



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIERÍA
INDUSTRIAL VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA DE LA ENERGÍA

ANÁLISIS DE LA DEMANDA ENERGÉTICA PARA CLIMATIZACIÓN Y PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA (ACS) EN UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR TÍPICA EN CLIMA MEDITERRÁNEO Y EVALUACIÓN DE SISTEMAS ALTERNATIVOS PARA DISMINUIR SU CONSUMO

AUTORA: MARTA IBÁÑEZ MOLLÁ

TUTOR: FRANCISCO BARCELÓ RUESCAS

Curso Académico: 2019-20

RESUMEN

El presente Trabajo de Fin de Grado (TFG) tiene como objetivo el estudio y la evaluación de distintos métodos de climatización en una misma vivienda unifamiliar. Para ello se planteará, en primer lugar, un caso base en el que se estudiará la demanda de climatización y agua caliente sanitaria (ACS) y posteriormente se evaluarán distintos sistemas que satisfagan dicha demanda de la vivienda. El caso base se trata de una caldera mixta de gas natural y un sistema Split de aire acondicionado y los sistemas alternativos serán los siguientes:

Sistema 1: Bomba de calor geotérmica.

Sistema 2: Aerotermia alimentada mediante placas fotovoltaicas.

Sistema 3: Captadores solares térmicos. ACS, producción de frío mediante sistema de absorción y sistema de apoyo por caldera de gas.

Los sistemas mencionados deberán cubrir tanto la demanda de agua caliente sanitaria como la climatización de la vivienda. Una vez definidos los sistemas alternativos se valorará cuál de ellos es el más adecuado para sustituir el sistema base.

Palabras claves: climatización, calefacción, refrigeración, ACS, geotermia, fotovoltaica, aerotermia.

RESUM

El present Treball de Fi de Grau (TFG) té com a objectiu l'estudi i l'avaluació de diferents mètodes de climatització en un mateix habitatge unifamiliar. Per a això es plantejarà, en primer lloc, un cas base en el que s'estudiarà la demanda de climatització i aigua calenta sanitària (ACS) i posteriorment s'avaluaran diferents sistemes que satisfacen aquesta demanda de l'habitatge. El cas base es tracta d'una caldera mixta de gas natural i un sistema Split d'aire condicionat i els sistemes alternatius seran els següents:

Sistema 1: Bomba de calor geotèrmica.

Sistema 2: Aerotermia alimentada mitjançant plaques fotovoltaïques.

Sistema 3: Captadors solars tèrmics. ACS, producció de fred mitjançant sistema d'absorció i sistema de suport per caldera de gas.

Els sistemes esmentats hauran de cobrir tant la demanda d'aigua calenta sanitària com la climatització del habitatge. Una vegada definits els sistemes alternatius es valorarà quin d'ells és el més adequat per a substituir el sistema base.

Paraules claus: climatització, calefacció, refrigeració, ACS, geotèrmia, fotovoltaica, aerotermia.

ABSTRACT

This End of Degree Project (EDP) aims to study and evaluate different methods of air conditioning in the same single-family home. For that, a base case will first be presented in which the demand for air conditioning and hot water will be studied and then different systems will be evaluated to satisfy this demand. The base case is a mixed natural gas boiler and an air conditioning split system, and the alternative systems are the following:

System 1: Geothermal heat pump.

System 2: Aerothermal powered by photovoltaic panels.

System 3: Solar thermal collectors DHW, cold production by absorption system and support system by gas boiler.

The above systems must cover both the demand for domestic hot water and air conditioning. Once the alternative systems have been defined, an assessment will be made of which of them is the most suitable to replace the base system.

Key words: air conditioning, heating, cooling, DHW, geothermal, photovoltaic, aerothermal.

DOCUMENTOS CONTENIDOS EN EL TFG

- Memoria
- Presupuesto
- Anexos

ÍNDICE

MEMORIA.....	9
1. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1. Motivación.....	10
1.2. Justificación.....	11
1.3. Objeto del proyecto.....	11
2. NORMATIVA.....	12
2.1. Normativa Sistema 1: Bomba de calor geotérmica.....	12
2.2. Normativa Sistema 2: Aerotermia con fotovoltaica.....	13
2.3. Normativa Sistema 3: Captadores solares: ACS, frío por absorción y sistema de apoyo por caldera de gas.....	14
3. DEFINICIÓN DE LA VIVIENDA.....	15
3.1. Carga térmica de la vivienda.....	17
3.2. Cálculo de la demanda energética pico.....	21
3.3. Cálculo de demanda de calefacción y refrigeración.....	23
3.4. Cálculo de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS).....	26
3.5. Demandas de la vivienda.....	28
4. CASO BASE: CALDERA MIXTA DE GAS NATURAL Y SPLIT AIRE ACONDICIONADO.....	29
4.1. Caldera mixta de gas natural.....	29
4.1.1. Descripción del sistema.....	29
4.1.2. Clasificación calderas mixtas murales.....	30
4.2. Sistema Split aire acondicionado.....	32
4.3. Sistemas en la vivienda.....	33
4.2. Consumo y coste del sistema base.....	33
5. SISTEMA 1: BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA.....	35
5.1. Qué es la energía geotérmica.....	35

5.1.1.	Gradiente geotérmico	35
5.1.2.	Recurso geotérmico	36
5.2.	Instalación geotérmica de muy baja temperatura.....	37
5.2.1.	Intercambiador de calor subterráneo	37
5.2.2.	Bomba de calor.....	39
5.2.3.	Intercambiador de calor en la vivienda.....	41
5.3.	Proyecto de instalación geotérmica.....	42
5.4.	Consumo y costes del sistema de geotermia	47
6.	SISTEMA 2: AEROTERMIA CON PLACAS FOTOVOLTAICAS	48
6.1.	Aeroterminia	48
6.2.	Energía fotovoltaica.....	49
6.2.1.	El efecto fotoeléctrico	49
6.2.2.	Partes del sistema fotovoltaico	50
6.3.	Proyecto de instalación fotovoltaica para aeroterminia.....	53
6.4.	Consumo y costes del sistema de aeroterminia con fotovoltaica.....	61
7.	SISTEMA 3: CAPTADORES SOLARES PARA ACS, MÁQUINA DE ABSORCIÓN Y SISTEMA DE APOYO DE CALDERA DE GAS.....	62
7.1.	Campo de captadores solares	62
7.1.1.	Captadores solares de baja temperatura.....	63
7.2.	Producción de frío por absorción.....	65
7.3.	Producción de agua caliente sanitaria	66
7.4.	Proyecto de captadores solares, climatización por absorción y ACS.....	68
7.5.	Consumos y costes del sistema de colectores captadores, máquina de absorción y caldera de gas de apoyo.....	72
8.	Estudio económico y ambiental de los sistemas propuestos.....	73
8.1.	Estudio económico	73
8.2.	Estudio ambiental.....	74
9.	Conclusiones.....	76
10.	Bibliografía.....	79
	PRESUPUESTO	81
	Anexo 1: Resultados Design Builder	85
	Anexo 2: Cargas de la vivienda.....	97
	Anexo 3: Bomba de calor geotérmica	101
	Anexo 4: Aeroterminia con fotovoltaica	106
	Anexo 5: Captación solar y máquina de absorción	115

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1: Estructura del consumo en una vivienda unifamiliar (Episcope, 2013)	10
Figura 2: Imagen de la vivienda de estudio	15
Figura 3: Ejemplo de cerramiento opaco con diferentes capas	18
Figura 4: Evolución de la carga sensible de refrigeración a lo largo del día	21
Figura 5: Evolución de la carga latente de refrigeración a lo largo del día	22
Figura 6: Evolución de la carga sensible de calefacción a lo largo del día	22
Figura 7: Evolución de la carga latente de calefacción a lo largo del día	23
Figura 8: Demanda energética a lo largo de un año	24
Figura 9: Demanda de refrigeración a lo largo de una semana típica	25
Figura 10: Demanda de calefacción a lo largo de una semana típica	25
Figura 11: Simulación de la vivienda en Design Builder	25
Figura 12: Esquema simplificado del funcionamiento de una caldera	29
Figura 13: Esquema caldera mural mixta instantánea	30
Figura 14: Esquema caldera mural mixta instantánea servicio para ACS.	30
Figura 15: Caldera mural mixta con acumulación servicio para ACS	31
Figura 16: Caldera mural mixta con acumulación servicio para climatización	31
Figura 17: Funcionamiento del aire acondicionado	32
Figura 18: Caldera antigua de gas natural	33
Figura 19: Gradiente geotérmico	35
Figura 20: clasificación en función del tipo de geotermia	37
Figura 21: Sistema geotérmico abierto	38
Figura 22: Colectores cerrados horizontales	38
Figura 23: Colector cerrado verticales	39
Figura 24: Funcionamiento de la bomba de calor	39
Figura 25: Funcionamiento de la bomba de calor reversible(Carlos J Renedo, 2017)	40
Figura 26: Sistema centralizado de climatización	41
Figura 27: Composición del R-410A	42
Figura 28: Propiedades del R-410A	43
Figura 29: Propiedades de los tubos elegidos para la instalación	44
Figura 30: Sistema de aerotermia	48
Figura 31: Esquema unión p-n en una placa fotovoltaica	49
Figura 32: Elementos de un sistema fotovoltaico aislado de red	50
Figura 33: Tipos de conexión de las placas fotovoltaicas	50
Figura 34: Panel de silicio monocristalino	51
Figura 35: Panel de silicio policristalino	51
Figura 36: Curva característica punto de potencia máxima	52
Figura 37: Inversor Kostal Plenticore Plus 5.5kW	53
Figura 38: Demanda térmica diaria media	55
Figura 39: Demanda eléctrica media	56
Figura 40: Configuración de un string	61
Figura 41: Detalle de un colector solar	62
Figura 42: Partes de un colector solar plano	63
Figura 43: Tubo con fluido vaporizante en modelos de colectores solares Heat Pipe	64

Figura 44: Línea de colectores en serie y en paralelo	65
Figura 45: Sistema de refrigeración solar por absorción (María Herrador Moreno, 2018)	66
Figura 46: Circulación por termosifón	67
Figura 47: Circulación forzada	67
Figura 48: Orden de magnitud de capacidad de enfriadoras de absorción	68
Figura 49: Comparación entre la demanda y la producción en captadores solares	71
Figura 50: Comparativa entre el consumo energético anual	73
Figura 51: Comparativa coste anual	73
Figura 52: Emisiones contaminantes por tipo de sistema	75
Figura 53: Periodo de retorno de la inversión (Aeroterminia con fotovoltaica).....	77
Figura 54: Periodo de retorno de la inversión (Bomba de calor geotérmica).....	77
Figura 55: Periodo de retorno de la inversión (Sistema con captadores solares)	78
Figura 53: Comparativa entre costes de inversión.....	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Elementos constructivos de la instalación(Episcopo, 2013).....	16
Tabla 2: Condiciones interiores de diseño según RITE.....	17
Tabla 3: Valor Ci dependiendo de la orientación.....	17
Tabla 4: Factor de corrección F en función del tipo de persiana y acristalamiento.....	18
Tabla 5: Caudales mínimos para ventilación de caudal constante en locales habitables.....	19
Tabla 6: Calor sensible y latente en función de la actividad realizada y la temperatura (sección DB HS3).....	20
Tabla 7: Resumen tipo de cargas.....	20
Tabla 8: Cargas térmicas.....	23
Tabla 9: Demandas energéticas anuales de la vivienda.....	24
Tabla 10: Valores mínimos de ocupación de cálculo en uso residencial privado.....	26
Tabla 11: Temperaturas del agua de la red (UNE 94.002/95).....	26
Tabla 12: Demanda energética de agua caliente sanitaria.....	27
Tabla 13: Demanda total de la vivienda.....	28
Tabla 14: Especificaciones aire acondicionado Split.....	33
Tabla 15: Estudio económico caso base.....	33
Tabla 16: Precios del GN y la electricidad.....	34
Tabla 17: Carga máxima.....	42
Tabla 18: COP y EER de la BDC geotérmica.....	43
Tabla 19: Elementos instalación geotérmica.....	47
Tabla 20: Estudio económico caso 1.....	47
Tabla 21: Demanda térmica diaria media.....	55
Tabla 22: Demanda eléctrica diaria media.....	56
Tabla 23: Datos de PVGIS.....	57
Tabla 24: Datos de la placa fotovoltaica.....	58
Tabla 25: Estudio económico caso 2.....	61
Tabla 26: Tipología de máquinas de absorción.....	65
Tabla 27: Características principales de ClimateWell 10.....	69
Tabla 28: Captador solar plano NEO24.....	69
Tabla 29: Irradiación global media mensual.....	70
Tabla 30: Demanda a captadores.....	70
Tabla 31: Producción del campo solar.....	70
Tabla 32: Estudio económico caso 3.....	72
Tabla 33: Comparativa emisiones.....	74
Tabla 34: Presupuesto caso base.....	82
Tabla 35: Presupuesto geotermia.....	82
Tabla 36: Presupuesto aerotermia con fotovoltaica.....	83
Tabla 37: Presupuesto sistema de colectores solares.....	84

MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Motivación

El cambio climático es uno de los grandes problemas a los que se enfrenta la sociedad actual: la escasez de recursos, el aumento de la población y el crecimiento en las emisiones contaminantes son sólo algunas de las razones por las que se debe evolucionar tecnológicamente hacia un modelo más sostenible y respetuoso con el medio ambiente.

El incremento en el uso de las energías renovables juega un papel fundamental a la hora de desarrollar un sistema de generación más limpio, ya que permite producir energía con reducido impacto ambiental evitando así la emisión de gases de efecto invernadero. Acudiendo al *Informe del Sistema Eléctrico Español 2018* de Red Eléctrica Española (REE, 2018), el uso de las energías renovables aumentó al 40,1% en 2018 frente al 33,7% en el 2017, tendencia que se está siguiendo estos últimos años. A pesar de ser cifras positivas, aproximadamente el 60% de la energía se genera a partir de fuentes no renovables, por lo que hay que continuar trabajando para que este último porcentaje se reduzca lo máximo posible.

El presente Trabajo de Fin de Grado se centra en el estudio de alternativas de sistemas de climatización en una vivienda unifamiliar, ya que la calefacción y la refrigeración requieren de una gran cantidad de energía para funcionar. De esta manera, reduciendo el consumo por climatización el gasto energético total de la vivienda disminuiría, contribuyendo así a disminuir los gases de efecto invernadero.

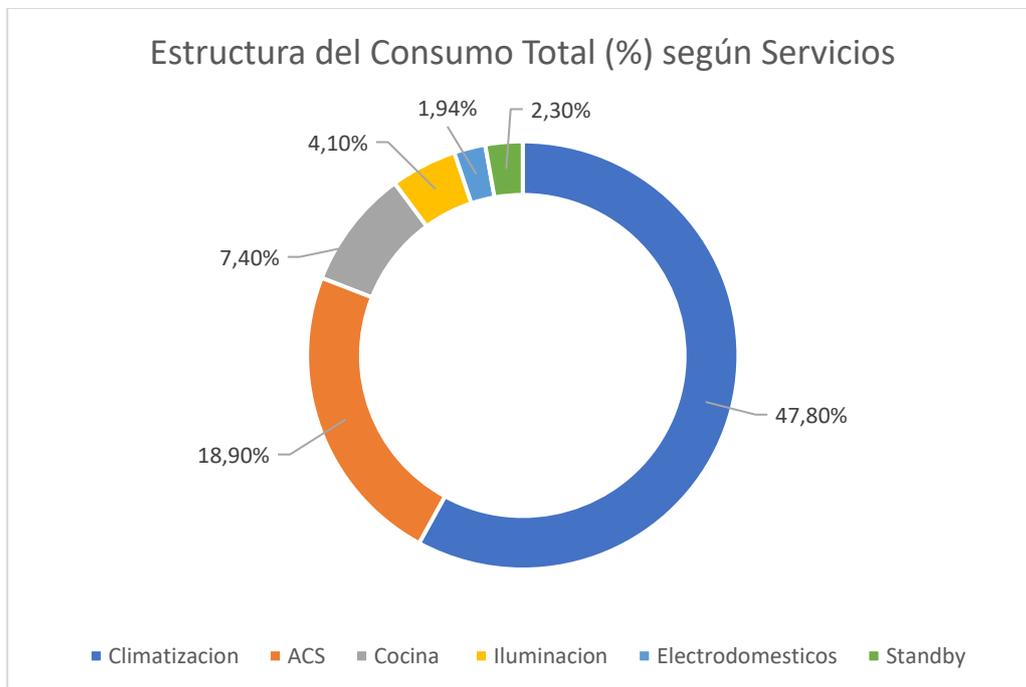


Figura 1: Estructura del consumo en una vivienda unifamiliar (Episcopo, 2013)

1.2. Justificación

El motivo principal del presente trabajo de fin de grado (TFG) es la finalización de los estudios del Grado en Ingeniería de la Energía perteneciente a la Escuela Técnica superior de Ingenieros Industriales (ETSII), grado cursado en la Universitat Politècnica de València (UPV).

Desde el punto de vista académico, el objetivo es sintetizar en un proyecto final los conocimientos adquiridos durante el grado para demostrar las aptitudes y las capacidades que se han adquirido durante los últimos años. De esta manera conseguir combinar en un mismo trabajo los conocimientos técnicos adquiridos en asignaturas como *Mecánica de fluidos*, *Energía fotovoltaica* o *Frío y climatización*, los conocimientos económicos obtenidos en *Empresa y Economía Industrial* o *Proyectos* aportando siempre un enfoque medioambiental como el mostrado en *Energía y Desarrollo Sostenible* y *Tecnología del Medio ambiente*.

Bajo la premisa de demostrar que se pueden trasladar del plano teórico al práctico los conocimientos adquiridos durante la carrera nace el interés de realizar el presente Trabajo de Fin de Grado, de manera que se pueda comprobar la utilidad e implementación de éstos.

1.3. Objeto del proyecto

El objeto del presente TFG es comparar en una misma vivienda tres tipos diferentes de climatización y producción de ACS de bajo impacto ambiental:

- Bomba de calor geotérmica
- Bomba de calor aerotérmica con placas fotovoltaicas
- Captadores solares para ACS, frío por absorción y apoyo de calefacción por caldera de gas

La vivienda de estudio se trata de una vivienda unifamiliar típica en clima mediterránea que sirve como base para la implementación de los distintos sistemas mencionados anteriormente.

La elección de los tres métodos de climatización se ha basado en intentar abarcar los máximo sistemas posibles y que fueran lo más distintos posibles entre ellos, para así tener una visión más global de las distintas maneras que hay para climatizar una vivienda. Es por esto por lo que, a lo largo del proyecto se asumirán ciertas simplificaciones, ya que el estudio se realiza sobre modelos aproximados.

La metodología seguida durante el TFG ha sido la siguiente: En primer lugar, se ha definido la vivienda de estudio tomando los valores del proyecto TABULA (explicado con más detalle en el punto 3) para poder definir las exigencias de energía para climatización y ACS. A continuación, para definir dichas demandas, se ha hecho un modelado básico de la vivienda mediante el programa Design Builder. Para cada alternativa de climatización se ha recabado información de los distintos sistemas y su actual aplicación en viviendas unifamiliares y posteriormente, con el apoyo de guías y datos técnicos de diferentes fabricantes, se ha dimensionado para la vivienda de estudio. Luego, se ha realizado un presupuesto para cada una de las alternativas teniendo en cuenta los materiales y la instalación y por último, se ha estudiado económica y ambientalmente cada caso.

2. NORMATIVA

El 20 de julio de 2007 se aprueba el Real Decreto 1027/2007, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE). El objetivo del RITE es establecer un uso de la energía racional, estableciendo las condiciones de bienestar térmico e higiene que deben cumplir los sistemas destinados a la climatización, calefacción y producción de ACS, por lo que el presente TFG se ciñe a su estricto cumplimiento (RITE, 2007). Con el objetivo de transponer la Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo al ordenamiento jurídico español surge el Real Decreto 238/2013, que establece una revisión periódica de la exigencia de eficiencia energética en intervalos no superiores a cinco años.

Para que las condiciones de confort sean las determinadas por el RITE se deben cumplir las exigencias de calidad térmica del ambiente, de calidad del aire del interior, de higiene y la calidad del ambiente acústico.

Por otra parte, este proyecto debe seguir el Código Técnico de la Edificación (CTE, 2017), que tal y como se describe en su propia página web *“es el marco normativo que establece las exigencias que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad establecidos en la Ley 38/1999 de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación (LOE)”*

2.1. Normativa Sistema 1: Bomba de calor geotérmica

La normativa que regula la base legal de los proyectos de geotermia se compone del *Real Decreto 1027/2007* que aprueba el Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios, conocido como RITE, *Real Decreto 314/2006* por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación y el *Real Decreto 842/2002* reglamento de aparatos a presión y el Reglamento Electrotécnico para baja tensión e Instrucciones Técnicas Complementarias.

El proyecto geotérmico también se asienta sobre el Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera recogido en el *Real Decreto 863/1985*, ya que la instalación de un sistema geotérmico conlleva perforación del suelo.

En cuanto a impacto medioambiental, se debe respetar el *Real Decreto 21/2006* (regulación de la adopción de criterios ambientales y de eficiencia en los edificios), así como el *Real Decreto 105/2008* (Regulación la producción y gestión de los residuos de la construcción y demolición).

Por último, la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR) establece las siguientes normas UNE:

UNE 100715-1:2014 Diseño, ejecución y seguimiento de una instalación geotérmica somera.

UNE-EN ISO 17628:2017 Investigación y ensayos geotécnicos.

2.2. Normativa Sistema 2: Aerotermia con fotovoltaica

La legislación relativa a los sistemas fotovoltaicos depende si la instalación está conectada a la red eléctrica o no. En el caso de este TFG la instalación es un sistema fotovoltaico aislado de la red (SFA), por lo que la instalación debe cumplir el RD 842/2002 donde se aprueba el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT). Según el REBT, para los sistemas aislados de red con potencia no superior a 10 kW un electricista acreditado deberá hacer una Memoria Técnica de Diseño (MTD) que deberá enviarse al registro competente de la Comunidad Autónoma en la que se realice la instalación, así como el certificado de Instalación (CI). A continuación, se presentan las principales normas de aplicación de estos sistemas:

Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica.

UNE 206008:2013 IN Energía solar fotovoltaica. Términos y definiciones.

UNE-EN 60269-6:2012 Fusibles de baja tensión. Parte 6: Requisitos suplementarios para los cartuchos fusibles utilizados para la protección de sistemas de energía solar fotovoltaica.

UNE-EN 62920:2018 Sistemas de generación de energía fotovoltaica. Requisitos de compatibilidad electromagnética (CEM) y métodos de ensayo para equipos de conversión de potencia.

UNE-HD 60364-7-712:2017 Instalaciones eléctricas de baja tensión. Parte 7-712: Requisitos para instalaciones o emplazamientos especiales. Sistemas de alimentación solar fotovoltaica (FV).

RITE, Reglamento de Instalaciones Térmicas en edificios.

REBT Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, regula la instalación eléctrica.

R.D. 661/2007, de 25 de Mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica de régimen especial.

R.D. 1663/2000, de 29 de Septiembre, que establece las normas de conexión a red de baja tensión de instalaciones fotovoltaicas.

R.D. 1578/2008, de 26 de Septiembre, de retribución de la actividad de producción de energía eléctrica mediante tecnología solar fotovoltaica.

En cuanto a la normativa aplicable para la bomba de calor:

Reglamento (UE) Nº 813/2013: Requisitos de diseño ecológico aplicables a los aparatos de calefacción y a los calefactores combinados.

Reglamento (UE) Nº 814/2013: Requisitos de diseño ecológico para calentadores de agua y depósitos de agua caliente.

Reglamento (UE) Nº 2016/2281: Requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos de calentamiento de aire, los productos de refrigeración, las enfriadoras de procesos de alta temperatura y los ventilosconvectores.

2.3. Normativa Sistema 3: Captadores solares: ACS, frío por absorción y sistema de apoyo por caldera de gas

Con el apoyo de la *Guía Técnica De Agua Caliente Sanitaria Central del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE)*, la normativa aplicable a la producción de agua caliente sanitaria es la siguiente:

HS4: Documento de Aplicación del Código Técnico de la Edificación (CTE), contribución solar mínima de agua caliente sanitaria.

Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo, por el cual se aprueba el CTE.

Real Decreto 358/1985 de 23 de enero, sujeción a normas técnicas de las griferías sanitarias para realizar en locales de higiene corporal, cocinas y lavaderos y su homologación por el Ministerio de Industria y Energía

Orden de 15 de abril de 1985, sobre normas técnicas de las griferías sanitarias para utilizar en locales de higiene corporal, cocinas y lavaderos y su homologación por el Ministerio de Industria y Energía.

Real Decreto 140/2003 de 7 de febrero, criterios Sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.

Real Decreto 865/2003 de 4 de julio, criterios Higiénico-Sanitarios para la prevención y control de la legionelosis.

Real decreto 1.369/2007 de 19 de octubre, establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos que utilizan energía

UNE 100.030 2005, guía para prevención y control de la proliferación de Legionela en instalaciones.

UNE-EN 806 2001, especificaciones para instalaciones de conducción de agua destinada al consumo humano en el interior de los edificios.

UNE 112.076 IN, prevención de la corrosión en circuitos de agua

En cuanto a los equipos de absorción, la instalación se realiza conforme las siguientes consideraciones:

RITE: Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, que regula lo relativo al diseño, instalación y mantenimiento de las instalaciones de climatización y de producción de agua caliente sanitaria.

Real Decreto 552/2019, Reglamento de Seguridad para Plantas e Instalaciones Frigoríficas.

Las calderas de gas hay que tener en cuenta la normativa del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los edificios (RITE), en conjunto con las Directivas Europeas de Ecodiseño (ErP) y Etiquetado (ELD) desde 2015. A partir del 2018, también se limitan las emisiones máximas de NOX y eficiencia. Una vez instalada la caldera, el instalador debe emitir un certificado que refleje que la instalación se ha realizado en función de la normativa vigente del RITE y debe renovarse con cada revisión.

3. DEFINICIÓN DE LA VIVIENDA

La vivienda objeto de estudio se trata de una vivienda unifamiliar genérica ubicada en clima mediterráneo. Para obtener los datos sobre los cuales se ha trabajado, el presente Trabajo Fin de Grado se ha apoyado en el proyecto EPISCOPE de la Unión Europea (*EPISCOPE*, 2020), cuyo objetivo es crear una base de datos a nivel europeo en el que se estudian diferentes alternativas climáticas en distintas viviendas para así hacer que los procesos de restauración energética en el sector de la vivienda europea sean transparentes y efectivos. El proyecto EPISCOPE se encarga de la evaluación de renovaciones energéticas en modelos de edificios para evaluar los distintos procesos que se pueden llevar a cabo y evaluar el consumo energético dependiendo de los distintos sistemas empleados. Como resultado, se ha generado una base de datos donde cualquier persona interesada puede acudir para obtener un conjunto de indicadores de rendimientos energéticos para así garantizar el cumplimiento de las regulaciones de cada país y evaluar los ahorros energéticos conseguidos.

En el proyecto EPISCOPE se realizaron estudios en un total de 16 países, incluyendo España, en los cuales hace un seguimiento de la implementación de medidas energéticas y su repercusión en el ahorro. A este proyecto se puede acceder fácilmente a través de la página web de TABULA WebTool (Umwelt, 2014).

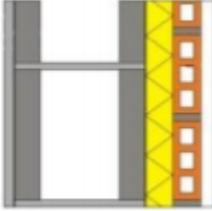
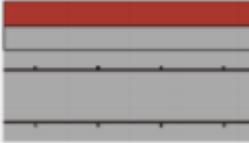
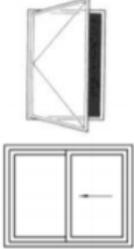
Como ya se ha mencionado, se ha elegido una vivienda unifamiliar en clima mediterráneo ubicada en España. Se trata de una residencia de 163m², con periodo de construcción entre 1980 y 2006. Su superficie habitable es de 148m² y su volumen de 466m³. Para el correcto dimensionado de los distintos sistemas de climatización, se tomará Valencia como emplazamiento representativo del clima mediterráneo y se efectuarán los cálculos en base a este lugar.



Figura 2: Imagen de la vivienda de estudio

Los elementos constructivos de la instalación se han obtenido del documento “Building Data” de la página TABULA WebTool, donde se encuentran tres subapartados “Existing state”, “Usual Refurbishment” y “Advanced Refurbishment”; es decir, el caso existente y dos situaciones de reacondicionamiento, una típica y una avanzada. Para el estudio se elige el caso existente y los datos constructivos de la instalación se recogen en la siguiente tabla:

Tabla 1: Elementos constructivos de la instalación(Episcopo, 2013)

Elemento	Imagen	Descripción	Superficie (m ²)	U (W/m ² K)
Cubierta		Cubierta plana, forjado unidireccional, viguetas pretensadas	132,0	0,61
Fachada		Enfoscado de cemento, bloque de hormigón, aislante térmico, ladrillo hueco, enlucido de yeso	234,1	0,6
Suelo en contacto con terreno		Baldosa cerámica, mortero, Losa de HA (hormigón armado)	107,2	0,85
Huecos		Carpintería de madera de densidad media-alta, ajuste con burletes, sin caja de persiana, lamas horizontales	65,9	3,09

3.1. Carga térmica de la vivienda

La energía total que entra a un recinto se denomina ganancia y la energía que hace que haya una variación en la temperatura o la humedad del aire se define como carga. Para establecer la demanda de calefacción y refrigeración se deben calcular las cargas térmicas a las que está sometida una vivienda. Con el objetivo de garantizar unas condiciones de confort adecuadas hay que vencerlas mediante los sistemas de climatización, manteniendo unas condiciones interiores de confort regladas por el RITE (en su instrucción 02.2.1 hace referencia a la norma UNE EN ISO 7730) (Guía técnica de instalaciones de climatización con equipos autónomos, 2012):

Tabla 2: Condiciones interiores de diseño según RITE

Estación	Temperatura operativa (°C)	Humedad relativa (%)
Verano	23...25	45...60
Invierno	21...23	40...50

Las cargas térmicas modifican tanto la temperatura (carga sensible) como la humedad absoluta (carga latente) y según su procedencia se pueden distinguir cargas procedentes del exterior o procedentes del interior del propio local.

Las cargas procedentes del exterior se pueden clasificar en los siguientes tipos:

Transmisión por cerramientos opacos

Las cargas de transmisión por conducción de calor a través de muros o cualquier otro elemento que separe el interior de la vivienda a climatizar con el exterior o con habitáculos colindantes. Depende de las características constructivas de cada elemento (expresadas por el *coeficiente global de transmisión de calor* U (W/m^2K)) así como por la diferencia de temperaturas entre el exterior y el interior del edificio y el área de transmisión. Influyen en las cargas térmicas sensibles ya que modifican la temperatura interior.

Cuando la pared a estudiar da al exterior se debe tener en cuenta el factor de corrección C_i , que modifica la carga total en función de la orientación de ésta:

Tabla 3: Valor C_i dependiendo de la orientación

Orientación	C_i
Norte	1,15
Sur	1,00
Este	1,10
Oeste	1,05

Los cerramientos opacos de las viviendas suelen ser de diversos componentes organizados en capas diferenciadas, por lo que el comportamiento global de cada cerramiento dependerá de los materiales, la disposición y el espesor de cada capa.

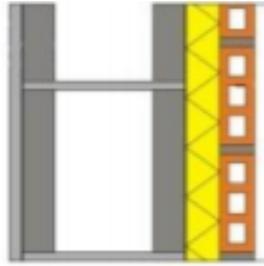


Figura 3: Ejemplo de cerramiento opaco con diferentes capas

Transmisión por cerramientos semitransparentes

Carga debida a la radiación solar incidente sobre las superficies translucidas y transparentes. Esta radiación se traduce en un aumento en la temperatura interior a climatizar. Depende del área de la superficie acristalada expuesta a la radiación, la radiación solar que atraviesa la superficie y el factor de corrección F.

En cuanto a la radiación solar que atraviesa la superficie ésta varía según la orientación, mes y latitud del lugar.

El factor de corrección F depende del tipo de vidrio, de las sombras o elementos de sombreado que puedan existir y de la orientación.

Tabla 4: Factor de corrección F en función del tipo de persiana y acristalamiento

Tipo de persiana	Tipo de acristalamiento		
	Simple	Doble	Triple
Persiana enrollable de aluminio	0,59	0,74	0,81
Persiana enrollable de plástico sin relleno de aislante	0,52	0,68	0,76
Persiana enrollable de plástico con relleno de aislante	0,48	0,64	0,72
Persiana enrollable de madera	0,52	0,68	0,76
Persiana de madera de 2 a 30 mm de espesor	0,44	0,6	0,69

Las cargas por cerramientos semitransparentes influyen en la carga sensible de la vivienda.

Puentes térmicos

Los puentes térmicos son las zonas de las envolventes de los edificios en las cuales la transmisión de calor es más fácil que en las zonas de alrededor. Esto se puede deber a variaciones en los materiales utilizados o a variaciones en la geometría de la envolvente y depende de la longitud del puente térmico y del *coeficiente global de transmisión de calor*, U (W/m^2K).

Para evitar la transmisión de calor por puente térmico se usa la rotura de puente térmico, que consiste en intercalar un mal conductor entre las superficies críticas para reducir las pérdidas por conducción.

Al igual que los dos ejemplos anteriores, influyen en la carga sensible.

Cargas debidas a ventilación

El RITE marca unas exigencias mínimas de bienestar e higiene en las que exige mantener un nivel adecuado en la calidad del aire interior, por lo que se especifica que se debe tener un sistema de ventilación para aportar el caudal necesario de aire exterior (Instrucción Técnica 1.1.4 Exigencia de calidad del aire interior). El nivel de ventilación depende de la calidad del aire interior, pudiendo diferenciar tres tipologías:

Tabla 5: Caudales mínimos para ventilación de caudal constante en locales habitables

Tipo de vivienda	Locales secos ⁽¹⁾⁽²⁾			Locales húmedos ⁽¹⁾	
	Dormitorio principal	Resto de dormitorios	Salas de estar y comedores ⁽³⁾	Mínimo en total	Mínimo por local
0 ó 1 dormitorio	8	-	6	12	6
2 dormitorios	8	4	8	24	7
3 o más dormitorios	8	4	10	33	8

(1) En los *locales* secos de las viviendas destinados a varios usos se considera el caudal correspondiente al uso para el que resulte un caudal mayor

(2) Cuando en un mismo *local* se den usos de *local* seco y húmedo, cada zona debe dotarse de su caudal correspondiente

(3) Otros *locales* pertenecientes a la vivienda con usos similares (salas de juego, despachos, etc.)

Estas renovaciones de aire interior se traducen en un aumento en las cargas tanto sensibles como latentes y dependen del número de renovaciones de aire necesarias, de la estanqueidad del edificio y del salto térmico entre el exterior y el interior de la zona.

En cuanto a las cargas producidas en el interior se tienen:

Cargas debidas a ocupantes

Los propios ocupantes expulsarán calor que influirá tanto en la carga sensible como en la latente. Depende de la cantidad de personas presentes en el recinto y del calor sensible o latente de cada persona.

Se tiene en cuenta la respiración y la transpiración del ocupante, en la tabla siguiente se tienen los valores dependiendo de la actividad realizada del calor latente y sensible en kcal/h:

Tabla 6: Calor sensible y latente en función de la actividad realizada y la temperatura (sección DB HS3)

Actividad realizada	28 °C		27 °C		26 °C		24 °C	
	Sensible	Latente	Sensible	Latente	Sensible	Latente	Sensible	Latente
Sentado en reposo. Escuela	45	45	50	40	55	35	60	30
Sentado trabajo ligero. Instituto	45	55	50	50	55	45	60	40
Oficinista, actividad ligera	45	70	50	65	55	60	60	50
Personal de pie. Tienda	45	70	50	75	55	70	65	60
Persona que pasea. Banco	45	80	50	75	55	70	65	60
Trabajo sedentario	50	90	55	85	60	50	70	70
Trabajo ligero taller	50	140	55	135	60	130	75	115
Persona que camina	50	160	60	155	70	145	85	130
Persona que baila	70	185	75	175	85	170	95	155
Persona en trabajo penoso	115	250	120	250	125	245	130	230

Cargas por iluminación y por equipos eléctricos

Se considera la transformación en calor sensible de la potencia de las lámparas, por lo que depende de la cantidad de luminarias presente y de su potencia. En caso de las lámparas de descarga o fluorescentes se multiplica por 1,25 para considerar el consumo de las reactancias.

En cuanto a los equipos, se tomará la potencia de cada uno como carga latente o sensible, dependiendo del tipo.

Como resumen de los tipos de cargas que se pueden encontrar a la hora de realizar el estudio de una vivienda, se presenta la siguiente tabla (UPV, 2019):

Tabla 7: Resumen tipo de cargas

Tipo de carga	Sensible	Latente
Exteriores		
Transmisión por cerramientos opacos	Sí	No
Transmisión por cerramientos semitransparentes	Sí	No
Puentes térmicos	Sí	No
Ventilación	Sí	Sí
Infiltración	Sí	Sí
Interiores		
Ocupantes	Sí	Sí
Iluminación	Sí	No
Máquinas y electrodomésticos	Sí	Sí

A la hora de dimensionar la instalación para refrigeración se tendrá en cuenta el día más caluroso del año, incluyendo la radiación solar, con la carga interna máxima y con las cargas de ventilación máximas; mientras que cuando se trate de dimensionar la climatización para calefacción los cálculos se basarán en el día más frío, sin radiación solar, con la carga interna mínima y con las cargas máximas por ventilación. De esta manera se cubrirán los escenarios más desfavorables y se garantizarán las condiciones interiores requeridas.

3.2. Cálculo de la demanda energética pico

Para el cálculo de la demanda energética pico se utiliza el programa *Cargas* desarrollado por la Universitat Politècnica de València y transmitido por FUNDATECYR. Este programa se basa en una hoja de Excel que se descarga de la página de Atecyr (UPV, Universitat Politècnica de València, 2020) y que mediante los tipos de carga, la orientación de la vivienda y los datos del clima permite calcular la carga térmica de calefacción y de refrigeración. El cálculo de las cargas se realiza mediante la metodología *radiant time series* (RTS).

Este método de las RTS considera el retardo en el tiempo que existe desde que una ganancia entra a un local hasta que esta ganancia se convierte en carga en el aire. Este retardo es debido al almacenamiento térmico producido en los materiales y el cálculo contempla el paso de las ganancias por radiación a cargas térmicas tras calentar el entorno.

En la presente memoria se presentarán únicamente los gráficos de los resultados, el procedimiento detallado de la utilización de la hoja de cálculo se recoge en el *Anexo 2*.

Para refrigeración, la evolución del calor sensible y el calor latente a lo largo del día se recoge en los siguientes dos gráficos:

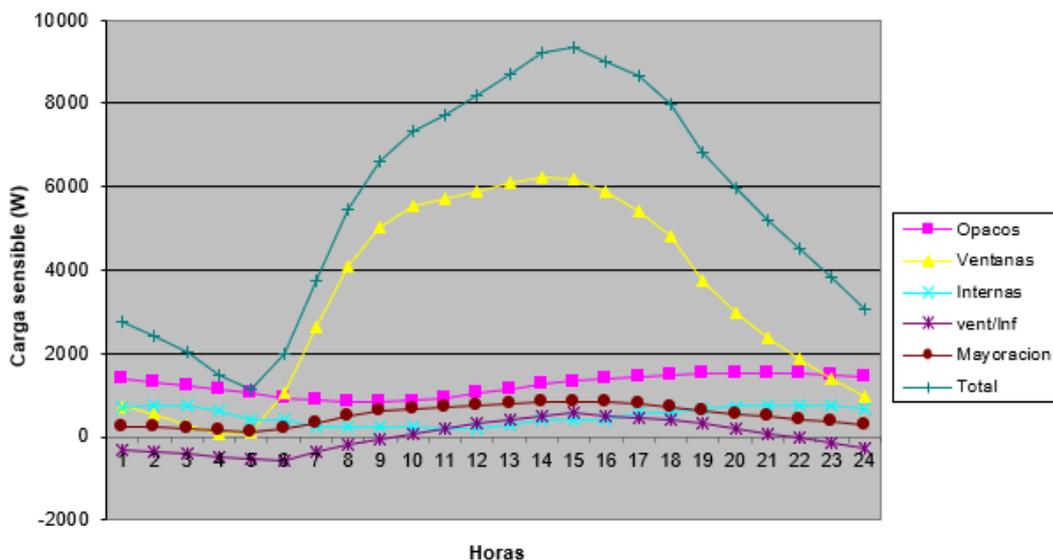


Figura 4: Evolución de la carga sensible de refrigeración a lo largo del día

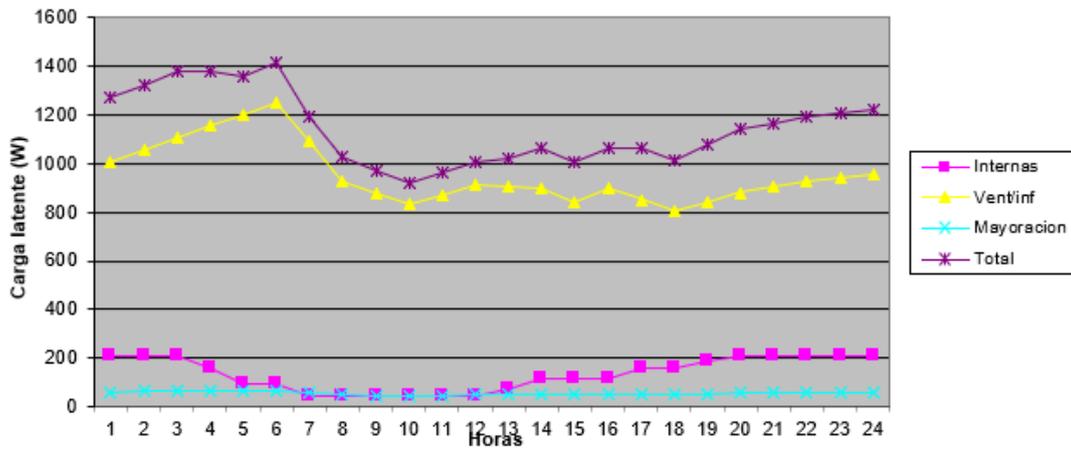


Figura 5: Evolución de la carga latente de refrigeración a lo largo del día

La evolución del calor sensible y el calor latente para calefacción a lo largo del día es:

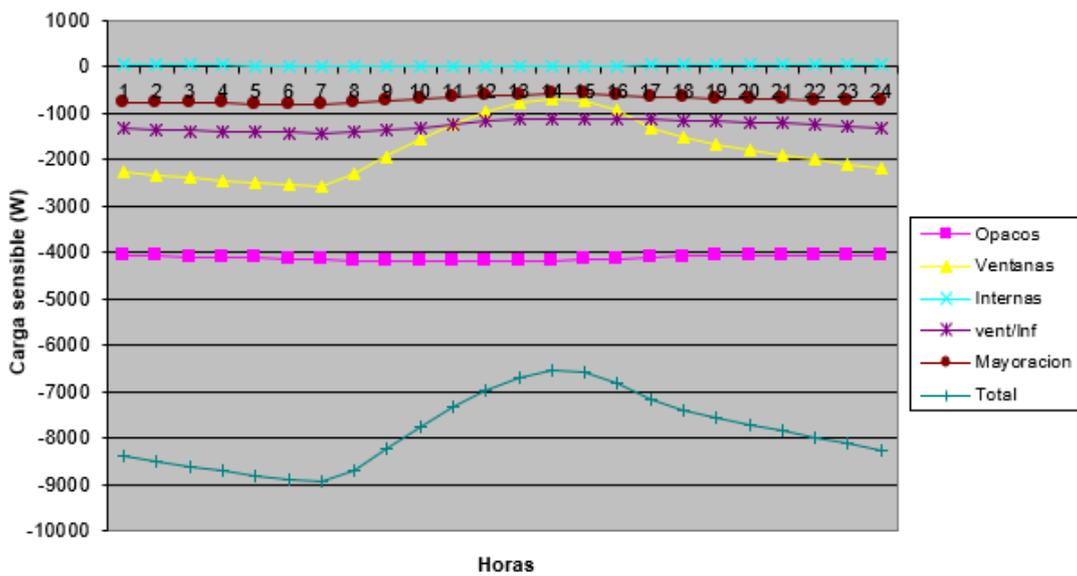


Figura 6: Evolución de la carga sensible de calefacción a lo largo del día

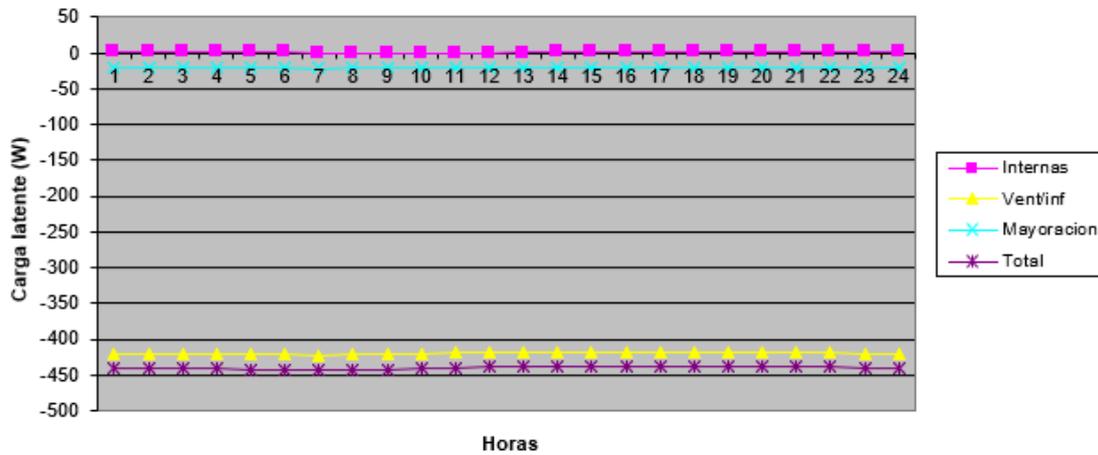


Figura 7: Evolución de la carga latente de calefacción a lo largo del día

La demanda máxima que tendrán que vencer los sistemas de climatización son:

Tabla 8: Cargas térmicas

Carga calefacción	-8,95	kW
Carga refrigeración	10,334	kW

Estos valores se emplearán para dimensionar los sistemas de climatización.

3.3. Cálculo de demanda de calefacción y refrigeración

Para calcular la energía total que debe aportar el sistema de calefacción se debe tener en cuenta que no todas las cargas presentes influyen en la demanda de la misma manera, habrá unas que hagan que ésta aumente o que disminuya.

Por una parte, se tiene las cargas térmicas que generan pérdidas, es decir, cargas que hacen que la demanda de calefacción aumente. Hacen que la energía fluya hacia el exterior, por lo que el sistema de calefacción tendrá que contrarrestar estas pérdidas:

- Pérdidas por cargas térmicas por transmisión de calor a través de superficies como muros, cerramientos o puentes térmicos (Q_{tr}).
- Pérdidas por cargas térmicas por ventilación e infiltraciones de aire del exterior (Q_{ve})

Por otra parte, existen las cargas térmicas que generan un aporte de energía que se traduce en un aumento en la temperatura interior de la vivienda, por lo que suponen un extra de calefacción en los meses fríos. Este tipo de cargas son:

- Las cargas debidas a la radiación que entra por las ventanas (Q_{sol})
- Las cargas internas debidas a ocupantes, iluminación y aparatos eléctricos (Q_{int})

Para el cálculo de la demanda de calefacción y refrigeración se hace uso del software Design Builder, herramienta utilizada en el campo de la ingeniería y la arquitectura para modelar y evaluar sistemas de climatización. Para la correcta simulación se utilizan los valores de la vivienda proporcionados por la web de TABULA, definiendo el emplazamiento de la vivienda en Valencia. La demanda final de calefacción y refrigeración se recoge en la siguiente tabla:

Tabla 9: Demandas energéticas anuales de la vivienda

Demanda calefacción	1268,6	kWh/año
Demanda refrigeración	3644,43	kWh/año

A continuación, se presenta la evaluación de la demanda a lo largo de un año empezando la gráfica en el mes de enero y terminando en diciembre. Como se puede observar, es evidente que en los meses de invierno es cuando existe demanda de calefacción y en los meses de verano la de refrigeración, mientras que en los meses donde las temperaturas no son tan extremas, como pueden ser septiembre o marzo, la demanda es muy puntual. La primera barra roja representa el inicio del horario de verano y la segunda el fin de éste.



Figura 8: Demanda energética a lo largo de un año

Para una semana típica de verano se tiene la siguiente demanda, donde se puede observar que, principalmente, los consumos van aumentando a partir de aproximadamente el medio día hasta alcanzar su pico durante la tarde.



Figura 9: Demanda de refrigeración a lo largo de una semana típica

En cuanto a los meses de invierno se tiene un consumo más repartido a lo largo del día, alcanzando los picos de demanda durante las mañanas.

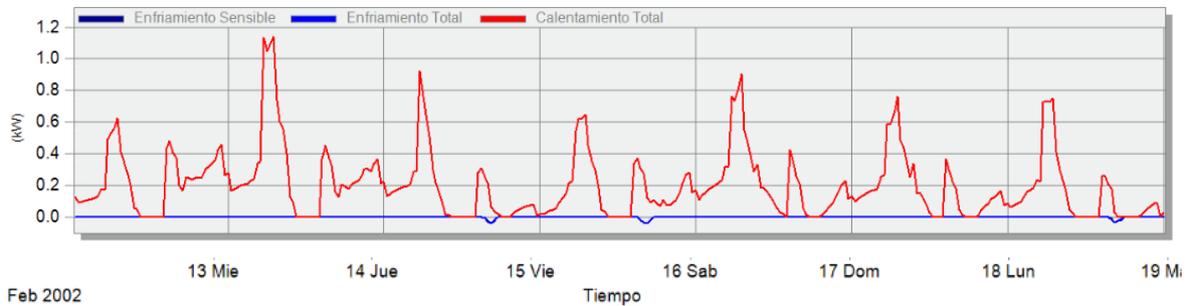


Figura 10: Demanda de calefacción a lo largo de una semana típica

Las cargas dependen de la ocupación de la vivienda, y la ocupación depende del día de la semana, por lo que se pueden apreciar diferencias en la distribución horaria de las cargas entre los días de entre semana y fin de semana. También se pueden observar diferencias debidas a variaciones climáticas, por ejemplo, en la *Figura 9* se puede ver que el día 10 podría haber estar nublado, disminuyendo así la demanda de refrigeración.

En el *Anexo 1* se presentan distintas graficas pertenecientes a la demanda anual, de una semana típica de invierno y de verano de diferentes estancias de la vivienda, así como el balance térmico a lo largo del año, las renovaciones de aire exterior y la temperatura de consigna.



Figura 11: Simulación de la vivienda en Design Builder

3.4. Cálculo de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS)

Para definir el consumo de agua caliente sanitaria se sigue el criterio establecido por el *Código Técnico de la Edificación CTE BB-HE 3 (Documento Básico HE Ahorro de Energía Con Comentarios Del Ministerio de Fomento, 2017)*. En el Anejo F “*Demanda de referencia de ACS*” de este documento se establece la demanda de referencia considerando unas necesidades de 28 litros/día·persona a 60°C y una ocupación al menos igual a la mínima establecida en la siguiente tabla:

Tabla 10: Valores mínimos de ocupación de cálculo en uso residencial privado

Número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	≥6
Número de personas	1,5	3	4	5	6	6	7

La vivienda de estudio no tiene definida el número de dormitorios que tiene, por lo que se va a tomar como 4 siendo el número de personas residentes 5. De esta manera se pretende tener una representación que se acerque lo máximo posible a las viviendas unifamiliares de clima mediterráneo.

La demanda de ACS a 60°C será pues:

$$Demanda ACS = 28 \frac{\text{litros}}{\text{día} \cdot \text{persona}} * 5 \text{ personas} = 140 \frac{\text{litros}}{\text{día}}$$

Para calcular la energía necesaria para calentar hasta los 60°C la cantidad de 140 litros al día tenemos que partir de la temperatura del agua de red. Como el estudio se hace para una vivienda típica en clima mediterráneo se utilizará como temperatura del agua de red la temperatura de la ciudad de Valencia, ya que se considera una ciudad representativa para localizaciones con clima mediterráneo.

Acudiendo a la Guía técnica de Agua caliente sanitaria del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) se tienen las temperaturas del agua de la red de diferentes ciudades. Para Valencia:

Tabla 11: Temperaturas del agua de la red (UNE 94.002/95)

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media	Unidades
10	11	12	13	15	17	19	20	18	16	13	11	15	°C

Para calcular la energía necesaria se aplica la siguiente fórmula:

$$Q_{acs} = \dot{m} \cdot C_{pe} \cdot \Delta T$$

Donde,

Qacs (kWh/día) es la cantidad de energía necesaria para calentar el agua necesaria desde una temperatura de red dada a los 60 °C que se demandan

\dot{m} es el gasto másico en unidades de masa por tiempo, si la demanda diaria son 140 litros:

$$140 \frac{\text{litros}}{\text{día}} \cdot \frac{1 \text{ dm}^3}{1 \text{ litro}} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1 \text{ dm}^3} = 0,14 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

La densidad del agua a 60°C es $\rho = 983,13 \text{ kg/m}^3$ (Vaxa Software, 2020):

$$\dot{m} = 0,14 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \cdot 983,13 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 137,64 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Cpe es el calor específico del agua en kJ/kg·K:

$$C_{pe} = 4,186 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

ΔT es la diferencia de temperatura entre el agua de red y la temperatura de servicio

Sustituyendo en la ecuación principal para cada mes:

Tabla 12: Demanda energética de agua caliente sanitaria

	T red	ΔT	Qacs (kWh/día)	Qacs mensual(kWh/mes)
Enero	10	50	8,0	240,1
Febrero	11	49	7,8	235,3
Marzo	12	48	7,7	230,5
Abril	13	47	7,5	225,7
Mayo	15	45	7,2	216,1
Junio	17	43	6,9	206,5
Julio	19	41	6,6	196,9
Agosto	20	40	6,4	192,1
Septiembre	18	42	6,7	201,7
Octubre	16	44	7,0	211,3
Noviembre	13	47	7,5	225,7
Diciembre	11	49	7,8	235,3

2616,7

Al año, la demanda energética para ACS es de 2616,7 kWh

3.5. Demandas de la vivienda

A continuación, se presenta una tabla resumen con todos los consumos energéticos de la vivienda desglosados mes a mes:

Tabla 13: Demanda total de la vivienda

Mes	Demanda refrigeración (kWh)	Demanda calefacción (kWh)	Demanda ACS (kWh)
Enero	0	379,28	248,07
Febrero	0,15	238,67	219,58
Marzo	4,31	143,38	238,15
Abril	23,42	7,32	225,66
Mayo	91,17	0,23	223,26
Junio	512,76	0	206,46
Julio	1153,59	0	203,42
Agosto	1186,09	0	198,46
Septiembre	589,36	0	201,66
Octubre	96,85	0,32	218,30
Noviembre	6,61	131,08	225,66
Diciembre	0	377	243,11

Se puede observar que los picos de demanda energética para este tipo de vivienda, localizada en Valencia, corresponden con la carga de refrigeración para los meses de julio y agosto. Siendo las demandas de calefacción máximas más suaves, estas demandas máximas de calefacción corresponden a los meses de diciembre y enero.

4. CASO BASE: CALDERA MIXTA DE GAS NATURAL Y SPLIT AIRE ACONDICIONADO

El caso base en la vivienda se trata de una caldera mixta de gas natural y un sistema aire acondicionado mediante ciclo de compresión de vapor con Split para verano. A continuación, se explica el funcionamiento de ambos sistemas.

4.1. Caldera mixta de gas natural

Una caldera de gas natural es un sistema en el cual mediante la combustión de gas natural se produce un flujo de calor que se utiliza para climatizar la vivienda en los meses fríos y proporcionar el calor suficiente para hacer funcionar el sistema de ACS.

4.1.1. Descripción del sistema

El funcionamiento básico de una caldera se basa en calentar a alta temperatura un fluido caloportador (agua) a través de un intercambiador de calor mediante los productos de la combustión que se producen tras quemar un combustible. En el quemador se produce la combustión del gas natural gracias a la mezcla de aire con el combustible. Como producto de esta combustión se obtienen gases a alta temperatura que se liberan en el hogar. Este hogar es una parte esencial de la caldera, ya que es donde se encuentra el intercambiador de calor y, por tanto, donde los gases ceden parte de su calor al agua que posteriormente será utilizada tanto como para climatizar la vivienda como para el circuito de agua caliente sanitaria (ATECYR, 2012).

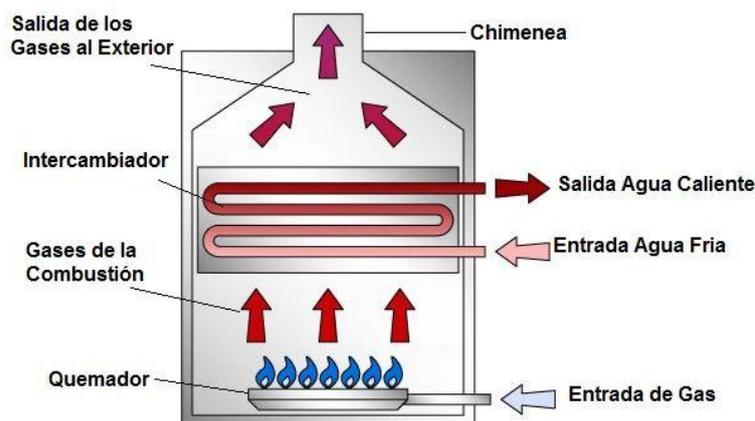


Figura 12: Esquema simplificado del funcionamiento de una caldera

En la gran mayoría de instalaciones domésticas la caldera utilizada es mixta, es decir, suministra tanto agua caliente para climatización como ACS, priorizando siempre el suministro de agua caliente sanitaria. Puede haber tanto murales como de pie, pero destacan las murales al ser más compactas, económicas y más fáciles de transportar.

4.1.2. Clasificación calderas mixtas murales

Dentro de las calderas mixtas murales se encuentran los siguientes dos subgrupos (Alegre. C, Gutierrez. C, Blanco. E, Fidalgo. E, Perera. G, 2015):

Calderas murales mixtas instantánea

En este tipo de caldera se empieza a calentar el agua en el mismo momento de la demanda, sin consumir combustible cuando no es necesario.

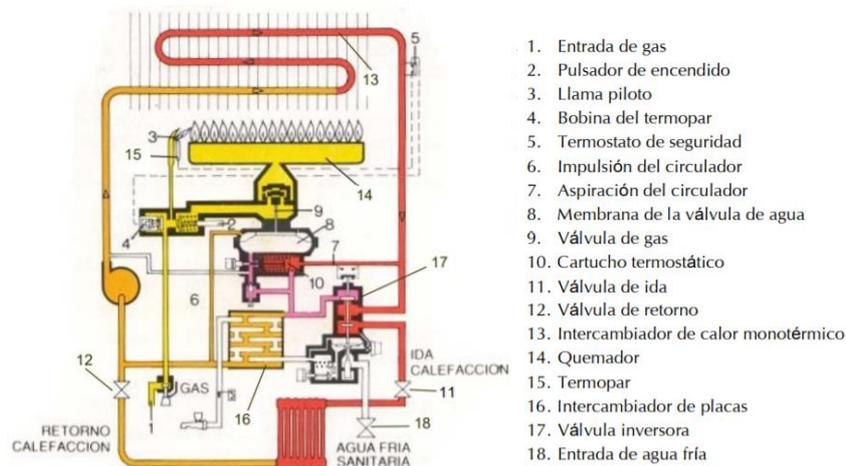


Figura 13: Esquema caldera mural mixta instantánea

Este tipo de calderas basan su funcionamiento en la válvula inversora (17) que es la encargada de distribuir el agua calentada hacia los radiadores o hacia el intercambiador de placas (ACS), por lo tanto, tienen dos esquemas de funcionamiento.

Siguiendo el esquema de la *Figura 13*, el agua calentada por la combustión se redirecciona a los radiadores, por lo que es utilizada íntegramente para la calefacción de la vivienda. El agua caliente proveniente de la caldera pasa por los radiadores, donde expulsa el calor al interior de la vivienda y posteriormente se recircula por la válvula de retorno para sufrir un nuevo intercambio de calor con los gases de la combustión.

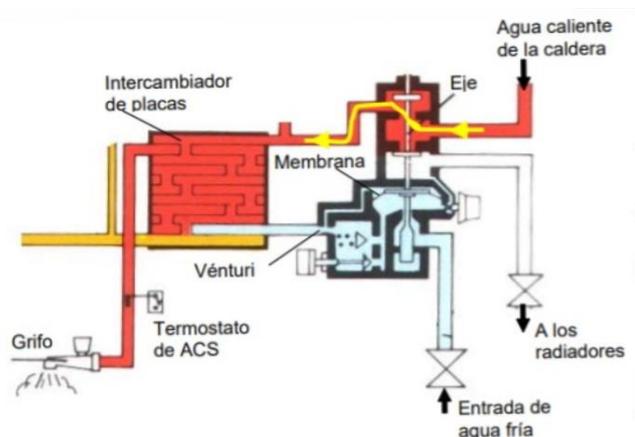


Figura 14: Esquema caldera mural mixta instantánea servicio para ACS.

Según la *Figura 14*, al abrir el grifo y demandar agua caliente, la válvula se eleva por la presión ejercida por el agua de entrada fría, así como por el Venturi. De esta manera, el agua de la caldera se redirecciona al intercambiador de placas donde cede su calor al agua de consumo.

Calderas murales mixtas de acumulación

Este tipo de calderas se suele utilizar cuando la demanda de agua caliente es mayor y se debe disponer de un espacio extra para el acumulador. En este caso no existe intercambiador de placas, ya que se sustituye por el acumulador de agua. Ahora será la válvula motorizada la que se encargue de distribuir el agua caliente. Su funcionamiento se basa en un motor que, girando una excéntrica que sube y baja un eje, arrastra una soleta que redirecciona el agua caliente hacia el circuito de ACS o de calefacción. Al motor se le envía una señal proveniente de los termostatos (en el acumulador y en el interior de la vivienda) que hacen que gire hacia una posición u otra.

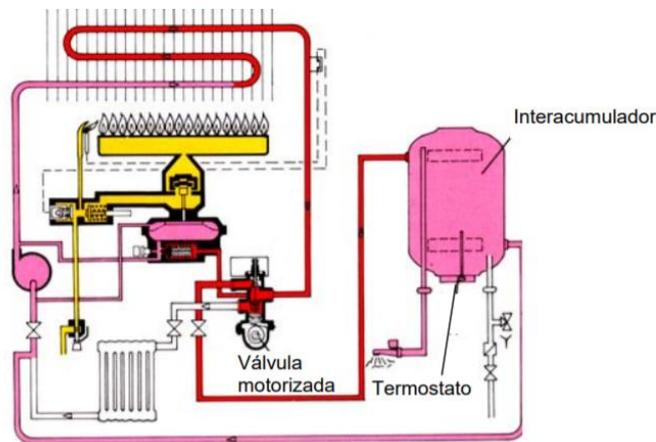


Figura 15: Caldera mural mixta con acumulación servicio para ACS

En la figura anterior se aprecia el funcionamiento cuando la demanda es de ACS, mientras que la siguiente muestra el esquema cuando se requiere servicio de calefacción:

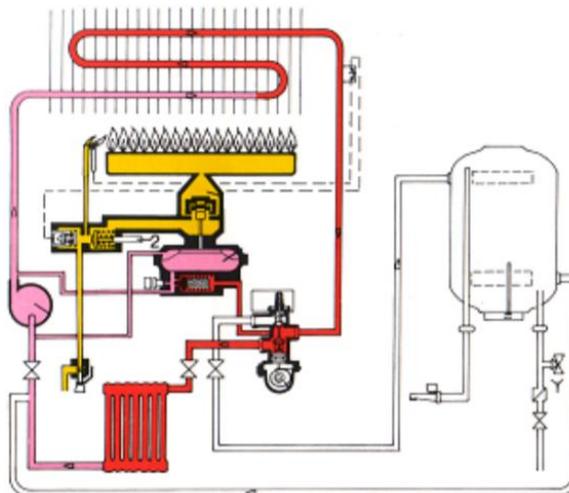


Figura 16: Caldera mural mixta con acumulación servicio para climatización

4.2. Sistema Split aire acondicionado

En los meses más calurosos se utilizará un sistema Split para la refrigeración de la vivienda. Este sistema está formado por dos unidades separadas: la unidad externa y la unidad interna. La unidad interna es la que contiene el evaporador y el ventilador, que distribuye el flujo de aire refrigerado a la estancia. La unidad externa comprende el compresor, el condensador y la válvula de expansión y se encarga de expulsar el aire caliente al exterior.

El funcionamiento del sistema Split se basa en el circuito de una máquina frigorífica: la circulación de un gas refrigerante por los circuitos frigoríficos sufriendo cambios de estado líquido-gas o gas-líquido consigue aclimatar la estancia deseada.

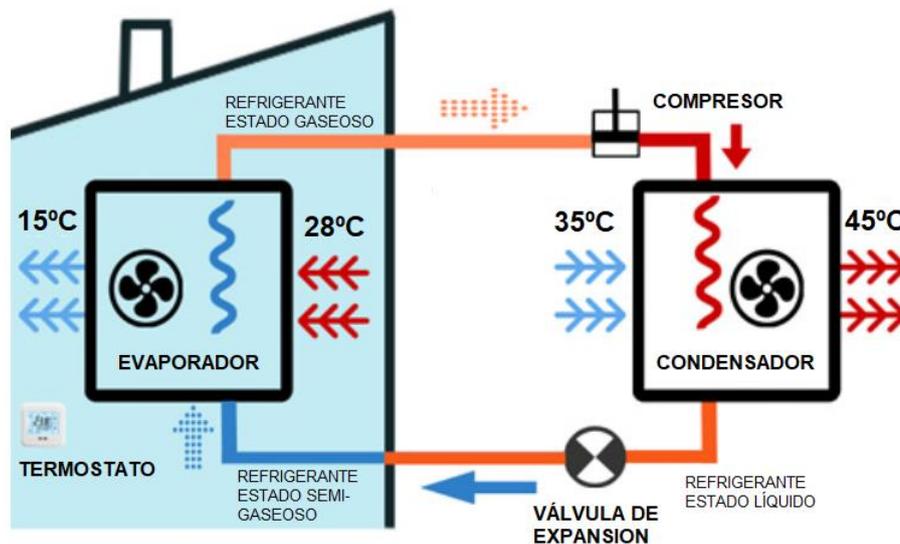


Figura 17: Funcionamiento del aire acondicionado

El objetivo del sistema es mantener la temperatura interior de la vivienda constante, para ello el termostato interior controla el compresor en función de las condiciones interiores de la vivienda. Cuando el termostato detecta que la temperatura interior es superior a la consigna, activa el compresor, aumentando la temperatura y la presión del gas refrigerante. Al pasar por el condensador se extrae el calor del refrigerante mediante un circuito de ventilación, de esta manera el gas se condensa bajando su temperatura. En la válvula de expansión el líquido sufre una expansión abrupta y pasa a estado bifásico. Por último, dentro de la vivienda un ventilador hace pasar el aire caliente de la estancia por una cámara donde está el evaporador haciendo que el aire que se reinyecta en la casa este a menor temperatura y de esta manera bajar la temperatura general de la estancia. Este proceso se repite hasta que el termostato detecta que la temperatura interior es la deseada y apaga el compresor, deteniendo el ciclo de refrigeración (Arnabat, 2016).

4.3. Sistemas en la vivienda

La vivienda se trata de una vivienda antigua y cuenta con una caldera antigua de gas natural mixta según la Web de TABULA con un rendimiento del 86,95%

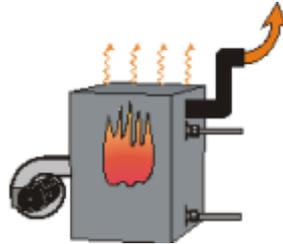


Figura 18: Caldera antigua de gas natural

En cuanto al aire acondicionado, se elige un sistema clásico de sistema aire-aire que únicamente se utilizará para refrigeración y sus especificaciones son las siguientes:

Tabla 14: Especificaciones aire acondicionado Split

Potencia frigorífica nominal	2	kW
EER	2.8	-
Caudal de aire unidad interior	468	m ³ /h
Caudal de aire unidad exterior	1770	m ³ /h
Refrigerante	R-410A	-

Estos dos sistemas son los que se supone que tendrá la vivienda, por lo que las alternativas propuestas a lo largo del TFG se compararán con ellos. Ambos sistemas se han definido teniendo en cuenta que son aparatos clásicos que se instalaron en el momento de la construcción de la vivienda.

4.2. Consumo y coste del sistema base

A continuación, se presenta el consumo energético del sistema base teniendo en cuenta las demandas energéticas calculadas en el apartado 3 y los rendimientos de la caldera y del aire acondicionado, así como el coste anual del sistema.

Tabla 15: Estudio económico caso base

	Demanda térmica (kWh)	Consumo energía (kWh)	Coste anual (€)
Calefacción	1268,6	1475,12	78,55 €
ACS	2628	3055,81	162,72 €
Refrigeración	3644,43	1301,58	182,22 €
		5.832,51 kWh/año	423,49 €/año

Para el cálculo de la energía consumida se ha tomado un rendimiento de la caldera del 86,95% y un EER del aire acondicionado de 2,8. La calefacción y el ACS consumen gas natural y la refrigeración electricidad, por lo que se tiene en cuenta para sacar el coste anual.

El precio del gas natural y de la electricidad que se toma a lo largo de todo el TFG es:

Tabla 16: Precios del GN y la electricidad

Gas natural	0,05325	€/kWh
Electricidad	0,1400	€/kWh

Para el precio del gas natural se ha tomado una media orientativa de los precios de las principales compañías como Endesa, Iberdrola o Repsol para el primer trimestre del 2019 (Profiectra S.L, 2020a). Para evaluar el precio de la Electricidad se ha seguido el mismo procedimiento, efectuando la media en este caso de las diferentes tarifas de Iberdrola para Hogares. (Profiectra S.L, 2020b)

5. SISTEMA 1: BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA

El primer sistema planteado para sustituir la caldera es una bomba de calor geotérmica. Anteriormente este tipo de energía únicamente podía ser utilizada en zonas donde las condiciones geológicas fueran favorables, pero gracias a los avances tecnológicos, así como en perforación y prospección, han permitido que este tipo de energía pueda ser aprovechado en una gran variedad de emplazamientos.

5.1. Qué es la energía geotérmica

La energía geotérmica se puede definir como la energía almacenada en forma de calor bajo la superficie terrestre y puede ser utilizada tanto para calefacción, refrigeración como para obtención de agua caliente sanitaria. Este calor proviene del calor latente del núcleo terrestre, así como del movimiento de las distintas capas terrestres y de la desintegración de isótopos radiactivos. (José Sanchez Guzmán & Robles, 2007)

5.1.1. Gradiente geotérmico

La energía geotérmica se basa en el aprovechamiento del contenido calorífico del fluido geotermal, que se manifiesta en forma de incremento de temperatura en función de la profundidad terrestre. Este incremento en la temperatura terrestre se denomina *gradiente geotérmico*.

La temperatura del interior del terreno es independiente a las condiciones climáticas exteriores. En la mayor parte del globo terráqueo la temperatura a partir de los 5 metros de profundidad es de unos 15°C, alcanzando los 17°C a partir de los 15–20 metros bajo tierra. El gradiente geotérmico es pues de unos 2,5–3°C por cada 100 metros, fenómeno que se puede visualizar en la siguiente imagen:

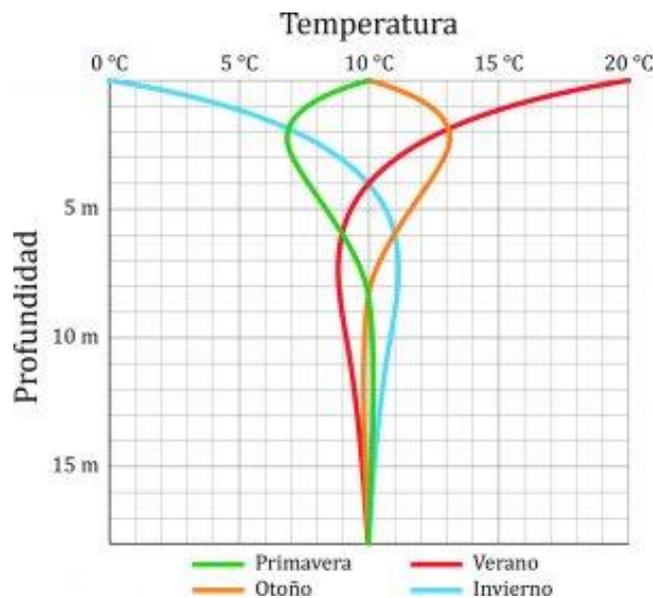


Figura 19: Gradiente geotérmico

Este gradiente geotérmico varía en función de las condiciones del terreno tales como pueden ser:

- La conductividad del terreno: tierra, sedimentos, rocas.
- El tipo de reacciones químicas que se dan en el terreno, siendo el gradiente térmico mayor cuando los procesos son exotérmicos.
- La presencia de rocas volcánicas.
- La existencia de aguas termales.

5.1.2. Recurso geotérmico

Considerando toda la superficie terrestre, se estima que la potencia geotérmica terrestre total es de $4,2 \times 10^{12}$ J. A pesar de que es una cantidad ingente de energía únicamente una parte de ésta puede llegar a ser utilizada por la humanidad. La fracción de esta energía que puede ser aprovechada de forma viable técnica y económicamente se define como *recurso geotérmico*.

Al tener la Tierra distintos niveles térmicos -o entálpicos- los recursos geotérmicos se clasifican de la siguiente manera:

- **Geotermia de alta temperatura:** Se localizan principalmente en zonas donde el gradiente geotérmico es muy elevado y las masas de agua subterráneas están a muy alta temperatura, se obtienen temperaturas a más de 150°C y permite transformar directamente en energía el vapor de agua.
- **Geotermia de media temperatura:** El rango de temperaturas oscila entre 90 y 150°C y puede producir energía eléctrica mediante un fluido de intercambio. Su uso puede ser directo para usos industriales o para calefacción urbana.
- **Geotermia de baja temperatura:** Aprovecha el calor solar acumulado en la superficie terrestre a más de 150 metros bajo tierra y se obtienen temperaturas en torno a $30 - 90^{\circ}\text{C}$. Suele localizarse en zonas donde las condiciones geológicas son favorables y su uso se centra en procesos industriales y sistemas de calefacción urbanos, así como en balnearios.
- **Geotermia de muy baja temperatura:** Corresponde a una temperatura menos de 30°C . Se suelen utilizar como intercambiador térmico en sistemas para climatización y producción de ACS con bombas de calor. El rendimiento con bombas de calor geotérmica es notablemente mayor que con intercambios con el exterior.

Esta clasificación limita a su vez los diferentes usos de cada nivel geotérmico. En la siguiente imagen se indican los principales usos para cada tipo de tecnología:

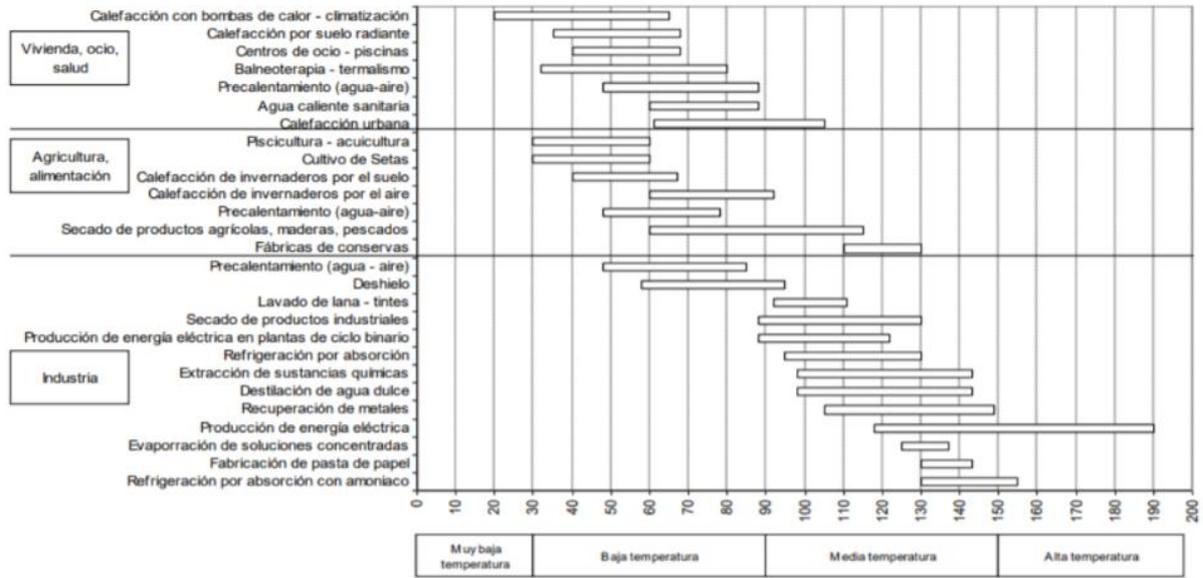


Figura 20: clasificación en función del tipo de geotermia

5.2. Instalación geotérmica de muy baja temperatura

Como se ha expuesto en el apartado anterior existen diferentes usos de la energía geotérmica en función de la temperatura del terreno. En el presente estudio se planteará la utilización de una instalación geotérmica de muy baja temperatura -geotermia somera- para el suministro de agua caliente sanitaria y para satisfacer las demandas de climatización. El sistema constará de las siguientes partes:

- Intercambiador de calor subterráneo
- Bomba de calor
- Intercambiador de calor en la vivienda

Estos sistemas se basan en la extracción del calor del subsuelo a una temperatura entre 15 y 30°C para luego, mediante un aporte energético, aumentar esta temperatura y poder ser utilizada en sistemas de climatización. Mediante un sistema de bomba de calor convencional se transporta el fluido caloportador a los intercambiadores en la vivienda (suelos radiantes, fan-coils) para así climatizar la estancia deseada. En el caso contrario de querer utilizar el sistema para refrigeración en verano se invierte el proceso y se inyecta el calor en la tierra. (Trillo & Angulo, 2008)

5.2.1. Intercambiador de calor subterráneo

El intercambiador de calor subterráneo es el encargado de tomar el calor del terreno cuando se utiliza la bomba de calor para calefacción y de inyectarlo cuando se precisa para refrigeración. Se tienen los siguientes sistemas:

Sistemas abiertos

Estos sistemas se basan en dos pozos para extraer e inyectar agua en el terreno. Éste agua se caracteriza porque fluye libremente por el terreno y actúa tanto como fuente de calor como fluido caloportador. En estos casos el terreno ha de tener una permeabilidad elevada para poder obtener el agua a una profundidad no muy elevada, así como un bajo contenido en hierro para evitar la corrosión.

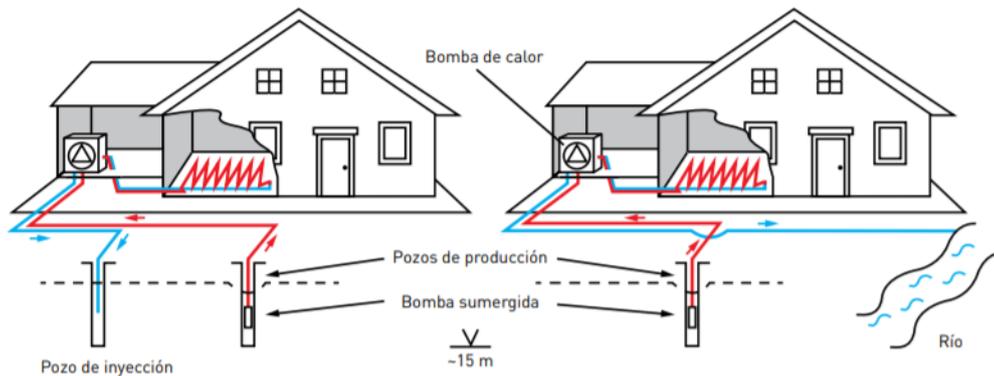


Figura 21: Sistema geotérmico abierto

Sistemas cerrados

Los sistemas cerrados se basan en la utilización de intercambiadores enterrados donde mediante un fluido caloportador se efectúa el intercambio térmico con el terreno. En contraposición a los sistemas abiertos donde era el agua la que iba hasta la bomba de calor, en este caso es el fluido caloportador en sistema cerrado el que llega hasta la misma. Dentro de los sistemas cerrados, éstos pueden colocarse de dos maneras:

- **Colectores horizontales:** Son los más sencillos de instalar, pero requieren una gran superficie para su instalación. Requieren una superficie de instalación de aproximadamente el triple que la superficie a calentar y suelen ser excavaciones de aproximadamente 1,5 m. Pueden colocarse en serie o en paralelo.

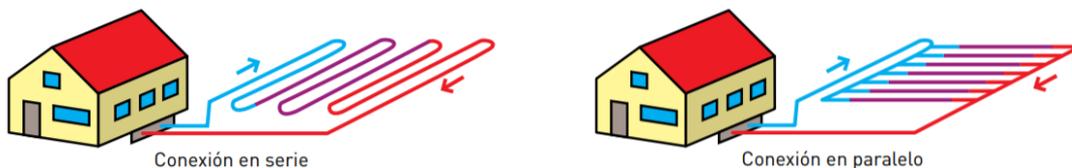


Figura 22: Colectores cerrados horizontales

- **Colectores verticales:** Precisan de menos espacio, pero el coste de la instalación es mayor ya que se necesita perforar sondeos de pequeño diámetro por los que se introducen los tubos encargados de portar el fluido caloportador. La profundidad de la perforación oscila entre los 60 y 200 metros con un diámetro de 10 a 15 cm.

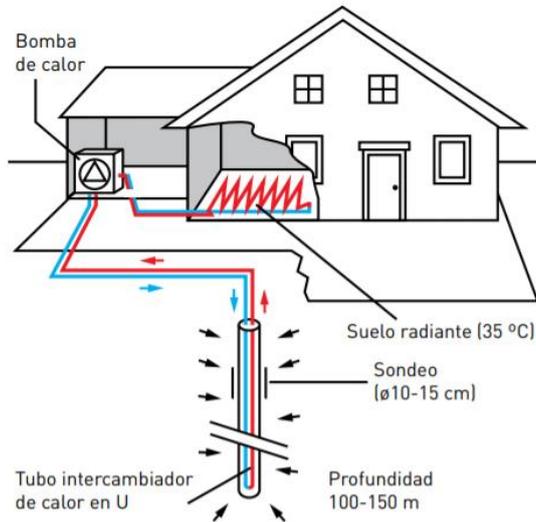


Figura 23: Colector cerrado verticales

5.2.2. Bomba de calor

La bomba de calor es una máquina térmica que tiene como objetivo extraer calor de un foco frío para transmitirlo a un foco más caliente gracias a un aporte exterior de trabajo. Este proceso se lleva a cabo gracias a un fluido caloportador que al pasar por todos los elementos del sistema cumple con el objetivo dado. El funcionamiento para calefacción es el siguiente:

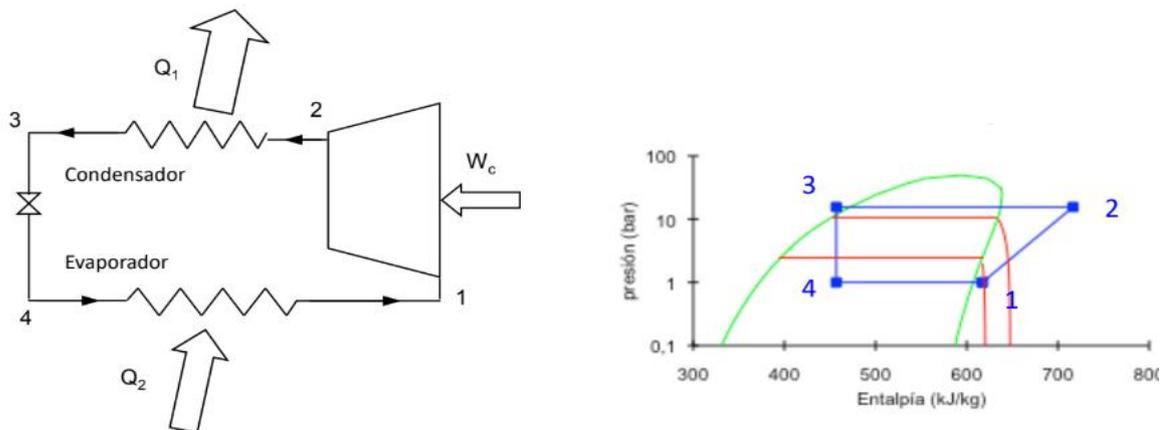


Figura 24: Funcionamiento de la bomba de calor

En el evaporador el calor del terreno se transfiere al fluido caloportador haciendo que éste pase de estado líquido a vapor, aumentando así su temperatura. Mediante un aporte de trabajo externo, el compresor comprime el fluido aumentando más su temperatura y presión para luego ser recirculado al condensador, donde cede el calor al circuito de climatización de la vivienda volviendo así al estado líquido. Por último, actúa la válvula expandiendo el fluido hasta la presión del evaporador para poder continuar con el circuito.

En caso de querer utilizar este sistema para refrigeración en invierno se dispone de una válvula de expansión de doble sentido y una válvula de cuatro vías a la salida del compresor:

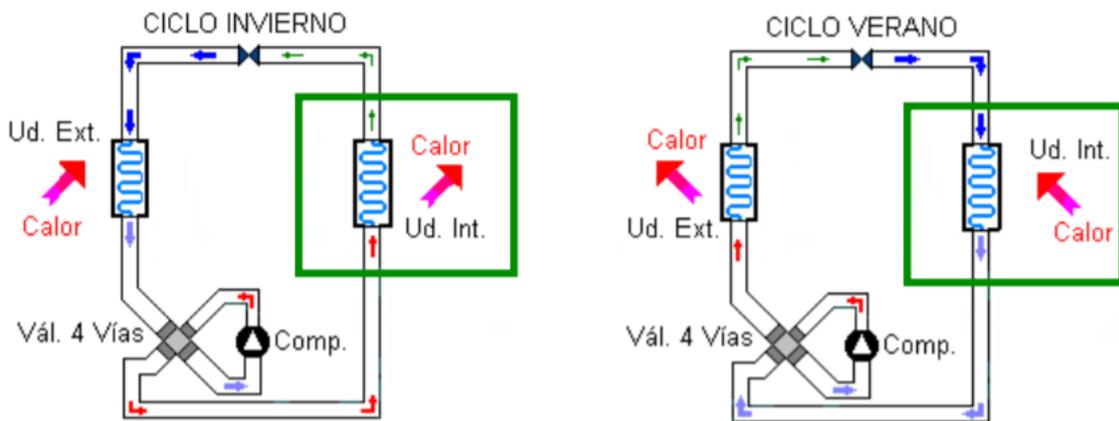


Figura 25: Funcionamiento de la bomba de calor reversible(Carlos J Renedo, 2017)

Al funcionar para refrigeración el sentido de circulación del fluido cambia y el calor proveniente de la vivienda se expulsa al terreno.

El rendimiento cuando el sistema funciona en régimen de calefacción suele ser bastante elevado y está comprendido entre 3 y 4, llegando en ocasiones hasta 5. Este rendimiento se denomina COP (Coeficiente Of Performance) y mide la relación entre la energía producida y la consumida y se expresa de la siguiente manera:

$$COP = \frac{\text{Potencia calorífica aportada (W)}}{\text{Potencia calorífica consumida (W)}} = \frac{|Q1|}{|Wc|}$$

Cuando el sistema funciona en régimen de refrigeración el rendimiento se mide con el valor EER (Efficiency Energy Ratio), y mide la relación entre la potencia frigorífica total y la potencia consumida por la bomba de calor, éste suele situarse entre 2,5 y 3,5:

$$EER = \frac{\text{Potencia frigorífica aportada (W)}}{\text{Potencia frigorífica consumida (W)}} = \frac{|Q2|}{|Wc|}$$

Que una bomba de calor tenga un COP de 3 significa que por cada kW consumido de energía eléctrica proporciona 3 kW de energía térmica.

5.2.3. Intercambiador de calor en la vivienda

Para climatizar la vivienda se utiliza un sistema centralizado de conductos con una unidad interior oculta en un falso techo instalado en la vivienda. Esta unidad interior permanece oculta y está conectada a una red de conductos que distribuirán el aire climatizado a las diferentes zonas de la vivienda.

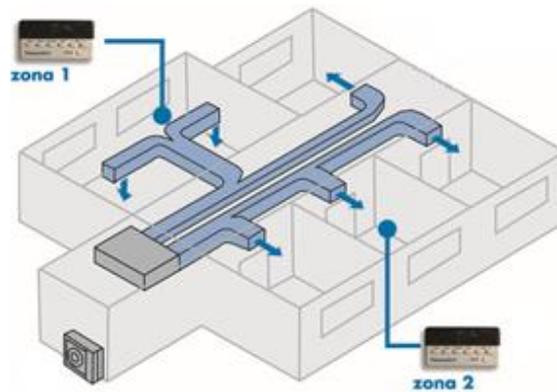


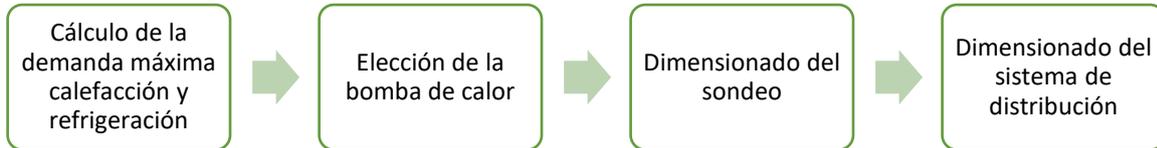
Figura 26: Sistema centralizado de climatización

Una de las principales ventajas de este sistema de climatización es la zonificación, ya que instalando una salida del conducto en cada habitación deseada se puede climatizar cada una por separado y así evitar el uso en zonas donde no se requiera climatización. En una instalación zonificada cada habitación tiene su propia rejilla motorizada y un termostato, y en función de si se mantiene o no la temperatura deseada la rejilla cerrará el paso de aire.

Este tipo de sistema, cuyas unidades son denominadas unidades fan-coil funcionan recibiendo el agua procedente del intercambiador y haciendo que el agua circule por otro intercambiador que en combinación con un ventilador fuerza a circular el aire al interior de la vivienda climatizándolo.

5.3. Proyecto de instalación geotérmica

Para realizar los cálculos para el proyecto de la instalación geotérmica se sigue el siguiente procedimiento:



La fichas técnicas y datos más relevantes de los sistemas seleccionados se encuentran en el Anexo 3.

Cálculo de la demanda máxima calefacción y refrigeración

En cuanto a la demanda máxima de calefacción y refrigeración este se ha calculado en el apartado 3.2. *Cálculo de la demanda energética pico:*

Tabla 17: Carga máxima

Q Calefacción	Q Refrigeración	Unidades
8,95	10,334	kW

Esta potencia es la máxima en las condiciones más desfavorables en invierno y en verano, por lo que cualquier instalación debe ser dimensionada para poder cubrir la demanda en esos momentos.

Elección de la bomba de calor

Tal y como se acaba de explicar, la bomba de calor geotérmica (BCG) debe ser capaz de cubrir los picos de demanda de potencia, por lo que se elige la bomba de calor ecoGEO COMPACT C3 3-12 kW, ya que es una bomba de calor que suministra frío, calor y tiene un depósito de ACS de 165 litros con capacidad de producción rápida. Se ha calculado en el apartado 3.4. *Demanda de agua caliente sanitaria (ACS)* que la demanda diaria es de 140 litros, por lo que la bomba de calor elegida cubre la demanda.

En cuanto al refrigerante se utiliza el R-410A, es un producto químicamente estable con baja toxicidad incluso después de varias exposiciones a él, su composición y propiedades físicas son las siguientes (Gas Servei, 2019):

Nombre químico	% en peso	Nº CAS	Nº . CE
Pentafluoroetano (R-125)	50	354-33-6	206-557-8
Difluorometano (R-32)	50	75-10-5	200-839-4

Figura 27: Composición del R-410A

PROPIEDADES FISICAS	UNIDADES	R-410A
Peso molecular	(g/mol)	72.6
Temperatura ebullición (a 1,013 bar)	(°C)	-51.58
Deslizamiento temperatura de ebullición (a 1,013 bar)	(K)	0.1
Temperatura crítica	(°C)	72.13
Presión crítica	(bar abs)	49.26
Densidad crítica	(Kg/m³)	488,90
Densidad del líquido (25°C)	(Kg/m³)	1062
Densidad del líquido (-25°C)	(Kg/m³)	1273
Densidad del vapor saturado (25°C)	(Kg/m³)	4,12
Presión del vapor (25°C)	(bar abs)	16,5
Presión del vapor (-25°C)	(bar abs)	3,30
Calor de vaporización a punto de ebullición	(KJ/Kg)	276
Calor específico del líquido (25°C)	(KJ/Kg K)	1,84
Calor específico del vapor (25°C) (1 atm)	KJ/Kg K)	0,83
Conductibilidad térmica del líquido (25°C)	(W/mK)	0,088
Conductibilidad térmica del vapor (25°C) (1 atm)	(W/mk)	0,013
Solubilidad con el agua (25°C)	ppm	despreciable
Límite de inflamabilidad	(% vol.)	Ninguno
Toxicidad (AEL)	ppm	1000
ODP	-	0
PCA (GWP)	-	2088*

Figura 28: Propiedades del R-410A

Como se ha mencionado, la ficha técnica de la bomba de calor se recoge en el Anexo 3, en la siguiente tabla se recogen los datos del COP y EER:

Tabla 18: COP y EER de la BDC geotérmica

COP	4,6
EER	6,1

Dimensionado del sondeo

Para el sistema de captación se elige un sistema vertical, ya que para realizar una instalación en horizontal el terreno requerido es muy elevado y al estar haciendo un estudio de una vivienda representativa se pretende que el estudio se pueda extrapolar a otras viviendas ya que el terreno destinado a la instalación geotérmica es menor.

El cálculo de la longitud de las sondas verticales se efectúa siguiendo la *Guía Técnica de Diseño de sistemas de bomba de calor geotérmica* (RITE, 2013):

$$L_{\text{calefacción}} = \frac{Q_{\text{calefacción}} \cdot \frac{COP_{\text{calefacción}} - 1}{COP_{\text{calefacción}}} \cdot (R_p + R_s \cdot F_{\text{calefacción}})}{T_l - T_{\text{min}}}$$

$$L_{\text{refrigeración}} = \frac{Q_{\text{refrigeración}} \cdot \frac{EER - 1}{EER} \cdot (R_p + R_s \cdot F_{\text{refrigeración}})}{T_{\text{máx}} - T_h}$$

Donde,

Qcalefacción = 8,95 kW

Qrefrigeración = 10,334 kW

Estos dos valores son los calculados para las cargas máximas y están recogidos en la tabla 13.

COPcalefacción = 4,6

EER = 6,1

El COP y el EER se encuentran en la ficha técnica de la BCG (Figura 33)

Rp es la resistencia térmica de la tubería y se calcula siguiendo la siguiente expresión:

$$R_p = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot k_p} \cdot \ln \frac{D_{\text{exterior}}}{D_{\text{interior}}}$$

Los tubos elegidos son tubos de polietileno PE100 y sus características son las siguientes:

POLIETILENO					
Tipo	Presión (Bar)	Diam Nominal (Pul)	DN=Do Exterior (mm)	Di Interior (mm)	Kp (W/m K)
PE100	6	3/4"	20	16,0	0,43
		1"	25	21,0	0,43
		1 1/4"	32	28,0	0,43
		1 1/2"	40	35,4	0,43
		2"	50	45,4	0,43
		2 1/2"	63	58,2	0,43
	10	3/4"	20	16,0	0,43
		1"	25	21,0	0,43
		1 1/4"	32	27,2	0,43
		1 1/2"	40	35,2	0,43
		2"	50	44,0	0,43
		2 1/2"	63	55,4	0,43
	16	3/4"	20	16,0	0,43
		1"	25	20,4	0,43
		1 1/4"	32	26,2	0,43
		1 1/2"	40	32,6	0,43
		2"	50	40,8	0,43
		2 1/2"	63	51,4	0,43
	25	3/4"	-	-	0,43
		1"	25	18,0	0,43
1 1/4"		32	23,2	0,43	
1 1/2"		40	29,0	0,43	
2"		50	36,2	0,43	
2 1/2"		63	45,8	0,43	

Figura 29: Propiedades de los tubos elegidos para la instalación

Sustituyendo valores en la ecuación anterior

$$R_p = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 0,43} \cdot \ln \frac{32}{27,2} = 0,06 \frac{m \cdot K}{W}$$

R_s es la resistencia de la tierra y es la inversa de la conductividad térmica del terreno, depende de tipo de roca y para su correcta evaluación debe conocerse el emplazamiento exacto de la instalación. Como el proyecto se basa en un modelo representativo se toma de la *Guía Técnica de Diseño de sistemas de bomba de calor geotérmica (IDAE)* un valor $R_s = 1,6 \text{ (K}\cdot\text{m)/W}$

Refrigeración y Fcalefacción son los factores de utilización de la bomba de calor modo refrigeración o calefacción, es el cociente entre la demanda térmica del edificio entre la potencia de la bomba de calor, siguiendo la *Guía Técnica de Diseño de sistemas de bomba de calor geotérmica (IDAE)* se tomará un valor aproximado de 0,15 para ambos modos de funcionamiento.

En cuanto a T_l y T_h estas son la temperatura mínima y máxima respectivamente de la tierra y se calculan mediante las siguientes expresiones:

$$T_l = T_m - A_s \cdot e^{(-X_s \cdot \sqrt{\frac{\pi}{365 \cdot \alpha}})}$$

$$T_h = T_m + A_s \cdot e^{(-X_s \cdot \sqrt{\frac{\pi}{365 \cdot \alpha}})}$$

Siendo,

T_m la temperatura media anual del lugar

A_s la oscilación de la temperatura superficial

X_s la profundidad

Como para sistemas verticales la oscilación de la temperatura superficial se puede considerar nula tanto T_l como T_h tendrán el valor de la temperatura media anual del lugar, que para el caso de Valencia según el *Instituto Nacional de Meteorología de España serie 2000-2002* se establece en 17,8 °C.

Por último, T_{min} y T_{max} se refieren a la temperatura mínima y máxima de entrada del fluido a la bomba de calor. El diseñador las fija manteniendo una solución de compromiso entre las siguientes premisas:

- Cuanto más baja sea la T en invierno mayor la diferencia con la T del suelo por lo tanto menor será el intercambiador enterrado y menores los costes de inversión.
- Cuanto más alta sea la T en invierno mayor será el COP y el ahorro energético será mayor.

Las temperaturas de mínima y máxima son:

$$T_{min} = \frac{1}{2} \cdot (T_{entrada, c} + T_{salida, c})$$

$$T_{máx} = \frac{1}{2} \cdot (T_{entrada, f} + T_{salida, f})$$

Según la ficha de especificaciones se tiene que los rangos de la temperatura de entrada desde el circuito interior del edificio a la bomba en calefacción y refrigeración son:

$$T_{entrada,c} = [7 - 12] \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{entrada,f} = [30 - 35] \text{ } ^\circ\text{C}$$

Las temperaturas de salida en los modos de frío y calor se determinan con las siguientes expresiones:

$$T_{salida,c} = T_{entrada,c} - \frac{1000 \cdot P_c \cdot \frac{COP - 1}{COP}}{C_p \cdot \left(\frac{Q}{3600}\right)}$$

$$T_{salida,f} = T_{entrada,f} + \frac{1000 \cdot P_f \cdot \frac{EER - 1}{EER}}{C_p \cdot \left(\frac{Q}{3600}\right)}$$

Siendo P_c y P_f la potencia de calefacción y refrigeración correspondientemente en kW (*Tabla 17*), Q el caudal en l/h (2500l/h según el fabricante) y C_p el poder calorífico del agua (4185 J/kg $^\circ$ C)

Sustituyendo:

$$T_{salida,c} = 12 - 2,41 = 9,59 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{salida,f} = 30 + 2,68 = 32,68 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Por último:

$$T_{min} = \frac{1}{2} \cdot (12 + 9,59) = 10,795 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{máx} = \frac{1}{2} \cdot (30 + 32,68) = 31,34 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Sustituyendo en las fórmulas de la longitud para calefacción y refrigeración:

$$\begin{aligned} L_{calefacción} &= \frac{Q_{calefacción} \cdot \frac{COP_{calefacción} - 1}{COP_{calefacción}} \cdot (R_p + R_s \cdot F_{calefacción})}{T_l - T_{min}} \\ &= \frac{8,95 \cdot 1000 \cdot \frac{4,6 - 1}{4,6} \cdot (0,06 + 1,6 \cdot 0,15)}{17,8 - 10,705} = 296,16 \text{ m} \end{aligned}$$

$$L_{\text{refrigeración}} = \frac{Q_{\text{refrigeración}} \cdot \frac{EER - 1}{EER} \cdot (R_p + R_s \cdot F_{\text{refrigeración}})}{T_{\text{máx}} - T_h}$$

$$= \frac{10,334 \cdot 1000 \cdot \frac{6,1 - 1}{6,1} \cdot (0,06 + 1,6 \cdot 0,15)}{31,34 - 17,8} = 191,43 \text{ m}$$

Se toma la longitud de calefacción ya que es la más desfavorable de las dos y como se tienen tubos en U, se realizarán 4 perforaciones de 80 metros cada una.

Para las sondas verticales, los tubos de inyección, el peso, el distanciador, la guía de montaje y la unión en Y se acude al catálogo de ALB Instalaciones (ALB, 2008). A continuación, se presenta una tabla con un resumen de los elementos escogidos, pero en el *Anexo 3* se adjuntan las hojas de características.

Tabla 19: Elementos instalación geotérmica

Elemento	Descripción
Sonda vertical	Sonda geotermia vertical ALB 4x32mm HSS 80m
Tubo Inyección	Tubo inyección D25x2,5mm 80m
Peso	Peso sonda geotermia para D80
Guía de montaje	Guía de montaje tubos en U
Distanciador	Distanciador para sonda, cada 10 m.
Unión Y	Unión Y sonda 2x32-40mm

Dimensionado del sistema de distribución

En cuanto al sistema de fan-coils se elige en función de la potencia, y acudiendo al catálogo de fan-coils de Dankin se elige la unidad FWD12TN (Daikin, 2019), al igual que los elementos anteriores, su hoja de características se encuentra en el *Anexo 3*.

5.4. Consumo y costes del sistema de geotermia

Para evaluar el consumo energético del sistema de bomba de calor geotérmica se tiene en cuenta un COP de 4,6 y un EER de 6,1, tal y como indica la hoja de características del fabricante:

Tabla 20: Estudio económico caso 1

	Demanda térmica (kWh)	Consumo energía (kWh)	Coste anual (€)
Calefacción	1268,6	275,78	38,61
ACS	2628	571,30	79,98
Refrigeración	3644,43	597,45	83,64
		1444,53 kWh/año	202,23 €/año

6. SISTEMA 2: AEROTERMIA CON PLACAS FOTOVOLTAICAS

El siguiente sistema planteado se trata de un sistema de bomba de calor impulsada energéticamente por placas fotovoltaicas, de esta manera se utiliza la energía del sol de una manera fiable y sostenible. Estas placas alimentaran a la bomba de calor para suministrar el agua caliente sanitaria y cubrir las demandas de climatización.

6.1. Aerotermia

La aerotermia es la energía térmica almacenada en el ambiente y que puede ser aprovechada para climatización y ACS mediante una bomba de calor. Esta bomba de calor es la encargada de transferir la energía contenida en el ambiente al interior y aclimatar la vivienda, su funcionamiento se basa en la compresión de un gas refrigerante y está explicado en el apartado 5.2.2. *Bomba de calor*.

Normalmente las bombas de calor aerotérmicas son bombas aire-agua. Mientras que las bombas aire-aire transfieren el calor a un circuito con aire, las bombas aire-agua transfieren el calor a un circuito de agua que puede proporcionar tanto servicios de climatización como ACS.



Figura 30: Sistema de aerotermia

Fuente: www.renovablesdelatlantico.com

Para que un sistema de bomba de calor funcione debe haber un aporte externo de energía que accione el compresor. Este aporte de energía será dado por un sistema de placas fotovoltaicas cuyo funcionamiento se explica detalladamente en el apartado siguiente.

6.2. Energía fotovoltaica

La energía fotovoltaica es una de las energías renovables líderes en España según el *Avance del Informe del Sistema Eléctrico Español 2019* de Red Eléctrica de España. El pasado año la potencia instalada en la península ascendía a 54.457 MW, de los cuales el 16% pertenecía a la energía fotovoltaica. Añadiendo a esto el hecho de que cada vez son más las ayudas y las facilidades para instalar placas solares en viviendas, la energía fotovoltaica es una alternativa para producción de energía que hay que tener muy en cuenta a la hora de evaluar las distintas opciones de instalaciones de climatización en el presente proyecto.

Esta energía es la energía obtenida a partir de la radiación solar a través de las células fotovoltaicas. Estas células están formadas de materiales semiconductores (normalmente silicio) recubiertas por un vidrio transparente que deja pasar la radiación solar, son las encargadas de transformar la energía lumínica en un flujo de energía eléctrica mediante el efecto fotoeléctrico.

6.2.1. El efecto fotoeléctrico

Tal y como se ha dicho en el párrafo anterior la energía fotovoltaica se obtiene mediante el efecto fotoeléctrico, que consiste en “arrancar” un electrón del elemento semiconductor por la incidencia de un fotón dejando un hueco que rápidamente otro electrón llenará.

Este efecto se da en la célula fotovoltaica, que para que el intercambio fotón-electrón se pueda producir se fabrican de manera que se tengan dos zonas, por un lado, una capa dopada *n* con exceso de electrones y una capa dopada *p* con exceso de huecos. La combinación de dos capas dopadas hace que la placa tenga una zona positiva con exceso de huecos y una negativa con exceso de electrones, de manera que cuando la luz incide sobre la placa los fotones choca sobre los átomos aportándoles energía y haciendo que se liberan los electrones, generando así una corriente eléctrica.

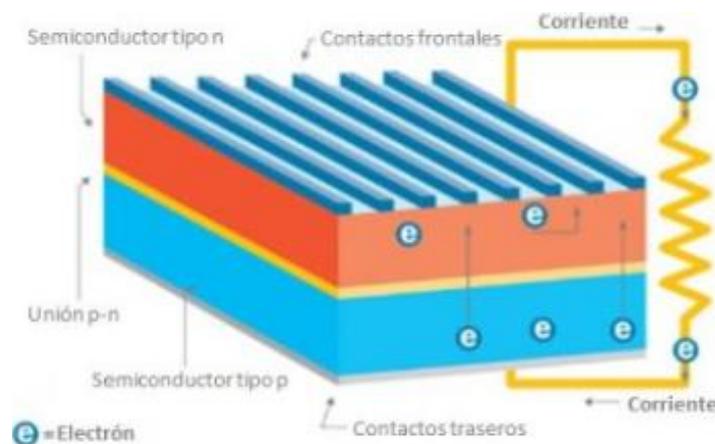


Figura 31: Esquema unión p-n en una placa fotovoltaica

Las células fotovoltaicas están fabricadas de elementos semiconductores como el Silicio cristalino y dependiendo de la pureza de los cristales pueden ser monocristalinas o policristalinas

6.2.2. Partes del sistema fotovoltaico

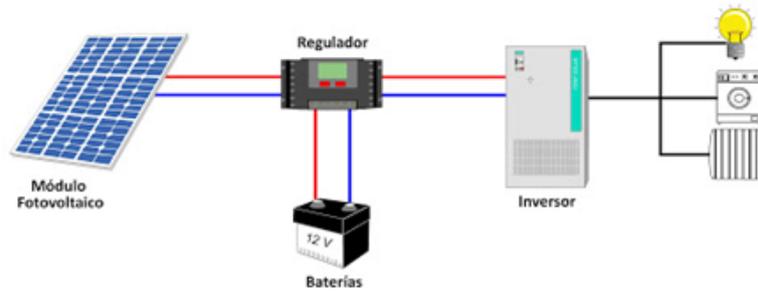


Figura 32: Elementos de un sistema fotovoltaico aislado de red

Paneles solares

Tal y como se ha explicado en el apartado exterior, los paneles solares son los encargados de generar la energía. Cada placa solar está creada a partir de células solares más pequeñas unidas entre sí y estas células están formadas por capas con uniones de silicio $p-n$. Están cubiertas de una cubierta de vidrio para protegerlas y minimizar las pérdidas.

La conexión entre módulos se puede dar en serie o en paralelo:

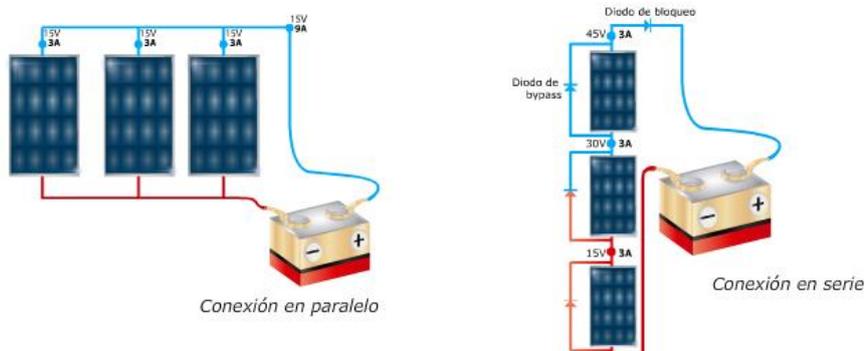


Figura 33: Tipos de conexión de las placas fotovoltaicas

Cuando la conexión de las placas es en paralelo se conectan entre ellos los polos del mismo signo, por lo que se mantiene la tensión de los terminales de cada placa y la intensidad total es la suma de la de todas ellas. Si la conexión se hace en serie se conecta el polo positivo de un panel con el polo negativo del siguiente, de esta manera la corriente que pasa por los paneles es la misma mientras que la tensión es la suma.

Los tipos de paneles dependen de la tecnología de fabricación de estos y principalmente pueden diferenciarse dos tipos: placas de silicio monocristalino o placas de silicio policristalino.

- Las placas de silicio monocristalino se fabrican a partir de silicio puro fundido y dopado con boro, se fabrican grandes cilindros y después se cortan en láminas delgadas. Son las más

comercializadas en el mercado y las más eficientes, con un rendimiento de entre el 15 y 18 % Su alto coste de producción está dando cada vez más paso a las placas de silicio policristalino.

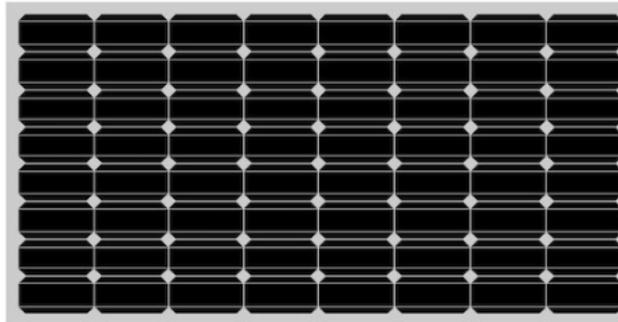


Figura 34: Panel de silicio monocristalino

- Las placas de silicio policristalino se obtienen igual que las de silicio monocristalino, pero con menos número de fases de cristalización, se funde en lingotes y luego se corta en cuadrados. Su rendimiento está entre el 12 – 14 % y su coste de producción es menor.

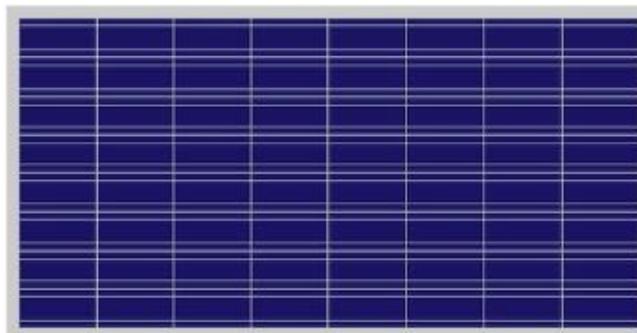


Figura 35: Panel de silicio policristalino

Uno de los aspectos que hay que tener en cuenta a la hora de dimensionar una instalación fotovoltaica son las características eléctricas de la placa:

P_{mpp}: Potencia máxima, máxima potencia que puede entregar el panel en un determinado momento. El panel funciona de manera correcta si P_{mpp} del campo solar es mayor a la potencia máxima de consumo para la que se ha diseñado la instalación.

V_{mpp}: Tensión en el punto de máxima potencia, valor de la tensión cuando se trabaje en el punto de máxima potencia P_{mpp}.

I_{mpp}: Corriente en el punto de máxima potencia, es la corriente que proporciona el panel cuando se encuentra en el punto de P_{mpp}.

I_{sc}: Intensidad de cortocircuito, intensidad que circula cuando la salida está cortocircuitada.

V_{oc}: Tensión en circuito abierto, tensión en los terminales cuando no hay ninguna carga conectada al panel.

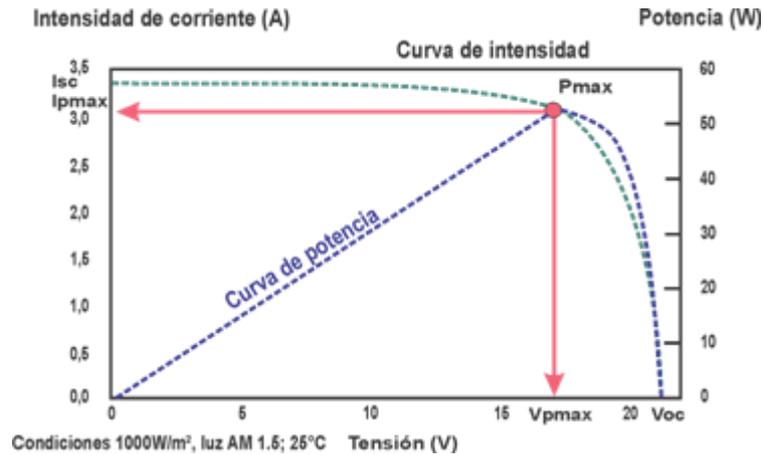


Figura 36: Curva característica punto de potencia máxima

Regulador de carga

Es el encargado de gestionar la carga de las baterías desde los paneles fotovoltaicos generadores y de su descarga hacia la instalación. Evitan que se produzcan sobrecargas y limitan la tensión de las baterías para su correcto funcionamiento.

Por una parte, existen los reguladores PWM, son reguladores que actúan como un interruptor entre la placa y la batería, forzando a los módulos a trabajar a la tensión de la batería. De esta manera los módulos fotovoltaicos no funcionan en su punto de máxima potencia, llegando a tener unas pérdidas de hasta el 30%.

Por otra parte, están los reguladores MPPT que disponen de un convertidor de tensión CC-CC y de un seguidor del punto de máxima potencia, por lo que permite trabajar a tensiones diferentes entre las baterías y las placas mientras que el seguidor del punto de máxima potencia adapta la tensión de funcionamiento de las placas a la tensión que produce la máxima potencia en función de la irradiación en cada momento.

Sistema de acumulación

Los sistemas de acumulación de las instalaciones fotovoltaicas aisladas son las baterías, cuya función es almacenar la energía eléctrica generada por las placas fotovoltaicas para poder utilizarla en picos de demanda, periodos nocturnos o en situaciones en las que no haya sol.

Las características fundamentales que definen una batería de acumulación son las siguientes:

- La capacidad de una batería (C_N) determina la cantidad de energía que se puede extraer de la batería en N horas. Tener una batería con capacidad $C_{20} = 200$ Ah significa que la batería puede suministrar 20 A durante 10 horas.
- El estado de carga (SOC – State of Charge) mide en porcentaje la cantidad residual de energía disponible en la batería en función a la cantidad nominal que puede almacenar, que el SOC sea del 100% significa que la batería está totalmente cargada.

- La profundidad de descarga (P_D) también se da en forma porcentual y representa la cantidad de energía extraída en función a su valor inicial cuando está completamente cargada durante un ciclo de uso de la batería. Por ejemplo, si se tiene una batería de 100Ah y se somete a una descarga de 20 Ah representa una profundidad de descarga del 20%.

Inversor

Al inversor le llega la corriente, por lo que su misión es tratar la energía eléctrica para que sea de las mismas condiciones que la carga a la que está conectado, es decir, convertir la corriente en alterna de la misma frecuencia y tensión, y en fase con la red.

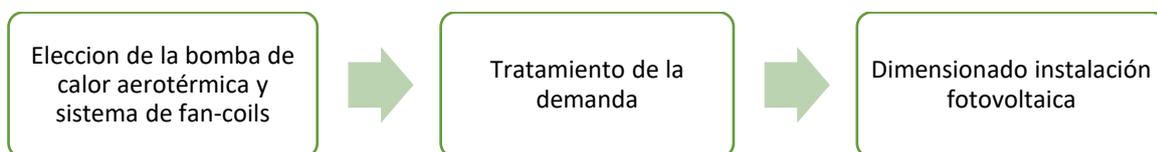
En cuanto a las características principales que debe seguir un inversor destacan la protección contra cortocircuitos y sobrecargas, bajo consumo en vacío cuando no haya cargas conectadas, alta resistencia a los picos de arranque y buena regulación de la tensión y frecuencia de la salida para que sea exactamente igual que la de la red.



Figura 37: Inversor Kostal Plenticore Plus 5.5kW

6.3. Proyecto de instalación fotovoltaica para aerotermia

A la hora de realizar el dimensionado de la instalación se sigue el siguiente esquema:



Todos los datos térmicos y características de los diferentes elementos elegidos para la instalación están en el *Anexo 4*.

Elección de la bomba de calor y del sistema de fan-coils

Para el correcto dimensionado de la instalación fotovoltaica se deben obtener los kWh eléctricos que debe cubrir el sistema. Para ello, a partir del COP y el EER de la bomba de calor aerotérmica elegida y de la demanda energética térmica se obtendrá la demanda energética a cubrir. Es por esto por lo que la elección del sistema de aerotermia es muy importante, ya que cuanto mayor sea su eficiencia menor energía habrá que aportar al sistema.

Para su elección se acude al fabricante Thermia (Thermia, 2019), ya que en su catálogo de productos del año 2019 cuentan con una gran variedad de productos y especifica que sus bombas de calor aerotérmicas son compatibles con energías procedentes de otras fuentes de energías renovables como puede ser la energía fotovoltaica. Para climatizar la vivienda se usarán fan-coils. Estos sistemas también se encuentran en el mismo catálogo, por lo que su integración con el sistema de aerotermia es posible.

Se elige el modelo THERMIRA BIBLOC 16M, se elige este modelo ya que la capacidad calorífica para uso con fan-coil es superior a la carga por calefacción que tiene la vivienda ($14,5 \text{ kW} > 8,95 \text{ kW}$), así como la capacidad frigorífica ($9,7 \text{ kW} > 9,3 \text{ kW}$).

El refrigerante utilizado en este sistema es el mismo que en la bomba de calor geotérmica, por lo que sus principales características ya fueron explicadas en el apartado correspondiente.

En cuanto al depósito de ACS se elige el modelo MTG-200 de Thermia, que tiene una capacidad de 200L. El depósito es de acero inoxidable para evitar la corrosión y cuenta con una función para prevenir la legionela y asegurar la máxima calidad del agua sanitaria

Como se ha comentado, para climatizar la vivienda se ha elegido un sistema de fan-coils, se instalarán cuatro unidades en la vivienda. El modelo es el FG-34CM.

Tratamiento de la demanda

La vivienda objeto de estudio tiene una demanda de climatización y ACS que se puede traducir en kWh térmicos. Esa demanda térmica es la energía que aportará la bomba de calor a la vivienda, por lo que para saber la energía que se debe aportar al sistema se hace uso del COP y del EER para así saber los kWh eléctricos que deben generar las placas fotovoltaicas.

En la *Tabla 13* (apartado 3.5. *Demandas de la vivienda*) se tiene la demanda total al mes de energía térmica y a continuación se presenta una tabla de los valores medios diarios demandados para cada mes y su representación gráfica:

Tabla 21: Demanda térmica diaria media

Mes	Calefacción (kWh)	Refrigeración (kWh)	ACS (kWh)
Enero	12,64	0,00	8,00
Febrero	7,96	0,01	7,84
Marzo	4,78	0,14	7,68
Abril	0,24	0,78	7,52
Mayo	0,01	3,04	7,20
Junio	0,00	17,09	6,88
Julio	0,00	38,45	6,56
Agosto	0,00	39,54	6,40
Septiembre	0,00	19,65	6,72
Octubre	0,01	3,23	7,04
Noviembre	4,37	0,22	7,52
Diciembre	12,57	0,00	7,84

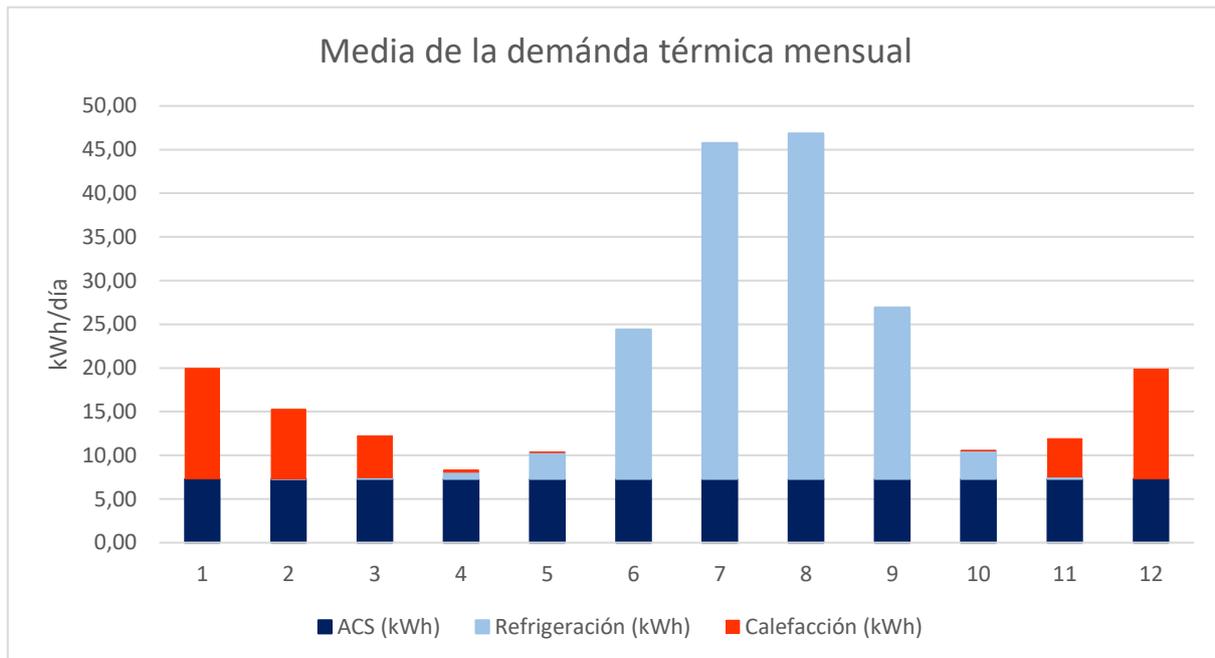


Figura 38: Demanda térmica diaria media

Para traducir estos valores térmicos a eléctricos se hace uso del SCOP y del EER proporcionados por la hoja de características de la bomba de calor. Para la calefacción se utiliza el valor de $SCOP_{35^{\circ}C} = 3,9$ y para el agua caliente sanitaria $SCOP_{55^{\circ}C} = 2,98$; para refrigeración se utiliza $EER = 2,9$. Los valores de la demanda la *Tabla 7* se dividen por estos últimos tres datos y se obtiene la demanda en valores de energía eléctrica.

Tabla 22: Demanda eléctrica diaria media

Mes	Calefacción (kWh)	Refrigeración (kWh)	ACS (kWh)	Total (kWh)
Enero	3,24	0,00	2,69	5,93
Febrero	2,04	0,00	2,63	4,67
Marzo	1,23	0,05	2,58	3,85
Abril	0,06	0,27	2,52	2,86
Mayo	0,00	1,05	2,42	3,47
Junio	0,00	5,89	2,31	8,20
Julio	0,00	13,26	2,20	15,46
Agosto	0,00	13,63	2,15	15,78
Septiembre	0,00	6,77	2,26	9,03
Octubre	0,00	1,11	2,36	3,48
Noviembre	1,12	0,08	2,52	3,72
Diciembre	3,22	0,00	2,63	5,85

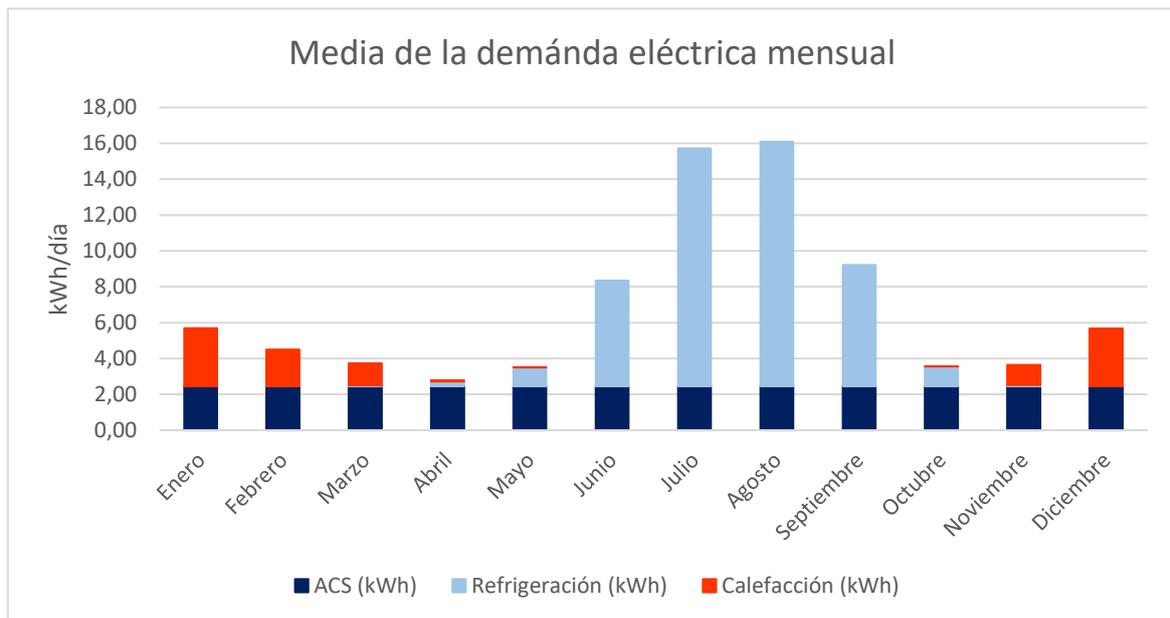


Figura 39: Demanda eléctrica media

Esta demanda eléctrica es la que debe cubrir el sistema fotovoltaico, por lo que los cálculos en el siguiente apartado se harán con el objetivo de cubrirla.

Dimensionado de la instalación fotovoltaica

Como se ha mencionado anteriormente, la instalación fotovoltaica tiene como objetivo cubrir la demanda eléctrica de la bomba de calor. Se elige dimensionar una instalación aislada en vez de conectada a red para tener la seguridad de que toda la energía consumida por la bomba de calor provenga de los generadores fotovoltaicos y que así sea una instalación totalmente renovable. (Ingemecánica, 2017)

En primer lugar, se deben introducir los siguientes tres conceptos: La “Horas de Sol Pico” (HSP), que se define como el número de horas en el que se dispone de una hipotética irradiancia solar constante de 1000 W/m^2 ; la “irradiancia”, que se define como la intensidad de iluminación solar que llega hasta la superficie medida en unidades de potencia instantánea (W/m^2) y la “irradiación”, que es la cantidad de irradiancia recibida en un periodo determinado de tiempo (Wh/m^2).

Los datos de irradiancia se obtienen de PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System), definiendo la localización y el ángulo de incidencia. Localización se elegirá Valencia y ángulo de incidencia, probando valores, se ha visto que el óptimo son 40° . Cabe destacar que, al ser un estudio de un modelo de vivienda típico, no se realizará el estudio de las sombras ya que se considera que la instalación fotovoltaica se puede instalar en una superficie sin obstáculos.

Tabla 23: Datos de PVGIS

	Irradiación mensual ángulo óptimo (40°)	Irradiación media diaria (HSP)
Enero	124,33	4,14
Febrero	134,28	4,48
Marzo	174,18	5,81
Abril	171,01	5,70
Mayo	184,82	6,16
Junio	215,74	7,19
Julio	212,7	7,09
Agosto	223,6	7,45
Septiembre	186,36	6,21
Octubre	147,37	4,91
Noviembre	115,64	3,85
Diciembre	123,57	4,12

Para dimensionar la instalación hay que fijarse en la situación más desfavorable y realizar los cálculos para el caso de ese mes, de esa manera se cubrirán todos los demás meses. Para evaluar el mes crítico hay que evaluar la demanda eléctrica total (Tabla 22) junto con las HSP (Tabla 21), llegando a la conclusión de que hay que dimensionar la instalación para el mes de agosto.

Tomando agosto como el mes más desfavorable para la producción fotovoltaica, se dimensionará la instalación con el objetivo de cubrir la demanda en ese mes, se tiene que el consumo medio diario será 15,78 kWh.

Para dimensionar la instalación hay que tener en cuenta las pérdidas que va a tener el sistema teniendo en cuenta el rendimiento de las baterías, reguladores e inversor. Normalmente los proyectistas aplican un margen de seguridad de entre el 20% y el 25%, por lo que el consumo medio a cubrir aumenta a 19,3 kWh.

En función de la potencia demandada se define la tensión de sistema del sistema fotovoltaico. A pesar de que no hay un criterio fijo que determine la tensión, después de un extenso proceso de búsqueda de información acerca de cómo dimensionar la instalación fotovoltaica se determina que la tensión de trabajo del sistema será de 48V. Se eligen los módulos fotovoltaicos en función a este dato y los elegidos son los paneles solares 340W 24V Policristalinos ERA, cuyas características principales se recogen en la siguiente tabla:

Tabla 24: Datos de la placa fotovoltaica

Potencia máxima (Pmpp)	340	W
Tensión en circuito abierto (Voc)	46,4	V
Corriente de cortocircuito (Isc)	9,45	A
Tensión en el punto de máxima potencia (Vmpp)	38,5	V
Corriente en el punto de máxima potencia (Impp)	8,84	A
Eficiencia del módulo	17,5	%

En cuanto a la cantidad de módulos fotovoltaicos que se van a utilizar:

$$N = \frac{Cd, medio}{P_{mpp} \cdot HSP_{crit} \cdot PR}$$

Donde:

Cd,medio es el consumo medio diario estimado para el mes de noviembre, 19300 Wh.

P mpp es la potencia pico del módulo seleccionado, 340W.

HSP crit es el valor de horas solares pico en el mes crítico, 7,45.

PR es el "Performance Ratio", el rendimiento energético de la instalación. Depende principalmente de las pérdidas por dispersión de potencia de los módulos, pérdidas por incremento de temperatura, por la suciedad en los módulos, pérdidas por sombras, por degradación de los módulos y pérdidas puramente eléctricas. Suelen estar entre el 70% y el 90%, por lo que se tomará un valor del 80%.

Sustituyendo valor en la ecuación anterior se tiene:

$$N = \frac{19300}{340 \cdot 7,45 \cdot 0,8} = 9,52 \rightarrow 10 \text{ módulos fotovoltaicos}$$

Para evaluar la cantidad de módulos que hay que instalar en serie o en paralelo hay que fijarse en la tensión del sistema (48V) y la tensión en el punto de máxima potencia del generador (Vmpp = 38,5V). El número de placas que habrá que conectar en serie será la necesaria para alcanzar la tensión de trabajo:

$$N_{serie} = \frac{48}{38,5} = 1,2 \rightarrow 2 \text{ módulos en serie}$$

$$N_{paralelo} = \frac{N}{N_{serie}} = \frac{10}{2} = 5 \text{ módulos en paralelo}$$

Para dimensionar las baterías se debe determinar la profundidad de descarga máxima y los días de autonomía. Los días de autonomía son los días que se prevé que la instalación funcione sin generación fotovoltaica, es decir, consumiendo de la energía almacenada en las baterías y normalmente se toma de 3 a 6 días dependiendo del uso que se le dé. En el presente caso de estudio se tomará una autonomía de 3 días. La profundidad de descarga máxima es el nivel máximo de descarga de la batería permitida antes de la desconexión del regulador con el objetivo de alargar la vida útil de ésta y proteger su durabilidad. Para ciclos diarios se toman valores en torno al 10-30% y para ciclos estacionales, que es el número máximo de días que la batería estará funcionando sin el respaldo de los paneles, nunca debe ser superior al 80%.

La capacidad nominal de la batería vendrá definida por el consumo de la carga, la profundidad máxima de descarga y el número de días de autonomía de la instalación. Se evaluará la capacidad de la batería según las descargas diarias y estacionales y se dimensionará según la que resulte mayor.

Considerando la descarga máxima diaria:

$$Cnd (kW) = \frac{C_{d, medio}}{Pd, max, diaria}$$

$$Cnd (Ah) = \frac{Cnd (W)}{V sistema}$$

Donde,

Cnd es la capacidad nominal diaria de la batería

C_{d,medio} es el consumo medio diario en Wh/día

Pd_{max,diaria} es la profundidad de descarga máxima diaria, que se establece en un 30%

V sistema es la tensión nominal a la que trabaja el sistema, 48V

Sustituyendo se obtiene que la capacidad nominal es de 1340,27 Ah

Considerando la descarga máxima estacional:

$$Cne (kW) = \frac{C_{d, medio} \cdot N}{Pd, max, estacional}$$

$$Cne (Ah) = \frac{Cnd (kW)}{V sistema}$$

Donde,

Cne es la capacidad nominal estacional de la batería

C d,medio es el consumo medio diario en Wh/día

N es el número de días de autonomía, 3

Pd,max,estacional es la profundidad de descarga máxima estacional, 80%.

V sistema es la tensión nominal a la que trabaja el sistema, 48V

Sustituyendo se obtiene que la capacidad nominal es de 1500 Ah

La capacidad de la batería debe ser pues al menos 1500Ah, por lo que se eligen las baterías cpzs Cynetic 1500Ah. Estas baterías son de placa de plomo tubular específicamente para aplicaciones solares, están fabricadas de plomo y antimonio con contenedor de polipropileno. Cada elemento es de 2 voltios 1500Ah C100, por lo que habrá que agrupar 24 unidades en serie para alcanzar los 48 V de la instalación.

El siguiente elemento a dimensionar es el regulador, que como se ha mencionado anteriormente es el encargado de gestionar el paso de la energía entre los generadores fotovoltaicos, las baterías y la carga. El regulador se dimensiona en función de la máxima corriente que debe soportar la instalación; por una parte, la corriente de entrada que proviene de las placas fotovoltaicas y, por otra parte, la corriente a la salida que consume la carga.

La máxima corriente de entrada al regulador (I_{Re}) y la máxima corriente a la salida (I_{Rs}) se calculan siguiendo las siguientes expresiones:

$$I_{Re} = 12,5 \cdot I_{sc} \cdot N \text{ paralelo}$$

$$I_{Rs} = 1,25 \cdot \frac{(Pot/\eta_{inv})}{V sistema}$$

Donde:

I_{sc} es la corriente de cortocircuito del módulo fotovoltaico, 9,45A

$N_{paralelo}$ es el número de módulos en paralelo, 5

1,25 es un factor de seguridad para prevenir daños en el regulador

Pot es la potencia del sistema, que mirando la hoja de características de la bomba de calor se tiene 4,53 kW

η_{inv} es el rendimiento del inversor, los valores medios son entorno al 95%

V sistema la tensión del sistema, 48V

Sustituyendo valores se tiene que $I_{Re} = 1,25 \cdot 9,45 \cdot 5 = 60 \text{ A}$ y $I_{RS} = 1,25 \cdot \frac{4530}{48} = 132,5 \text{ A}$, por lo que la máxima corriente y por ende la que será decisiva para la elección del regulador es $I_R = 133 \text{ A}$.

Como esta es una corriente muy elevada, se decide instalar 2 reguladores por string, por lo que resultan un total de 4 reguladores. El modelo elegido es un regulador de la marca ATERSA MPPT-80C, con seguimiento del punto de máxima potencia (MMPT). Cada string (módulos conectados en serie) tiene 5 paneles en paralelo, por lo que se conectarán 3 módulos a un regulador y los otros 2 al otro regulador, y de esta manera se respetarán las corrientes máximas del regulador.

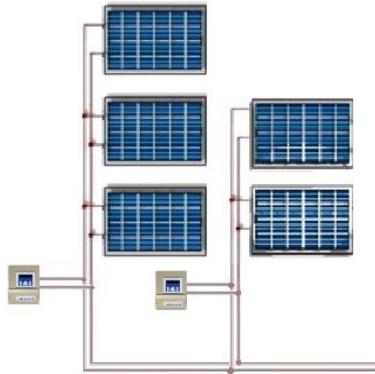


Figura 40: Configuración de un string

En cuanto al inversor, éste se dimensiona en función de la potencia instantánea de la carga, es decir, los 4,53 kW de la bomba de calor. Se le aplica un factor del 20% por seguridad, por lo que la potencia del inversor debe ser de al menos $P_{inv} = 1,2 \cdot 4530 = 5436 \text{ W}$. Siguiendo esta característica, se elige el Inversor Kostal Plenticore Plus 5.5kW. Se observa en la hoja de características que la potencia máxima admitida proveniente del generador es de 8,25 kW, por lo que es adecuado para trabajar con el dimensionado de las placas fotovoltaicas efectuado.

6.4. Consumo y costes del sistema de aerotermia con fotovoltaica

En el caso de la bomba de calor aerotérmica, la energía que necesita para funcionar se suministra a través del sistema de fotovoltaica aislada, por lo que al estar aislado de red todos los consumos se cubrirán mediante los generadores. Para realizar los cálculos se tiene en cuenta un EER de la bomba de calor de 2,9, así como un $COP_{35^\circ\text{C}}$ para calefacción de 3,9 y un $COP_{55^\circ\text{C}}$ para ACS de 2,98.

Tabla 25: Estudio económico caso 2

	Demanda térmica (kWh)	Consumo energía (kWh)
Calefacción	1268,6	325,28
ACS	2628	881,879
Refrigeración	3644,43	1256,7
		2.463,86 kWh/año

7. SISTEMA 3: CAPTADORES SOLARES PARA ACS, MÁQUINA DE ABSORCIÓN Y SISTEMA DE APOYO DE CALDERA DE GAS

El último sistema que se planteará es un campo de captadores solares que servirá para proporcionar energía al sistema de absorción para generar ACS. Como se comentará a lo largo del apartado, el sistema de absorción funciona como una bomba de calor reversible, proporcionando tanto calefacción en invierno como refrigeración en verano. En sistema contará con el apoyo de una caldera de gas para el calentamiento del agua.

7.1. Campo de captadores solares

Una instalación solar térmica está formada por un conjunto de captadores solares cuya función es captar la energía solar y transformarla en energía térmica, utilizándola para calentar un fluido de trabajo. Dependiendo de la temperatura que alcanza el fluido se puede diferenciar entre tres tipos de captación térmica:

- **Captación térmica de alta temperatura:** Se basa en la utilización de colectores solares cuya temperatura es superior a los 500°C. Se usa principalmente en la generación de energía eléctrica a gran escala.
- **Captación solar de media temperatura:** Se utilizan en aplicaciones que requieren temperaturas de entre 100 y 300°C. Se centra, entre otros, en la producción de vapor para procesos industriales y producción de energía a pequeña escala.
- **Captación solar de baja temperatura:** Suele utilizarse en usos domésticos como ACS y calefacción, aplicaciones que no requieran temperaturas de más de 60°C aproximadamente.

El funcionamiento de un captador solar se basa en el denominado efecto invernadero: cuando la radiación solar de onda corta incide sobre el captador y atraviesa la cubierta de vidrio calienta la superficie del colector, que a su vez emite radiación, pero de onda más larga por ser su temperatura inferior a la del sol. El vidrio del captador es opaco a esta radiación de onda larga, impidiendo que esta energía escape del colector y aumentando su temperatura, calentando unos tubos metálicos por cuyo interior fluye el líquido caloportador.

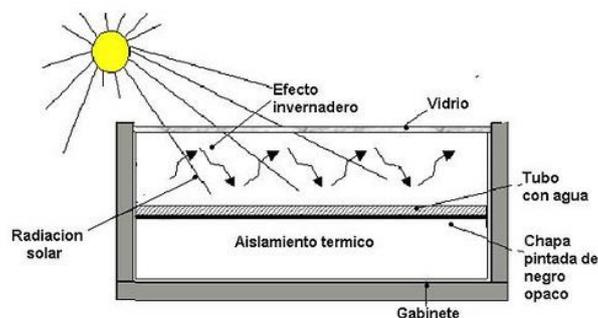


Figura 41: Detalle de un colector solar

Los principales tipos de colectores utilizados en instalaciones de baja/media temperatura son los colectores de baja temperatura, entre los que se encuentran los colectores de placa plana y los colectores de tubos de vacío. Cuando los sistemas solares son de alta temperatura se utilizan captadores solares de concentración, que concentran la radiación recibida mediante espejos en una superficie pequeña para así poder producir vapor y accionar unas turbinas que, mediante su energía cinética, accionaran a su vez unos generadores obteniendo así energía eléctrica.

7.1.1. Captadores solares de baja temperatura

En la vivienda de estudio se requiere una instalación de baja temperatura, por lo que se procede a exponer los dos tipos de captadores más utilizados en la actualidad (Plataforma Solar América Latina, 2018):

Captador solar plano

El captador solar plano está compuesto de una placa metálica que funciona como absorbedor, calentándose por la radiación solar. Este captador está dentro de una caja con una cubierta de vidrio o de plástico junto a los tubos por los que circula el agua, de esta manera, al producirse dentro de esta caja el efecto invernadero, la placa metálica se calienta y transmite al líquido el calor.

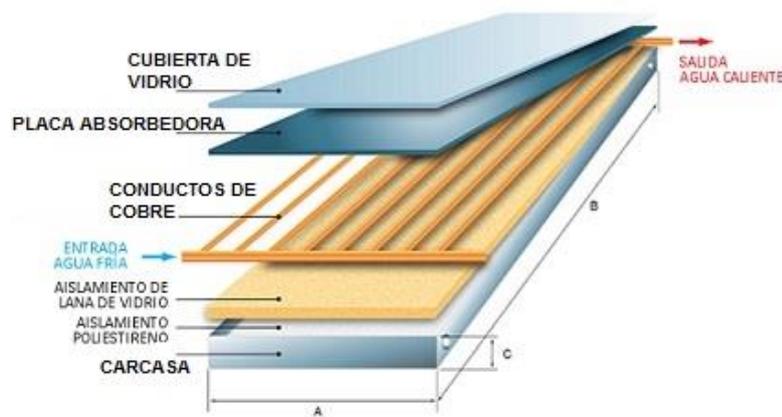


Figura 42: Partes de un colector solar plano

La cubierta del captador tiene que ser capaz, aparte de provocar el efecto invernadero, de reducir las pérdidas por convección, así como de asegurar la estanqueidad.

En cuanto al absorbedor, éste es el encargado de transmitir la energía térmica al fluido de trabajo. Existe una gran variedad en el mercado, pero destacan los dos siguientes: una placa metálica negra por la que están soldados los tubos por los que circula el agua o bien dos placas entre las que circula el fluido.

El aislamiento térmico tiene como misión evitar las pérdidas por conducción. Se suelen utilizar materiales como lana de vidrio, corcho o poliestireno y su conductividad debe ser baja, inferior a $0,05 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ (50°C)

Por último, la carcasa debe proteger y soportar los elementos que forman el colector, así como anclarlo a la estructura de montaje. Debe ser rígida y resistente a la variación de temperatura y a la corrosión.

Colector de tubos de vacío

Los colectores de tubos al vacío están formados por dos tubos concéntricos entre los cuales se produce un vacío, disminuyendo notablemente las pérdidas por convección. Actualmente se pueden diferenciar tres esquemas diferentes de colectores: de flujo directo, flujo indirecto y los colectores heat pipe.

El más utilizado es el modelo Heat Pipe, consiste en un tubo cerrado con un fluido vaporizante que se evapora y absorbe calor cuando incide el sol sobre el colector. Este vapor asciende hasta un intercambiador situado en la parte superior del tubo y condensa, cediendo su calor latente al agua y de esta manera calentándola. El fluido condensado vuelve al fondo y el proceso se repite mientras la radiación solar incida sobre el colector o hasta exceder una temperatura de aproximadamente 130°C.

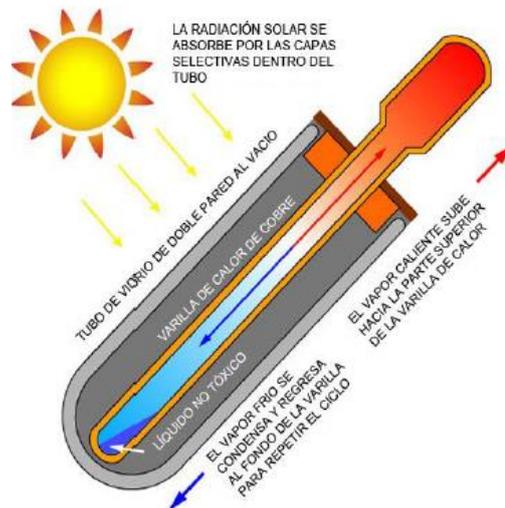


Figura 43: Tubo con fluido vaporizante en modelos de colectores solares Heat Pipe

Los colectores solares pueden conectarse de dos maneras: en serie o en paralelo. Cuando la conexión se hace en serie el fluido de un captador pasa al siguiente, aumentando así la temperatura a la salida, pero disminuyendo el rendimiento, según el CTE se podrían conectar hasta 10m² en serie en las zonas I y II, 8 m² en la III y hasta 6 m² en las IV y V. En caso de la conexión en paralelo todos los captadores trabajan proporcionando el mismo salto térmico y en este caso será el caudal el que se vea aumentado, siendo el caudal total trasgado por la batería la suma del caudal de diseño de cada captador, en este caso el CTE estipula que el número máximo de captadores que se pueden conectar en paralelo son 10, pero depende del fabricante hay casos en que este número puede aumentar.

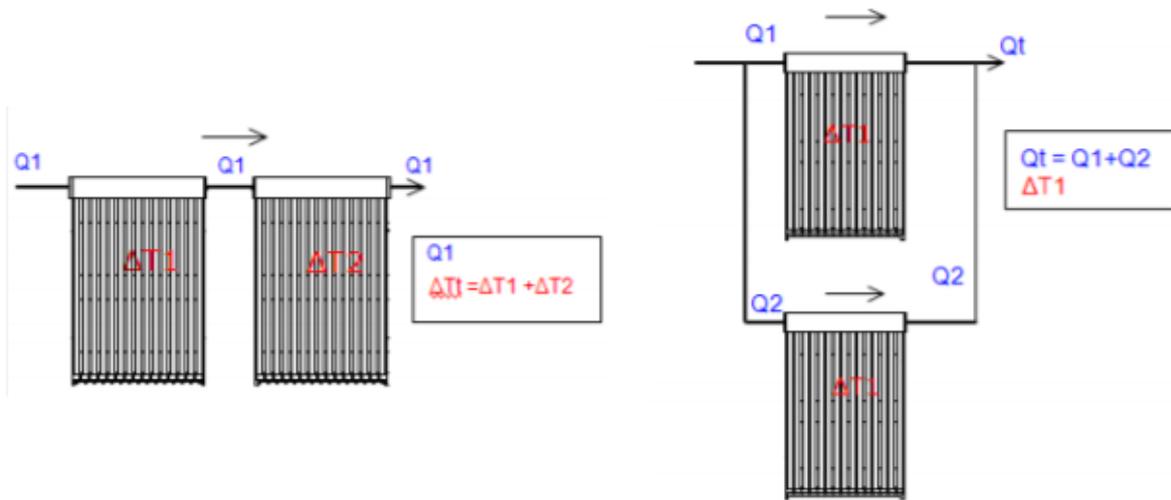


Figura 44: Línea de colectores en serie y en paralelo

7.2. Producción de frío por absorción

La demanda de refrigeración se cubrirá con un sistema de absorción alimentado por el campo de captadores solares planos. Estos sistemas sustituyen los equipos de refrigeración que consumen electricidad por otros cuyo aporte es de calor, y al ser este calor proveniente de una fuente de energía sostenible como es el sol, otorga una alternativa más limpia para la climatización de viviendas.

Existen tres tipos de máquinas de absorción:

Tabla 26: Tipología de máquinas de absorción

	COP	Rango de temperaturas
Efecto medio	0,3	50 – 70 °C
Efecto simple	0,7	80 – 110 °C
Efecto doble	1,2	130 – 160 °C

Los sistemas de absorción se basan en las reacciones fisicoquímicas que se dan entre pares de refrigerante y absorbente. Usualmente se utiliza agua como refrigerante y bromuro de litio (BrLi) como absorbente, ya que este último tiene una gran capacidad de absorber el agua y una buena deshidratación frente al calor.

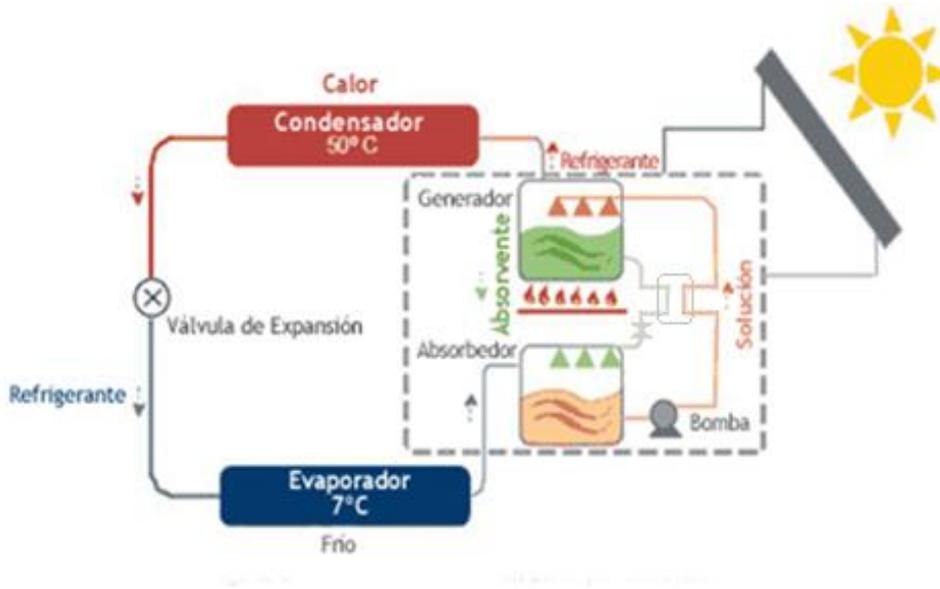


Figura 45: Sistema de refrigeración solar por absorción (María Herrador Moreno, 2018)

El funcionamiento de una máquina de absorción de ciclo simple es el siguiente:

Desde el absorbedor, la mezcla agua-BrLi se bombea hacia el generador aumentando su presión. En el generador se suministra la energía térmica proveniente del captador solar, provocando un aumento de temperatura en la mezcla, así como su ebullición y la evaporación del agua. El vapor de agua, a alta presión y temperatura, fluye al condensador, mientras que la solución (BrLi) vuelve al absorbedor de forma más concentrada, pasando antes por un intercambiador de calor, que precalienta la mezcla antes de llegar al generador. La solución concentrada pasa por una válvula que hace que la presión baje por lo que al absorbedor llega una solución muy concentrada de BrLi. El vapor de agua que se ha producido en el generador se conduce al condensador, donde cede su calor y condensa, obteniéndose así un líquido saturado presión alta. Este líquido saturado pasa por la válvula de expansión y su presión disminuye, haciendo que su temperatura de saturación baje. Por último, el agua pasa por el evaporador, donde absorbe calor del exterior. Tras el evaporador, el vapor de agua entra en el absorbedor, donde se mezcla con la solución rica en bromuro de litio, produciendo una reacción de absorción exotérmica, por lo que esta energía térmica generada en el absorbedor deberá ser disipada al ambiente. Estos sistemas suelen necesitar un circuito de disipación para ceder al ambiente el calor sobrante, como puede ser un intercambiador de calor agua-aire, una piscina climatizada, una torre de refrigeración o una sonda geotérmica.

7.3. Producción de agua caliente sanitaria

El campo de captadores solares también será el encargado de calentar el agua caliente sanitaria, la radiación solar calentará el agua de los captadores solares y será la encargada de calentar el agua de consumo humano.

Las instalaciones de ACS se pueden clasificar por el tipo de sistema de transferencia de calor y por la forma de circulación del fluido. En cuanto a la primera manera, existen sistemas de transferencia térmica directa e indirecta, pero los de transferencia directa están prohibidos por el CTE, así que

siempre se necesitará un intercambio de calor para calentar el agua. En cuanto a la segunda manera, se distingue entre equipos de termosifón (circulación natural) y equipos forzados (circulación forzada); estos últimos se utilizarán siempre que la instalación sea de más de 10m².

Equipos de termosifón

Estos equipos destacan por su sencillez, ya que no necesitan ningún aporte energético exterior para poner en funcionamiento el sistema. En estos sistemas, la desnivelación es esencial para que pueda existir la circulación del agua y el tanque acumulador se colocará en el techo de la vivienda.

Su funcionamiento se rige por el cambio de densidad del agua dependiendo de su temperatura. Cuando se aplica calor mediante el panel solar térmico el agua caliente tenderá a elevarse y el agua fría bajará para ocupar ese hueco, por lo que el agua se pondrá en movimiento. El agua caliente subirá hasta el punto más alto del circuito, donde estará en contacto con un acumulador conectado al circuito abierto de agua caliente sanitaria.

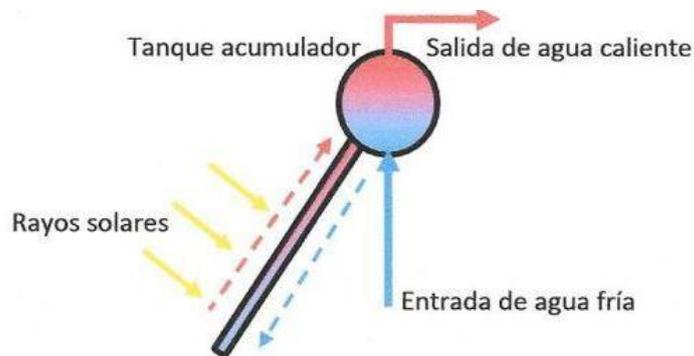


Figura 46: Circulación por termosifón

Circulación forzada

En el caso de la circulación forzada en el techo únicamente se instalan las placas solares y el acumulador irá dentro de la vivienda. La encargada de poner en circulación el agua será una bomba, que la bajará hasta donde se encuentre el acumulador para posteriormente efectuar el intercambio de calor.

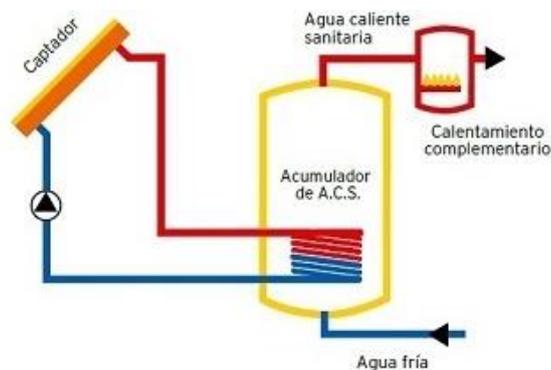


Figura 47: Circulación forzada

7.4. Proyecto de captadores solares, climatización por absorción y ACS

El esquema que se seguirá para el dimensionado de la instalación es el siguiente:



Para el sistema 3, las hojas de características estarán en el *Anexo 5*.

Elección de la máquina de absorción

Si bien es cierto que actualmente los sistemas de absorción son una gran alternativa entre los sistemas de refrigeración solar por su rendimiento y madurez, cabe destacar que hasta hace aproximadamente una década no se desarrollaban esta clase de máquinas para pequeñas potencias. Actualmente las máquinas de absorción comprenden potencias desde 4,5 kW hasta los 450kW, en la siguiente figura proporcionada por el IDAE se muestra el orden de magnitud de capacidad de enfriadoras de absorción por fabricante:

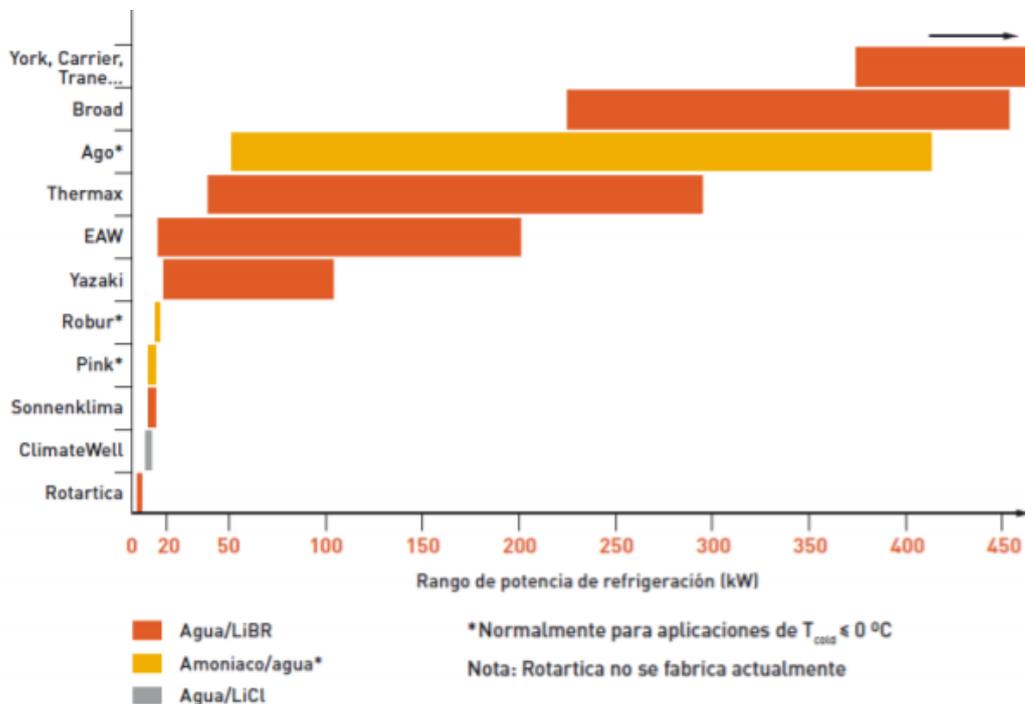


Figura 48: Orden de magnitud de capacidad de enfriadoras de absorción

Para el dimensionado del sistema de absorción se acude al fabricante ClimateWell 10 (ClimateWell10, 2020), cuya máquina de absorción es capaz de funcionar tanto para refrigeración como para calefacción. Una característica de esta máquina es que tiene un sistema de almacenamiento de energía química capaz de ajustar la producción a la demanda, pero no se tendrá en cuenta a la hora de realizar los cálculos del dimensionado de la instalación. La potencia máxima de refrigeración es de 10kW duplicándola en el caso de funcionar para calefacción, las características principales de la máquina de absorción ClimateWell 10 se recogen en la siguiente tabla y su hoja de características en el Anexo 5.

Tabla 27: Características principales de ClimateWell 10

COP calefacción	0,68	-
COP refrigeración	0,85	-
Potencia de calefacción	10	kW
Potencia de refrigeración	25	kW
Potencia bombas internas	80	W
Potencia bombas acumulador	80	W
Potencia del sistema de control	10	W
Caudal circuito de distribución	15-20	l/min
Caudal circuito captación solar	15-20	l/min
Caudal circuito de disipación	30	l/min

Como se puede observar, para funcionar correctamente el sistema de absorción necesita electricidad en las bombas internas y en el sistema de control, dato que se tendrá en cuenta posteriormente para hacer el análisis económico y ambiental.

Elección del captador solar

El captador solar elegido para la instalación es el modelo NEO24 de Astersa, que se encuentra en la base de datos de "CHEQ4", programa utilizado para evaluar la producción del campo solar. El material del absorbedor es lámina de cobre, la cubierta frontal está fabricada de vidrio solar templado de alta temperatura, resistente y con bajo contenido en hierro, y la caja está fabricada de aluminio con aislamiento de lana mineral de alta densidad. El fluido caloportador es agua con glicol con una concentración recomendada del 30% de anticongelante. Las características principales del módulo se recogen en la siguiente tabla:

Tabla 28: Captador solar plano NEO24

Área de apertura	2,41 m ²
Alto	2,098 mm
Ancho	1,256 mm
Fondo	94,5 mm
Peso	47 kg
Rendimiento	75,7 %
Coefficiente de pérdidas (k1)	3,994 W/m ² ·K ²
Coefficiente de pérdidas (k2)	0,009 W/m ² ·K ²
Capacidad térmica efectiva	8,931 J/K

Sistema de captación solar

Para la evaluación de la producción del sistema de colectores solares se acude al programa "CHEQ4", herramienta elaborada por el IDAE (Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía) y ASIT (Asociación Solar de la Industria Térmica). Este programa sirve para definir instalaciones solares térmicas verificando el cumplimiento de la exigencia del Documento Básico DB-HE "Ahorro de Energía", en el cual se especifica la contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria. Se define la localización de la instalación, siguiendo las directrices del proyecto, en Valencia, y el programa proporcionará los datos de la irradiación global media mensual sobre la horizontal, la temperatura media mensual del agua de red y la temperatura ambiente diaria media mensual.

Tabla 29: Irradiación global media mensual

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
9,1	12,2	16,8	21,9	24,4	26,9	27,6	23,8	19	13,6	9,6	7,7	MJ/m ²

Para definir la demanda del sistema de captación solar se tiene en cuenta los COPs de la máquina de absorción, y las demandas térmicas de la vivienda.

Tabla 30: Demanda a captadores

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
797,8	586,4	446,4	264,0	323,7	809,7	1554,0	1587,5	895,0	325,7	426,2	789,7	kWh

El sistema de captación se define siguiendo la recomendación de ClimateWell 10 de tener al menos una superficie de 30m², resultando en un total de 12 colectores solares y después de varias pruebas, se comprueba que la inclinación óptima de los colectores es de 20º con orientación al sur. Cabe destacar también que no se tienen en cuenta pérdidas por sombras. Según "CHEQ4", la producción del campo solar es:

Tabla 31: Producción del campo solar

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
590	650	830	1000	1100	1180	1200	1160	1190	900	770	600	kWh

La comparación entre la demanda y la producción se puede ver mejor en el siguiente gráfico:

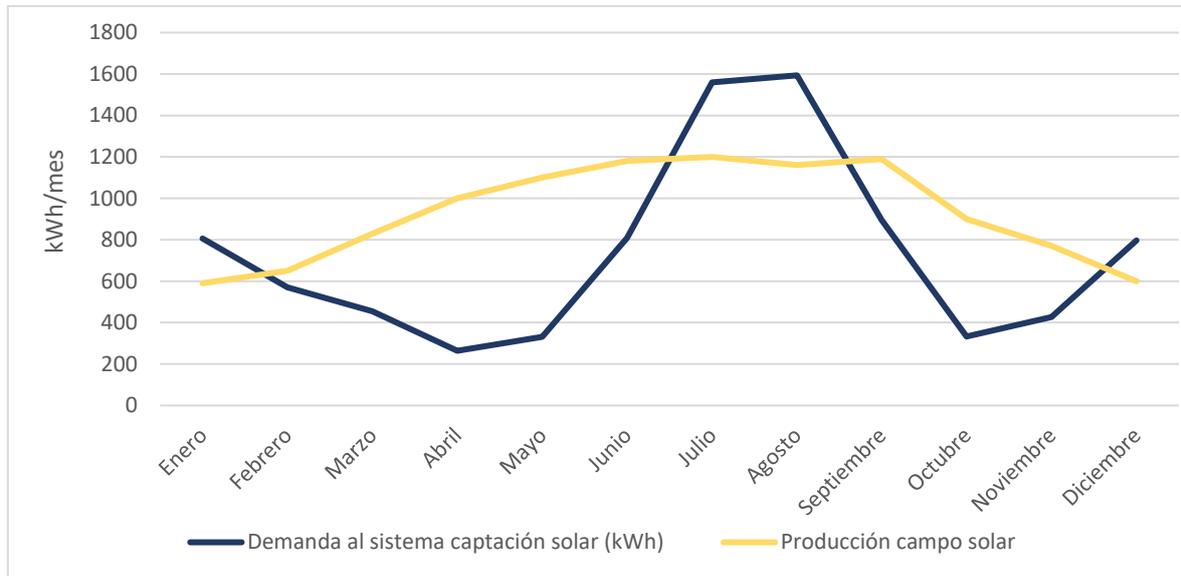


Figura 49: Comparación entre la demanda y la producción en captadores solares

Se puede comprobar que la demanda y la producción no están ajustadas, por lo que, por una parte, se tendrá que disponer de una caldera de gas natural que cubra la demanda los momentos en los que la producción solar no sea suficiente, y, por otra parte, habrá que disponer de un sistema de persianas que tapen los captadores ya que los meses en los que no hay mucha demanda los captadores producen más energía térmica de la necesaria y esto puede suponer en un sobrecalentado del fluido a niveles de temperatura inadmisibles ocasionando el dañado del sistema.

Sistema de apoyo caldera de gas

El sistema de apoyo es una caldera mural de condensación, concretamente la caldera CerapurAcu Smart de la marca Junkers, cuya ficha técnica se encuentra en el *Anexo 5*. Se debe instalar una caldera como apoyo que sea capaz de hacerse cargo de la demanda en caso de que los colectores solares no puedan cubrir la demanda, por ejemplo, durante periodos largos de lluvias o a lo largo de días nublados. La caldera elegida tiene una potencia de 23 kW, por lo que será capaz de cubrir la demanda, además de ser compatible con los sistemas solares.

Demás componentes de la instalación

Si bien es cierto que la caldera de gas previamente definida tiene acumulador de ACS, la instalación ha de contar con un depósito que pueda satisfacer toda la demanda, por lo que se instalará un depósito de acumulación aparte. El depósito elegido es el mismo que en el caso del *Sistema 2: Aerotermia con placas fotovoltaicas*, el modelo MTG-200 de Thermia, con capacidad de 200L. En cuanto al sistema de distribución de calor en la vivienda, al igual que en los dos casos anteriores, se contará con una instalación de fan-coils y se instalarán los mismos que en el *Sistema 2*, por lo que ambas fichas técnicas se recogen en este caso en el *Anexo 4*.

7.5. Consumos y costes del sistema de colectores captadores, máquina de absorción y caldera de gas de apoyo

Tal y como se ha comentado, el sistema de absorción va conectado a la red para abastecer el consumo de las bombas y el sistema de control interno, su consumo es de energía eléctrica. El sistema de apoyo de caldera de gas solo funcionará cuando el sistema de colectores no sea capaz de suministrar la suficiente agua caliente, y para el estudio se tendrán en cuenta únicamente estos periodos y no los momentos en los que los captadores no funcionen por condiciones meteorológicas adversas:

Tabla 32: Estudio económico caso 3

	Potencia (W)	Porcentaje de operación (%)	Consumo energía (kWh)	Coste anual (€)
Bombas internas	80	20%	140,2	19,62 €
Bombas acumulador	80	60%	420,5	58,87 €
Control interno	10	60%	52,6	7,36 €
Caldera de gas natural	-	-	1178,98	62,78€
			1792,2 kWh/año	148,63 €/año

8. Estudio económico y ambiental de los sistemas propuestos

8.1. Estudio económico

A lo largo del trabajo se han evaluado tres alternativas de climatización para sustituir un sistema de caldera de gas natural y aire acondicionado Split y al final de los apartados donde se evaluaba cada uno de ellos se ha presentado un estudio de su consumo y de su coste anual. A continuación, se presentan dos gráficas correspondientes a la comparativa final entre el consumo energético y coste económico anual comparando con el sistema base:

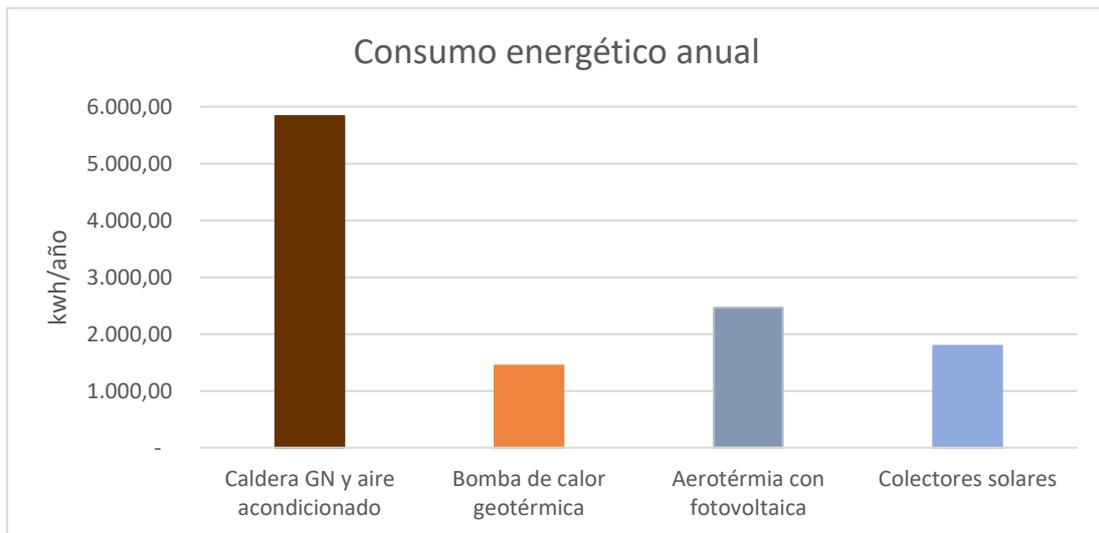


Figura 50: Comparativa entre el consumo energético anual

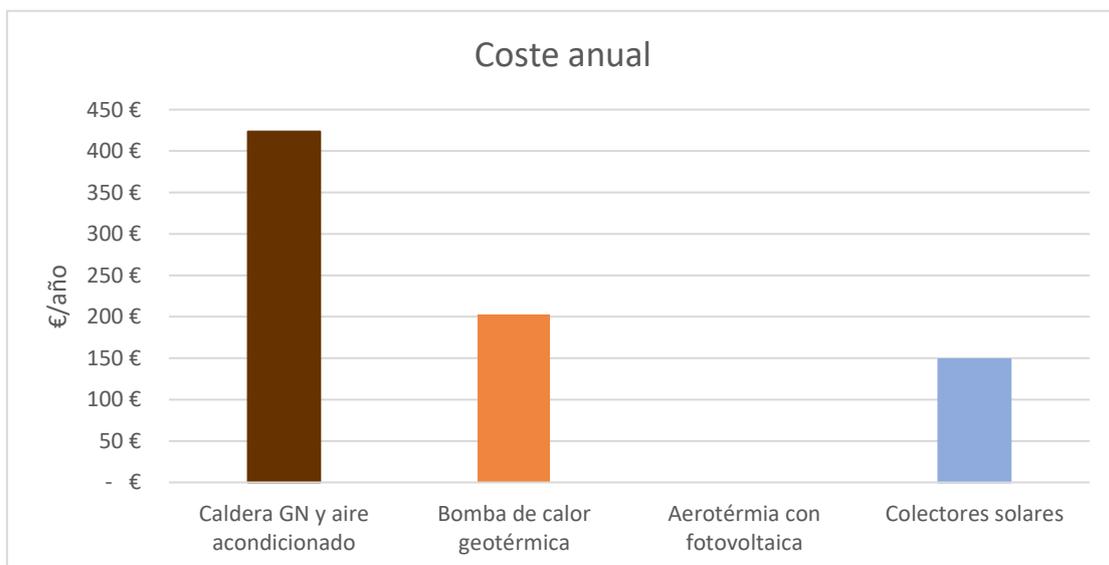


Figura 51: Comparativa coste anual

8.2. Estudio ambiental

Para evaluar el impacto ambiental hay que hacer uso de los Factores de emisión (FE) establecidos por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico actualizados en Abril de 2020. Los FE son un valor representativo para relacionar la cantidad de gases contaminantes emitidos a la atmósfera en función de la actividad asociada a dicha emisión. El factor de emisión para el gas natural es de 0,202 kgCO₂/kWh según el *Registro de Huella de Carbono, compensación y Proyectos de Absorción de Dióxido de Carbono* (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020) y según el mix de generación eléctrica peninsular de 2019 se estima 0,241 kgCO₂/kWh para la electricidad.

En el presente trabajo se evalúa cada sistema para calcular el total de emisiones contaminantes que se han expulsado a la atmósfera:

En el caso del sistema base, por una parte, se evalúan las emisiones pertenecientes a la caldera de gas natural y por otra las emitidas por el consumo eléctrico del aire acondicionado. Para el sistema de geotermia la energía de la bomba de calor se consume directamente de red. En cuanto al sistema de aerotermia con fotovoltaica, todo el consumo de la bomba de calor se hace a través de los generadores eléctricos, por lo que las emisiones relacionadas con el consumo de energía son nulas. Por último, para la alternativa 3, el sistema de absorción tiene un consumo eléctrico para los sistemas eléctricos que sí se traducirá en emisiones contaminantes. También hay que tener en cuenta que se tiene el apoyo de la caldera de gas natural, y tal y como se ha comentado en el estudio económico, se supone que se usa cuando los colectores solares térmicos no aportan energía suficiente.

Tabla 33: Comparativa emisiones

Sistema		Consumo total (kWh)	Emisiones (kg CO ₂ /kWh)
Caldera GN y aire acondicionado	Gas Natural	2265,5	1228,6
	Electricidad	1301,6	
Geotermia	Electricidad	1444,5	346,69
Máquina de absorción y caldera GN	Gas Natural	1178,9	385
	Electricidad	204,2	
Aerotermia con fotovoltaica	Autoconsumo	-	-

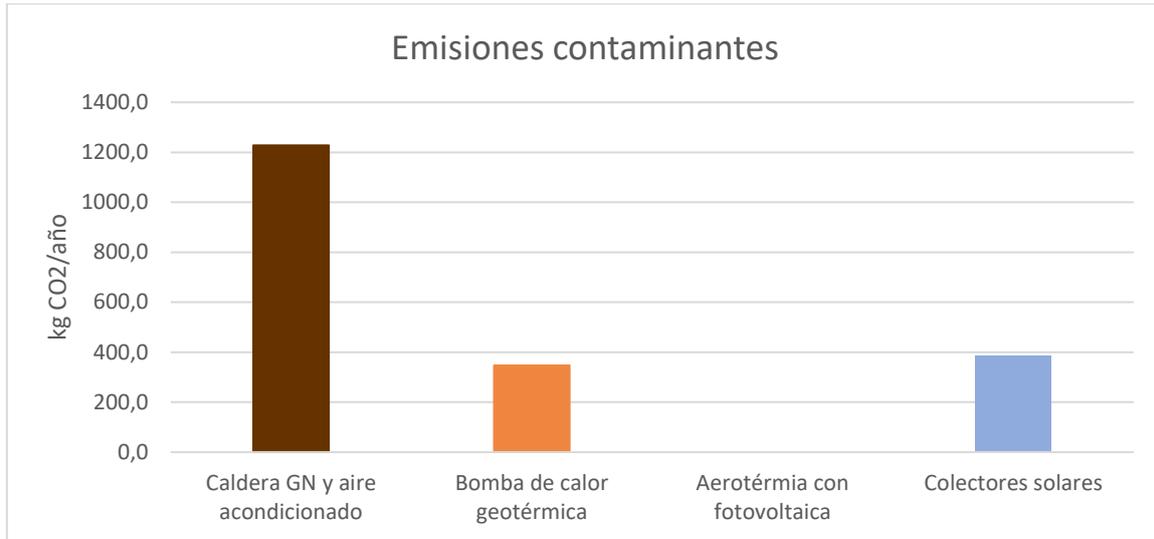


Figura 52: Emisiones contaminantes por tipo de sistema

Se puede observar una notable disminución en la emisión de gases contaminantes en comparación con el primer sistema de caldera y aire acondicionado. Las emisiones de este primer sistema alcanzan la tonelada de CO₂ mientras que las del sistema de geotermia son de 346 kg, por lo que supone un descenso del 71%. En cuanto al caso de los colectores solares, al necesitar la máquina de absorción alimentación eléctrica para que las bombas y el control interno funcionen correctamente, hay un consumo eléctrico de red que se traduce en unas emisiones de 147 kg al año. También hay que tener en cuenta la caldera de gas, que al año emite 235 kg de CO₂ a la atmósfera, siendo el total contando las emisiones por consumo eléctrico de aproximadamente 385 kg, suponiendo un descenso del 68% respecto al caso base. Finalmente, el sistema de aerotermia al estar conectado a un sistema fotovoltaico no tendrá emisiones contaminantes directas.

Aunque para el presente estudio ambiental no se tenga en cuenta, hay que destacar que no únicamente se emiten gases contaminantes a la hora del consumo de la energía, si no que para cada sistema hay que tener en cuenta todas las etapas de su ciclo de vida, desde el “suministro de materias primas”, el “transporte” y la “fabricación”. Muchas empresas ya tienen esto en cuenta a la hora de evaluar el impacto ambiental de sus proyectos, como ATERSA (Solignesa, 2013), que ha calculado la Huella de Carbono de sus módulos fotovoltaicas valorando el impacto real de sus módulos en 395 kgCO₂ por módulo fabricado. Por otro lado, en cuanto a los captadores solares térmicos, se estima que las emisiones contaminantes por fabricación de captador alcanzan los 112,5 kgCO₂.

9. Conclusiones

Tal y como se mencionó al principio del trabajo, el objetivo principal era plantear tres alternativas de climatización renovables que pudieran sustituir el sistema actual. Se trabaja sobre la idea de reformar una casa relativamente antigua, no sobre la construcción de una vivienda nueva, por lo que las tres alternativas tienen un coste muy elevado comparado al gasto que supondrían instalarlos en una nueva, ya que actualmente muchos de estos sistemas si se instalan una vez se construye la vivienda son más económicos.

Antes de embaucarse en una gran reforma, cabría considerar pequeños cambios para mejorar el aislamiento de la vivienda. Uno de ellos podría ser cambiar las ventanas, ya que las presentadas en la web TABULA eran poco eficientes, por modelos de doble cristal sustituyendo los viejos marcos por unos nuevos de aluminio. También se podrían hacer modificaciones en los aislantes de techos, suelos y paredes para mejorar la estanqueidad térmica de la vivienda.

Los tres sistemas estudiados tienen una inversión inicial muy elevada, hecho que demuestra que son necesarias subvenciones por parte de los organismos conveniente para poder llevar a cabo este tipo de reformas. Actualmente la Generalitat Valenciana junto al IVACE (Instituto Valenciano de Competitividad Empresarial) tienen vigente el trámite denominado “Ayudas en materia de Energías Renovables y Biocarburantes, para el ejercicio 2020”, que tiene como objetivo “Impulsar las actuaciones encaminadas a la explotación de los recursos energéticos renovables y fomentar el uso de los biocarburantes en la Comunitat Valenciana” (GVA, 2019), que supone en una financiación de hasta el 45% del total del proyecto.

Basándose en la inversión, el sistema que menos gasto inicial tiene es el *Sistema 2: Aerotermia con fotovoltaica*. Basándose en el estudio económico, el que tiene menos consumo energético, así como gasto anual es también el *Sistema 2*, disminuyendo el consumo en un 57% y el gasto en un 100% respecto al *Sistema Base*. Esto denota, que económicamente la opción más rentable es la señalada en este párrafo.

Para terminar de afirmar lo recién comentado, se evalúa el impacto ambiental de los sistemas estudiados. Al estar el sistema fotovoltaico aislado de red, no hay emisiones asociadas a consumos eléctrico, haciendo de éste el sistema más respetuoso con el medio ambiente.

Cabe destacar que el trabajo se ha centrado únicamente en la climatización del edificio, por lo que, si se tuvieran en cuenta los consumos eléctricos de los demás elementos, el *Sistema 2: Aerotermia con fotovoltaica* podría incluso cubrir esas demandas, haciendo que el campo de generadores fotovoltaicos no solo alimentara la bomba de calor, si no que proporcionara la energía total demandada por la vivienda. De esta manera el coste de la factura eléctrica mensual se vería reducida haciendo que este sistema fuera muy beneficioso.

Tomando el *Sistema 2* como el más rentable de los presentados a lo largo del TFG, se evalúa el periodo de retorno de la inversión teniendo en cuenta la subvención del 45% mencionada anteriormente y suponiendo que el consumo energético presentado en la *Tabla 25* supone la mitad de la factura total. El periodo de vida útil de la instalación se toma de 30 años:

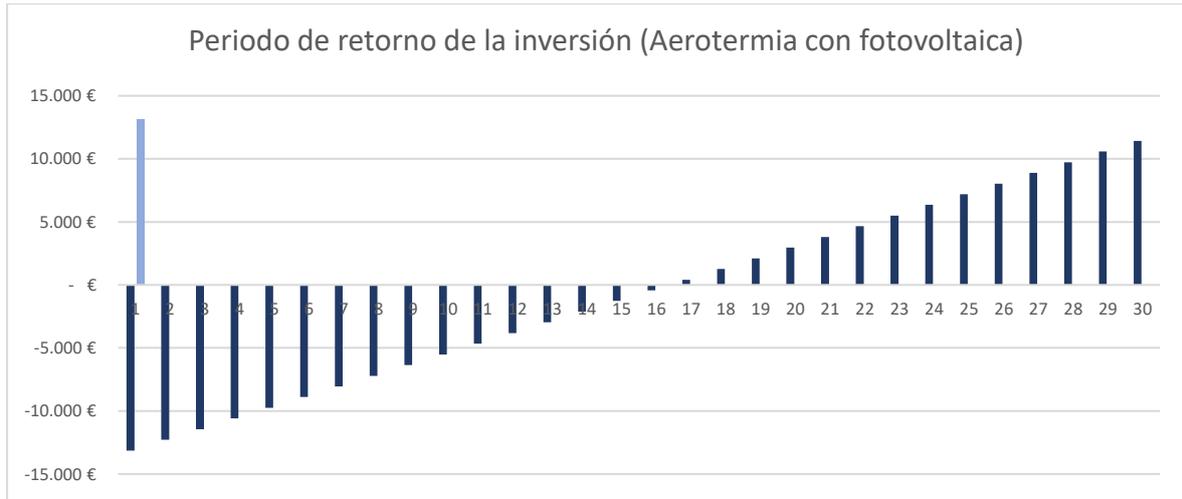


Figura 53: Periodo de retorno de la inversión (Aeroterminia con fotovoltaica)

Se tiene que el periodo del retorno de la instalación es bastante elevado, situando el retorno de la inversión inicial a partir del decimosexto año. Como se ha mencionado, hay que tener en cuenta que se trata de una reforma de una vivienda ya existente, por lo que previamente a una inversión tan grande como la que conlleva la instalación de este tipo de sistemas, se deberían considerar modificaciones más livianas como las comentadas en el párrafo dos o sustituciones de los sistemas existentes por unos similares, pero más eficientes.

No obstante, la instalación de sistemas del tipo de los estudiados en el presente TFG no responde únicamente a criterios económicos, siendo los criterios de sostenibilidad ambiental los que más influyen en los usuarios que finalmente decidirían instalar un sistema alternativo de alguno de los tipos expuestos en este trabajo.

Por último, se presentan los periodos de retorno de las otras dos alternativas, comprobando que el *Sistema 2* se amortiza antes. Se puede comprobar que el sistema de geotermia no se amortiza pasando los 30 años, y que el sistema de captadores solares y absorción lo hacen el año 30, denotando así que la aeroterminia con fotovoltaica es la mejor opción.

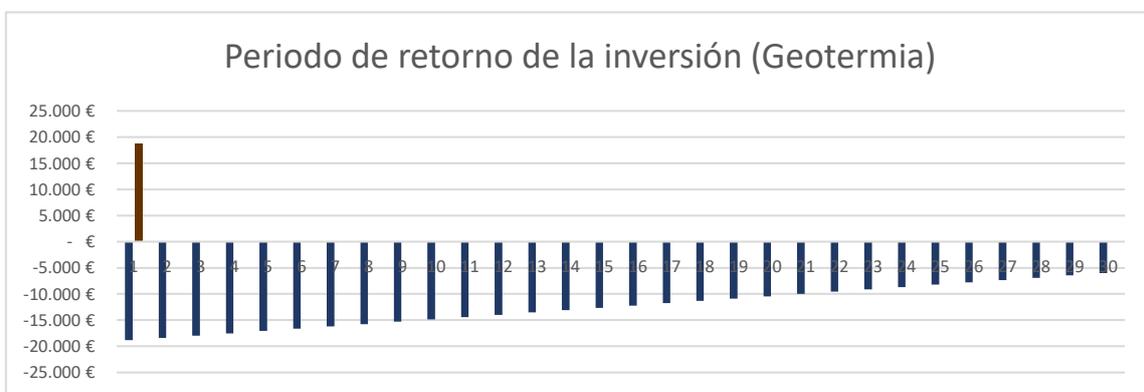


Figura 54: Periodo de retorno de la inversión (Bomba de calor geotérmica)

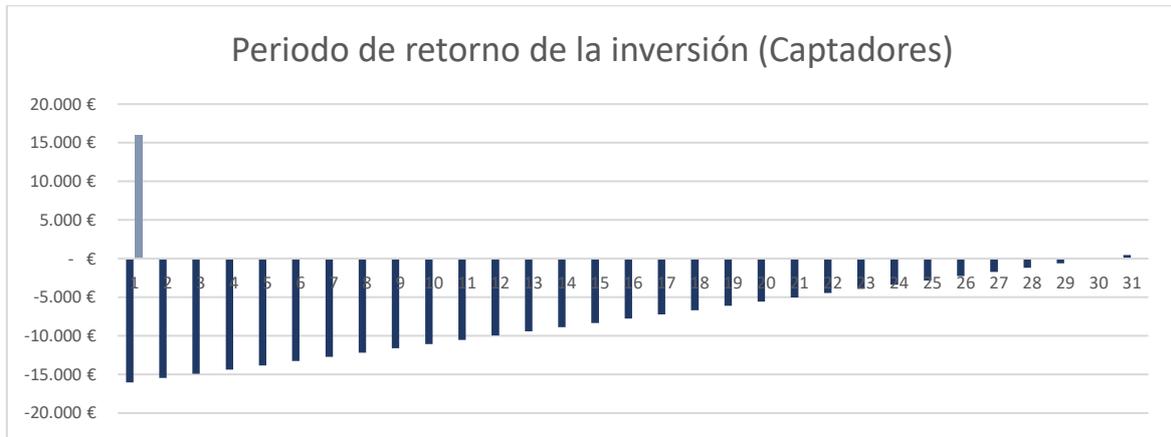


Figura 55: Periodo de retorno de la inversión (Sistema con captadores solares)

10. Bibliografía

- ALB. (2008). *Hoja técnica y presupuesto geotermia*. <https://www.alb.es/TARIFA DE GEOTERMIA.pdf>
- Alegre. C, Gutierrez. C, Blanco. E, Fidalgo. E, Perera. G, C. G. . . . M. S. (2015). *Calderas: funcionamiento, partes y tipos*. 1–9. <http://www.imacifp.com/wp-content/uploads/2014/10/4.-Generadores-de-calor..pdf>
- Arnabat, I. (2016). *¿Cómo funciona el aire acondicionado?* <https://www.caloryfrio.com/aire-acondicionado/como-funciona-el-aire-acondicionado-infografia.html>
- Guía técnica de instalaciones de climatización con equipos autónomos, Ahorro y eficiencia energética en climatización 108 (2012). http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_17_Guia_tecnica_instalaciones_de_climatizacion_con_equipos_autonomos_5bd3407b.pdf
- ATECYR. (2012). *Instalaciones de calefacción individual*. https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_16_Climatizacion_Guia_Tecnica_Instalaciones_Calefaccion_Individual__f1cefbe6.pdf
- Carlos J Renedo. (2017). *Bomba de Calor Departamento: Area: Ingeniería Eléctrica y Energética Máquinas y Motores Térmicos*. <http://personales.unican.es/reneoc/index.htm>
- ClimateWell10. (2020). *Datos Técnico*. http://www.solarcombiplus.eu/docs/SolarCombi_ClimateWell_trainingmaterial4.pdf
- CTE. (2017). *¿Qué es el Bit? ¿Qué es el Byte?* <https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-que-te.html>
- Daikin. (2019). *ACERCA DE DAIKIN*. https://www.daikin.eu/content/dam/document-library/catalogues/as/fan-coil-units/fwb-bt/Fan coil catalogue_EPCE508-406_Catalogues_Spanish.pdf
- Documento Básico HE Ahorro de energía Con comentarios del Ministerio de Fomento, (2017) (testimony of DB HE)*. <http://www.codigotecnico.org>
- Episcope. (2013). *Catálogo de tipología edificatoria residencial*. https://episcope.eu/fileadmin/tabula/public/docs/brochure/ES_TABULA_TypologyBrochure_IV E.pdf
- EPISCOPE. (2020). <https://episcope.eu/welcome/>
- Gas, P. (2019). *¿Cuál es el precio de la instalación del gas natural?* <https://preciogas.com/instalaciones/gas-natural/precio#coste-instalacion-calefaccion-gas>
- Gas Servei. (2019). *R-410A FICHA TÉCNICA Características y aplicaciones*. www.gas-servei.com
- Generadordeprecios. (2020). *Precio en España de Ud de Equipo de aire acondicionado con unidad interior de pared, sistema aire-aire split 1x1. Generador de precios de la construcción. CYPE Ingenieros, S.A.* http://www.generadordeprecios.info/obra_nueva/Instalaciones/IC_Calefaccion__climatizacion_y_A/ICN_Unidades_autonomas_de_climatiz/ICN020_Equipo_de_aire_acondicionado_con_un.html
- GVA. (2019). *GVA.ES: Ayudas en materia de Energías Renovables y Biocarburantes, para el ejercicio 2020*. https://www.gva.es/es/inicio/procedimientos?id_proc=764#p_0

- Ingemecánica. (2017). *Instalación Solar Fotovoltaica para Vivienda*.
<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>
- José Sanchez Guzmán, L. S. L., & Robles, L. O. (2007). *Geotérmica - IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía*.
https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11227_e9_geotermia_A_db72b0ac.pdf
- María Herrador Moreno. (2018). *Estado del Arte de la Producción de Frío a partir de Energía Solar*.
http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70166/fichero/Archivo_Capítulo+4.pdf
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2020). *FACTORES DE EMISIÓN REGISTRO DE HUELLA DE CARBONO, COMPENSACIÓN Y PROYECTOS DE ABSORCIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO*.
- Plataforma Solar América Latina. (2018). *Plataforma Solar América Latina*.
<http://www.energiasolar.lat/>
- Profielectra S.L. (2020a). *¿Cuál es el precio del gas natural?* <https://preciogas.com/faq/precio-kwh>
- Profielectra S.L. (2020b). *¿Cuánto cuesta el kWh de Iberdrola?*
<https://tarifasgasluz.com/comercializadoras/iberdrola/precio-kwh>
- REE. (2018). *Informe del Sistema Eléctrico Español 2018*.
<https://www.ree.es/es/datos/publicaciones/informe-anual-sistema/informe-del-sistema-electrico-espanol-2018>
- RITE. (2007). *Reglamento Instalaciones Térmicas de los Edificios*. <https://ovacen.com/rite-reglamento-instalaciones/>
- RITE. (2013). *Guía Técnica. Diseño de sistemas de bomba de calor geotérmica*.
<https://www.idae.es/publicaciones/guia-tecnica-diseno-de-sistemas-de-intercambio-geotermico-de-circuito-cerrado>
- Solignesa. (2013). *Huella de Carbono de módulos fotovoltaicos*. <https://www.solignesa.com/lista-de-noticias/120-huella-de-carbono-co2-emisiones-gases-efecto-invernadero-gei-modulos-fotovoltaicos.html>
- Thermia. (2019). *Catálogo Thermia 2019*. <https://www.elnur.es/wp-content/uploads/2019/04/catalogo-aeroterminia-thermira-2019-de-gabarron.pdf>
- Trillo, L., & Angulo, R. (2008). *Guía de la energía geotérmica*.
<http://www.madrid.org/bvirtual/BVCM005842.pdf>
- Umwelt, I. W. und. (2014). TABULA WebTool. *Tabula Web Tool*. <https://episcopo.eu/building-typology/tabula-webtool/>
- UPV. (2019). *Tema 5. Cargas Térmicas*. Universitat Politècnica de València.
- UPV Universitat Politècnica de València. (2020). *Calcula con Atecyr*.
<http://www.calculaconatecyr.com/cargas.php>
- Vaxa Software. (2020). *Densidad del agua líquida entre 0 °C y 100 °C*.
https://www.ugr.es/~elenasb/teaching/densidadtemperatura_agua_tabla.pdf

PRESUPUESTO

Sistema de gas natural y aire acondicionado split

Para poder comparar posteriormente los tres sistemas con el caso base se debe conocer el coste de la instalación de la caldera de gas natural y el aire acondicionado split. Como es un sistema antiguo y ese tipo de calderas no se venden se tomarán datos aproximados con los costes que tienen actualmente este tipo de sistemas y poder posteriormente realizar una comparativa lo más certera posible: (Gas, 2019),(Generadordeprecios, 2020)

Tabla 34: Presupuesto caso base

Elemento	Precio
Instalación red individual + caldera + calefacción + 8 radiadores	9.000 €
Equipo de aire acondicionado con unidad interior de pared, sistema aire-aire split 1x1 + mano de obra para su instalación	1.015 €
	10.015 €

Sistema de energía geotérmica

En cuanto a los precios de los distintos elementos del sistema geotérmico estos se han obtenido de las hojas de los fabricantes o bien de una media orientativa para España dada por la página web generadordeprecios.info.

Tabla 35: Presupuesto geotermia

Elemento	Descripción	Precio unitario	Unidades	Total
Sonda vertical	Sonda vertical	511,20 €	4	2.044,80 €
Tubo Inyección	Tubo inyección D25x2,5mm 80m	58,00 €	4	232,00 €
Peso	Peso sonda geotermia para D80	52,80 €	4	211,20 €
Guía de montaje	Guía de montaje tubos en U	27,20 €	4	108,80 €
Distanciador	Distanciador para sonda, cada 10 m.	6,40 €	28	179,20 €
Unión Y	Unión Y sonda 2x32-40mm	20 €	2	40 €
Bomba de calor geotérmica	3-12 kW. 230V. ACS, calefacción, refrigeración activa	9.900 €	1	9.900 €
Instalación geotérmica	Precio medio de la obra de una instalación geotérmica en España	15.000 €	1	15.000 €
Fan-coils	Unidad de techo FWD12TN	1.284 €	4	5.136 €
instalación sistema de climatización	instalación de las máquinas, conductos, embocaduras	1.400 €	1	1.400 €
				34.252 €

Sistema de aerotermia con fotovoltaica

Para los precios de los elementos se ha acudido a los catálogos de los fabricantes, y para tomar un precio orientativo de la instalación se ha acudido a Energanova, empresa especialista en bombas de calor y autoconsumo fotovoltaico, que ha facilitado los costes medios de instalación de los sistemas.

Tabla 36: Presupuesto aerotermia con fotovoltaica

Elemento	Descripción	Precio unitario	Unidades	Total
Bomba de calor aerotérmica	Bomba de calor aerotermia Thermia Bibloc 16M	6.066 €	1	6.066 €
Depósito ACS	Depósito ACS Thermia MTG-200L	1.340 €	1	1.340 €
Fan-coils	Unidad fanciaol de techo FG-68CM	498 €	4	1.992€
Placas fotovoltaicas	Panel solar 340W 24V Policristalino ERA	133 €	10	1.330 €
Baterías	Baterías cpzs cynetic 1500Ah 12V	1.498 €	4	5.992 €
Regulador	Regulador Seguidor MPPT 80C de Atersa	568 €	4	2.272 €
Inversor	Inversor Kostal Plenticore Plus 5.5kW	1.692 €	1	1.692 €
Estructura Soporte	Estructura Cubierta 2 Paneles	80 €	5	400 €
Otros complementos	Cableado, materiales, etc.	100 €	1	100 €
Instalación aerotermia + ACS	Precio orientativo	900 €	1	900 €
Instalación fotovoltaica	Precio orientativo	900 €	1	900 €
instalación sistema de climatización	Precio orientativo	900 €	1	900 €
				23.884 €

Captadores solares para ACS, máquina de absorción y apoyo de caldera de gas

El precio de la máquina de absorción se ha fijado teniendo en cuenta un precio medio en España de la máquina de absorción y su instalación de 15.000 – 20.000 € por 10kW. En cuanto a los colectores solares y sus complementos, los precios se han obtenido de la página web de Astersa. Por último, los costos de las instalaciones se han basado en el presupuesto del caso anterior.

Tabla 37: Presupuesto sistema de colectores solares

Elemento	Descripción	Precio unitario	Unidades	Total
ClimateWell 10 + instalación	Precio de la de la máquina de absorción y su instalación	15.000 €	1	15.000 €
Depósito ACS	Depósito ACS Thermia MTG-200L	1.340 €	1	1.340 €
Fan-coils	Unidad fan-coil de techo FG-68CM	498 €	4	1.992 €
Colectores solares	Colectores modelo NEO24 de Astersa	643 €	12	7.716 €
Estructura soporte	Estructura para colectores solares	65 €	12	780 €
Otros complementos	Cableado, materiales, etc.	200 €	1	200 €
Instalación sistema de captadores	Precio orientativo	1.200 €	1	1.200 €
Instalación sistema de climatización	Precio orientativo	900 €	1	900 €
				29.128 €

A continuación, se presenta una comparativa entre el coste inicial de los tres sistemas estudiados:

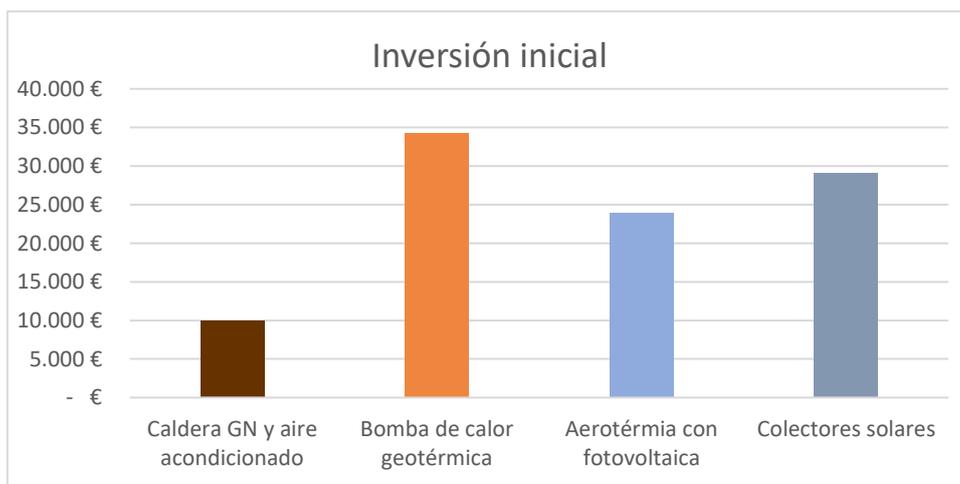
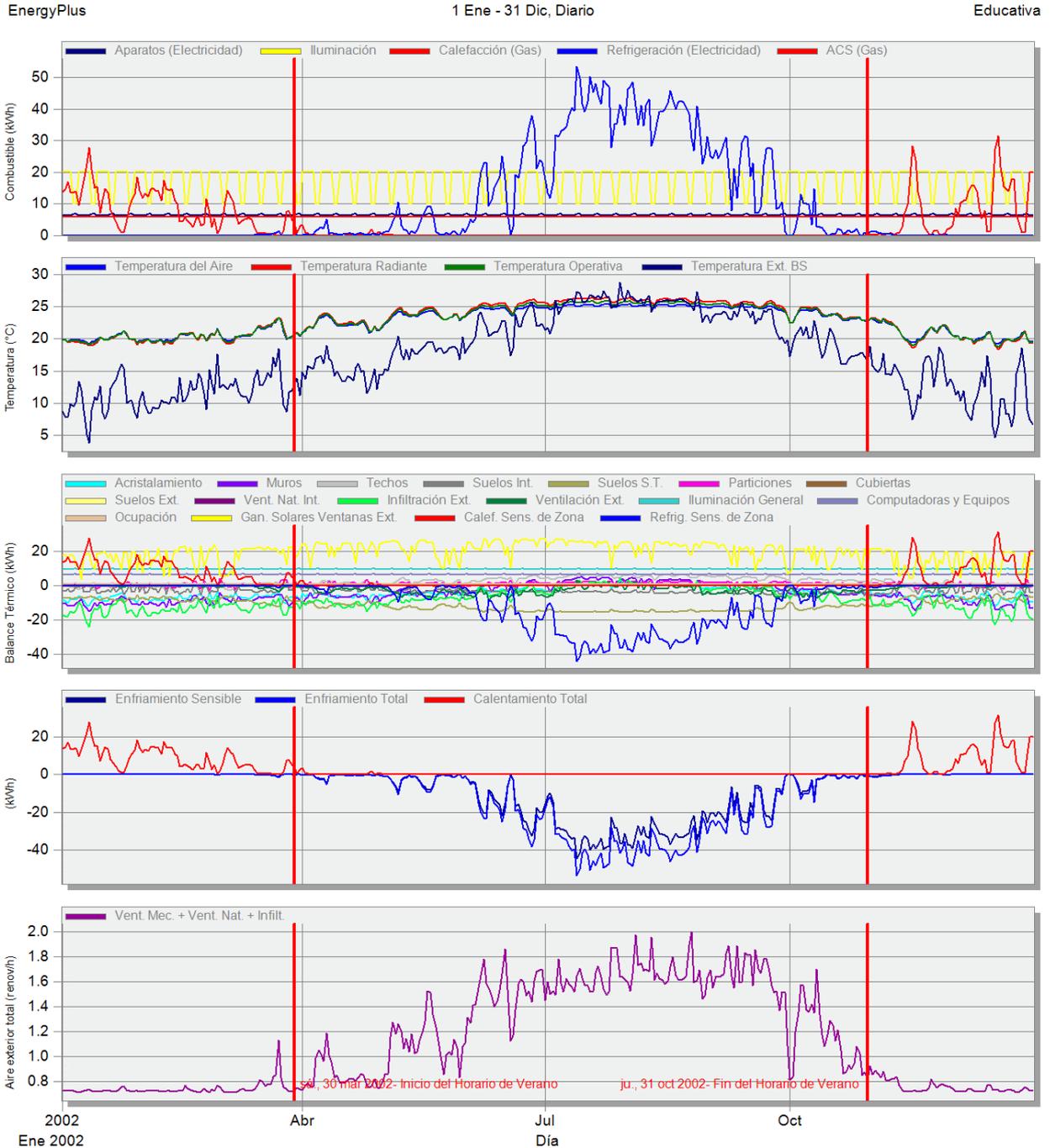


Figura 56: Comparativa entre costes de inversión

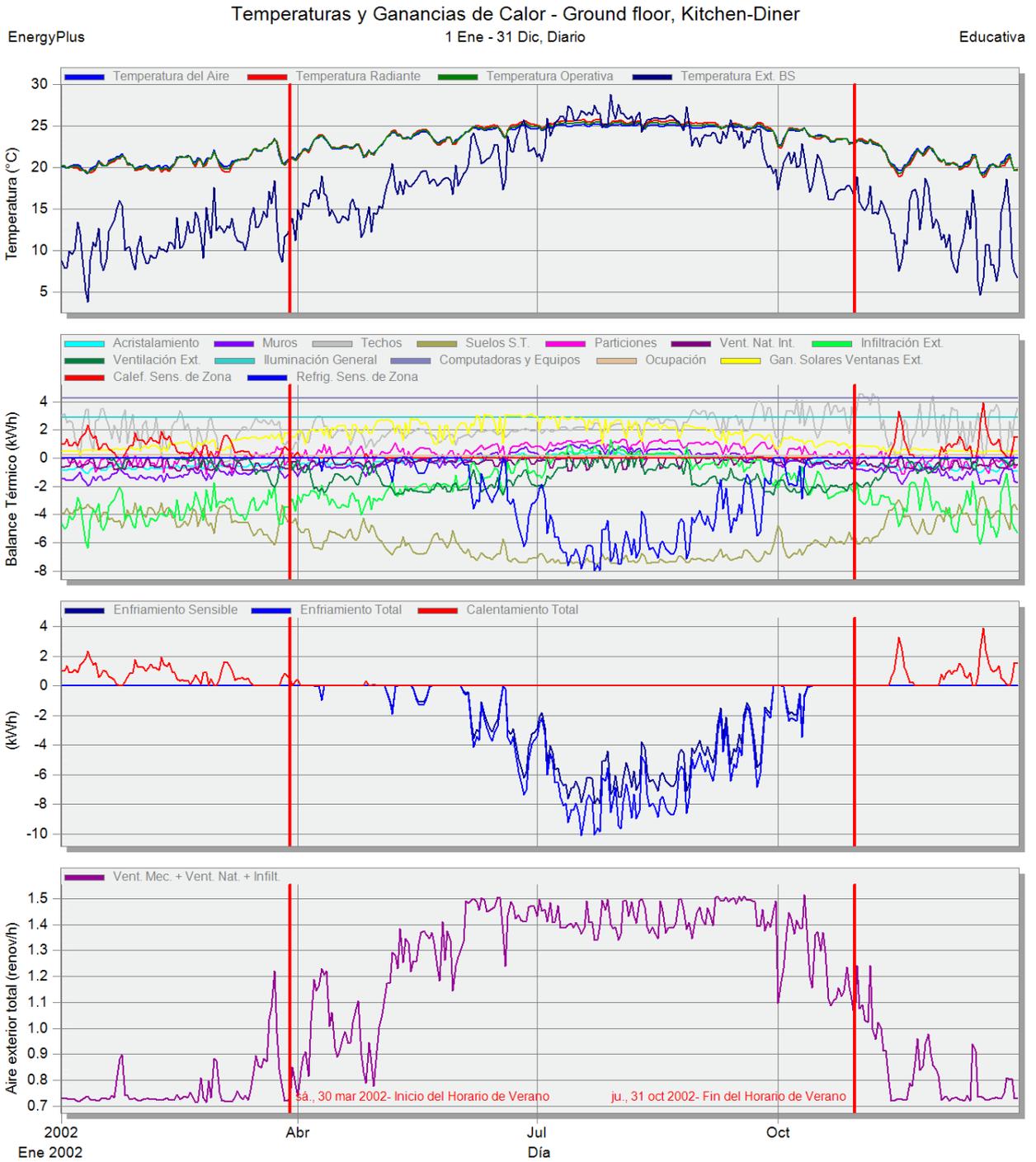
Anexo 1: Resultados Design Builder

Demanda anual

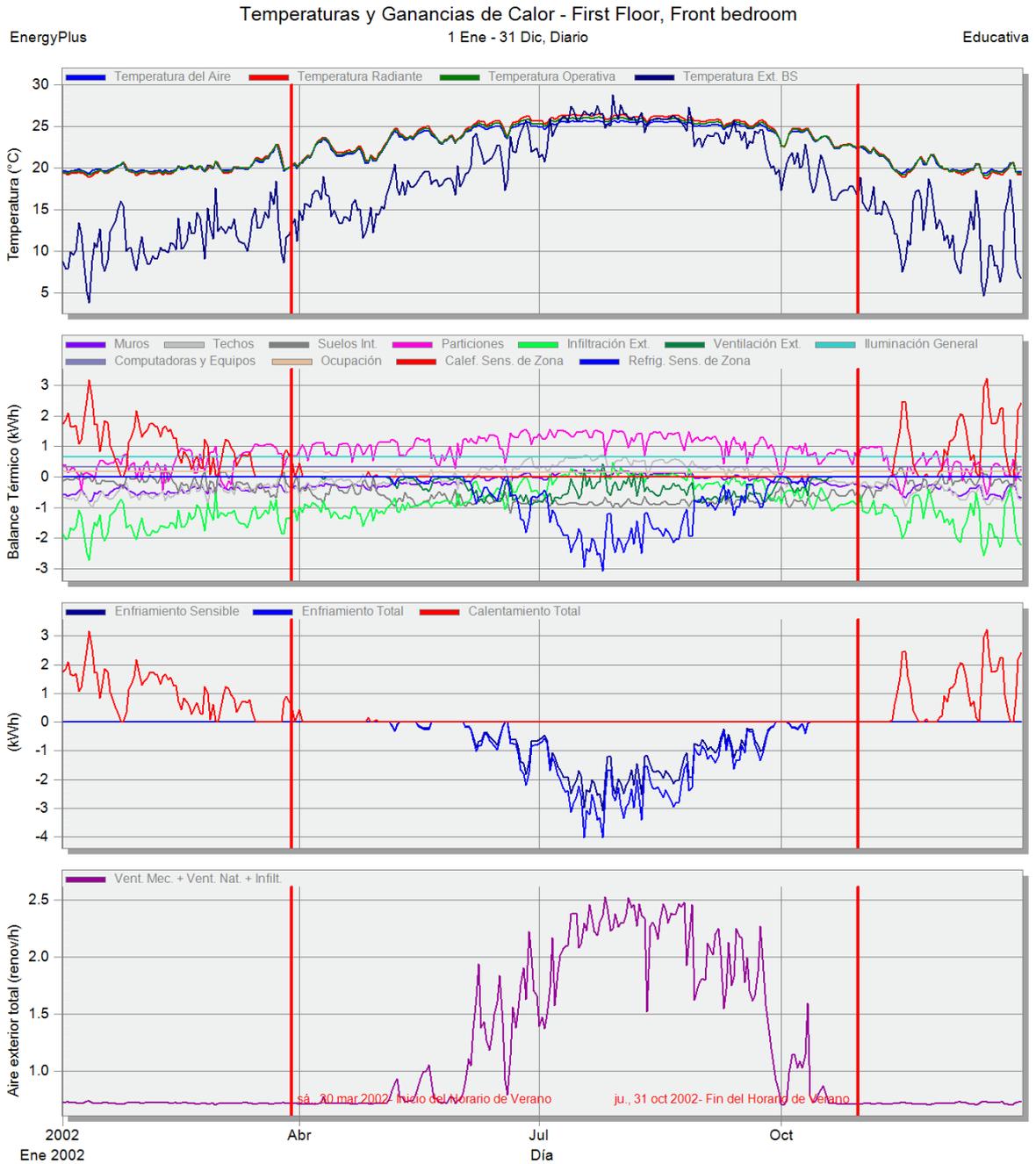
General



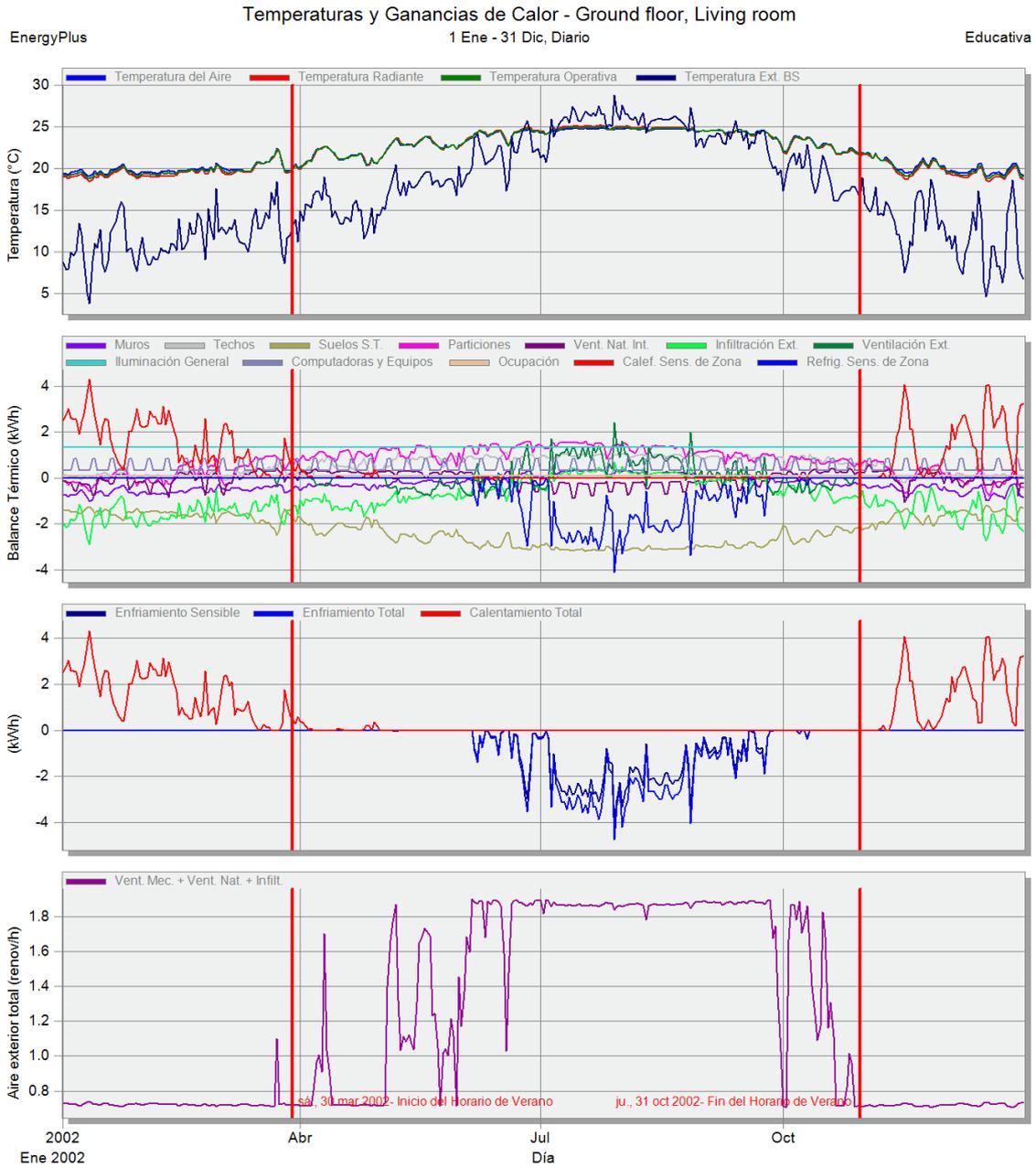
Cocina



Habitación principal

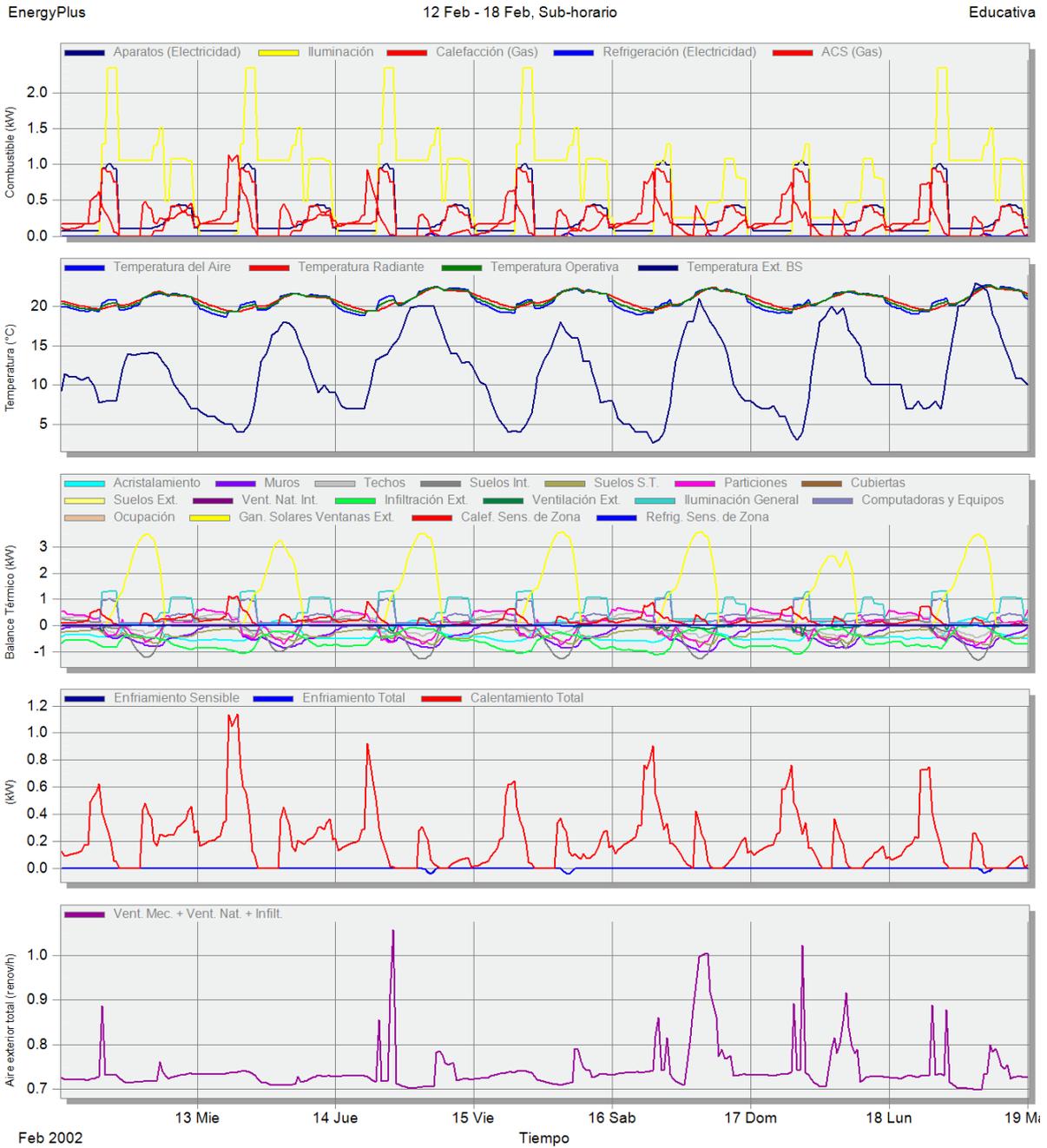


Comedor

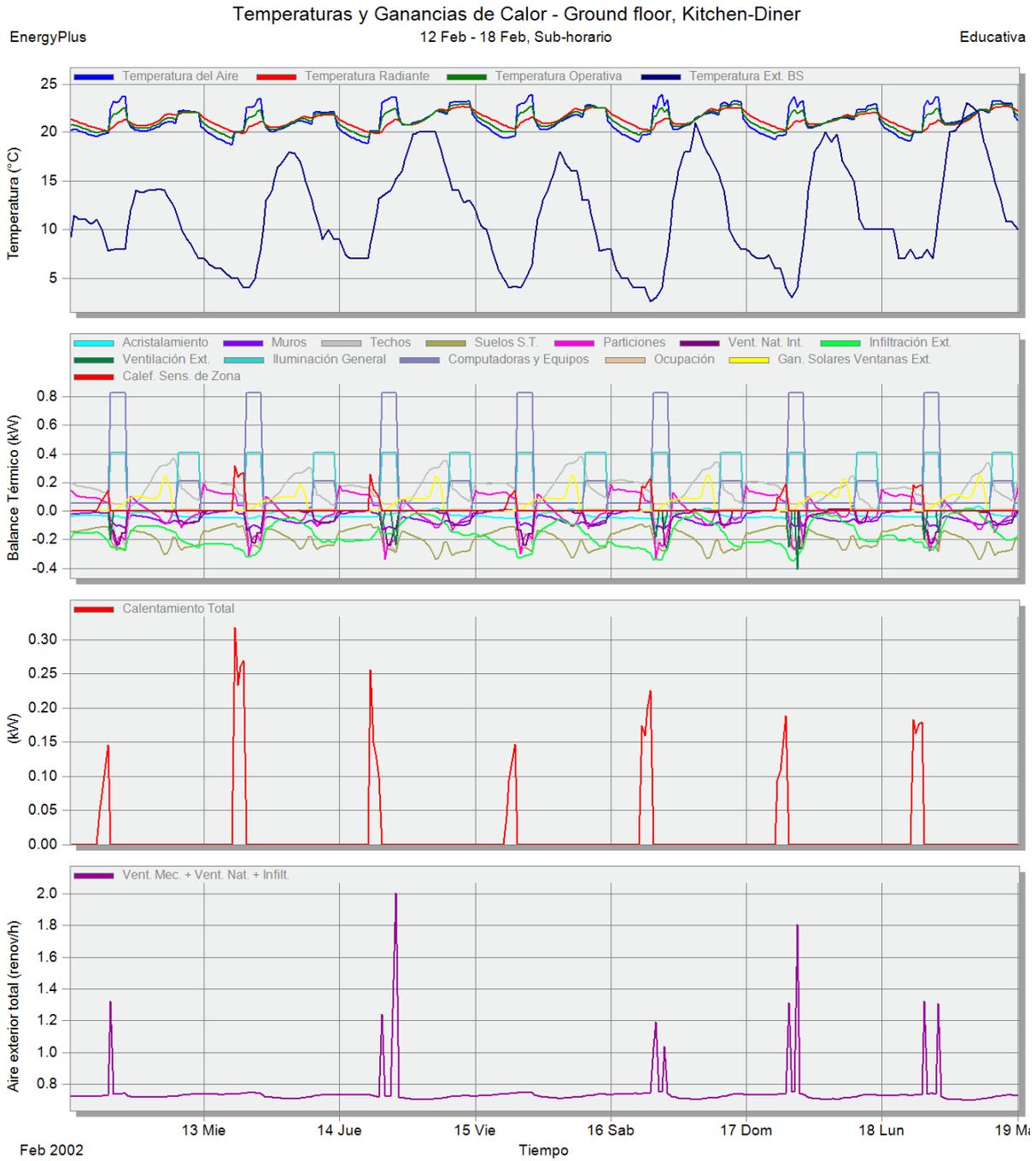


Semana típica invierno

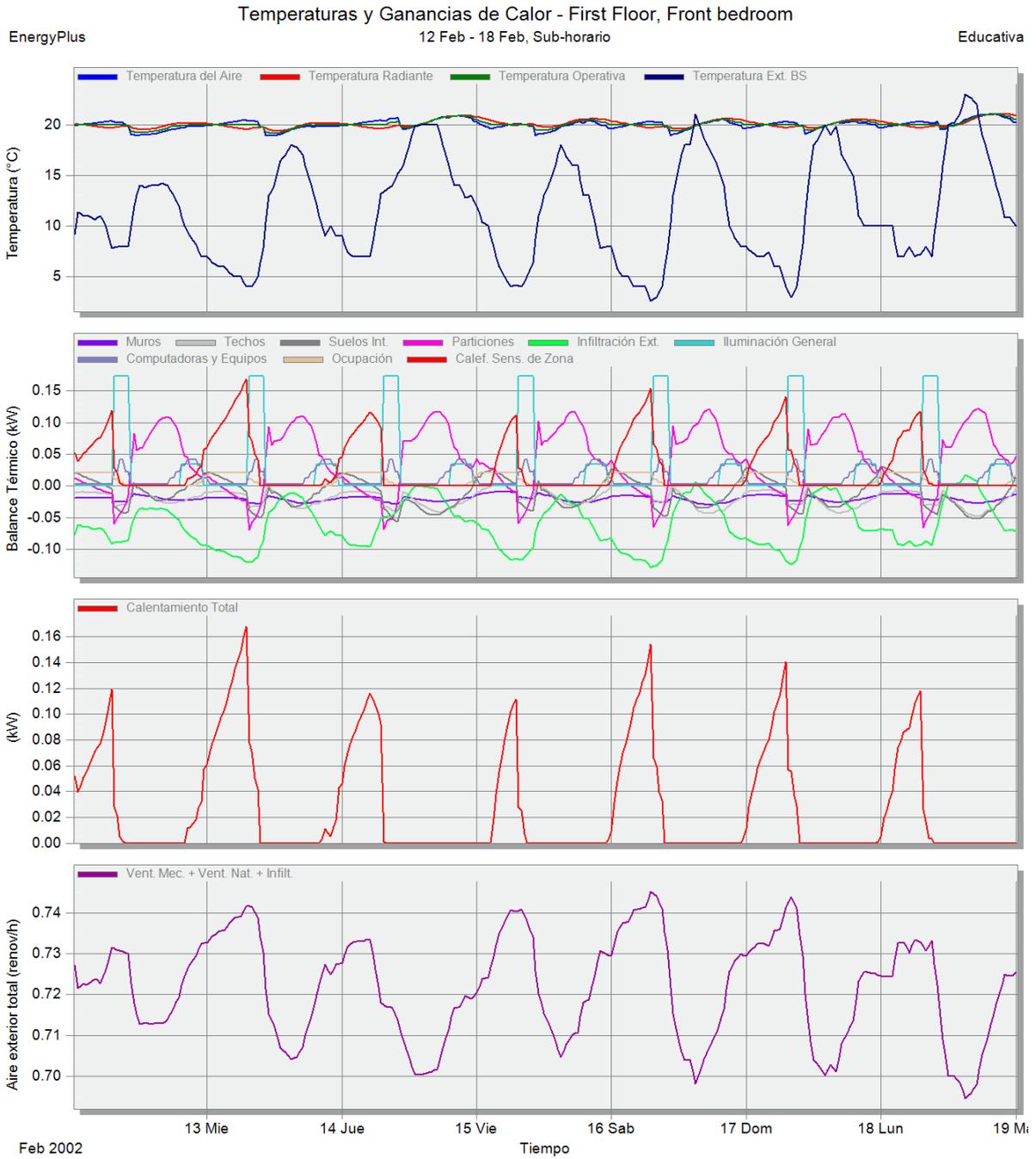
General



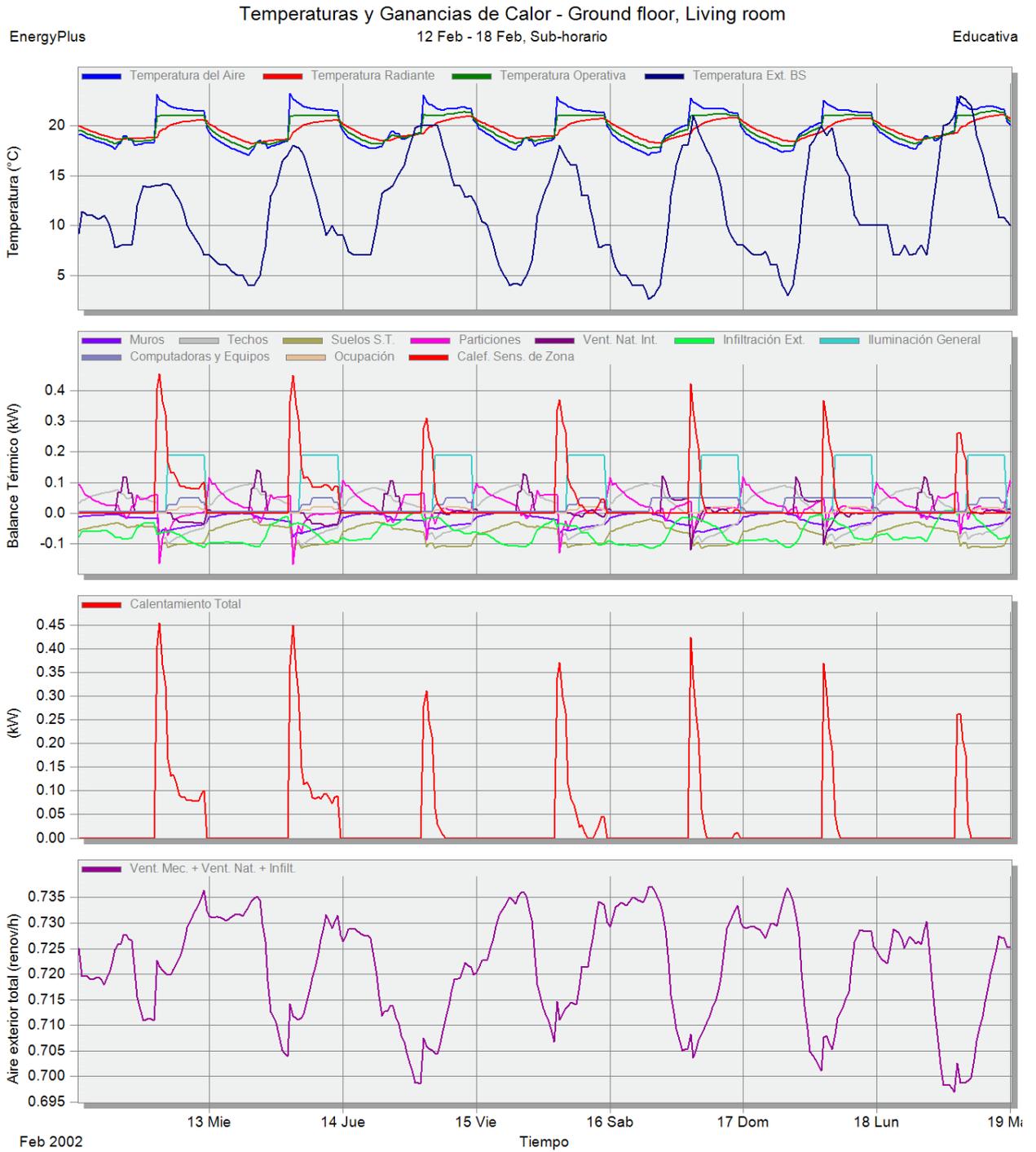
Cocina



Habitación principal

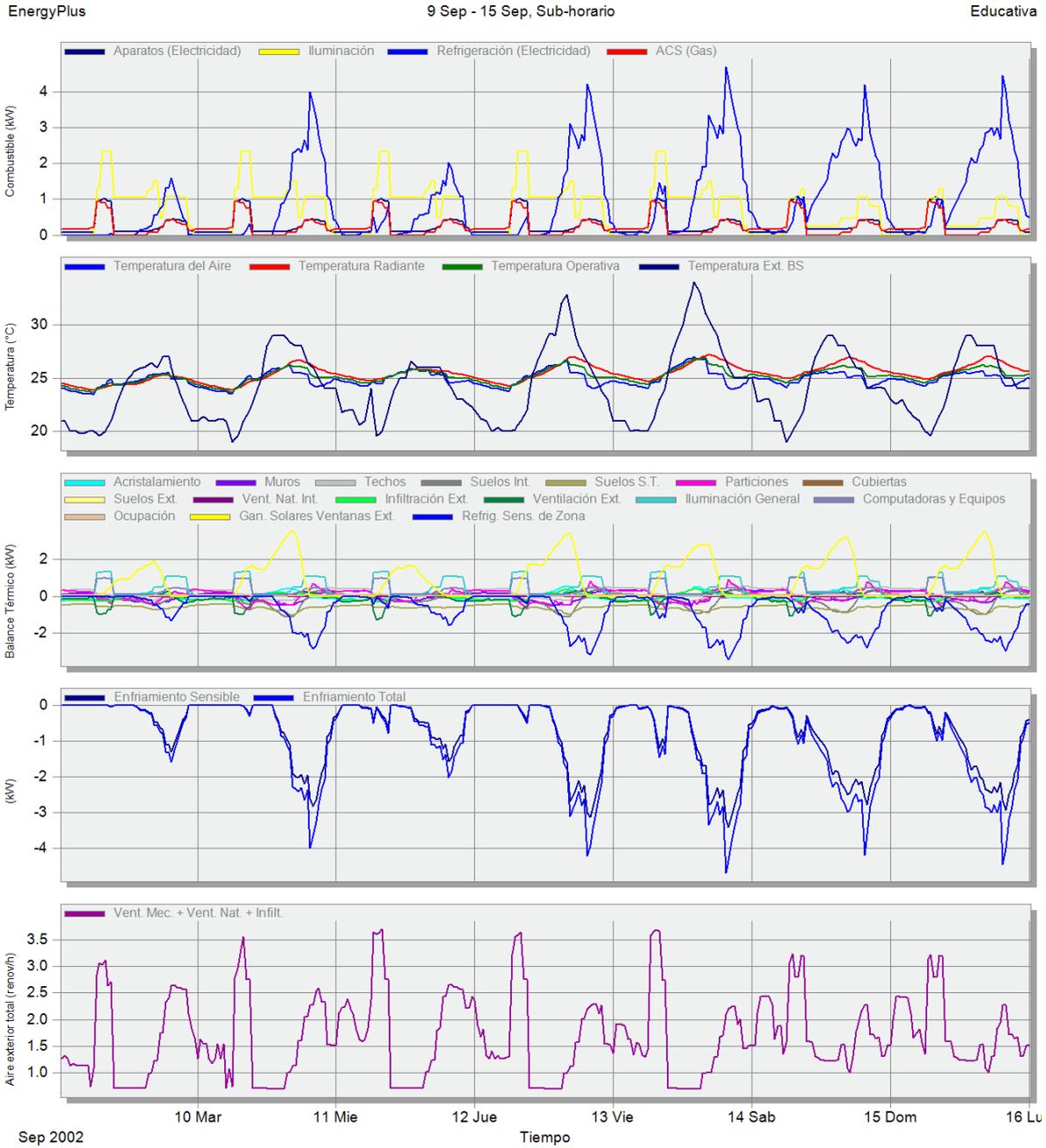


Comedor

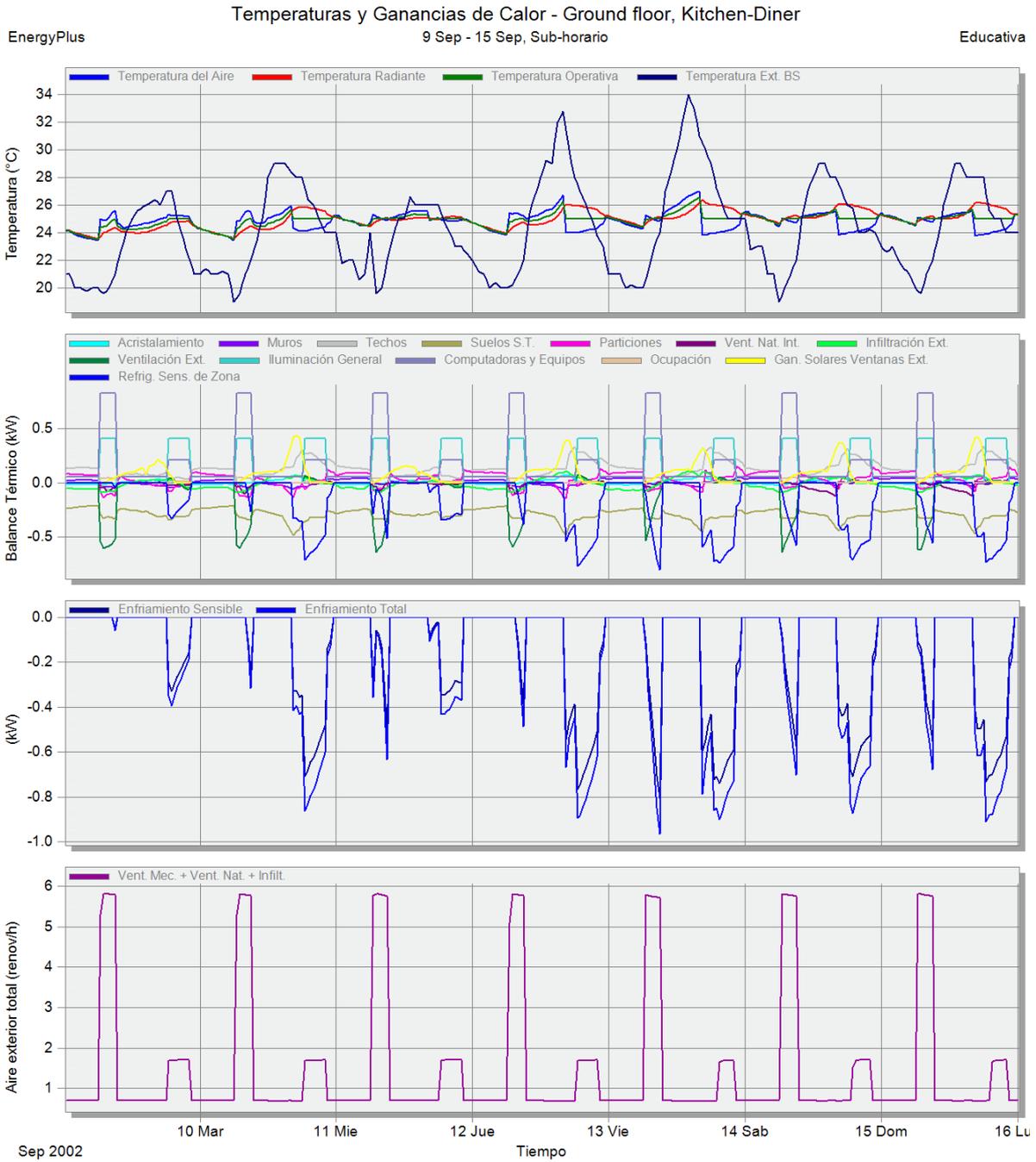


Semana típica verano

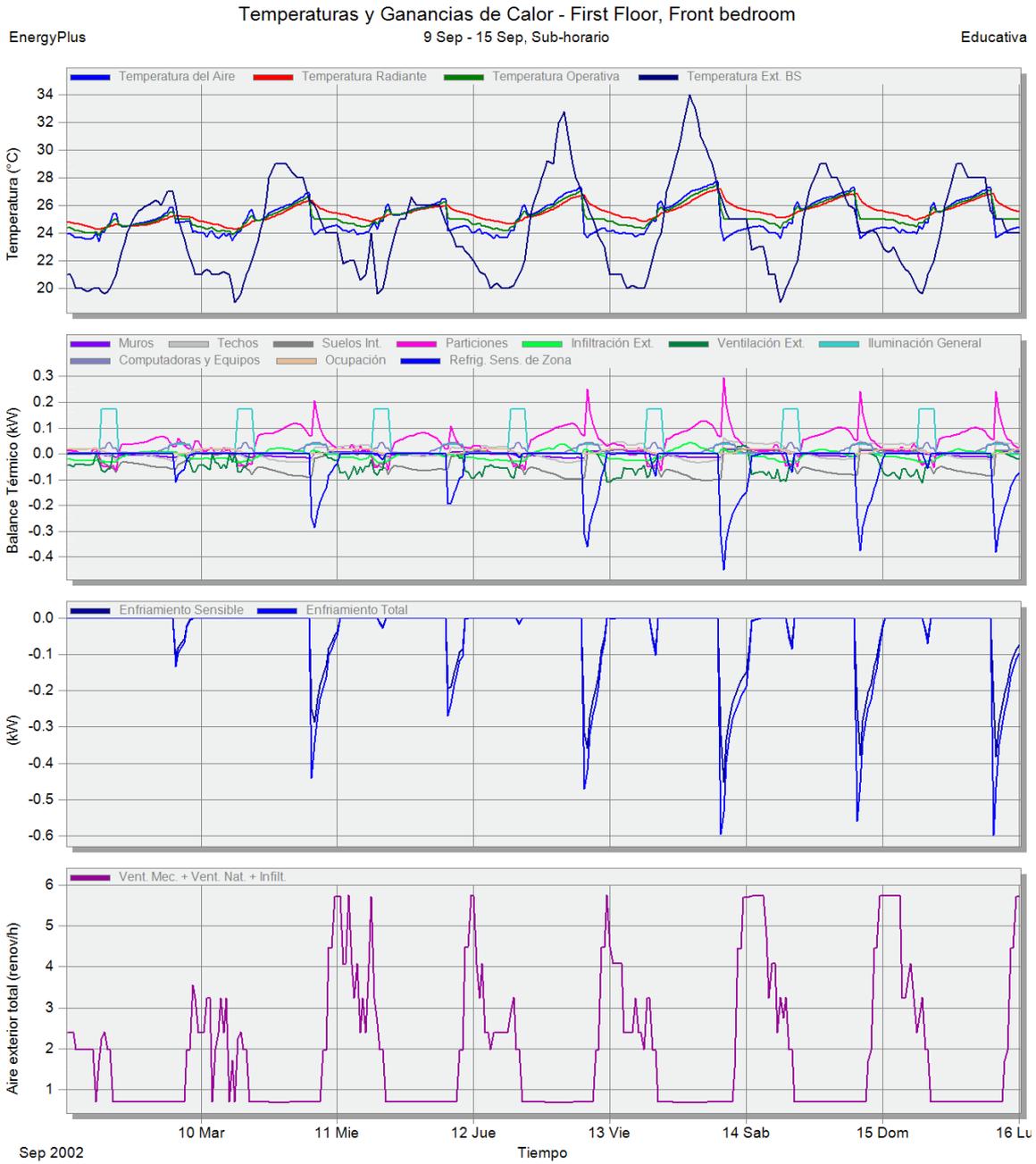
General



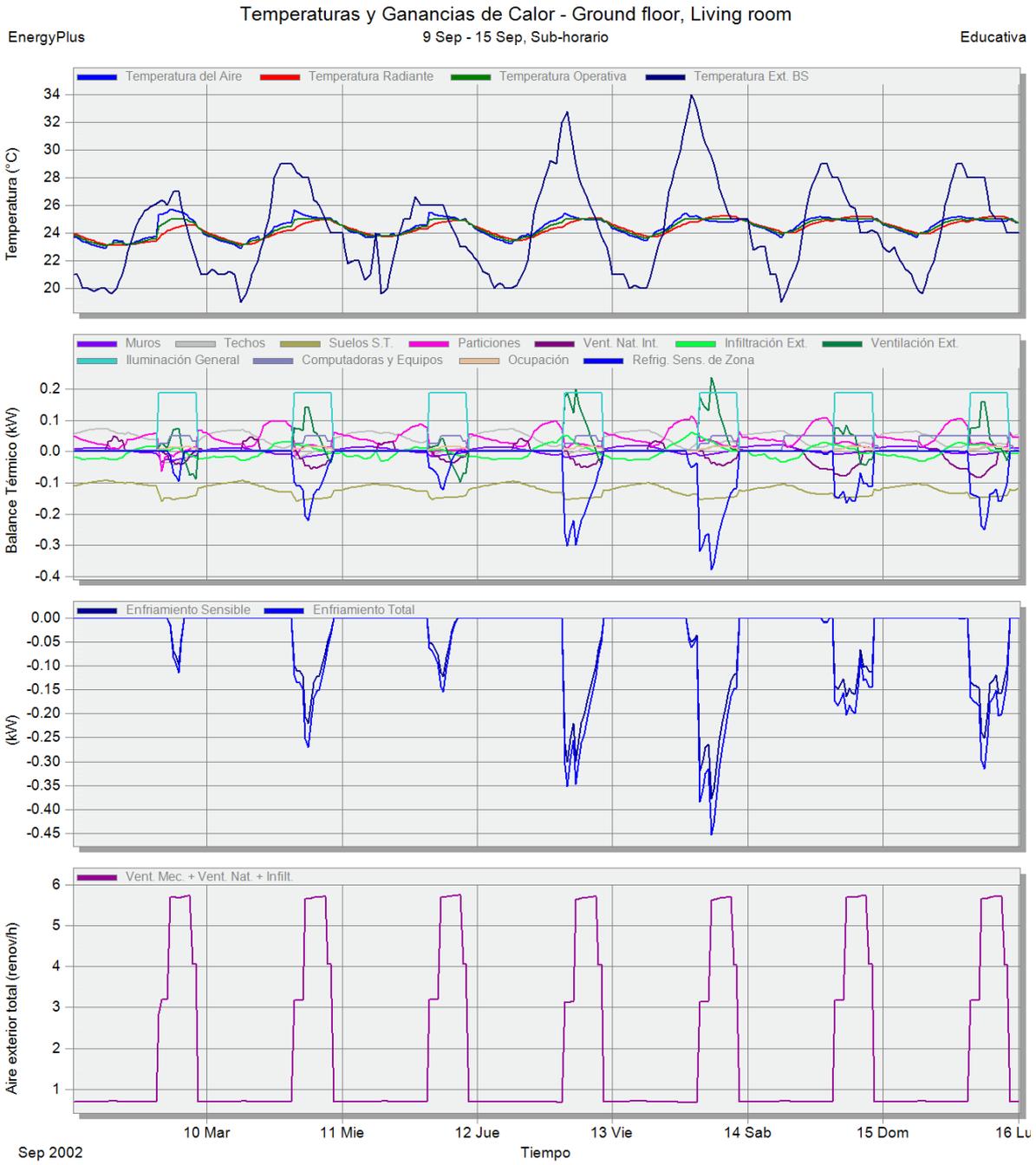
Cocina



Habitación principal



Comedor



Anexo 2: Cargas de la vivienda

En primer lugar, se elige si los cálculos se van a realizar para climatización o calefacción y se introducen los datos correspondientes a la localización de la vivienda, la altura sobre el nivel del mar y la estación meteorológica de referencia. También el mes en el que se va a calcular la calefacción y la refrigeración y finalmente la hora de cálculo en la cual van a aparecer los datos, aunque los cálculos son en 24 horas. En este primer caso se evaluarán las cargas de refrigeración a la hora de máxima demanda que son las 15h.

En cuanto a los datos de zona se deben especificar los datos de superficie y de zona, la aplicación y la calidad de aire interior de acuerdo con el RITE.

REFRIGERACION		Municipio	Valencia	asnm	15	Pt(Pa)	101145	ZC.HE1	B3				
Mes calefac.	Enero	Ts.ext. di	5,5	Hr(%)	73,1	OMD °C	3,1	Tm.mes	11,8	DTCiu	0	difusa%	75
Est.references	88	Valencia (ciudad)	Latitud °	39,4833	Long.Oe	0,4	Tm.anua	18,4	NPerc	1/99	asnm	11	
Mes refriger.	Julio	Ts.ext. di	31,3	Th °C	22,6	OMD °C	12,3	Tm.mes	25,8	DTCiu	0		
Mes cálculo	7	Dia	21	hora.sola	15	Tipo atmósfera	Estándar	Reflexión alrededores	Estánd				
Exteriores	Temp. °C	31,27	Hr(%)	47,7	W(kg/kg)	0,0137							
Interiores	Temp. °C	25,00	Hr(%)	50,0	W(kg/kg)	0,0099							
DATOS ZONA		Super.(m2)	Vol.(m3)	Zona	Tipo	Alfombrz %	Acris	Aplicación	IDA	Control			
Nombre	Generico	163	408	Exterior	Medio	SA	27	Residencial	Resid.	Cte_ocup.			

En cuanto a los cerramientos mediante el valor del coeficiente de transmisión de calor U (W/m^2K), el área (m^2) y el color se obtiene el calor sensible. Los valores están recogidos en la Tabla 1 de este mismo documento.

OPACOS ext	A.Neta(r)	Bruta(m2)	U(W/m2K)	color	coef.abs	Qsen (W)	Qlat (W)
Techo	132,0	132,0	0,6	Medio	0,8	579	0
N-Muro	0,0	0,0	0,5	Medio	0,8	0	0
NE-Muro	0,0	0,0	0,5	Medio	0,8	0	0
E-Muro	201,5	234,1	0,6	Medio	0,8	607	0
SE-Muro	0,0	0,0	0,5	Medio	0,8	0	0
S-Muro	0,0	0,0	0,5	Medio	0,8	0	0
SO-Muro	0,0	0,0	0,5	Medio	0,8	0	0
O-Muro	0,0	0,0	0,5	Medio	0,8	0	0
NO-Muro	0,0	0,0	0,5	Medio	0,8	0	0
Suelo	107,2	107,2	0,85			2	0
OPACOS otros	Cont.ext	Totro(°C)	z(m)	b	Ais.peri D(m)	k(W/r e(m)	
Otro Local 1	0,0	0,0	1,5	Medio	28,1	0,5	0
Otro Local 2	0,0	0,0	1,5	Medio	28,1	0,5	0
Muro Terreno	0,0	0,0	1				0
Suelo Terreno	0,0	0,0	1				0
S.Vacio sanit	0,0	0,0	1,0				0
Puentes térmicos otros	0,2				150	128	141
Puentes térmicos ventanas	0,2				0	174	0
							1329



Los cerramientos semitransparentes se evalúan de una manera similar a la anterior. En el caso de estudio no se especifica si existen accesorios como personas o cortinas, por lo que se trabaja sin esta clase de elementos. Los datos del área de las ventanas (área), el factor solar del vidrio (g), y la fracción

de marco (FM) se obtienen de los datos de la web de TABULA, mientras que el coeficiente global de transmisión del cristal y del marco (Ucristal y Umarco) se obtienen del propio Excel.

VENTANAS														Qsen (W) Qlat (W)	
Tipo	ancho(m)	alto(m)	c(m)	d(m)	e(m)	f(m)	g(m)	m(m)	n(m)	Sin accesorios					
Somb.1	Area (m2)	g	Ucristal (W/m2K)	Umarco (W/m2K)	FM	f Uacce	f Facce	Pos. Acce	% Activo	Fsombra (0 sol, 1 sombra) aleros Otros edif.					
Techo	0,0	0,75	3	3	0,3	1,00	1	Ext	0	0	0,4	0	0	0	0
N-Muro	8,3	0,75	3	3	0,3	1,00	1	Ext	0	1	0,4	689	0	0	0
NE-Muro	0,0	0,75	3	3	0,3	1,00	1	Ext	0	1	0,4	0	0	0	0
E-Muro	32,6	0,75	3	3	0,3	1,00	1	Ext	0	1	0,4	3353	0	0	0
SE-Muro	0,0	0,75	3	3	0,3	1,00	1	Ext	0	1	0,4	0	0	0	0
S-Muro	18,3	0,75	3	3	0,3	1,00	1	Ext	0	0,58	0,4	1728	0	0	0
SO-Muro	0,0	0,75	3	3	0,3	1,00	1	Ext	0	0,15	0,4	0	0	0	0
O-Muro	3,1	0,75	3	3	0,3	1,00	1	Ext	0	0,12	0,4	403	0	0	0
NO-Muro	0,0	0,75	3	3	0,3	1,00	1	Ext	0	0,25	0,4	0	0	0	0

Para las cargas internas se toma al igual que en TABULA un valor de 3 W/m² y para las cargas por ocupantes se introduce el dato de m² por ocupante, la actividad y el género.

INTERNAS		Frac.rac	Calef.(% W/m2)	% sen	Read/Transf.	Pot. Maxima (W)	Sen(W)	Lat(W)	Qsen (W) Qlat (W)		
LUCES	0	0	0		Si		0		0	0	
EQUIPOS	0,1	10	3	100			489	0	241	0	
OCUPANTE		sexo	Calef.(% m2/ocup)	Actividad	qs/per	ql/per	n.per.				
Media	1	32,6	Sentado muy ligero (oficir)	78	46	390	230	5	177	115	
VENTILACI		0	Exterior			Ts(°C)	31,27	W(kg)	0,0137	0	0
INFILTRACI		277				Ts(°C)	31,27	W(kg)	0,0137	565	841

Con todos estos datos que se ha introducido el Excel se obtiene que para la hora de cálculo (15h) se obtiene la carga máxima y ésta asciende a 10,337 kW.

										Qsens (W)	Qlat (W)	
MAYORAC.%	Sensible	10	Latente	5	W/m2	63,42	Total (W)	10337	FCS	0,9029	9334	1004
Hora max.sen.	15				W/m2	63,42	Total (W)	10337	FCS	0,9029	9334	1004

Para el cálculo de las cargas de calefacción se sigue el mismo procedimiento que el de cargas por refrigeración, siendo la hora de máxima demanda de calefacción las 7h:

CALEFACCION		Municipi	Valencia	asnm	15	Pt(Pa)	101145	ZC.HE1	B3				
Mes calefac.	Enero	Ts.ext. d	5,5	Hr(%)	73,1	QMD °C	3,1	Tm.me	11,8	DTCi	0	difusa%	75
Est.referencia	88	Valencia (ciudad)	Latitud °	39,4833	Long. O	0,4	Tm.anu	18,4	NPerc	199	asnm	11	
Mes refriger.	Julio	Ts.ext. d	31,3	Th °C	22,6	QMD °C	12,3	Tm.me	25,8	DTCi	0		
Mes cálculo		Dia	21	hora.sol.	7	Tipo atmósfera	Estándar	Reflexión alrededores	Estándar				
Exteriores	Temp. °C	5,47	Hr(%)	73,2	W(kg/kg)	0,0041							
Interiores	Temp. °C	20,00	Hr(%)	40,0	W(kg/kg)	0,0058							

DATOS ZONA		Super.(m²)	Vol.(m³)	Zona	Tipo	Alfombi %	Acris	Aplicación	IDA	Control
Nombre	Generico	163	408	Exterior	Medio	SA	27	Residencial	Resid.	Cte_ocup.

OPACOS		A.Neta(m²)	Bruta(m²)	U(W/m²K)	color	coef.abs	Ais.pe		D(m)	k(W/m e(m))	Qsen (W Qlat (V)
Techo		132,0	132,0	0,61	Medio	0,8					-1004
N-Muro		0,0	0,0	0,5	Medio	0,8					0
NE-Muro		0,0	0,0	0,5	Medio	0,8					0
E-Muro		201,5	234,1	0,6	Medio	0,8					-1554
SE-Muro		0,0	0,0	0,5	Medio	0,8					0
S-Muro		0,0	0,0	0,5	Medio	0,8					0
SO-Muro		0,0	0,0	0,5	Medio	0,8					0
O-Muro		0,0	0,0	0,5	Medio	0,8					0
NO-Muro		0,0	0,0	0,5	Medio	0,8					0
Suelo		107,2	107,2	0,85							-1177
OPACOS otros		Cont.ext	Totro(°C)	z(m)	b	Ais.pe		D(m)	k(W/m e(m))		
Otro Local 1		0,0	0,0	1,5	Medio	12,7		0,5			0
Otro Local 2		0,0	0,0	1,5	Medio	12,7		0,5			0
Muro Terreno		0,0	0,0	1							0
Suelo Terreno		0,0	0,0	1							0
S.Vacio sanit		0,0	0,0	1,0							0
Puentes térmicos otros				0,2		150	128				-427
Puentes térmicos ventanas				0,2		0	174				0
											-4162



VENTANAS		ancho(m)	alto(m)	c(m)	d(m)	e(m)	f(m)	g(m)	m(m)	n(m)	Qsen (W Qlat (V)		
Tipo	Somb. 1	2,50	1,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Sin accesorios		
		Area (m²)	g	Ucristal (W/m²K)	Umarco (W/m²K)	FM	f Uacce	f Facce	Pos. Acce	% Activo	Fsombra (0 sol, 1 sombra)	aleros	Otros edif.
Techo		0,0	0,75	3	3	0,3	1,00	1	Ext	0	0	0,4	0
N-Muro		8,3	0,75	3	3	0,3	1,00	1	Ext	0	0	0,4	-341
NE-Muro		0,0	0,75	3	3	0,3	1,00	1	Ext	0	0	0,4	0
E-Muro		32,6	0,75	3	3	0,3	1,00	1	Ext	0	0	0,4	-1338
SE-Muro		0,0	0,75	3	3	0,3	1,00	1	Ext	0	0	0,4	0
S-Muro		18,3	0,75	3	3	0,3	1,00	1	Ext	0	0	0,4	-751
SO-Muro		0,0	0,75	3	3	0,3	1,00	1	Ext	0	0	0,4	0
O-Muro		3,1	0,75	3	3	0,3	1,00	1	Ext	0	0	0,4	-127
NO-Muro		0,0	0,75	3	3	0,3	1,00	1	Ext	0	0	0,4	0

INTERNAS		Frac.rac	Calef.(% W/m²)	% sen	ReadTransf.	Pot. Maxima (w Sen(W)	Lat(W)	Qsen (W Qlat (W)				
LUCES		0	0	0	Si		0	0				
EQUIPOS		0,1	10	3	100		489	11				
OCUPANTE		sexo	Calef.(% m²ocup	Actividad	qsper	qlper	n.per.					
Media		1	32,6	Sentado muy ligero (oficir	94	30	5	2				
VENTILACION		0	Exterior				Ts(°C)	5,47	W(kg	0,0041	0	0
INFILTRACION		277					Ts(°C)	5,47	W(kg	0,0041	-1426	-422

Con todos estos datos que se ha introducido el Excel se obtiene que para la hora de cálculo (7h) se obtiene la carga máxima y ésta asciende a -9,38 kW.

									Q sen (W)	Qlat (W)
MAYORAC.								FC	0,952	
%	Sensible	10	Latente	5	W/m2	57,60	Total (W)	S	8	-8946
Hora								FC	0,952	
max.sen.	7				W/m2	-57,6	Total (W)	S	8	-8946

Anexo 3: Bomba de calor geotérmica

Bomba de calor geotérmica

ecoGEO COMPACT 3-12 kW



- ▲ Control de potencia modulante en un amplio rango (25-100%) y control de caudal modulante en los circuitos de captación y producción (20-100%)
- ▲ Diseño compacto que incluye circuladoras de captación y producción, vasos de expansión de 8 y 12 litros para captación y producción respectivamente
- ▲ Sistema de recuperación de alta temperatura (HTR) para la producción de calefacción/refrigeración y ACS hasta 70 °C de forma simultánea sin apoyo eléctrico
- ▲ Gestión integrada de hasta 4 temperaturas de impulsión diferentes, 2 acumuladores de inercia (1 calefacción y 1 refrigeración), 1 acumulador de ACS, 1 piscina y control horario de la recirculación de ACS
- ▲ Gestión integrada de unidades de captación aerotérmicas modulantes, tanto en sistemas de captación aerotérmicos como en sistemas de captación híbridos geotérmico-aerotérmico
- ▲ Gestión integrada de equipos de apoyo externos auxiliares todo/nada o modulantes, por ejemplo resistencias eléctricas o calderas
- ▲ Gestión integrada de bloque de hasta 3 bombas de calor en cascada
- ▲ Contadores de energía integrados para consumo eléctrico, producción térmica de calor/frío y rendimientos instantáneos y estacionales mensual y anual



DATOS TÉCNICOS		Uds.	C1 3-12	C2 3-12	C3 3-12	C4 3-12
Aplicación	Lugar de instalación	-	Interior	Interior	Interior	Interior
	Tipo de sistema de captación	-		Geotérmico/Aerotérmico/Híbrido		
	Calefacción	-	✓	✓	✓	✓
	Depósito de ACS de acero inoxidable de 165 litros	-	✓	✓	✓	✓
	Sistema recuperación de alta temperatura HTR	-	Opcional	Opcional	✓	✓
	Refrigeración activa integrada	-			✓	✓
	Refrigeración pasiva integrada	-		✓	✓	✓
	Control de refrigeración pasiva externa	-	✓	✓	✓	✓
Resistencia eléctrica auxiliar integrada	-	Opcional	Opcional	Opcional	Opcional	
Prestaciones	Rango de modulación del compresor	%	25 a 100	25 a 100	25 a 100	25 a 100
	Potencia de calefacción ¹ , B0W35	kW	3 a 14	3 a 14	3 a 14	3 a 14
	COP ¹ , B0W35	-	4,6	4,6	4,6	4,6
	Potencia refrigeración activa ¹ , B35W7	kW	--	--	4 a 16	4 a 16
	EER ¹ , B35W7	-	--	--	5,5	5,5
	Potencia refrigeración pasiva ² , B16W19/B16W23	kW	--	4/9,3	--	4/9,3
	Temperatura ACS máxima sin apoyo	°C	58	58	58	58
	Tasa de calentamiento de ACS sin apoyo	°C/min	1,25	1,25	1,25	1,25
Temperatura ACS máxima con apoyo ³	°C	70	70	70	70	
Nivel de emisión sonora ⁴	dB	35 a 45	35 a 45	35 a 45	35 a 45	
Límites de operación	Etiqueta energética con control clima medio	-	A+++	A+++	A+++	A+++
	Temperatura de impulsión a calefacción	°C	20 a 60	20 a 60	20 a 60	20 a 60
	Temperatura de impulsión a refrigeración	°C	4 a 35	4 a 35	4 a 35	4 a 35
	Temperatura de retorno de captación	°C	-10 a 35	-10 a 35	-10 a 35	-10 a 35
	Presión del circuito refrigerante	bar	2 a 45	2 a 45	2 a 45	2 a 45
	Presión del circuito de producción	bar	0,5 a 3	0,5 a 3	0,5 a 3	0,5 a 3
Fluidos de trabajo	Tipo de refrigerante/Carga de refrigerante	kg	R410A/1,35	R410A/1,35	R410A/1,50	R410A/1,50
	Tipo de aceite del compresor/Carga de aceite	kg	POE/1,18	POE/1,18	POE/1,18	POE/1,18
	Anticongelante recomendado circuito captación ⁵	-	Propilenglicol	Propilenglicol	Propilenglicol	Propilenglicol
	1/N/PE 230 V / 50-60 Hz	-	✓	✓	✓	✓
Datos eléctricos Monofásica	Protección externa máxima recomendada ⁶	A	C25A	C25A	C25A	C25A
	Consumo máximo ¹ , B0W35	kW/A	3,3/14,4	3,3/14,4	3,3/14,4	3,3/14,4
	Consumo máximo ¹ , B0W55	kW/A	5,1/22,4	5,1/22,4	5,1/22,4	5,1/22,4
	Intensidad de arranque	A	6,8	6,8	6,8	6,8
	Corrección de coseno φ	-	0,96-1	0,96-1	0,96-1	0,96-1
Dimensiones y peso	Alto x ancho x profundidad	mm	1804 x 600 x 710	1804 x 600 x 710	1804 x 600 x 710	1804 x 600 x 710
	Peso en vacío (sin carcasa)	kg	246	254	246	254
Otros datos	Tiempo de inversión de ciclo	Min y seg	--	--	1' 15"	1' 15"

- 1) Conforme a EN 14511, incluyendo el consumo de las bombas de circulación y del Inverter.
- 2) Considerando caudales en los circuitos de captación y producción de 2500 l/h
- 3) Considerando un apoyo con el sistema HTR o con resistencia eléctrica auxiliar. La T³ máxima de ACS con el sistema HTR puede estar limitada por la T² de descarga del compresor.
- 4) Conforme a EN 12102.
- 5) Consultar siempre las regulaciones locales antes de utilizar el medio anticongelante.
- 6) El consumo máximo puede variar significativamente con las condiciones de trabajo, o si se limita el rango de operación del compresor.

Sistema de captación

Sistema de sondas geotérmicas

Sondas verticales ALB GEROtherm® PE100

Sistema de sondas dobles para instalación vertical fabricadas en base a polietileno de alta densidad PE100, relación de diámetros SRD11 y PN16. La unión inferior en U es soldada en fábrica mediante proceso certificado según VDI 4640, pieza donde se ubica el correspondiente peso.

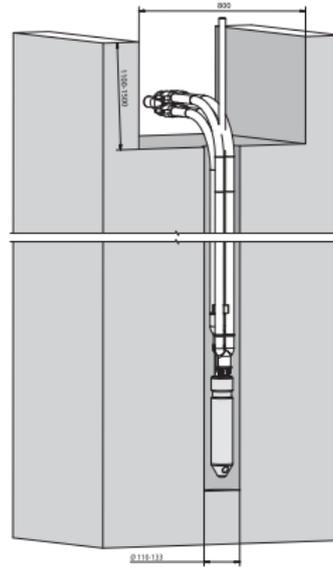
Forma de suministro:

El conjunto de par de sondas se entrega paletizado en rollos y listo para el montaje.

Características:

Rango de trabajo: PN16, temperaturas -20°C a +45°C.

Color: negro.



Código	Descripción	Diámetro (mm)	Longitud (m)	Peso (kg)	PVP
71000	Sonda geotermia vertical ALB GEROtherm® 4x32mm HSS 80m	32x2.9	80	92	511,200 €
71001	Sonda geotermia vertical ALB GEROtherm® 4x32mm HSS 90m	32x2.9	90	104	559,800 €
71002	Sonda geotermia vertical ALB GEROtherm® 4x32mm HSS 100m	32x2.9	100	115	608,400 €

Tubo de inyección

A utilizar conjuntamente con las sondas verticales. Fabricado en base a polietileno de alta densidad PE100, relación de diámetros SDR11 y PN16. Facilita la operación de llenado del pozo mediante la inyección en sentido ascendente del material de relleno, bentonita o similar.

Forma de suministro:

Se entrega paletizado en rollos juntamente con el par de sondas verticales correspondiente.

Características:

Color: negro con 4 bandas rojas, Ø25x2.3

negro con 4 bandas verdes, Ø32x2.9



Código	Descripción	Diámetro (mm)	Longitud (m)	Peso (kg)	PVP
71400	Tubo inyección Ø25x2,3mm 80m	25x2.3	80	13.76	58,00 €
71401	Tubo inyección Ø25x2,3mm 90m	25x2.3	90	15.48	66,00 €
71402	Tubo inyección Ø25x2,3mm 100m	25x2.3	100	17.20	73,00 €

Peso

Facilita la colocación de la sonda vertical en el orificio perforado. La fijación a la sonda se realiza con 4 anillos de seguridad STARLOCK de Ø10 incluidos en el suministro. Este sistema permite montar desplazados los dos pares de tubos de la sonda doble U. El peso dispone de un orificio inferior para poder fijar pesos suplementarios.

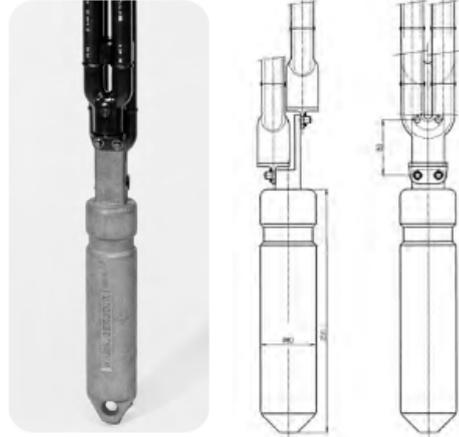
Forma de suministro:

Individual.

Características:

Material: acero.

Color: rojo/grís.



Código	Descripción	Diámetro (mm)	Longitud (m)	Peso (kg)	PVP
71150	Peso sonda geotermia 4x32mm	Ø80	395	12,5	52,80 €
71151	Peso sonda geotermia 4x40mm	Ø94	535	24	100,80 €

Guía de montaje

Es una ayuda de montaje para introducir las sondas geotérmicas en los orificios de perforación mediante el uso de varillas de acero corrugado o similar, función de empuje.

Forma de suministro:

Individual.

Características:

Material: PE negro.

Ø32 posibilidad paralelo/decalado.

Ø40 posibilidad paralelo.



Código	Descripción	Dimensiones (mm)	Peso (g)	PVP
71200	Guía montaje sonda 4x32 decalado	74x65x30	48	27,20 €
71201	Guía montaje sonda 4x32 paralelo	72x70x30	55	27,20 €
71202	Guía montaje sonda 4x40 paralelo	86x80x30	62	27,20 €

Distanciador

Es una ayuda de montaje para mantener la separación entre los tubos de la sonda.
Distancia aconsejada 5-10m.



Ø32

Ø40

Forma de suministro:

Individual.

Características:

Material: PE negro.

Código	Descripción	Dimensiones (mm)	Peso (g)	PVP
71204	Distanciador para sonda 4x32	115x44x25	50	6,40 €
71205	Distanciador para sonda 4x40	138x50x30	55	8,00 €

Unión Y

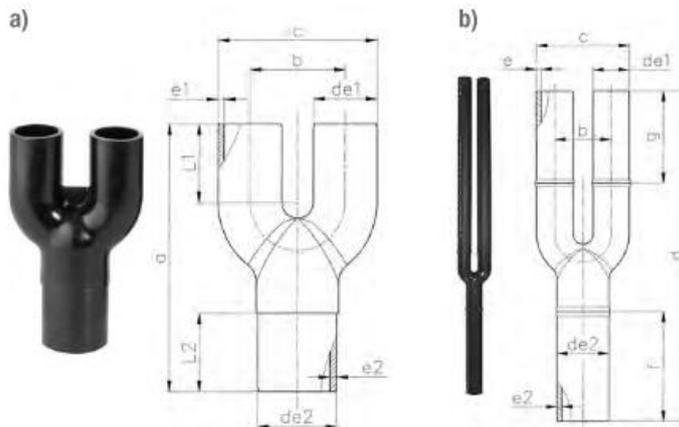
Pieza de unión doble de las sondas geotérmicas a colector, se transforma a unión única de diámetro inmediatamente superior. Posibilidad de versión prolongada. Unión por termofusión HS.

Forma de suministro:

Bolsa 2 unidades (versión simple).
Individual (versión prolongada).

Características:

Material: PE100 negro.



a)	Código	Descripción	de1 (mm)	de2 (mm)	a (mm)	b (mm)	Peso (kg)	PVP
	71206	Unión Y HS sonda 2x32-40	Ø32	Ø40	160	50	110	20,00 €
	71207	Unión Y HS sonda 2x40-50	Ø40	Ø50	170	60	140	28,00 €

Sistema aerotermia

Unidad de suelo/techo FWD

FWD04-18A*			2 tubos (° T)						4 tubos (° F)								
			04	06	08	10	012	016	018	04	06	08	10	012	016	018	
Consumo			W	234	349	443	714	1.197	234	349	443	714	1.197				
Capacidad	Capacidad de refrigeración	Capacidad total	kW	3,90	6,20	7,80	8,82	11,90	16,40	18,30	3,90	6,20	7,80	8,82	11,90	16,40	18,30
		Capacidad sensible	kW	3,08	4,65	6,52	7,16	9,36	12,80	14,10	3,08	4,65	6,52	7,16	9,36	12,80	14,10
	Capacidad de calefacción (4 tubos)	kW	4,49	6,62	9,21	15,86	21,15				4,05	7,71	9,63	10,79	14,45	19,81	21,92
Dimensiones	Al x An x Pz	mm	280	280	280	280	352	280	280	280	352	352					
			x754	x964	x1.174	x1.174	x1.384	x1.384	x754	x964	x1.174	x1.174	x1.384	x1.384			
Peso de la máquina			kg	35	43	50	52	71	83	86	33	41	47	49	65	77	80
Nivel sonoro	Potencia sonora	dBA	66	69	72	74	78	66	69	72	74	78					
	Refrigeración	kPa	17	24	16	26	34	45	17	24	16	26	34	45			
Carga de presión del agua	Calefacción	kPa	9	15	13	12	16	14	20	13	21	28	37				
	Caudal de aire	m ³ /h	800	1.250	1.600	2.200	3.000	800	1.250	1.600	2.200	3.000					
Ventilador	Presión disponible	Pa	63	53	63	59	92	138	128	66	58	68	64	97	145	134	
	Conexiones del agua	Intercambiador de calor estándar	pu/pj	3/4			1			3/4			1				
Requisitos de alimentación eléctrica			V/f/Hz	230/1/50													
Caudal de agua	Refrigeración	l/h	674	1.064	1.339	1.514	2.056	2.833	3.140	674	1.064	1.339	1.514	2.056	2.833	3.140	
	Calefacción	l/h	674	1.064	1.339	1.514	2.056	2.833	3.140	349	581	808	1.392	1.856			

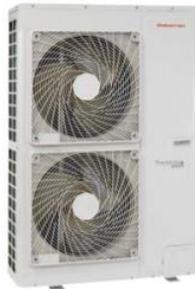
* : T (2 tubos) - F (4 tubos)

UNID. DE SUELO TECHO SIN ENVOLVENTE CON ALTA PRESIÓN DISPONIBLE (2 TUBOS / 4 TUBOS)			FWD04	FWD06	FWD08	FWD10	FWD12	FWD16	FWD18
Capacidad (2 tubos) (A)	Total Refrig.	kW	3,83	5,78	7,64	8,48	11,82	16,98	18,78
	Sensible Refrig.	kW	3,01	4,32	6,34	6,83	9,26	13,26	14,49
	Calefacción	kW	4,89	7,42	9,47	10,65	14,68	20,9	22,91
Consumo Total (A)	W	177	274	315	325	530	991	1.001	
Presión estática disponible	Pa	75	75	75	75	100	100	100	
Caudal de aire (Alto)		777	1.133	1.548	1.516	2.171	3.133	3.101	
Dimensiones	Al x An x F.	mm	280/754/558	280/964/558	280/1.174/558	280/1.174/558	353/1.174/718	353/1.384/718	353/1.384/718
Peso		kg	33	41	47	49	65	77	88
Nivel potencia sonora (A/B)		dBA	66/54	69/60,3	72/62	72/62	74/60	78/69,4	78/69,4

Precio €	2 Tubos (válvula opcional) (AT)	FWD04AT	FWD06AT	FWD08AT	FWD10AT	FWD12AT	FWD16AT	FWD18AT
			578,00 €	722,00 €	854,00 €	983,00 €	1.284,00 €	1.494,00 €
Precio €	4 Tubos (válvula opcional) (AF)	FWD04AF	FWD06AF	FWD08AF	FWD10AF	FWD12AF	FWD16AF	FWD18AF
			668,00 €	844,00 €	986,00 €	1.112,00 €	1.504,00 €	1.762,00 €

Anexo 4: Aerotermia con fotovoltaica

Bomba de calor



REFERENCIAS	P.V.R.
THG-12CM	5.630 €
THG-14CM	5.876 €
THG-16CM	6.066 €
THG-16CT	6.184 €

UNIDAD EXTERIOR	MODELOS		THERMIRA 12M	THERMIRA 14M	THERMIRA 16M	THERMIRA 16T
	REFERENCIAS		THG-12CME	THG-14CME	THG-16CME	THG-16CTE
	Capacidad calorífica suelo radiante	kW	12	14	15.5	15.5
	Consumo eléctrico suelo radiante	kW	2.79	3.33	3.78	3.83
	COP	W/W	4.3	4.2	4.1	4.05
	Capacidad frigorífica suelo radiante	kW	12.5	13.5	14.5	15
	Consumo eléctrico suelo radiante	kW	2.98	3.38	3.8	4.23
	EER		4.2	4	3.82	3.55
	Capacidad calorífica fancoil o radiadores	kW	11.5	12.5	14.5	14
	Consumo eléctrico fancoil o radiadores	kW	3.38	3.79	4.53	4.38
	COP		3.4	3.3	3.2	3.2
	Capacidad frigorífica fancoil o radiadores	kW	8.5	9	9.7	11
	Consumo eléctrico fancoil o radiadores	kW	2.74	3	3.34	3.86
	EER		3.1	3	2.9	2.85
	SEER		3.85	3.89	3.91	4.03
	Clase de eficiencia energética 55 °C (SCOP)		A+ (2.99)	A+ (3.02)	A+ (2.98)	A+ (2.93)
	Clase de eficiencia energética 35 °C (SCOP)		A++ (3.88)	A++ (3.85)	A++ (3.9)	A++ (3.85)
	SCOP 55 °C*		3.50	3.65	3.78	3.65
	SCOP 35 °C*		5.23	5.30	5.30	5.23
	Carga Refrigerante R410A	kg	3.6	3.6	3.6	3.6
	Presión Sonora en Calefacción	dB (A)	58	58	58	57
	Presión Sonora en Refrigeración	dB (A)	58	58	58	57
	Conexión Gas		5/8*	5/8*	5/8*	5/8*
	Conexión Líquido		3/8*	3/8*	3/8*	3/8*
	Dimensiones	cm	90x13.5x41.2	90x13.5x41.2	90x13.5x41.2	90x13.5x41.2
	Peso neto	kg	107	107	107	114

*SCOP en condiciones climáticas cálidas.

Las capacidades caloríficas y los consumos eléctricos proporcionados están basados en las siguientes condiciones:

- Condiciones de calefacción para suelo radiante con entrada del agua a 30 °C / 35 °C; temperatura exterior 7 °C (Bulbo seco) / 6 °C (Bulbo húmedo).
- Condiciones para refrigeración con suelo radiante con entrada del agua a 23 °C / 18 °C; temperatura exterior 35 °C (BS) / 24 °C (BH).
- Condiciones de calefacción para fancoil o radiadores con entrada del agua a 40 °C / 45 °C; temperatura exterior 7 °C (Bulbo seco) / 6 °C (Bulbo húmedo).
- Condiciones para refrigeración con fancoil o radiadores con entrada del agua a 12 °C / 7 °C; temperatura exterior 35 °C (BS) / 24 °C (BH).
- Longitud de la tubería 7.5 m. Distancia máxima entre unidad interior y exterior 30 m. Desnivel máximo entre unidad interior y exterior 15 m.

UNIDAD INTERIOR	MODELOS		THERMIRA 12M	THERMIRA 14M	THERMIRA 16M	THERMIRA 16T
	REFERENCIAS		THG-12CMI	THG-14CMI	THG-16CMI	THG-16CTI
	Alimentación		230 V ~	230 V ~	230 V ~	3 x 400 V ~
	Temperatura de salida del agua (Suelo radiante)	Calefacción / Refrigeración	°C	25-45 (Ciclo de baja temperatura)		
	Temperatura de salida del agua (Fancoils o radiadores)	Calefacción / Refrigeración	°C	18-25 / 25-55 / 7-25		
	Resistencia de apoyo	kW	3 + 3	3 + 3	3 + 3	6
	Presión Sonora	dB(A)	31	31	31	31
	Conexión Hidráulica		1"	1"	1"	1"
	Dimensiones	cm	98.1x32.4x50	98.1x32.4x50	98.1x32.4x50	98.1x32.4x50
	Peso neto	kg	57	57	57	58

Depósito ACS

Datos técnicos del depósito de ACS Thermira



MODELO	MTG-200
Capacidad	200 L
Potencia	3000 W
Entrada de agua fría	½"
Salida de agua caliente	½"
Circulación agua - ida	¾"
Circulación agua - retorno	¾"
Altura	1595 mm
Díámetro	540 mm
Peso	71 kg
REFERENCIAS	P.V.R.
MTG-200	1.340€

Fancoils

DATOS TÉCNICOS FANCOILS THERMIRA

REFERENCIAS			FG-34CM	FG-68CM	FGS-68DM
Caudal de aire	Alto	m³/h	400	680	680
	Medio	m³/h	292	450	600
	Bajo	m³/h	250	430	530
Capacidad	Frío	W	2000	3600	3600
	Calor	W	5000	8500	4100
Tensión			220-240V~	220-240V~	220-240V~
Consumo		W	45	72	60
Sistema hidráulico	Caudal de agua	L/min	7.8	9.6	10.2
	Caída de presión	kPa	16.5	10	16
Presión sonora		dB(A)	37	45	43
Tamaño tubería de conexión	Entrada y salida del agua		3/4"	3/4"	1/2"
	Drenaje de condensación		5/8"	5/8"	5/8"
Dimensiones	Ancho	mm	840	840	940
	Fondo	mm	238	238	200
	Alto	mm	695	695	298
Peso neto		kg	26	27	12
Peso bruto		kg	33	34	16
Mando control remoto			✓	✓	✓

Observaciones:

La temperatura de trabajo del agua es de 7°C a 60°C.

La eficiencia de intercambio de temperatura se prueba bajo las siguientes condiciones:

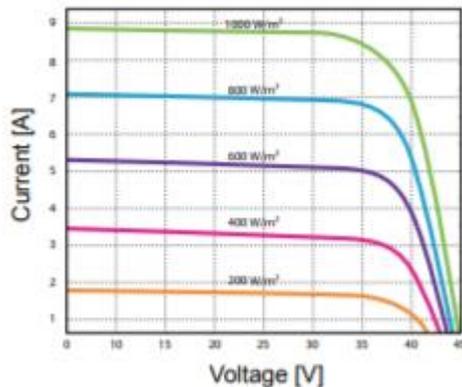
- Eficiencia de refrigeración: temperatura del aire 27°C DB / 19.5°C WB, temperatura de entrada del agua 7°C y temperatura de salida del agua 12°C.
- Rendimiento de calefacción: temperatura del aire 21°C DB y temperatura del agua a 60°C.
- La presión de agua en su funcionamiento no es superior a 0.25 MPa.
- El volumen de flujo de aire se prueba cuando el ESP es 0 Pa.

Módulos fotovoltaicos

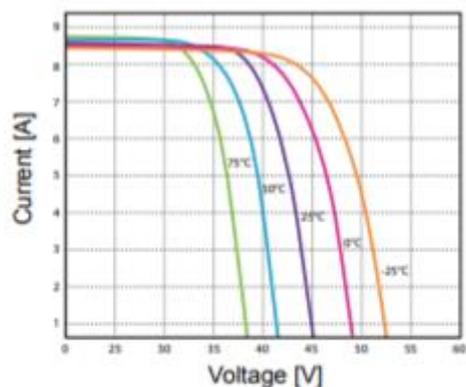
POLYCRYSTALLINE, 72-CELL SERIES

ELECTRICAL PERFORMANCE	
Module type: ESPMC	340
Maximum Power(Wp)	340W
Open circuit Voltage(Voc)	46.4V
Short circuit Current(Isc)	9.45A
Maximum Power Voltage(Vm)	38.5V
Maximum Power Current(Im)	8.84A
Module efficiency	17.5%
Maximum Series Fuse	15A
Watts positive tolerance	0~+3%
Number of Diode	3
Standard Test Conditions	1000W/M ² ,25°C,AM1.5
Maximum System Voltage	1000V/DC
Temperature-Coefficient Isc	+0.08558%/°C
Temperature-Coefficient Uoc	-0.29506%/°C
Temperature-Coefficient Pmpp	-0.38001%/°C
Normal Operating Cell Temperature	-40°C...+85°C
Load Capacity for the cover of the module (glass)	5400Pa(IEC61215)(snow)
Load Capacity for the front & back of the module	2400Pa(IEC61215)(wind)
Product Certificate	TUV(IEC 61215,IEC 61730),CE, ROHS,PID Resistant,INMETRO
Company Certificate	ISO9001,ISO14001,ISO18001

CURRENT-VOLTAGE CURVES:



Module characteristics at constant module temperatures (25°C) and different levels of irradiance.



Module characteristics at different module temperatures and constant module irradiance (1.000 W/m²).

MECHANICAL CHARACTERISTICS

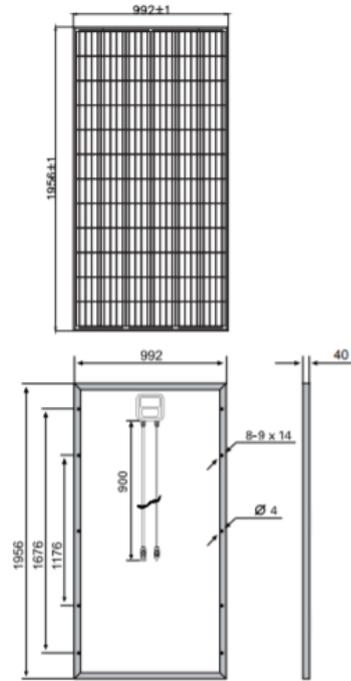
Front cover (material / thickness)	low-iron tempered glass / 3.2mm
Backsheet (color)	TPT in white
Cell (quantity / material / dimensions)	72 / Polycrystalline silicon / 156.75x156.75mm
Frame (material / color)	aluminum hollow-chamber frame on each side anodized aluminum alloy / silver
Junction box (protection degree)	> IP68
Cables & Plug connectors	2x900mm / 4mm ² & MC4 compatible
Module Dimensions (L / W / H)	1956x992x40mm
Module Weight	20.9kg
Application class	Class A
Electrical protection class	Class II
Fire safety class	Class C

PACKING

Container Size	Units/Pallet (PCS)	Weight/Pallet (KG)	Pallet Measurement (mm)	Units/Container (PCS)
20GP	26	570	2000x1130x1120	260
40HQ	26	570	2000x1130x1120	627
	31	676	2000x1130x1340	



MODULE DIAGRAM :



Baterías

Product Range

TIPO DE CELDA	CAPACIDAD C10 Ah	CAPACIDAD C100 Ah	PESO Kg
cpzs 275	200Ah	275Ah	13
cpzs 360	265Ah	360Ah	16
cpzs 575	412Ah	575Ah	22
cpzs 750	550Ah	750Ah	30
cpzs 930	690Ah	930Ah	36
cpzs 1160	825Ah	1160Ah	43
cpzs 1320	965Ah	1320Ah	50
cpzs 1500	1100Ah	1500Ah	56
cpzs 2320	1730Ah	2320Ah	85



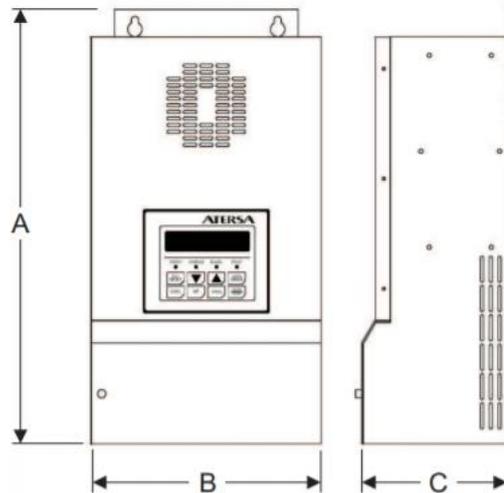
Características de operación

Profundidad de descarga	Máximo 80% de acuerdo con la tensión final de descarga de cada elemento. No descargar ningún elemento por debajo de 1,70v bajo ningún concepto
Corriente de carga	Máximo 0,15X C10
Tensiones de absorcion	2,40-2,45v en función de la profundidad de descarga diaria a 25°C
Tension de flotacion	2,27 v a 25°C
Carga de igualacion	2,55v al menos una vez cada 30 días en régimen de ciclos a 25°C Factor de corrección por temperatura 0,0055V/ °C por celda.

Regulador

ESPECIFICACIONES

MODELOS	MPPT - 50C	MPPT - 80C
Corriente de salida máxima (continua hasta 50°C de temperatura ambiente)	50A	80A
Tensión de baterías	12, 24, 36, 48 VCC Normal	
Corriente de entrada de FV máx.	40A	70A
Rango de tensión de entrada	16 ~ 112 VCC operando 140 VCC máx. Tensión de circuito abierto	
Potencia máx. del campo FV	3250W (máx. al igualar una batería 48V a 64V en 50A)	5200W (máx. al igualar una batería 48V a 64V en 80A)
Modos de regulación de carga	Carga plena o Bulk, Absorción, flotación, Ecuilibración manual/automática	
Compensación de temperatura de batería BTS	5mV por °C, por celda de 2V	
Capacidad de conversión de CC a CC	Batería de 12V: 16 ~ 112 VCC	
	Batería de 24V: 32 ~ 112 VCC	
	Batería de 36V: 36 ~ 112 VCC	
	Batería de 48V: 48 ~ 112 VCC	
Estado	Pantalla LCD muestra tensión de entrada y corriente, tensión de salida y corriente, modo de carga, estado de carga de la batería SOC	
Registro de datos	Registra la energía colectada en 90 días, pantalla LCD WH, KWH, AH	
Monitorización de energía	Pantalla LCD muestra el estado de la carga, AH, WH y corriente de descarga. Es preciso usar un shunt de 50mV/500A	
Relés auxiliares	Tres relés independientes de contacto A (SPST) para control de equipos externos	
Temperatura de operación	Potencia completa de salida hasta +50°C ambiente	
Potencia de reposo	<2W	
Dimensiones (AxBxC) mm.	267,7x196x147	414,8x225x147
Peso (kg.)	4,3	7,1



Inversor

Clase de potencia		4,2	5,5	7,0	8,5	10	
Lado de entrada (CC)	Potencia fotovoltaica máx. ($\cos \varphi = 1$)	kWp	6,3	8,25	10,5	12,75	15
	Potencia fotovoltaica máx. por entrada CC	kWp	6,5				
	Potencia CC nominal	kW	4,33	5,67	7,22	8,76	10,31
	Tensión de entrada nominal ($U_{CC,n}$)	V	570				
	Inicio tensión de entrada ($U_{CC,in}$)	V	150				
	Rango de tensión de entrada ($U_{CC,min} - U_{CC,máx}$)	V	120...1000				
	Rango PMP con potencia nominal en el modo de un seguidor ($U_{PMP,min} - U_{PMP,máx}$)	V	350...720 ³⁾	450...720 ³⁾	-	-	-
	Rango PMP con potencia nominal en el modo de dos seguidores ($U_{PMP,min} - U_{PMP,máx}$)	V	180...720 ³⁾	225...720 ³⁾	290...720 ³⁾	345...720 ³⁾	405...720 ³⁾
	Rango PMP con potencia nominal en el modo de tres seguidores ($U_{PMP,min} - U_{PMP,máx}$)	V	140...720 ³⁾	160...720 ³⁾	195...720 ³⁾	230...720 ³⁾	275...720 ³⁾
	Rango de tensión de trabajo PMP ($U_{PMP,Trab,min} - U_{PMP,Trab,máx}$)	V	120...720 ³⁾				
	Tensión de trabajo máx. ($U_{CC,Trab,máx}$)	V	900				
	Corriente de entrada máx. ($I_{CC,máx}$) por entrada CC	A	13				
	Corriente de cortocircuito FV máx. ($I_{SC,FV}$) por entrada CC	A	16,25				
	Número de entradas CC		3				
	Número de entradas CC combinadas (FV o batería)		1				
Número de seguidores PMP indep.		3					
CC 3 - entrada de la batería opcional							
Tensión de trabajo mín. entrada de la batería ($U_{CC,Trab,bat,min}$)	V	120 ³⁾					
Tensión de trabajo máx. entrada de la batería ($U_{CC,Trab,bat,máx}$)	V	500					
Corriente de carga/corriente de descarga máx. entrada de la batería	A	13/13					
Lado de salida (CA)	Potencia nominal, $\cos \varphi = 1$ ($P_{CA,n}$)	kW	4,2	5,5	7,0	8,5	10
	Potencia aparente de salida máx., $\cos \varphi_{i, ed}$	kVA	4,2	5,5	7,0	8,5	10
	Tensión de salida mín. ($U_{CA,min}$)	V	320				
	Tensión de salida máx. ($U_{CA,máx}$)	V	460				
	Corriente de salida asignada ($I_{CA,n}$)	A	6,06	7,94	10,10	12,27	14,43
	Corriente de salida máx. ($I_{CA,máx}$)	A	6,74	8,82	11,23	13,63	16,04
	Corriente de cortocircuito (Peak/RMS)	A	9,5/6,7	12,5/8,8	15,9/11,2	19,3/13,6	22,8/16,1
	Conexión de red		3N-, 400V, 50 Hz				
	Frecuencia de referencia (f_i)	Hz	50				
	Frecuencia de red mín/máx ($f_{min}/f_{máx}$)	Hz	47/52,5				
	Margen de ajuste del factor de potencia ($\cos \varphi_{CA,n}$)		0,8...1...0,8				
	Factor de potencia con potencia nominal ($\cos \varphi_{CA,n}$)		1				
	Coefficiente de distorsión armónico máx.	%	3				
	Espera/espera incl. medición del consumo doméstico las 24 h	W	4,5/7,9				
	η	Coefficiente máx. de rendimiento	%	97,1	97,1	97,2	97,2
Coefficiente europeo de rendimiento		%	96,2	96,2	96,5	96,5	96,5
Coefficiente de rendimiento de adaptación PMP		%	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9

Análisis de la demanda energética para climatización y producción de agua caliente sanitaria (ACS) en una vivienda unifamiliar típica en clima mediterráneo y evaluación de sistemas alternativos para disminuir su consumo.

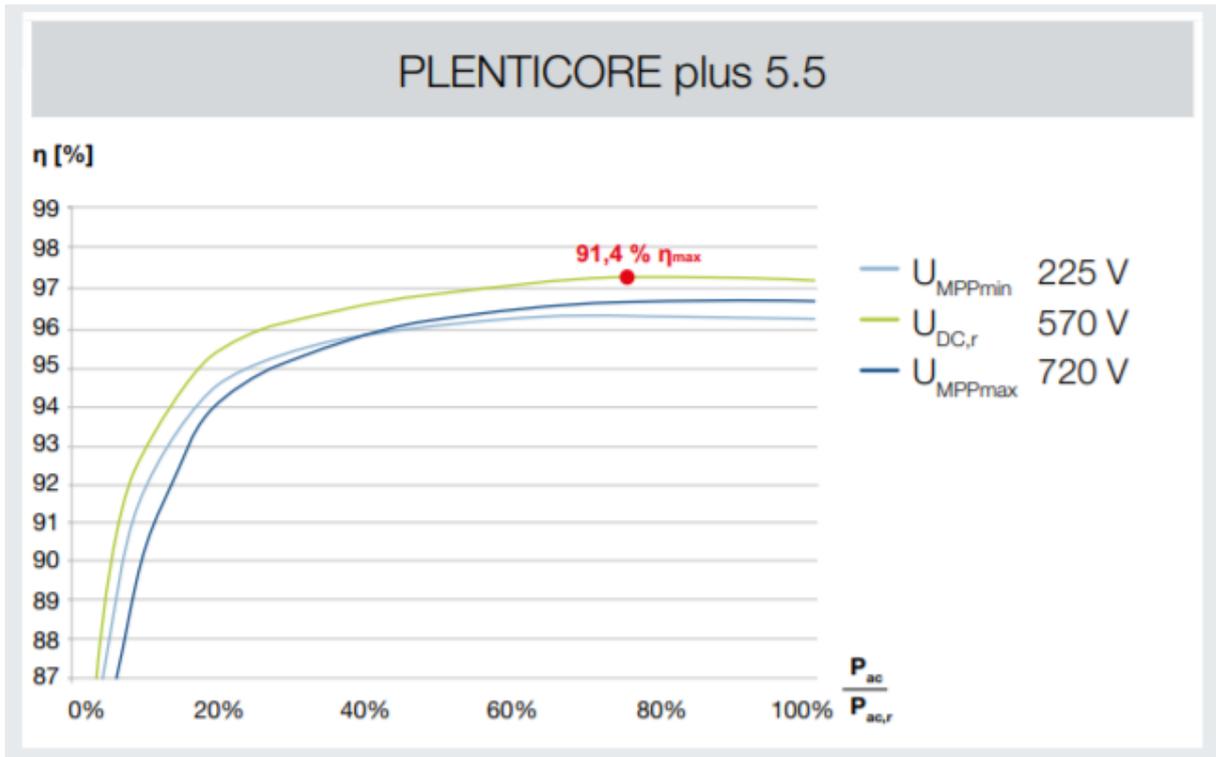
		4,2	5,5	7,0	8,5	10	
Datos del sistema	Clase de potencia						
	Topología: sin aislamiento galvánico – sin transformador			✓			
	Tipo de protección según IEC 60529			IP 65			
	Categoría de protección según IEC 62103			I			
	Categoría de sobretensión según IEC 60664-1 lado de entrada (generador fotovoltaico)			II			
	Categoría de sobretensión según IEC 60664-1 lado de salida (conexión de red)			III			
	Grado de contaminación			4			
	Categoría medioambiental (montaje a la intemperie)			✓			
	Categoría medioambiental (montaje en interior)			✓			
	Resistencia UV			✓			
	Diámetro del cable CA (mín-máx)	mm			8...17		
	Sección del cable CA (mín-máx)	mm ²	1,5...6		2,5...6		4...6
	Sección del cable CC (mín-máx)	mm ²			2,5...6		
	Fusible máx. lado de salida				B16/C16		B25/C25
	Protección para las personas interna según EN 62109-2 (compatible con RCD tipo A de FW 01.14)				✓		
	Dispositivo de desconexión autónomo según VDE 0126-1-1				✓		
Altura/anchura/profundidad	mm (in)			563/405/233 (22,17/15,94/9,17)			
Peso	kg (lb)	19,6 (43,21)			21,6 (46,62)		
Principios de funcionamiento	Principio de refrigeración – ventilador regulado			✓			
	Volumen de aire máx.	m ³ /h		184			
	Nivel de emisión sonora máx.	dBA		51			
	Temperatura ambiente	°C (°F)		-20...60 (-4...140)			
	Altura de montaje máx. sobre el nivel del mar	m (pies)		2000 (6562)			
	Humedad relativa del aire	%		4...100			
	Técnica de conexión en el lado CC				Conector SUNCLIX		
	Técnica de conexión en el lado CA				Regleta de bornes con mecanismo de resorte		
	Interfases	Ethernet LAN (RJ45)			1		
		Conexión del contador de energía para el registro de energía (Modbus RTU)			1		
Entradas digitales (p. ej. para receptor de telemando centralizado digital)				4			
USB 2.0				1			
Contacto libre de potencial para control de autoconsumo				1			
Webserver (interfaz de usuario)				✓			
Garantía ¹⁾		Años			5 (2)		
Ampliación de la garantía opcional en (años)					5/10/15		
Directivas/Certificación ²⁾		CE, GS, EN 62109-1, EN 62109-2, EN 60529, CEI 0-21, EN 50438 ³⁾ , G83/2, IEC 61727, IEC 62116, RD 1699, TOR D4, UNE 206006 IN, UNE 206007-1 IN, UTE C15-712-1, VDE 0126-1-1, VDE-AR-N 4105					

Reservado el derecho de modificaciones técnicas y errores. Encontrará información actualizada en www.kostal-solar-electric.com. Fabricante: KOSTAL Industrie Elektrik GmbH, Hagen, Alemania

¹⁾ 5 años de garantía a partir del registro en la tienda online KOSTAL Solar

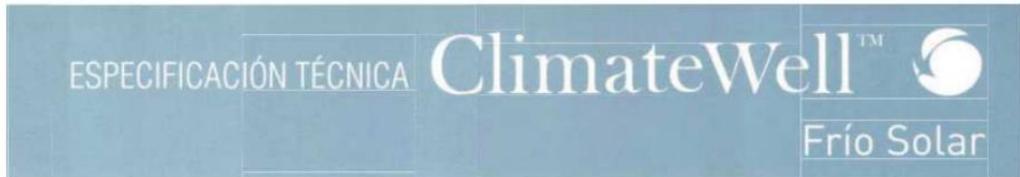
²⁾ No es válido para todos los apéndices nacionales de la norma EN 50438

³⁾ Rango PMP 120 V...180 V (con corriente limitada de 9,5-13 A). Rango PMP 680 V...720 V (con corriente limitada de 11 A). Dimensionado detallada a través del KOSTAL (PIKO) Solar Plan.



Anexo 5: Captación solar y máquina de absorción

ClimateWell 10



DENOMINACION

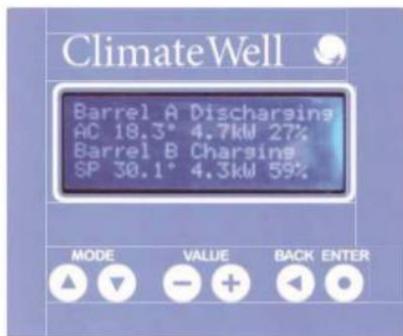
CLIMATEWELL 10

DESCRIPCIÓN

Planta Enfriadora por absorción de triple estado. La tecnología revolucionaria de ClimateWell es la única que permite el almacenamiento de energía a través de la cristalización de la sal LiCl. Permitiendo así, entregar energía de forma continua.

Esta tecnología modular da la posibilidad de adaptación a cualquier edificio a climatizar. Además de trabajar con energía solar la enfriadora puede trabajar con cualquier fuente generadora de calor como puede ser una cogeneración o la utilización del calor residual de cualquier proceso industrial.

DISPLAY



Círculo Distribución	Caudal	15-20 l/min
	Caída de presión	28 kPa
	Potencia nominal	10 kW
	Rango de temperatura	7-20 °C
	Conexiones de tubería	28 mm
	Tipo de soldadura unión de tuberías	Sn-4%Ag
Círculo Captación solar	Caudal	15-20 l/min
	Caída de presión	28 kPa
	Potencia nominal	20 kW
	Rango de temperatura	Hasta 95 °C
	Conexiones de tubería	28 mm
	Tipo de soldadura unión de tuberías	Sn-4%Ag
Comunicación	Protocolo de comunicación	RS232
Conexión eléctrica	Vac	230

DATOS TÉCNICOS

Capacidad Nominal	Refrigeración	10 kW
Consumo Nominal	Electricidad	18 W
COP térmico	Refrigeración	0.68
Capacidad de almacenamiento	Refrigeración	60 kWh
	Calefacción	76 kWh
Dimensiones	Altura	1527 mm
	Longitud	1211 mm
	Profundidad	807 mm
Peso	En funcionamiento	950 Kg
Nivel acústico		0 dB
Solución salina	Cloruro de Litio	LiCl



Círculo Disipación	Caudal	30 l/min
	Caída de presión	28 kPa
	Potencia nominal	25 kW
	Rango de temperatura	20-45 °C
	Conexiones de tubería	28 mm
	Tipo de soldadura unión de tuberías	Sn-4%Ag

Captador solar

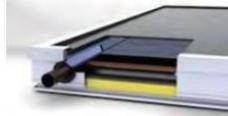


Captadores Solares Selectivos de Alto Rendimiento

astersa

NEO

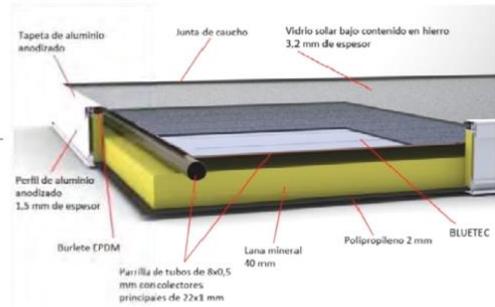
Los captadores ASTERSA están fabricados bajo las más estrictas normas de calidad. Disponen de un absorbedor continuo de cobre con tratamiento selectivo BLUETEC soldado a un colector de cobre tipo arpa. Las soldaduras en el absorbedor se realizan por inducción y cada unidad producida se somete a un test de estanqueidad a 15 bar. La carcasa es de aluminio anodizado de alta calidad. La cubierta transparente es un vidrio solar templado de alta resistencia y baja emisividad. La cubierta posterior es una lámina térmica de polietileno. Todo el proceso dispone de certificaciones ISO 9001 e ISO 14001.



10 años de garantía



		NEO18	NEO20M	NEO24	NEO26
CAPTADOR SOLAR PLANO					
Área de Apertura	m ²	1,77	1,96	2,41	2,50
Alto	mm	1.861	2.058	2.098	2.177
Ancho	mm	1.056	1.056	1.256	1.256
Fondo	mm	94,5	94,5	94,5	94,5
Área Total	m ²	1,97	2,17	2,64	2,73
Peso	Kg	35,5	40,0	47,0	48,0
Rendimiento	%	75,70	75,70	75,70	76,90
Coeficiente de pérdidas:	k ₁ W/m ² ·K	3,994	3,994	3,994	3,957
	k ₂ W/m ² ·K ²	0,009	0,009	0,009	0,010
Factor corrección k ₍₅₀₎		0,94	0,94	0,94	0,94
Capacidad Térmica Efectiva	J/K	8.931	8.931	8.931	11.921
ABSORBEDOR					
Emisión (ε) / Absorción (α)	%	5,0/95,0	5,0/95,0	5,0/95,0	5,0/95,0
Área del absorbedor	m ²	1,79	1,99	2,44	2,53
Material		Lámina de cobre			
Tratamiento selectivo		BLUETEC			
CUBIERTA FRONTAL					
Vidrio solar		Templado de alta transparencia, resistente y bajo contenido en hierro con espesor de 3,2 mm. Transmisividad >91%			
CAJA					
Material		Aluminio extrusionado Al-6063 T5 mecanizado y anodizado posterior			
Espesor	mm	1,50	1,50	1,50	1,50
Juntas		Sellado estanco con silicona neutra y junta de EPDM entre vidrio solar y caja de aluminio			
Aislamiento		Lana mineral de alta densidad. ξ = 0,035 W/m·K. δ media posterior 30 Kg/m ³ y lateral 50 Kg/m ³ .			
Espesor	Posterior mm	40	40	40	40
	Lateral mm	20	20	20	20
Acabado posterior		Polietileno 3 mm			
HIDRÁULICA					
Fluido caloportador		Agua más glicol. Concentración recomendada 30%.			
Capacidad	l	1,40	1,50	1,7	1,8
Caudal unitario recomendado	l/h	80	90	108	117
Presión máxima de trabajo	bar	10,0	10,0	10,0	10,0
Presión de prueba	bar	16,0	16,0	16,0	16,0
Temperatura de estancamiento	°C	212,1	212,1	212,1	212,1
Relación en Parrilla (Ø22/Ø8)	n/n	2/8	2/8	2/10	2/10
Conexiones externas		Tubo liso de cobre rígido de 22 mm.			
Porta sonda integrado		SI			
Norma de certificación		EN 12975-1:2000; EN 12975-1:2001; EN 12975-2:2001; AC:2002; ME-542-01			
Contraseña de homologación	Nr.:	NPS-5511	NPS-5811	NPS-6011	NPS-6111
Certificación Keymark	Nr.:	011-7S1517F			



Caldera de gas de apoyo



CerapurAcu-Smart

ZWSB 30-4 E 23

7716701496

Las indicaciones corresponden a los requisitos de los Reglamentos (UE) 811/2013 y (EU) 813/2013.

Datos del producto	Símbolo	Unidad	7716701496
Perfil de carga declarado			XL
Clases de eficiencia energética			A
Clase de eficiencia energética de caldeo de agua			A
Potencia calorífica nominal	Prated	kW	23
Consumo de energía anual (condiciones climáticas medias)	Q_{HE}	kWh	-
Consumo de energía anual	Q_{HE}	GJ	72
Consumo anual de electricidad	AEC	kWh	33
Consumo anual de combustible	AFC	GJ	19
Eficiencia energética estacional de calefacción	η_s	%	93
Eficiencia energética de caldeo de agua	η_{wh}	%	81
Nivel de potencia acústica interior	L_{WA}	dB	48
Indicaciones para prestación de funcionamiento fuera de los periodos de punta			no
Procesos especiales a realizar durante el montaje, la instalación o el mantenimiento (en caso de aplicarse)	Véase documentación adjunta al producto		
Caldera de condensación			sí
Caldera de baja temperatura			no
Caldera B1			no
Aparato de calefacción de cogeneración			no
Calefactor combinado			sí
Potencia calorífica útil			
A potencia calorífica nominal y régimen de alta temperatura	P_4	kW	22,8
A 30 % de potencia calorífica nominal y régimen de baja temperatura	P_1	kW	7,6
Eficiencia			
A potencia calorífica nominal y régimen de alta temperatura	η_4	%	87,6
A 30 % de potencia calorífica nominal y régimen de baja temperatura	η_1	%	97,8
Consumo de electricidad auxiliar			
A plena carga	e_{max}	kW	0,036
A carga parcial	e_{min}	kW	0,015
En modo de espera	P_{SB}	kW	0,002
Otros elementos			
Pérdida de calor en modo de espera	P_{stby}	kW	0,090
Consumo de electricidad del quemador de encendido	P_{ign}	kW	-
Emisión de óxido de nitrógeno (solo para gas o gasóleo)	NO_x	mg/kWh	39
Información adicional para calefactores combinados			
Consumo diario de electricidad (condiciones climáticas medias)	Q_{elec}	kWh	0,149
Consumo diario de combustible	Q_{fuel}	kWh	24,459

Medidas específicas para la instalación y el mantenimiento así como el reciclaje y/o eliminación de residuos constan en el manual de instalación y de funcionamiento. Leer y cumplir con lo indicado en el manual de instalación y de funcionamiento.

