor o menor medida, con una gran diferencia en el caso de la caldera de gas. El segundo importe de mayor relevancia supondría los colectores, con un precio muy elevado para el caso de la bomba de calor geotérmica. En el caso de los captadores solares, su precio es elevado pero relativamente inferior al campo de sonda geotérmica.

Lo último que podría destacarse es que el precio de la acumulación se mantiene constante. Los costes de fachada corresponden con la reducción en el precio que hay que realizar por el material.

Para finalizar, se ha calculado el PayBack y el NPV de cada sistema y ciudad [15].

Payback: es un indicador económico que representa el período de retorno de inversión de un proyecto.

$$\text{Payback} = \frac{\text{Inversión inicial}}{\text{resultado promedio del flujo de caja}} \quad (8)$$

NPV (Net Present Value): permite determinar el valor actual de un número de flujos de caja futuros como consecuencia de una inversión.

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{C_t}{(1+r)^t} - C_0 \quad (9)$$

En la ecuación 9 aparecen varios términos, cuyos significados son los siguientes:

- C_t = flujo de caja durante un periodo
- C_0 = coste de inversión inicial
- r = tasa de descuento
- t = número de periodos

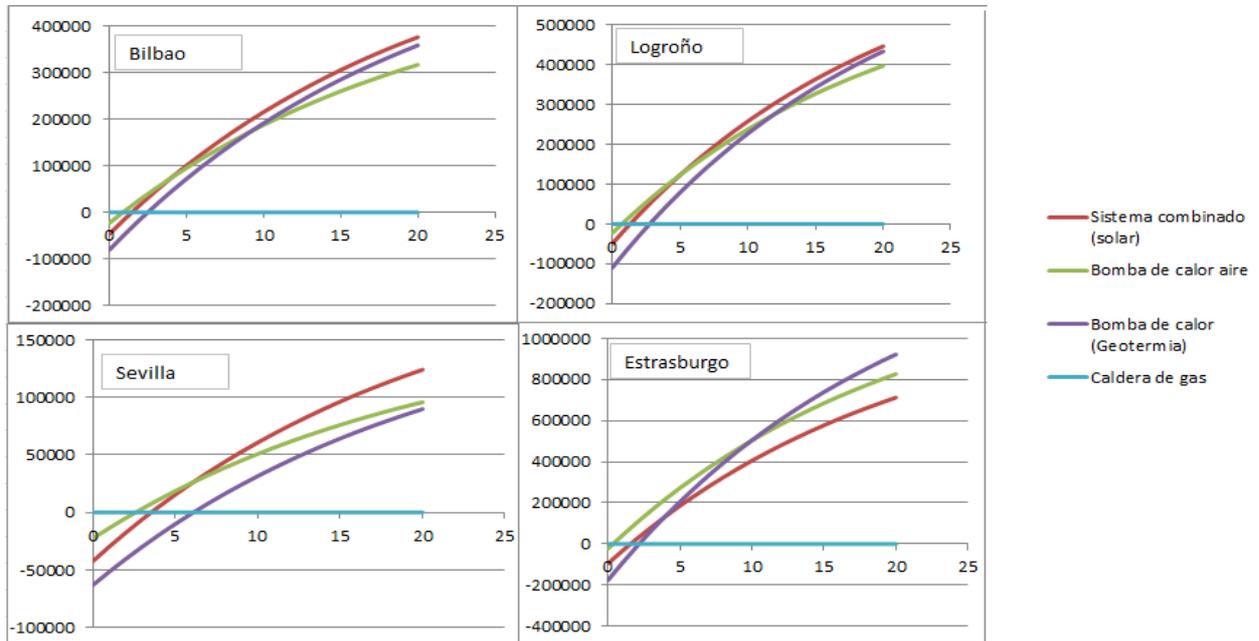


Ilustración 37. NPV (€/año) inicial

Para calcular los periodos de retorno, se han expresado en función del sistema de la caldera de gas, siendo el sistema de referencia.

Payback (años)	Sistema combinado (solar)	Bomba de calor aerotérmica	Bomba de calor (Geotermia)	Caldera de gas
Bilbao	2	1	3	0
Logroño	2	1	3	0
Sevilla	4	3	7	0
Estrasburgo	2	1	3	0

Tabla 10 . Payback sistemas iniciales

Salvo la ciudad de Sevilla, las otras tres tienen unos periodos de retorno reducidos comprendidos entre 1 y 3 años. Para el caso de Sevilla estos tiempos ascienden sensiblemente, duplicándose. Así mismo, cabe destacar que el sistema con bomba de calor geotérmica es la que posee mayor periodo de retorno.

El análisis final que se ha realizado sobre las gráficas de la Ilustración 37, es determinar en qué punto el NPV del sistema combinado se intersecciona con el sistema de Bomba de aire y con el sistema de geotermia. Los datos han sido calculados a un periodo de 20 años.

NPV (€)	Sistema combinado (solar) = bomba de calor aerotérmica	Sistema combinado (solar) = Bomba de calor (Geotermia)
Bilbao	4.07 (años)	No intersecciona
Logroño	5.13 (años)	No intersecciona
Sevilla	6.17 (años)	No intersecciona
Estrasburgo	No intersecciona	3.96 (años)

Tabla 11. NPV /años inicial

Se concluye de la tabla anterior, que como mínimo han de pasar 4 años para que la tecnología del sistema combinado sea más rentable que el sistema de la bomba de calor de aire. Es destacable que para el caso de Estrasburgo, estas gráficas no llegan a interseccionar en los primeros 20 años, por otro lado sí que intersecciona con la bomba de calor geotérmica, casi a los 4 años.

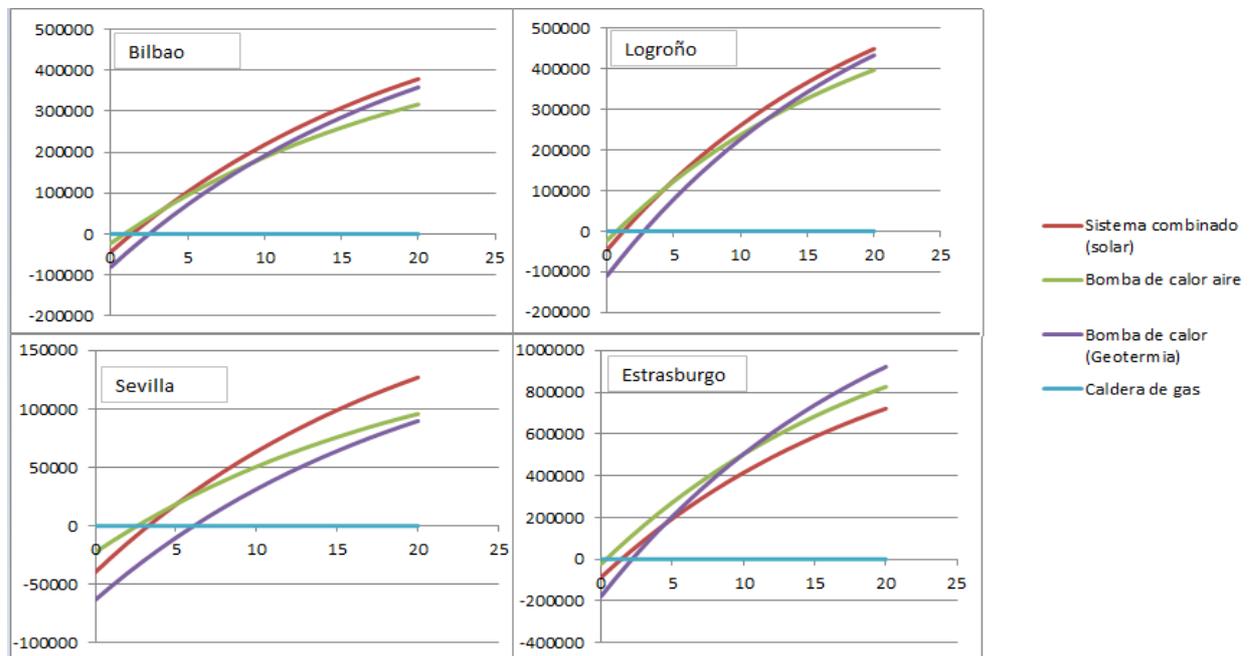


Ilustración 38. NPV (€/año) con descuento en fachada

Payback (años)	Sistema combinado (solar)	Bomba de calor aerotérmica	Bomba de calor (Geotermia)	Caldera de gas
Bilbao	2	1	3	0
Logroño	2	1	3	0
Sevilla	4	3	7	0
Estrasburgo	2	1	3	0

Tabla 12. Payback sistemas (descuento de fachadas)

NPV (€)	Sistema combinado (solar) = bomba de calor aerotérmica	Sistema combinado (solar) = Bomba de calor (Geotermia)
Bilbao	3.54 (años)	No intersecciona
Logroño	4.48 (años)	No intersecciona
Sevilla	5.15 (años)	No intersecciona
Estrasburgo	No intersecciona	4.49 (años)

Tabla 13. NPV/ años (descuento de fachadas)

Para el segundo caso de estudio, es decir, descontando los precios por metro cuadrado de fachada, las conclusiones que se han extraído siguen la línea del análisis anterior. Lo que sí supone una diferencia es el precio de la inversión, que se ve notablemente reducido.

En cuanto a los periodos de retorno los resultados permanecen estables, siendo Sevilla la ciudad que necesita más años para recuperar su inversión. En todas ellas el sistema de bomba de calor geotérmica tiene un periodo de retorno muy superior a los otros sistemas.

Es destacable la diferenciación en los años en los que el sistema combinado resulta más rentable que los otros sistemas. Este periodo se ve ligeramente reducido en el caso del descuento en la fachada.



VI.CONCLUSIONES

Una vez realizado todo el proyecto, se han llevado a cabo varias actividades. Diseñando un edificio se han obtenido las demandas de calefacción para varias localizaciones, así como los datos climatológicos correspondientes. Con el correcto planteamiento, se han diseñado el campo de colectores solares, la bomba de calor y el depósito de acumulación logrando el acoplamiento del sistema.

Se pueden extraer una serie de conclusiones relativas a varias de las fases estudiadas y a los resultados obtenidos. Es por ello que se van a definir en función del orden del contenido del trabajo.

En primer lugar, el análisis climatológico de las ciudades permite cuantificar la severidad climática de invierno en el caso de Estrasburgo lo que deriva en una necesidad mayor de calefacción que en el resto de destinos. Por el contrario, en el caso de Sevilla el salto térmico es moderado, manteniendo unas temperaturas más elevadas a lo largo del año. La consecuencia directa es una menor demanda de calefacción, como cabía esperar.

Una de las ventajas destacables del clima de Sevilla es la regularidad de la radiación solar que permite un estudio estable a lo largo de todo el año. Así mismo, sería esta ciudad la que mayor radiación solar dispone.

Seguidamente, se han extraído datos sobre las demandas de los edificios. Bien sea a nivel mensual o semanal, el patrón seguido por todas ellas es el mismo con una demanda de calefacción elevada en invierno y prácticamente nula durante el verano. La localización tiene una gran influencia sobre la demanda. Como consecuencia de ello, Estrasburgo presenta una demanda muy elevada de calefacción y por tanto el sistema va a tener que cubrir una gran demanda para abastecer al edificio.

En cuanto a la demanda horaria, sigue un patrón que se ajusta al tipo de carga definida en el edificio. Posee la misma forma de la demanda de ACS.

Centrándose en el núcleo del proyecto, el sistema combinado con aportación solar, hay varios aspectos que se concluyen de la realización del proyecto. Se trata de un sistema combinado con aportación solar, en el que la bomba es de tipo híbrida, esto es, con dos modos de funcionamiento, agua-agua y aire-agua.

Una de las ventajas destacables del sistema, reside en la instalación sobre fachada de los colectores solares. Este hecho permite una radiación solar más estable a lo largo del año así como un aprovechamiento mayor de la superficie disponible. La altura solar durante el invierno es más baja, y al estar los colectores sobre la fachada se puede tener un mayor aprovechamiento de la radiación solar. El sistema obtiene mejores resultados para latitudes más bajas, en los que hay más horas de sol al año, así como para climas no continentales.

El objetivo de diseño es un mayor aprovechamiento del aporte solar al sistema, para establecer el carácter renovable del mismo. Según el RITE [4], para que una bomba de calor pueda considerarse renovable tiene que tener valores del COP por encima de 2.5.

El efecto de la lógica control establece, que a mayor valor del offset peor es el funcionamiento del sistema, ocurriendo lo contrario en el dimensionamiento del depósito, que a mayor volumen se obtiene mejores resultados. Otro de los efectos que deriva de la lógica de control afecta al modo de funcionamiento de la bomba. A medida que aumenta el valor del offset, se reduce la aportación solar y el modo de funcionamiento predominante es el aire-agua. Interesa trabajar en un rango en el que predomine el modo de funcionamiento agua-agua para el aprovechamiento del aporte solar.

Estas dos argumentaciones, permiten establecer que el sistema obtiene mejores resultados trabajando con valores más bajos del Offset, en torno a 7.5/10 para el caso de las tres primeras ciudades, y en torno a 2.5 para el caso de Estrasburgo. Esta diferencia es una consecuencia de la climatología de la ciudad.

Como se ha podido analizar, para el caso óptimo de funcionamiento se obtienen valores del COP por encima del valor límite de 2.5 y por tanto se reivindica el carácter renovable del sistema. Sería el último caso, Estrasburgo, el que obtiene un valor más reducido.

Finalmente, para concluir con el análisis del proyecto se extraen las conclusiones económicas. Comparando el precio de la energía de los 4 sistemas, se concluye que los costes anuales de energía de la caldera de gas son muy superiores al resto de sistemas, que mantienen unos precios semejantes.

Se establece que a mayor demanda de calefacción se obtienen mejores resultados en cuanto al periodo de retorno. A su vez, la inversión es menor si se realiza la integración en fachada de los colectores. Dentro de los costes de inversión, se concluye que los sistemas de generación suponen el mayor porcentaje sobre el precio final del sistema, seguido del precio de los colectores. En el caso de la bomba de calor con geotermia, estos precios se disparan.

Para concluir, sería necesario alrededor de 4 años para rentabilizar el sistema combinado frente a la bomba de calor aerotérmica. La única diferencia reside en el caso de Estrasburgo, para el cual la bomba de calor geotérmica sería más rentable que el sistema combinado.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- [1] <https://www.schneider-electric.com> (9/05/2018)
- [2] *Directiva 2010/31/UE BOE*. <https://www.boe.es> (10/05/2018)
- [3] <https://solar-energia.net>
- [4] Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE). Septiembre
- [5] Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE). Septiembre 2013.
- [6] M.C. Munari Probst & Christian Roecker (2011). Architectural Integration and Design of Solar Thermal Systems. Lausanne, EPFL.
- [7] <http://www.idae.es> (8/05/2018)
- [8] Jean- Christophe Hadorn (2014). Solar and Heat Pump Systems for Residential Buildings
- [9] <https://www.caloryfrio.com> (1/05/2018)

- [10] <http://www.bilbaoturismo.net> (27/02/2018)
- [11] <http://www.logroño.es> (27/02/2018)
- [12] <https://www.viajarasevilla.com/clima-de-sevilla/> (27/02/2018)
- [13] <https://www.eurima.org/> (1/05/2018)
- [14] <http://www.generadordeprecios.info/> (7-18/05/2018)
- [15] <https://www.investopedia.com> (19/05/2018)

ANEXO I: Código Técnico

Apéndice C Perfiles de uso (CTE)

C.1 Perfiles de uso

Las siguientes tablas recogen los perfiles de uso normalizados de los edificios (solicitaciones interiores) en función de su uso, densidad de las fuentes internas (baja, media o alta) y periodo de utilización (8, 12,16 y 24h). En aquellos edificios de uso no residencial que no puedan asimilarse a uno de los perfiles de uso normalizados, podrá emplearse, previa justificación, perfiles de uso específicos.

USO RESIDENCIAL	(24h, BAJA)						
	1-7	8	9-15	16-18	19	20-23	24
Temp Consigna Alta (°C)							
Enero a Mayo	-	-	-	-	-	-	-
Junio a Septiembre	27	-	-	25	25	25	27
Octubre a Diciembre	-	-	-	-	-	-	-
Temp Consigna Baja (°C)							
Enero a Mayo	17	20	20	20	20	20	17
Junio a Septiembre	-	-	-	-	-	-	-
Octubre a Diciembre	17	20	20	20	20	20	17
Ocupación sensible (W/m²)							
Laboral	2,15	0,54	0,54	1,08	1,08	1,08	2,15
Sábado y Festivo	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15
Ocupación latente (W/m²)							
Laboral	1,36	0,34	0,34	0,68	0,68	0,68	1,36
Sábado y Festivo	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36
Iluminación (W/m²)							
Laboral, Sábado y Festivo	0,44	1,32	1,32	1,32	2,20	4,40	2,2
Equipos (W/m²)							
Laboral, Sábado y Festivo	0,44	1,32	1,32	1,32	2,20	4,40	2,2
Ventilación verano¹							
Laboral, Sábado y Festivo	4,00	4,00	*	*	*	*	*
Ventilación invierno²							
Laboral, Sábado y Festivo	*	*	*	*	*	*	*

¹ En régimen de verano, durante el periodo comprendido entre la 1 y las 8 horas, ambas incluidas, se supondrá que los espacios habitables de los edificios destinados a vivienda presentan una ventilación originada por la apertura de ventanas de 4 renovaciones por hora. El resto del tiempo, indicados con * en la tabla, el número de renovaciones hora será igual al mínimo exigido por el DB HS

² El número de renovaciones hora, indicado con * en la tabla, será igual al mínimo exigido por el DB HS

ANEXO II: Desglose del precio de los sistemas

GEOTERMIA					
Sonda geotérmica					
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
mt37sge025aa	Ud	Sonda geotérmica para instalación vertical, de 50 m de longitud y 96 mm de diámetro, formada por un tubo de polietileno de alta densidad (PE 100) de 32 mm de diámetro y 2,9 mm de espesor, SDR11, y un pie con forma de V, al que se sueldan los tubos, peso de la sonda 123,75 kg, temperatura de trabajo entre -20°C y 30°C, suministrada en rollos.	1,00	255	2.55
mt37sge030a	m	Tubo de inyección, de polietileno de alta densidad (PEAD/HDPE), de 25 mm de diámetro exterior y 2,3 mm de espesor, para relleno de sonda geotérmica vertical.	52	1.24	64.48
mt37sge060a	UD	Distanciador para tubos, 2x32 mm, con orificio central de 45 mm de diámetro para guiado del tubo de inyección, para sonda geotérmica vertical.	7	4.4	30.8
mt08var100a	kg	Mortero preparado de bentonita y cemento, de conductividad térmica mínima 2,35 W/(mK), baja permeabilidad al agua, resistente a heladas, densidad 1800 kg/m³, resistencia mecánica a compresión 10 N/mm², para inyección y relleno de sonda geotérmica vertical.	900	0.7	630
Subtotal materiales					980.28
mo004	h	Oficial 1º calefactor	1.262	18.13	22.88
mo103	h	Ayudante calefactor	1.262	16.4	20.7
Subtotal mano de obra					43.58
	%	Costes directos	2	1023.86	20.48
Costes directos					1044.34
Costes totales					1670.944

Tubería distribución					
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
mt37tpa100cc	m	Tubo de polietileno PE 100, de 32 mm de diámetro exterior y 3 mm de espesor, SDR11, PN=16 atm, según UNE-EN 12201-2, con el precio incrementado el 10% en concepto de accesorios y piezas especiales.	1	1.85	1.85
Subtotal materiales					1.85
mo004	h	Oficial 1º calefactor	0.061	18.13	1.11
mo103	h	Ayudante calefactor	0.061	16.4	1
Subtotal mano de obra					2.11
	%	Costes directos	2	3.96	0.08
Costes directos					4.04



Bomba de calor geotérmica					
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
P21GP280	Ud	Bomba de calor reversible de dos compresores.	1	44037.10	44037.1
P20BC280	Ud	Bomba circulación DN 65, 7 l/s 17 m.c.a.		1359.17	1359.17
P20BC250	Ud	Bomba circulación DN 50, 3 l/s 15 m.c.a.		1084.29	1084.29
P21GDV050	Ud	Vaso de expansión calefacción 250 l 2 u		365.81	731.62
P21GDW020	Ud	Válvula precint.p/vaso exp.1" 2,000 u		29.94	59.88
P21GDW040	Ud	Grupo segur.c/aisl., válvula seg. 3 bar 2 u		68.99	137.98
P21GDU060	Ud	Caudalímetro DN 80 1,000 u		645.28	645.28
P21GDU070	Ud	Caudalímetro DN 100 1,000 u		919.92	919.92
P21GDW030	Ud	Flujostato estándar DPS10.1.1 1,000 u		343.43	343.43
				Subtotal materiales	49318.67
O01OB170	h	Oficial 1º fontanero calefactor			219
O01OB180	h	Oficial 2º fontanero calefactor			199.6
				Subtotal mano de obra	418.6
	%	Costes directos	2	49737.27	994.7454
				Costes directos	50732.0154

Depósito					
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
P20TCT060	m	Tubo cobre rígido D=35 mm (8 m)	1	6.52	52.16
P20TVR020	Ud	Válvula retención PN10/16 1 1/2"/c/bridas doble plato	1	29.82	29.82
P20TVE040	Ud	Válvula de esfera 1 1/2"	4	26.28	105.12
P20LNC080	Ud	Depósito acumulador de inercia para circuitos cerrados, de 2000 litros de capacidad, fabricado en acero al carbono, aislados térmicamente con material libre de CFCs; montado en instalación térmica, incluyendo red de tuberías en cobre, válvulas de corte, conexiones; i/p.p. de medios auxiliares para su montaje.	1	3479.376	3479.376
				Subtotal materiales	3666.476
O01OB170	h	Oficial 1º fontanero calefactor	6	21.9	131.4
O01OB180	h	Oficial 2º fontanero calefactor	6	19.96	119.76
				Subtotal mano de obra	251.16
	%	Costes directos	2	3917.636	78.35272
				Costes directos	3995.98872



Sistema BC aire_agua					
Colector solar					
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
mt38csg010fn	Ud	Captador solar térmico completo, partido, para instalación individual, para colocación sobre cubierta inclinada, formado por: dos paneles de 2320x1930x90 mm en conjunto, superficie útil total 4,04 m², rendimiento óptico 0,819 y coeficiente de pérdidas primario 4,227 W/m²K, según UNE-EN 12975-2; superficie absorbente y conductos de cobre; cubierta protectora de vidrio de 4 mm de espesor; depósito de 300 l, con un serpentín; grupo de bombeo individual con vaso de expansión de 18 l y vaso pre-expansión; centralita solar térmica programable; kit de montaje para dos paneles sobre cubierta inclinada; doble te sonda-purgador y purgador automático de aire.	0.25	2759.64	689.91
mt38csg011d	Ud	Fijaciones para captador solar térmico de dos paneles sobre teja.	0.25	99.45	24.8625
mt38csg100	l	Solución agua-glicol para relleno de captador solar térmico, para una temperatura de trabajo de -28°C a +200°C.	0.68175	4	2.727
SO 01 021	Ud	ESCOSOL SOL 2800 selectivo	1	195.035	195.035
SO 01 101	Ud	Captador solar para piscinas ESCOPOOL 2.2	1	99.09	99.09
Subtotal materiales					621.5545
mo009	h	Oficial 1º instalador de captadores solares.	4,500	18,13	81,59
mo108	h	Ayudante instalador de captadores solares.	4,500	16,40	73,80
Subtotal mano de obra					103.59
	%	Costes directos	2	621.5545	12.43109
Costes directos					633.98559
Coste total					266273.948

Bomba de calor aire					
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
P21YCP130	Ud	Unidad enfriadora de agua bomba de calor inverter de condensación por aire, versión Alta Eficiencia Estacional y Bajo Nivel Sonoro, DAIKIN modelo EWYQ064BAWN, con 6 compresores scroll (mínima etapa regulación 25%), 2 evaporadores de placas y refrigerante R-410A; de 74,3 kW de potencia frigorífica máxima (EER 2,27 y ESEER 3,78, de acuerdo a la norma EN14511) y 75,7 kW de potencia calorífica máxima	1	22206	22206
P20BC280	Ud	Bomba circulación DN 65, 7 l/s 17 m.c.a.		1359.17	1359.17
P20BC250	Ud	Bomba circulación DN 50, 3 l/s 15 m.c.a.		1084.29	1084.29
P21GDV050	Ud	Vaso de expansión calefacción 250 l 2 u		365.81	731.62
P21GDW020	Ud	Válvula precint.p/vaso exp.1" 2,000 u		29.94	59.88
P21GDW040	Ud	Grupo segur.c/aisl., válvula seg. 3 bar 2 u		68.99	137.98
P21GDU060	Ud	Caudalímetro DN 80 1,000 u		645.28	645.28
P21GDU070	Ud	Caudalímetro DN 100 1,000 u		919.92	919.92
P21GDW030	Ud	Flujostato estándar DPS10.1.1 1,000 u		343.43	343.43
Subtotal materiales					27487.57
O01OB170	h	Oficial 1º fontanero calefactor			219
O01OB180	h	Oficial 2º fontanero calefactor			199.6
Subtotal mano de obra					418.6
	%	Costes directos	2	27906.17	558.1234
Costes directos					28464.2934



Tubería de distribución de agua					
mt37tca400d	Ud	Material auxiliar para montaje y sujeción a la obra de las tuberías de cobre rígido, de 20/22 mm de diámetro.	1	0.36	0.36
mt37tca010de	m	Tubo de cobre rígido con pared de 1 mm de espesor y 20/22 mm de diámetro, según UNE-EN 1057, con el precio incrementado el 20% en concepto de accesorios y piezas especiales.	1	8.74	8.74
mt17coe080bb	m	Coquilla cilíndrica moldeada de lana de vidrio, abierta longitudinalmente por la generatriz, de 27 mm de diámetro interior y 40,0 mm de espesor.	1	4.75	4.75
mt17coe120	kg	Emulsión asfáltica para protección de coquillas de lana de vidrio, tipo ED según UNE 104231.	0.5044	2.04	1.03
mt17coe130a	kg	Pintura protectora de polietileno clorosulfonado, de color blanco, para aislamiento en exteriores	0.042	24.03	1.01
				Subtotal materiales	15.89
mo004	h	Oficial 1º calefactor	0.311	18.13	5.64
mo103	h	Ayudante calefactor	0.311	16.4	5.1
				Subtotal mano de obra	10.74
	%	Costes directos	2	26.63	0.53
				Costes directos	27.16
				Costes totales	10864
Tubería de distribución de agua					
mt37tca400e	Ud	Material auxiliar para montaje y sujeción a la obra de las tuberías de cobre rígido, de 26/28 mm de diámetro	1	0.49	0.49
mt37tca010ee	m	Tubo de cobre rígido con pared de 1 mm de espesor y 26/28 mm de diámetro, según UNE-EN 1057, con el precio incrementado el 20% en concepto de accesorios y piezas especiales.	1	11.65	11.65
mt17coe080db	m	Coquilla cilíndrica moldeada de lana de vidrio, abierta longitudinalmente por la generatriz, de 42 mm de diámetro interior y 40,0 mm de espesor.	1	5.86	5.86
mt17coe120	kg	Emulsión asfáltica para protección de coquillas de lana de vidrio, tipo ED según UNE 104231.	0.575	2.04	1.17
mt17coe130a	kg	Pintura protectora de polietileno clorosulfonado, de color blanco, para aislamiento en exteriores	0.048	24.03	1.15
				Subtotal materiales	20.32
mo004	h	Oficial 1º calefactor	0.311	18.13	5.64
mo103	h	Ayudante calefactor	0.311	16.4	5.1
				Subtotal mano de obra	10.74
	%	Costes directos	2	31.06	0.62
				Costes directos	31.68
				Costes totales	1584



Caldera de gas					
mt38cqj521a	Ud	Kit de seguridad para caldera a gas, compuesto por manómetro, válvula de seguridad y purgador de aire.	1	108.23	108.23
mt38cqj531a	Ud	Kit de unión de caldera a gas a vaso de expansión, con válvula de llenado y vaciado.	1	108.23	108.23
mt38cqj612a	Ud	Kit para montaje en pared de grupo de bombeo.	1	43.88	43.88
mt38cqj600a	Ud	Grupo de bombeo para un circuito de calefacción, con bomba de circulación electrónica Yonos Para RS25/6, de 278x290x190 mm, con conexiones de 25 mm de diámetro.	1	468	468
mt38cqj560a	Ud	Conjunto de colector y compensador hidráulico horizontal, para un caudal máximo de 2000 l/h, con kit de conexión para montaje en pared de dos grupos de bombeo y conexiones a los circuitos de calefacción de 1".	1	302.25	302.25
mt38scj011a	Ud	Termostato de ambiente, modulante, con pantalla digital.	1	45.59	45.59
mt35aia010a	m	Tubo curvable de PVC, corrugado, de color negro, de 16 mm de diámetro nominal, para canalización empotrada en obra de fábrica (paredes y techos). Resistencia a la compresión 320 N, resistencia al impacto 1 julio, temperatura de trabajo -5°C hasta 60°C, con grado de protección IP 545 según UNE 20324, no propagador de la llama. Según UNE-EN 61386-1 y UNE-EN 61386-22.	8	0.26	2.08
mt35cun020a	m	Cable unipolar ES07Z1-K (AS), siendo su tensión asignada de 450/750 V, reacción al fuego clase Cca-s1b,d1,a1 según UNE-EN 50575, con conductor multifilar de cobre clase 5 (-K) de 1,5 mm² de sección, con aislamiento de compuesto termoplástico a base de poliolefina libre de halógenos con baja emisión de humos y gases corrosivos (Z1). Según UNE 211025.	16	0.41	6.56
mt38w w w 010	Ud	Material auxiliar para instalaciones de calefacción.	1	1.68	1.68
				Subtotal materiales	5581.25
mo004	h	Oficial 1º calefactor	3.44	18.13	62.37
mo103	h	Ayudante calefactor	3.44	16.4	56.42
				Subtotal mano de obra	118.79
	%	Costes directos	2	5700.04	114
				Costes directos	5814.04

A continuación se muestran los precios para las distintas fachadas seleccionadas:

- Sistema Meteon "TRESPA" de revestimiento para fachada ventilada

Fachada					
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
mt12prt010aaaa1	m ²	Placa laminada compacta de alta presión (HPL), Meteon FR "TRESPA", de 500x2000x8 mm, Uni Colours acabado White, textura satinada Satin, Euroclase B-s2, d0 de reacción al fuego, a base de resinas termoendurecibles que no contienen urea-formaldehído, reforzada de forma homogénea con fibras de madera certificada FSC o PEFC, con superficie decorativa EBC (Electron Beam Curing), no melamínica y con propiedades antigraffiti durante toda su vida útil, con resistencia a los rayos ultravioleta según UNE-EN 438-2 y Ensayo Florida no inferior a 4-5 al contrastar con la escala de grises de UNE-EN 20105-A-02, colocada con modulación vertical mediante el sistema TS150 de fijación vista con tornillos sobre una subestructura de madera; incluso p/p de rastreles de madera tratada colocados horizontalmente y de ancho igual al espesor del aislamiento, rastreles de madera tratada como montantes de 38x45 mm y 38x75 mm en junta de placa y tornillos autorroscantes de acero inoxidable termolacado.	1.05	107	112.35
				Subtotal materiales	112.35

- Sistema Placotherm V EGRG "PLACO" de placa de yeso laminado, para fachada ventilada.

mt12ple300a	Ud	Ménsula de sustentación de aluminio extruido de aleación 6063 y tratamiento térmico T-66, con aislamiento de polipropileno de 5 mm de espesor, para rotura de puente térmico, "PLACO", de 65 mm de longitud.	0.46	6.68	3.07
mt12ple310a	Ud	Ménsula de retención de aluminio extruido de aleación 6063 y tratamiento térmico T-66, con aislamiento de polipropileno de 5 mm de espesor, para rotura de puente térmico, "PLACO", de 65 mm de longitud.	1.39	5.21	7.24
mt12plt100	Ud	Taco de nylon con tornillo de acero galvanizado con cabeza hexagonal, "PLACO", de 10 mm de diámetro y 80 mm de longitud, para fijación de ménsulas.	2.135	1.47	3.4
mt12plp300	m	Perfil en T de aluminio extruido de aleación 6063 y tratamiento térmico T-66, "PLACO", de 1,8 mm de espesor, suministrado en barras de 6 m de longitud.	0.83	10.41	8.64
mt12plp310	m	Perfil en L de aluminio extruido de aleación 6063 y tratamiento térmico T-66, "PLACO", de 1,8 mm de espesor, suministrado en barras de 6 m de longitud.	0.83	6.35	5.27
mt12plt060	Ud	Tornillo autotaladrante de acero inoxidable para ménsula, "PLACO", con cabeza hexagonal, de 19 mm de longitud.	4.63	1.03	4.77
mt15mvp010a	m	Lámina altamente transpirable impermeable al agua de lluvia, Tyvek Estándar "PLACO", de 175 µm de espesor y 60 g/m², de 0,01 m de espesor de aire equivalente frente a la difusión de vapor de agua, según UNE-EN 1931, estanqueidad al agua clase W1 según UNE-EN 1928, (Euroclase E de reacción al fuego, según UNE-EN 13501-1), suministrada en rollos de 1,50x50 m, según UNE-EN 13859-2.	1.1	4.01	4.41
mt12plk010femh	m²	Placa de yeso laminado GM-FH1 / UNE-EN 15283-2 - 1200 / 2800 / 12,5 / con los bordes longitudinales afinados, Glasroc X 13 "PLACO", formada por un núcleo de yeso revestido por las dos caras con fibra de vidrio con tratamiento hidrófobo.	1.05	17.97	18.87
mt12plq020b	Ud	Tornillo THITPF 32 INOX "PLACO", con cabeza de trompeta, de 32 mm de longitud, para instalación de placas de cemento sobre perfiles.	20	0.08	1.8
mt12plm015a	kg	Pasta de secado, Promix Hydro "PLACO", con aditivo hidrófugo; Euroclase B-s1, d0 de reacción al fuego, según UNE-EN 13501-1, rango de temperatura de trabajo de 5 a 30°C, para aplicación manual con cinta de juntas, según UNE-EN 13963; para el tratamiento de las juntas de las placas de yeso laminado.	0.3	6.82	2.05
mt12plj030	m	Cinta autoadhesiva de malla de fibra de vidrio, "PLACO", para refuerzo de juntas.	1	0.65	0.65
mt28pcc060q	kg	Imprimación reguladora de la absorción Weber CS Plus "WEBER", color blanco, gama Estándar, compuesta de cargas minerales, resinas en dispersión acuosa, pigmentos orgánicos, fungicidas y aditivos especiales, impermeable al agua de lluvia y permeable al vapor de agua.	0.2	4.28	0.86
mt28mac020gaa	kg	Mortero acrílico Webertene Stilo "WEBER", color blanco, gama Estándar, acabado gota, compuesto de cargas minerales, resinas en dispersión acuosa, pigmentos orgánicos, fungicidas y aditivos especiales; para aplicar con pistola de proyección. Según UNE-EN 15824.	2,500	3,08	7,70
				Subtotal materiales	68.73

- Sistema "KNAUF" de placa de cemento, para hoja exterior de fachada ventilada.

mt12pck020d	m	Banda acústica de dilatación autoadhesiva de espuma de poliuretano de celdas cerradas "KNAUF", de 3,2 mm de espesor y 95 mm de anchura, resistencia térmica 0,10 m ² K/W, conductividad térmica 0,032 W/(mK).	1,000	0,62	0,62
mt12pak150x	Ud	Escuadra de sustentación "KNAUF", de acero galvanizado, de 107x65x80x2 mm.	0,580	1,40	0,81
mt12pak150E	Ud	Escuadra de retención "KNAUF", de acero galvanizado, de 57x65x80x2 mm.	1,270	2,23	2,83
mt12psg220	Ud	Fijación compuesta por taco y tornillo 5x27.	2,430	0,06	0,15
mt16lva070b	m ²	Panel de lana mineral, según UNE-EN 13162, de 40 mm de espesor, revestido por una de sus caras con un velo negro, resistencia térmica 1,1 m ² K/W, conductividad térmica 0,035 W/(mK).	1,050	5,34	5,61
mt16aaa020eb	Ud	Fijación mecánica para paneles aislantes de lana de roca, colocados directamente sobre la superficie soporte.	4,000	0,21	0,84
mt16aaa030	m	Cinta autoadhesiva para sellado de juntas.	0,440	0,30	0,13
mt12pak020a	m	Canal 50/40/0,7 mm GRC 0,70 "KNAUF" de acero Z2 (Z275) galvanizado normal, para sistema Aquapanel Outdoor. Según UNE-EN 14195.	0,350	2,97	1,04
mt12pak030ab	m	Montante 50/50/0,7 mm GRC 0,7 "KNAUF" de acero Z2 (Z275) galvanizado normal, para sistema Aquapanel Outdoor. Según UNE-EN 14195.	2,750	2,95	8,11
mt15mkv010	m ²	Lámina altamente transpirable impermeable al agua de lluvia, de polietileno tejido no hilado, Tyvek StuccoWrap "KNAUF", de 0,22 mm de espesor y 82 g/m ² , de 0,03 m de espesor de aire equivalente frente a la difusión de vapor de agua, según UNE-EN 1931, estanqueidad al agua clase W1 según UNE-EN 1928, (Euroclase E de reacción al fuego, según UNE-EN 13501-1), para colocar en sistemas de cerramientos y revestimientos de fachadas Aquapanel, suministrada en rollos de 1,50x75 m, según UNE-EN 13859-2.	1,100	4,37	4,81
mt12pak010b	m ²	Placa de cemento Portland Aquapanel Outdoor "KNAUF" de 12,5x1200x2400 mm, revestida con una capa de fibra de vidrio embebida en ambas caras.	1,050	27,25	28,61
mt12pak040d	Ud	Tornillo Aquapanel Maxi TB 4,2x25 "KNAUF".	20,000	0,07	1,40
mt12pak041a	Ud	Tornillo autotaladrante de acero inoxidable AISI 304, JT4-4 4,8x19 "KNAUF", con cabeza hexagonal; para fijación de los perfiles de montaje sobre las escuadras de retención.	2,540	0,33	0,84
mt12pak041d	Ud	Tornillo autotaladrante de acero inoxidable AISI 304, JT4-6 5,5x22 "KNAUF", con cabeza hexagonal; para fijación de los perfiles de montaje sobre las escuadras de sustentación.	1,160	0,33	0,38
mt12pak060a	kg	Mortero de juntas Aquapanel "KNAUF", color gris.	0,600	3,05	1,83
mt12pak050	m	Cinta de juntas Aquapanel Outdoor "KNAUF".	2,100	0,60	1,26
mt12pak100a	m ²	Malla superficial Aquapanel Outdoor "KNAUF" de fibra de vidrio, color blanco.	1,100	2,67	2,94
mt12pak090a	kg	Mortero superficial Aquapanel "KNAUF", color blanco.	6,300	1,96	12,35
mt12pak085	l	Imprimación incolora al siloxano GRC "KNAUF".	0,200	4,55	0,91
mt12pak120	kg	Imprimación a base de copolímeros acrílicos modificados GRC "KNAUF", color a elegir, para mortero de acabado pétreo.	0,140	4,22	0,59
mt12pak130	kg	Mortero GRC "KNAUF", a base de copolímeros acrílicos modificados con siloxano, acabado pétreo, color a elegir.	0,400	4,89	1,96
				Subtotal materiales	78.03

- Sistema Placotherm V "PLACO" de placa de cemento, para hoja exterior de fachada ventilada.

mt12ple300a	Ud	Ménsula de sustentación de aluminio extruido de aleación 6063 y tratamiento térmico T-66, con aislamiento de polipropileno de 5 mm de espesor, para rotura de puente térmico, "PLACO", de 65 mm de longitud.	0,460	6,68	3,07
mt12ple310a	Ud	Ménsula de retención de aluminio extruido de aleación 6063 y tratamiento térmico T-66, con aislamiento de polipropileno de 5 mm de espesor, para rotura de puente térmico, "PLACO", de 65 mm de longitud.	1,390	5,21	7,24
mt12plt100	Ud	Taco de nylon con tornillo de acero galvanizado con cabeza hexagonal, "PLACO", de 10 mm de diámetro y 80 mm de longitud, para fijación de ménsulas.	2,315	1,47	3,40
mt12plp300	m	Perfil en T de aluminio extruido de aleación 6063 y tratamiento térmico T-66, "PLACO", de 1,8 mm de espesor, suministrado en barras de 6 m de longitud.	0,830	10,41	8,64
mt12plp310	m	Perfil en L de aluminio extruido de aleación 6063 y tratamiento térmico T-66, "PLACO", de 1,8 mm de espesor, suministrado en barras de 6 m de longitud.	0,830	6,35	5,27
mt12plt060	Ud	Tornillo autotaladrante de acero inoxidable para ménsula, "PLACO", con cabeza hexagonal, de 19 mm de longitud.	4,630	1,03	4,77
mt15mvp010a	m	Lámina altamente transpirable impermeable al agua de lluvia, Tyvek Estándar "PLACO", de 175 µm de espesor y 60 g/m², de 0,01 m de espesor de aire equivalente frente a la difusión de vapor de agua, según UNE-EN 1931, estanqueidad al agua clase W1 según UNE-EN 1928, (Euroclase E de reacción al fuego, según UNE-EN 13501-1), suministrada en rollos de 1,50x50 m, según UNE-EN 13859-2.	1,100	4,01	4,41
mt12plq010a	m²	Placa de cemento de alto rendimiento, Aquaroc 13 "PLACO", de 12,5x1200x900 mm.	1,050	29,59	31,07
mt12plq020b	Ud	Tornillo THTPF 32 INOX "PLACO", con cabeza de trompeta, de 32 mm de longitud, para instalación de placas de cemento sobre perfiles.	20,000	0,09	1,80
mt28mpc020a	kg	Mortero polimérico de altas prestaciones reforzado con fibras, Webertherm Base, "WEBER", color gris, compuesto de cemento gris, cargas minerales, resinas hidrófugas redispersables, fibras y aditivos especiales, para aplicar con llana, para la fijación y regularización de placas de aislamiento térmico, tipo GP CSIII W2, según UNE-EN 998-1.	7,500	0,84	6,30
mt28fvp010a	m	Cinta de juntas de malla de fibra de vidrio antiálcalis, CMALL 160 "PLACO", de 160 g/m² de masa superficial, de 100 mm de anchura y 0,52 mm de espesor, suministrada en rollos de 50 m de longitud.	25,000	0,28	7,00
mt28fvp020a	m	Malla de refuerzo de fibra de vidrio antiálcalis, CMALL 160 "PLACO", de 160 g/m² de masa superficial, de 1,1 m de anchura y 0,52 mm de espesor, suministrada en rollos de 50 m de longitud.	1,100	2,60	2,86
mt28pcc060q	kg	Imprimación reguladora de la absorción Weber CS Plus "WEBER", color blanco, gama Estándar, compuesta de cargas minerales, resinas en dispersión acuosa, pigmentos orgánicos, fungicidas y aditivos especiales, impermeable al agua de lluvia y permeable al vapor de agua.	0,200	4,28	0,86
mt28mac020gaa	kg	Mortero acrílico Webertene Stilo "WEBER", color blanco, gama Estándar, acabado gota, compuesto de cargas minerales, resinas en dispersión acuosa, pigmentos orgánicos, fungicidas y aditivos especiales; para aplicar con pistola de proyección. Según UNE-EN 15824.	2,500	3,08	7,70
				Subtotal materiales	94,39

- Sistema "BUTECH" de placa de gres porcelánico, para fachada ventilada.
- Sistema de planchas de acero corten, para fachada ventilada
- Sistema "CORTIZO" de panel composite, para fachada ventilada.

mt12pcb010aael1	m ²	Revestimiento de baldosas cerámicas de gres porcelánico de gran formato STON-KER de "PORCELANOSA GRUPO", serie Block acabado Carpatia Beige de 81x660x10 mm, colocadas con junta corrida mediante el sistema FV con grapa vista de "BUTECH", con DIT nº 453, incluso p/p de grapa central de acero inoxidable, perfil en T y separador en L de aluminio de alta calidad, tornillería perfil-separador de acero inoxidable con taco mecánico, tornillería autotaladrante perfil-grapa de acero inoxidable AISI 304, perfiles para remates, arranques, separadores, despuntes, mecanizado de los perfiles y adhesivo de poliuretano.	1,050	154,29	162,00
				Subtotal materiales	162
mt12pac010b	kg	Plancha de acero con resistencia mejorada a la corrosión atmosférica (corten) S355J0WP según UNE-EN 10025-5, de 2 mm de espesor, cortada a medida para colocar con fijaciones mecánicas.	16,490	2,02	33,31
mt19paj120b4500	m ²	Subestructura soporte para hoja exterior de fachada ventilada de planchas de acero corten, formada por anclajes puntuales regulables en las tres direcciones, de acero inoxidable AISI 304, fijados al soporte de hormigón o fábrica (fck>=150 kp/cm ²) con tacos especiales.	1,000	45,00	45,0
				Subtotal materiales	78.31
mt12prc010aaa	m ²	Panel composite Stacbond FR "CORTIZO", formado por dos láminas de aleación de aluminio 3005-H44, de 0,5 mm de espesor, con lacado exterior color rojo RAL 3020, unidas por un núcleo de resinas termoplásticas, de 3 mm de espesor, Euroclase B-s1, d0 de reacción al fuego, con DIT del Instituto Eduardo Torroja nº 553/10, para colocar en fachadas ventiladas de superficie menor de 250 m ² y porcentaje de huecos menor del 30%, con el sistema STB-CH de cuelgue, sobre una subestructura de aluminio, con perfiles en "T" y accesorios de montaje y fijación.	1,050	174,70	183,44
				Subtotal materiales	183.44