



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR  
D'ARQUITECTURA

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE  
PLACAS SOLARES TÉRMICAS  
Y OTRO SISTEMA DE CAPTACIÓN

COMO LA AEROTERMIA APLICADOS A LA VIVIENDA

AUTOR Miguel Martínez Romero

TUTOR Jaime Langa Sanchís

Escuela Técnica Superior de Arquitectura  
Grado en Fundamentos de la Arquitectura  
Trabajo Final de Grado 2018/19

## RESUMEN

El presente Trabajo Final de Grado desarrolla varios aspectos de interés personal que enriquecen mis propios conocimientos como Arquitecto en el ámbito del uso de las energías renovables, profundizando en los sistemas de captación de energía de los edificios de viviendas, como son las placas solares térmicas y la aerotermia.

Nuestra profesión se encamina hoy en día hacia la construcción y rehabilitación de edificios cada vez más eficientes y sostenibles, y esto es un hecho sin vuelta atrás avalado desde hace años por las políticas y normativas europeas, es por ello que este TFG pretende aportar una nueva visión de las edificaciones como sistemas captadores y transformadores de la energía del medio ambiente para su aprovechamiento eficiente.

La necesidad de vivienda es primordial para el ser humano y su impacto sobre el medio ambiente es enorme, y por ello estamos ante el deber moral de intentar revertir la situación actual de las edificaciones como sumideros de energía de dudosa eficiencia y transformarlos en sistemas sostenibles. La meta es clara, conseguir la autarquía energética de las viviendas. La utopía es de momento inalcanzable, la transformación de las edificaciones en sistemas productores de energía.

Por ello, este proyecto pretende aportar un análisis riguroso al comparar las instalaciones de diferentes sistemas de captación de energía como son las placas solares térmicas y la aerotermia, que nos permita avanzar como arquitectos hacia la construcción de edificaciones más sostenibles y que por consiguiente contribuyan a disminuir el impacto que sobre el medioambiente tiene nuestra profesión, utilizando las distintas tecnologías de aprovechamiento energético existentes.

### Palabras clave:

Energía, solar térmica, aerotermia, vivienda, renovables, sostenibilidad, autarquía, eficiencia energética, edificaciones.

## ABSTRACT

This Final Degree Paper develops several aspects of personal interest which enrich my own knowledge as an Architect in the field of renewable energy use, deepening in the systems for capturing energy from residential buildings, such as solar thermal panels and aerothermia.

Our profession is now moving towards the construction and rehabilitation of buildings increasingly efficient and sustainable, and this is a fact without turning back and it has been endorsed for years by European policies and regulations, therefore this TFG aims to provide a new vision of buildings as systems collectors and transformers of energy from the environment for efficient use.

The need for housing is paramount for human beings and its impact on the environment is enormous, and therefore we have a moral duty to try to reverse the current situation of buildings as energy drains of dubious efficiency and transform them into sustainable systems. The goal is clear: to achieve energy self-sufficiency in housing. Utopia is currently unattainable, the transformation of buildings into energy-producing systems.

For this reason, this project aims to provide a rigorous analysis by comparing the installations of different energy capture systems such as solar thermal panels and aerothermal energy, allowing us to move as architects towards the construction of more sustainable buildings and therefore contribute to reducing the impact on the environment has our profession, using the various existing energy technologies.

### **Keywords:**

Energy, solar thermal, aerothermal, housing, renewable energy, sustainability, autarchy, energy efficiency, buildings.

## RESUM

El present Treball Final de Grau desenvolupa diversos aspectes d'interès personal que enriqueixen els meus propis coneixements com a Arquitecte en l'àmbit de l'ús de les energies renovables, aprofundint en els sistemes de captació d'energia dels edificis d'habitatges, com són les plaques solars tèrmiques i l'aerotèrmica.

La nostra professió s'encamina hui en dia cap a la construcció i rehabilitació d'edificis cada vegada més eficients i sostenibles, i això és un fet sense volta enrere avalat des de fa anys per les polítiques i normatives europees, és per això que aquest TFG pretén aportar una nova visió de les edificacions com a sistemes captadors i transformadors de l'energia del medi ambient per al seu aprofitament eficient.

La necessitat d'habitatge és primordial per a l'ésser humà i el seu impacte sobre el medi ambient és enorme, i per això estem davant el deure moral d'intentar revertir la situació actual de les edificacions com a embornals d'energia de dubtosa eficiència i transformar-los en sistemes sostenibles. La meta és clara, aconseguir l'autarquia energètica dels habitatges. La utopia és de moment inassolible, la transformació de les edificacions en sistemes productors d'energia.

Per això, aquest projecte pretén aportar una anàlisi rigorosa en comparar les instal·lacions de diferents sistemes de captació d'energia com són les plaques solars tèrmiques i l'aerotèrmica, que ens permetrà avançar com a arquitectes cap a la construcció d'edificacions més sostenibles i que per tant contribuïsquen a disminuir l'impacte que sobre el medi ambient té la nostra professió, utilitzant les diferents tecnologies d'aprofitament energètic existents.

### Paraules clau:

Energia, solar tèrmica, aerotèrmica, habitatge, renovables, sostenibilitat, autarquia, eficiència energètica, edificacions.

Análisis comparativo entre placas solares térmicas y otro sistema de captación como la aerotermia aplicado a la vivienda

# INDICE

1	Introducción.....	11
1.1	Objetivos.....	11
1.2	Normativa.....	11
1.2.1	Normativa Europea.....	11
1.2.2	Normativa Española.....	12
1.2.3	Nuevas exigencias con el borrador del CTE.....	15
2	Marco Teórico.....	16
2.1	Fuentes de energías renovables.....	16
2.2	Energía solar térmica.....	24
2.3	Energía aerotérmica.....	29
3	Edificación objeto de estudio.....	32
3.1	Situación del edificio respecto al tejido urbano.....	32
3.2	Emplazamiento.....	32
3.3	Descripción general del edificio.....	33
3.3.1	Uso característico del edificio y uso previsto para la planta baja.....	34
3.3.2	Relación con el entorno.....	34
3.3.3	Superficie.....	34
4	Diseño y dimensionado de la instalación solar térmica.....	35
4.1	Aspectos generales.....	35
4.1.1	Tipos de sistemas.....	35
4.1.2	Elementos que integran la instalación.....	37
4.1.3	Otros elementos para la seguridad.....	40
4.2	Procedimiento de dimensionado.....	41
4.2.1	Cálculo de la demanda energética para la producción de ACS.....	41
4.2.2	Dimensionado del campo de captadores solares.....	45
4.2.3	Consumo final con el sistema de apoyo.....	47
4.3	Diseño de la instalación con placas solares.....	47
4.4	Diseño empleando las nuevas exigencias con el borrador del CTE.....	52
4.5	Cumplimiento de la cobertura solar mediante el programa CHEQ4.....	52
5	Diseño y dimensionado de la instalación con BC aerotérmica.....	56
5.1	Aspectos generales.....	56
5.1.1	Tipos de BC aerotérmicas.....	57
5.1.2	Elementos de una bomba de calor aire-agua.....	57
5.2	Justificación para el uso de la instalación aerotérmica.....	58
5.2.1	Bombas de calor como energía renovable.....	59

5.3	Procedimiento para la justificación de la sustitución total de la contribución solar mínima para ACS .....	59
5.4	Cálculo de comprobación de bombas de calor como renovable .....	60
I.	Comprobación del valor mínimo de SCOPnet .....	60
II.	Consumo energético final de la bomba de calor.....	60
III.	Consumo de energía primaria asociada .....	60
IV.	Emisiones de CO2 .....	60
6	Presupuesto .....	61
6.1	Presupuesto Parcial. Mediciones.....	61
7	Comparación de alternativas.....	64
7.1	Consumo y emisiones de CO2.....	64
7.2	Presupuesto.....	65
7.3	Mantenimiento.....	66
8	Conclusiones .....	67
9	Bibliografía.....	68
10	Anexos.....	71

## INDICE DE FIGURAS

FIG 1. Turbinas de viento cerca de Jacobsdorf, Alemania.....	18
FIG 2. Planta geotérmica de Nesjavellir en Islandia.....	19
FIG 3. Central hidroeléctrica de Sayano-Shushenskaya, Rusia.....	20
FIG 4. La central de Huainan, China, ocupa parte de un embalse formado sobre antigua mina de carbón.....	21
FIG 5. Energía aerotérmica.....	22
FIG 6. Tasa de uso del 79'7% de los combustibles fósiles.....	24
FIG 7. Campo de captadores solares.....	26
FIG 8. Crecimiento de la utilización de la energía solar a nivel mundial.....	27
FIG 9. Utilización de la energía solar para el año 2050.....	27
FIG 10. Distribución de las superficies instaladas en las distintas comunidades autónomas. ....	28
FIG 11. Esquema de tecnología aerotérmica.....	29
FIG 12. Diagrama bomba de calor.....	30
FIG 13. Emplazamiento vivienda en la parcela (Fuente: Bing Maps).....	32
FIG 14. Sección A-A' del edificio de estudio.....	33
FIG 15. Esquema de planta tipo del edificio de estudio.....	33
FIG 16. Superficie total edificio de vivienda.....	34
FIG 17. Instalación solar térmica.....	35
FIG 18. Esquema de una instalación con circuito abierto.....	36
FIG 19. Esquema de una instalación con circuito cerrado.....	36
FIG 20. Esquema de una instalación solar térmica con intercambiador externo.....	37
FIG 21. Esquema de un captador plano estándar.....	38
FIG 22. Esquema de un captador de tubos de vacío. Esquema izda; sección dcha.....	38
FIG 23. Esquema de un CPC.....	39
FIG 24. Cálculo distancia entre paneles.....	51
FIG 25. Medidas de ocupación de los paneles en planta cubierta.....	51
FIG 26. Pantalla Localización CHEQ4. (CHEQ4 2019).....	53
FIG 27. Pantalla Configuración CHEQ4. (CHEQ4 2019).....	53
FIG 28. Pantalla Demanda CHEQ4. (CHEQ4 2019).....	54
FIG 29. Pantalla Solar/Apoyo CHEQ4. (CHEQ4 2019).....	54
FIG 30. Pantalla Otros parámetros CHEQ4. (CHEQ4 2019).....	55
FIG 31. Pantalla Resultados CHEQ4. (CHEQ4 2019).....	55
FIG 32. Esquema de funcionamiento de una bomba de calor según Marcos Martínez.....	56
FIG 33. Esquema del ciclo de una BC reversible.....	57



## INDICE DE TABLAS

TABLA 1. Factores de paso de energía final.....	15
TABLA 2. Superficies útiles y construidas de las viviendas.....	34
TABLA 3. Tabla 4.1. Demanda de referencia a 60°C.....	42
TABLA 4. Tabla 4.2. Valores mínimos de ocupación en uso residencial.....	42
TABLA 5. Tabla 4.3. Valor del factor de centralización.....	43
TABLA 6. Temperatura mínima media del mes y anual del agua de la red general en °C.....	44
TABLA 7. Tabla 2.1. Contribución solar mínima anual ACS.....	45
TABLA 8. Ocupación de personas en cada vivienda tipo.....	47
TABLA 9. Comparación de alternativas.....	64
TABLA 10. Comparativa consumo y emisiones de CO2.....	64
TABLA 11. Comparativa de costes de las distintas instalaciones.....	65

## INDICE DE ACRONIMOS

- **REN21:** Renewable Energy Policy Network for the 21<sup>st</sup> Century
- **MIT:** Instituto Tecnológico de Massachusetts
- **CIEMAT:** Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas
- **ACS:** Agua Caliente Sanitaria
- **UE:** Unión Europea
- **CE:** Consejo Europeo
- **IDAE:** Instituto para la Diversificación y ahorro de la Energía
- **RD:** Real Decreto
- **CAE:** Certificados de ahorro energético
- **CTE:** Código Técnico de la Edificación
- **DB-HE:** Documento Básico de Ahorro de energía
- **RITE:** Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios
- **CPC:** Captador concentrador
- **CO<sub>2</sub>:** Dióxido de carbono
- **CENSOLAR:** Centro de Estudios de la Energía Solar
- **ACER:** Agencia para la Cooperación de los Reguladores de la Energía
- **AEMET:** Agencia Estatal de Meteorología
- **ECCN:** Edificio de Consumo Casi Nulo
- **SCOP (SPF):** Coeficiente de Rendimiento Estacional (Sustituye al antiguo COP desde 01/01/13)
- **EER:** Energy Efficiency Ratio / Coeficiente de Eficiencia Energética
- **BC:** Bomba de calor
- **PE:** Polietileno
- **PEx:** Polietileno reticulado
- **PB:** Polibutileno
- **ATECYR:** Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración
- **COB:** Cobertura necesaria / Contribución solar mínima

Análisis comparativo entre placas solares térmicas y otro sistema de captación como la aerotermia aplicado a la vivienda

# 1 Introducción

## 1.1 Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es el desarrollo de un estudio comparativo entre dos tipos de instalaciones: una solar térmica con sistema de apoyo y otra con bomba de calor como la aerotermia. Como consecuencia de este estudio trataremos de definir cuál es la instalación más viable para la producción de agua caliente sanitaria del edificio.

Con el fin de lograr este objetivo, será conveniente desarrollar los siguientes puntos:

- Una investigación previa de las diferentes fuentes de energías renovables, indagando principalmente en la energía solar térmica y la aerotérmica; siendo imprescindible comprender estos conceptos, para aplicarlos a un uso eficiente de nuestro edificio objeto de estudio y, así mismo, analizar el estado actual de las energías renovables y su proyección futura.
- La utilización del programa CHEQ4, el cual nos permitirá corroborar la eficiencia de la instalación solar térmica de baja temperatura para cumplir con la sección HE4, ahorro de energía del CTE.
- La elaboración y evaluación de la situación energética del edificio, así como el diseño de las posibles variantes para mejorar dicha situación y las emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas de su demanda energética.

## 1.2 Normativa

### 1.2.1 Normativa Europea

En cuanto a edificación se refiere, las Directivas son las normas principales para garantizar las normas de ámbito internacional basadas en la reducción de gases de efecto invernadero, el incremento del consumo de energías renovables y en la mejora de la eficiencia energética general que dispone la Unión Europea. Entre ellas destacan las siguientes:

- **Directiva 2002/91/CE:** Relativa a la eficiencia energética de los edificios.
- **Directiva 2009/125/CE:** Por la que se insta un marco para el establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos relacionados con la energía.
- **Directiva 2009/28/CE:** Relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas

2001/77/CE y 2003/30/CE, reconoce como energía renovable, la energía capturada por las bombas de calor, bajo determinadas condiciones.

- **Directiva 2010/30/CE:** Relativa a la indicación del consumo de energía y otros recursos por parte de los productos relacionados con la energía, mediante el etiquetado y una información normalizada.
- **Directiva 2012/27/UE:** Del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de Octubre 2012 relativa a la eficiencia energética por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE. Establece un marco común de medidas para el fomento de la eficiencia energética dentro de la UE a fin de asegurar la consecución del objetivo principal de eficiencia energética de la UE de un 20% de ahorro para 2020, y a fin de preparar el camino para mejoras posteriores de eficiencia energética más allá de ese año.
- **Consejo Europeo de Diciembre 2008:** En lo referente a alcanzar una reducción del 20% de emisión de gases de efecto invernadero, promovió las pautas para la Directiva de 2009/29/CE. En lo referente a alcanzar el nivel del 20% de consumo energético final de las energías renovables, promovió las pautas para la Directiva de 2009/28/CE.
- **Consejo Europeo de Febrero 2011:** Se reconocía la dificultad de alcanzar los objetivos de eficiencia energética a pesar de los progresos conseguidos por los distintos Estados miembros para dar cumplimiento a la Directiva 2006/32/CE y adoptó su comunicación relativa a un plan de eficiencia energética 2001. Nació la necesidad de actualizar el marco legal de la Unión Europea en materia de eficiencia energética mediante un directo que persiga el objetivo general, el de llegar a 2020 con un ahorro del 20% en el consumo de energía primaria.
- **Directiva 2018/844/UE:** Del Parlamento Europeo y del Consejo de 30 de mayo de 2018 por la que se modifica la Directiva 2010/31/UE, relativa a la eficiencia energética de los edificios y la Directiva 2012/27/UE, relativa a la eficiencia energética.
- **Directiva 2010/31/UE DEEE:** Relativa a la eficiencia energética de los edificios donde establece que el 32% de toda la energía final consumida en la UE en 2030 deberá ser de origen renovable. Exige a los estados miembros de la Unión que todos sus edificios públicos sean Edificios de Consumo Casi Nulo (ECCN) a partir del 31 de diciembre de 2018 y todos los edificios, sin excepción, lo sean a partir del 31 de diciembre de 2020.

### 1.2.2 Normativa Española

España también posee su propia normativa reguladora en eficiencia energética:

- **Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020-IDAE:** Plan desarrollado por el gobierno dando respuesta a los requerimientos emanados del artículo 14 de la Directiva 2006/32/CE.

- **Real Decreto 235/2013:** Por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios. Refundición del RD 47/2007 incorporando las nuevas exigencias de la nueva Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios ampliando su ámbito a todos los edificios incluidos los existentes. El Real Decreto establece la obligación de poner a disposición de los compradores o usuarios de los edificios un certificado de eficiencia energética que deberá incluir información objetiva sobre la eficiencia energética de un edificio y valores de referencia.
- **Real Decreto 8/2014:** Aprobación de medidas urgentes para el crecimiento, la competitividad y la eficiencia.

**Capítulo IV:** Medidas en materia de eficiencia energética:

Sección 1º: Sistema nacional de obligaciones de eficiencia energética:

- Creación de un sistema nacional de obligaciones de eficiencia energética.
- Reparto del objetivo ahorro anual.
- Cumplimiento de las obligaciones y certificados de ahorro energético (CAE).
- Actuaciones según Catálogo gestionado por el IDAE.
- Fondo Nacional de Eficiencia Energética.
- Organización, gestión y control del Fondo.
- Dotación económica del Fondo Nacional de Eficiencia Energética.

Sección 2º: Otras medidas en materia de eficiencia:

- Seguro de responsabilidad civil de los proveedores de servicios energéticos.

Sección 3º: Régimen de infracciones y sanciones.

- **UNE-EN 378-1:2017:** Sistemas de refrigeración y bombas de calor. Requisitos de seguridad y medioambientales.
  - Parte 1: Requisitos básicos, definiciones, clasificación y criterios de elección.
  - Parte 2: Diseño, fabricación, ensayos, marcado y documentación.
  - Parte 3: Instalación in situ y protección de las personas.
  - Parte 4: Operación, mantenimiento, reparación y recuperación.
- **Sección 0 del DB-HE del CTE:** El uso racional de la energía necesaria en los edificios, se reducen límites energéticos a más eficientes y sostenibles. Una parte de este consumo debe ser de fuentes de energías renovables, y éste consumo se calcula en función de la zona climática.
- **Sección 2 del DB-HE del CTE:** Se especifica que los edificios dispondrán de instalaciones térmicas apropiadas destinadas a proporcionar el bienestar térmico de sus ocupantes. Esta exigencia se desarrolla actualmente en el vigente RITE.
- **Sección 4 del DB-HE del CTE:** Se especifica que una parte de las necesidades térmicas derivadas de la producción de agua caliente sanitaria deben cubrirse mediante el uso de la energía solar térmica o mediante el aprovechamiento de otras energías renovables, procesos de cogeneración, o fuentes de energía residuales ajenas a la propia generación de calor del edificio.
- **Real Decreto 56/2016:** Se traspone la Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, en lo referente a auditorías energéticas, acreditación de proveedores de servicios y auditores energéticos y promoción de la eficiencia del suministro de energía.

- **Real Decreto 564/2017:** Se modifica el Real Decreto 235/2013 que se refiere a que el 31 de diciembre de 2020, los edificios nuevos serán edificios de consumo de energía casi nulo.
- **Estrategia Española de Ahorro y Eficiencia Energética 2004-2012 (PAE4)**
- **Las bombas de calor y el cumplimiento de la HE4 del CTE**

La Orden FOM/1635/2013 de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE "Ahorro de Energía", del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, establece la exigencia de instalar paneles solares térmicos para producción de agua caliente sanitaria (ACS) en los siguientes casos:

- En los edificios de nueva construcción o en los edificios existentes en los que se reforme íntegramente el edificio en sí o la instalación térmica, o en los que se produzca un cambio de uso característico del mismo, en los que exista una demanda de agua caliente sanitaria (ACS) superior a 50 l/día.
- Ampliaciones o intervenciones, no cubiertas en el punto anterior, en edificios existentes con una demanda inicial de ACS superior a 5.000 l/día, que supongan un incremento superior al 50 % de la demanda inicial.
- Climatizaciones de piscinas cubiertas nuevas, piscinas cubiertas existentes en las que se renueve la instalación térmica o piscinas descubiertas existentes que pasen a ser cubiertas

El documento HE-4 del Código Técnico de la Edificación (CTE), no obstante, permite que esta contribución solar mínima para ACS y/o climatización de piscinas cubiertas pueda sustituirse parcial o totalmente mediante una instalación alternativa de otras energías renovables, bien realizada en el propio edificio o bien a través de la conexión a una red de climatización urbana. En el caso de bombas de calor, para poder realizar esta sustitución se debe justificar documentalmente:

- Que la bomba de calor que se vaya a instalar tenga la consideración de renovable, esto es su SCOPnet (SPF) sea  $\geq 2,5$  (ver apartado 1.2).
- Que las emisiones de CO<sub>2</sub> y el consumo de energía primaria no renovable debido a la instalación de bomba de calor y todos sus equipos auxiliares para cubrir la demanda de ACS son iguales o inferiores a las que se obtendrían mediante la correspondiente instalación solar térmica (contribución solar mínima según tabla 2.1 del citado documento HE-4) y el sistema de referencia (caldera gas natural con rendimiento estacional 0,92) como auxiliar de apoyo.

Los *coeficientes de paso* que se utilicen en la elaboración de esta justificación son los publicados como documento reconocido por Resolución conjunta de los Ministerios de Industria, Energía y Turismo, y M. de Fomento, versión 20 de julio de 2014, de aplicación a partir del 14 de enero de 2016.

FUENTE DE ENERGÍA	A Energía Primaria No Renovable (kWhEPNR/kWhEF)	A Emisiones de CO2 (kgCO2/kWhEF)
Electricidad convencional peninsular	1,954	0,331
Gas Natural	1,19	0,252

**TABLA 1.** Factores de paso de energía final

Factores de emisión de CO2 y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España.

### 1.2.3 Nuevas exigencias con el borrador del CTE

- El nuevo CTE DB-HE 2018 establece en el apartado 3 “*Cuantificación de la exigencia - 3.1 Contribución renovable mínima para ACS...*”, que la contribución mínima de energía procedente de fuentes renovables cubrirá al menos el 50% de la demanda energética anual para ACS.
- Con la modificación del CTE se actualiza el Documento Básico DB HE de ahorro de energía, adaptando el nuevo CTE a lo dispuesto en la **Directiva 2010/31/UE** de eficiencia energética de los edificios, que establece la obligación de revisar y actualizar los requisitos mínimos de eficiencia energética periódicamente, a intervalos no superiores a cinco años, con el fin de adaptarlos a los avances técnicos del sector de la construcción.



# 2 Marco Teórico

## 2.1 Fuentes de energías renovables

*“Hoy más que nunca, la vida debe caracterizarse por un sentido de responsabilidad universal, no sólo entre naciones y entre humanos, sino entre humanos y cualquier otra forma de vida”- Dalai Lama*

Analizando ontológicamente las leyes termodinámicas, uno siente una especie de vértigo emocional cuando descubre que la cantidad de energía interna del universo es constante y que por lo tanto tenemos ante nosotros cantidades ingentes de energía para utilizarla según nuestro capricho y que siempre estará disponible. La tristeza nos embarga cuando pasamos a la segunda ley, la cual nos obliga a pagar un I.V.A celestial por cada transacción energética que se produce en este universo en forma de energía degradada que no posee capacidad de producir trabajo, es decir, debemos contribuir entrópicamente al caos universal y, por lo tanto, la ingente cantidad de energía que nos preconizaba la 1ª ley termodinámica, lleva al traste nuestras aspiraciones megalómanas, cuando despertamos a la 2ª ley y adquirimos consciencia de que tarde o temprano la energía estará tan degradada, que no podremos utilizarla.

Por ello, podemos decir que el concepto de energía renovable es totalmente antitermodinámico, pues la energía siempre se degrada. Aun así, esta clasificación hace referencia a la fuente primaria de energía, la cual transformamos para obtener trabajo de un motor, energía calorífica o eléctrica. Según el informe **REN21 de 2010 (1)** - *“Renewables 2010 Global Status Report, las energías renovables son aquellas que se obtienen de fuentes renovables, las cuales son reincorporadas al sistema dentro de una escala de tiempo humana, tales como la luz del sol, el viento, la lluvia, las mareas, las olas y el calor geotermal”*. Todas ellas inagotables a escala humana y, al mismo tiempo, energías limpias; entendiendo como tales, todas aquellas que no generan residuos contaminantes. Las energías renovables también son consideradas alternativas. Esta diferenciación entre alternativas y clásicas surge en los años setenta a partir del informe del **MIT para el Club de Roma** donde se utiliza por primera vez dicha separación para hacer referencia a las energías utilizadas clásicamente como: combustibles fósiles y nuclear; las restantes energías emergentes son, por tanto, las alternativas.

El destino del hombre ha ido de la mano de la necesidad de obtener energía para realizar trabajo y para producir frío o calor. Esta búsqueda, espoleada por un crecimiento exponencial de la población mundial, nos ha llevado a un callejón sin salida donde podemos ver en la pared de enfrente el agotamiento de las energías clásicas y, en las paredes laterales, de una parte, la ilimitada necesidad energética de la población que impulsa a los mercados de la energía a satisfacerla a toda costa y coste y, en la otra, los efectos colaterales sobre el medio ambiente derivados de la utilización de energías no renovables. ¿Podríamos volver atrás para salir del callejón? Respuesta: ¿Podemos visitar nuestro propio pasado?

Tal y como demostró Jules brillantemente, los gases nunca se separarán espontáneamente una vez mezclados, lo cual significa que no podremos salir por la parte

trasera del callejón, solo nos resta encontrar alternativas al agotamiento y enorme impacto que generan las energías clásicas, pues la búsqueda de energía será también ilimitada pues es una necesidad humana. Esto nos obliga, como especie, a explotar los ecosistemas más allá de su límite de perturbación, punto a partir del cual el ecosistema no volverá a recuperar su estado de equilibrio primigenio. La población mundial se cifra en 7.576.951.385 seres humanos, teniendo en cuenta que la tasa de crecimiento es aproximadamente de un 1% interanual, durante el siglo XXI alcanzaremos la capacidad de carga de la ecosfera<sup>1</sup> cifrada en 10.000.000.000. Dicha capacidad se define como la población máxima que puede sostener un ecosistema dado, en nuestro caso habrá que considerar la ecosfera en su totalidad. Estas estimaciones nos devuelven la mirada hacia la obligada necesidad de introducir cambios en el comportamiento social y nuestra relación con el resto de formas de vida como referenciaba el Dalai Lama.

Por ello, el uso de las energías renovables introduce un nuevo modo de relacionarnos con el medio ambiente, que permite la recuperación de los ecosistemas para que puedan seguir aprovechándolos las generaciones futuras pues, al abandonar el uso de las energías clásicas, se reduce el impacto de la extracción de los combustibles fósiles y radiactivos, así como el transporte, la transformación y el almacenamiento de sus residuos.

Las energías renovables se dividen en dos grandes categorías: las contaminantes y las no contaminantes. Las primeras son aquellas que generan residuos en el proceso de transformación energético, las no contaminantes no los generan. Entre estas últimas podemos encontrar:

1. **Energía eólica** es la energía derivada de las masas de aire en movimiento, en las cuales se transforma la energía cinética del aire en trabajo gracias a una turbina. El trabajo podrá ser transformado posteriormente en otras formas útiles de energía para satisfacer las necesidades humanas. El uso de un molino provisto de aspas genera un movimiento rotor al ser atravesado por una corriente de aire que desde antaño es utilizado para moler grano o bombear agua. Actualmente la forma más habitual de aprovechamiento de la energía eólica es el uso de un molino que mueve una turbina con un alternador que generará una corriente eléctrica. En 2016, la potencia eléctrica<sup>2</sup> generada a nivel mundial fue de **486 GW** lo que supuso el **6'3%** del consumo de electricidad mundial. La producción de energía eléctrica a partir del movimiento del aire ha aumentado exponencialmente en los últimos años gracias al abaratamiento de los costes de instalación y mantenimiento. Los parques eólicos son instalados sobre la superficie terrestre o en el mar introduciendo un importante impacto paisajístico, a pesar de que la extracción de este tipo de energía tiene un bajo coste, es totalmente renovable dentro de la escala humana y produce cero emisiones a la atmósfera, presenta una serie de inconvenientes que han de ser tenidos en cuenta como es el impacto visual, el ruidoso funcionamiento de los aerogeneradores, el efecto discoteca que producen las aspas de los rotores al interceptar la luz del sol y la peligrosidad para las migraciones de las aves en zonas de paso.

---

<sup>1</sup> La ecosfera original es fruto de una investigación espacial de la NASA y es el primer ecosistema totalmente cerrado. Un mundo en miniatura completo y autosuficiente integrado en una bola de cristal

<sup>2</sup> Situación de las energías renovables en España. Año 2016. Autores: Enrique Soria Lascroz y Cayetano Hernández González. Editorial: CIEMAT - Madrid, Julio 2017



*FIG 1. Turbinas de viento cerca de Jacobsdorf, Alemania*

2. **Energía geotérmica** deriva del calor acumulado en el interior terrestre durante el proceso de formación del planeta. En esencia, el calor es aprovechado para aumentar la temperatura de un fluido que conduce la energía calorífica hasta la superficie terrestre y allí se produce su aprovechamiento como forma de calor, o su transformación en trabajo o electricidad. La energía geotérmica se clasifica según la temperatura de trabajo del sistema en:

- Energía geotérmica de alta temperatura: El fluido se calienta hasta temperaturas que oscilan entre 150 y 400°C. Este es utilizado en forma de vapor para mover una turbina que junto con un alternador genera corriente eléctrica.
- Energía geotérmica de temperaturas medias: La temperatura del fluido se sitúa entre 70 y 150°C. Se emplean fluidos más volátiles que el agua para generar vapor que moverá una turbina que producirá electricidad. El rendimiento del sistema es mucho menor.
- Energía geotérmica de baja temperatura. El fluido se calienta entre 50 y 70°C, para alcanzar esta temperatura se aprovecha el gradiente geotérmico en cuencas sedimentarias.
- Energía geotérmica de muy baja temperatura. El fluido alcanza una temperatura de entre 20 y 50°C. Debido a estas bajas temperaturas su uso doméstico y agrícola está muy generalizado pues es fácil de alcanzarlas sólo con el aprovechamiento del gradiente geotérmico sin necesidad de grandes perforaciones. Estos sistemas precisan de la utilización de una bomba de calor que extraiga la energía calorífica del subsuelo para transmitirla a las instalaciones. Es más conocida como climatización geotérmica.

Este tipo de energía es muy eficiente y renovable, además de presentar casi cero emisiones. Los residuos generados son mínimos y por lo tanto contribuyen a la descarbonización atmosférica, reduciendo el efecto invernadero. Es una energía económica pues no depende de las fluctuaciones de los mercados mundiales, ni de los monopolios de los combustibles fósiles. Como desventajas debemos señalar que

las zonas de instalación son reducidas a zonas con actividad geológica geotermal, excepto las de bajas y muy bajas temperaturas que utilizan el gradiente geotérmico presente en toda la litosfera. Así mismo, se pueden modificar los acuíferos y contaminarlos, además de modificar su curso o posición. Producen una contaminación térmica y paisajística importante.



*FIG 2. Planta geotérmica de Nesjavellir en Islandia.*

- 3. Energía hidráulica o hidroeléctrica** proviene, como fuente primaria, de la energía potencial contenida en un determinado volumen de agua elevado a una cierta altura. Su caída por conducciones transforma la energía potencial en energía cinética y esta puede ser transformada en trabajo gracias a una noria, molino o turbina que podrá desde moler el trigo hasta producir electricidad. Es una energía prácticamente inagotable pues, el ciclo del agua provoca la elevación de grandes masas de agua a la atmósfera que al precipitarse en forma de lluvia sobre la superficie terrestre adquiere una energía cinética y potencial que puede ser aprovechada en sus diferentes formas. Las pérdidas energéticas en el proceso de transformación son bajas y por lo tanto muy eficiente. Además, es una energía limpia pues no genera residuos de ningún tipo. Ahora bien, el impacto sobre el paisaje y los ecosistemas es alto, pues el agua se debe embalsar para su conducción hacia las turbinas o molinos y estas acumulaciones de agua, en ocasiones de gran tamaño, perturban los ecosistemas al inundarlos, modifican las migraciones en los ríos, alteran el caudal de los mismos y pueden verse afectadas por cambios climáticos de forma importante.



FIG 3. Central hidroeléctrica de Sayano-Shushenskaya, Rusia.

4. **Energía mareomotriz** es la energía que utiliza como fuente primaria el movimiento de grandes masas de agua debido a las mareas. La idea es muy sencilla pues se trata de aprovechar la energía cinética de una masa de agua en movimiento, en este caso provocado por una marea, para mover una turbina que producirá un trabajo que podrá ser transformado normalmente en electricidad. Es una energía renovable pues las mareas seguirán sucediendo mientras la tierra rote y se traslade alrededor del sol, además de limpia pues no produce residuos durante su transformación. La contribución de la misma a la potencia eléctrica mundial es prácticamente insignificante debido a los altísimos costes de instalación y a los problemas medioambientales derivados del uso de la misma.
  
5. **Energía solar.** Uno de los yacimientos energéticos más importantes para la humanidad es el Sol. A escala humana su energía es inagotable<sup>3</sup> pues se calcula una vida de **7.500 millones de años**. No toda la energía solar recibida llega a la superficie terrestre, aproximadamente un **30%** es devuelta al espacio reflejada por la atmósfera y la superficie de la tierra. La restante genera una potencia sobre la superficie terrestre denominada irradiancia solar y es de unos **1000 W/m<sup>2</sup>**. Esto supone una potencia útil, después de las pérdidas por transformación de la fuente primaria, que liberaría a la humanidad de la dependencia de cualquier otro tipo de energía.

---

<sup>3</sup> Peimbert Sierra, Manuel; Torres Castilleja, Silvia (2006). El Colegio Nacional, ed. *La evolución en la astronomía*. México: Editorial Cromocolor, S.A. de C.V. p. 30. ISBN 970-640-318-3.



*FIG 4. La central de Huainan, China, ocupa parte de un embalse formado sobre antigua mina de carbón.*

La radiación electromagnética que llega a la tierra puede ser captada de diferentes maneras, básicamente dos son los sistemas posibles: las células fotoeléctricas y los heliostatos o paneles solares. Los paneles fotovoltaicos aprovechan los fotones solares para mover los electrones de un semiconductor y generar una corriente eléctrica; los paneles solares captan la energía radiante en forma de calor que transferido a un fluido puede mover un motor o acumular calor para ser conducido a otros sistemas para su uso industrial o doméstico.

El uso de la energía solar a pequeña escala o de autoconsumo se ha disparada en los últimos años gracias a la caída<sup>4</sup> en un **80%** de los precios de los módulos de captación y se prevé un futuro alentador. Según el Consejo Mundial de Energía<sup>5</sup> para el año 2100 el **70%** de la energía eléctrica producida será de origen solar. No exenta de inconvenientes sobre su impacto en los ecosistemas y en la vida del hombre se vislumbra como una de las alternativas más importantes a la utilización de las energías clásicas y contaminantes.

- 6. Energía undimotriz** es la derivada de la energía mecánica contenida en el movimiento del mar, es decir, las olas. El movimiento cambiante de la superficie marina puede ser transformado en trabajo que mueve una turbina con un alternador que generará electricidad. Los dispositivos que permiten dicha transformación son dispositivos de costa que utilizan el batir de las olas para mover palas que mueven la turbina o flotadores frente a la línea de costa o en alta mar, en superficie o sumergidos, que transforman el movimiento ascendente y descendente de la superficie marina en movimiento en un rotor que generará la electricidad. La contribución de esta energía a la producción mundial es exigua por sus elevados costes de instalación y por el elevado impacto medioambiental que posee.

---

<sup>4</sup> Branker, K.; Pathak, M.J.M.; Pearce, J.M. (2011). «A Review of Solar Photovoltaic Levelized Cost of Electricity». *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.

<sup>5</sup> *Survey of Energy Resources 2007*. Consejo Mundial de Energía. Consultado el 19 de junio de 2009.

7. **Energía aerotérmica** es la energía que utiliza como fuente primaria el calor del aire que nos circunda, gracias al aprovechamiento de la diferencia de temperatura entre dos puntos. Dicha diferencia es aprovechada por una bomba de calor para extraer la energía del aire ambiente. Sin duda es una energía limpia con cero emisiones durante el proceso de transformación, pero no se puede decir lo mismo cuando hablamos de ella como energía renovable. Debemos tener en cuenta que hay que suministrarle al sistema una cierta cantidad de energía eléctrica para que la bomba pueda extraer la energía térmica contenida en el aire. Esta cantidad depende de la eficiencia de la instalación, pero puede rondar el 30% de la energía calorífica obtenida. Por ello, se pone en duda su clasificación dentro de las energías renovables. Su uso se restringe al ámbito doméstico como fórmula de ahorro y eficiencia energética, pues permite un abaratamiento en los costes de calefacción y ACS en las viviendas. Evidentemente, su uso presenta muchas ventajas pues un menor consumo eléctrico de las viviendas produce una disminución de las demandas energéticas independientemente del origen de estas.



*FIG 5. Energía aerotérmica.*

En un planeta donde los recursos son limitados, frente a una necesidad humana ilimitada, la implantación de las energías renovables es una cuestión ecológica y económica fundamental. Es evidente que la confrontación entre recursos limitados y necesidades ilimitadas es irreconciliable, como los recursos energéticos nunca se transformarán en ilimitados, obligatoriamente nuestras necesidades como especie habrán de limitarse, y eso supone reducción, un cambio de paradigma en la economía global y en la forma de vida de todos nosotros. Reducir el consumo energético es, sin duda, una de las mejores opciones para parar los devastadores efectos derivados del uso de las energías clásicas. La sustitución paulatina de estas energías contaminantes y limitadas en el tiempo por fuentes de energías renovables es, sin duda, la otra parte de la ecuación que nos permitirá tener un futuro planetario.

La sustitución y abandono de las energías no renovables por las energías alternativas es, sin duda, la única forma que tenemos de enfrentarnos a problemas como el agotamiento de los combustibles fósiles, la contaminación y degradación del medio ambiente, el calentamiento global y un largo etcétera que hoy en día amenazan la continuidad de nuestra

especie en el planeta. Los motivos de la tan deseada sustitución energética son numerosos y podemos citar varios:

1. Las energías renovables utilizan fuentes primarias que no se consumen, se renuevan constantemente a escala humana permitiendo un uso continuado y racional de la energía.
2. Las energías renovables, a excepción de la biomasa, no producen contaminantes en el proceso de transformación para la obtención de la forma final de energía que principalmente es el calor o la electricidad. Y, por lo tanto, contribuyen a disminuir la contaminación por residuos, entre los que se encuentra el CO<sub>2</sub>, uno de los principales gases del efecto invernadero. La descarbonización total sólo es posible con el uso de estas energías.
3. Las energías renovables favorecen la autoproducción y el autoconsumo, disminuyendo los costes del transporte y la contaminación derivada del mismo. Así mismo permite el autoabastecimiento de poblaciones muy alejadas de las fuentes de producción o aisladas.
4. Las energías renovables tienen un precio mucho menor que las no renovables. Esto es debido a que favoreciendo el autoconsumo no se necesita su transporte, ni grandes infraestructuras para su extracción de los yacimientos y su posterior transformación. El abaratamiento de los costes en la producción de energías renovables es un hecho que se va consolidando en los mercados hoy en día. Cada vez es más barato y más sencillo su implantación a nivel doméstico y global, permitiendo una amortización en menos tiempo y un mayor beneficio económico.
5. Las energías renovables facilitan un acceso a la energía tanto a nivel geográfico como económico más favorable. A nivel geográfico pues, como ya se ha comentado, se favorece la producción a pequeña escala permitiendo su instalación en lugares alejados de las zonas urbanas, esto favorecerá la creación de entornos limpios y poco degradados visualmente que puede promover la economía local. A nivel económico, la autoproducción genera independencia de los mercados energéticos abaratando el precio de la energía.

Un estudio realizado por REN21<sup>6</sup> nos muestra una tasa de uso del 79.7% de los combustibles fósiles, según podemos ver en el siguiente gráfico:

---

<sup>6</sup> Agencia para el estudio de energías renovables a nivel mundial en el siglo XXI



### Estimated Renewable Share of Total Final Energy Consumption, 2017

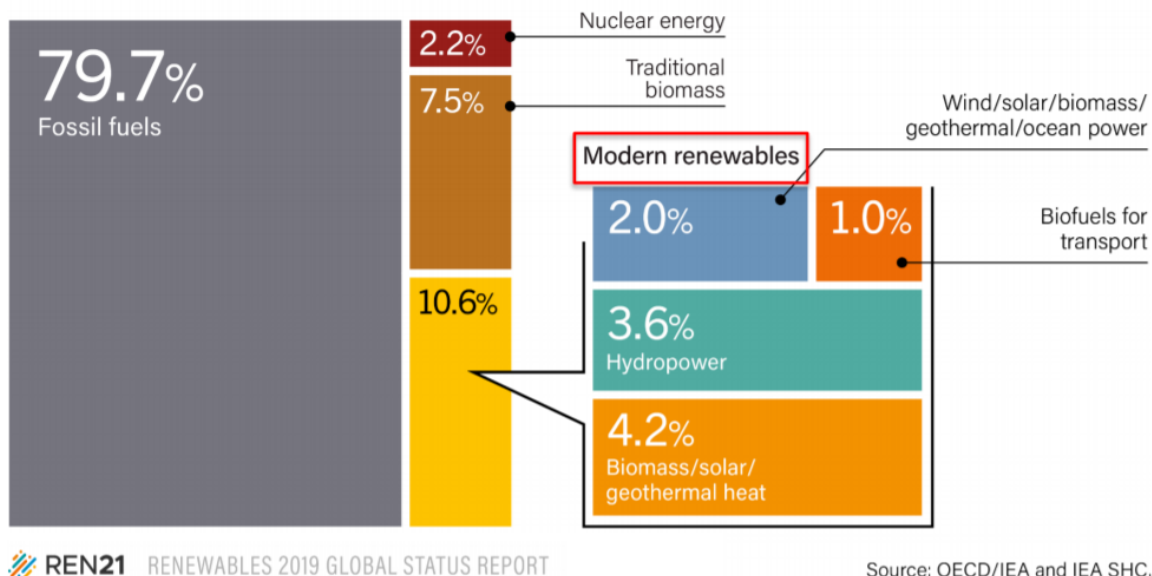


FIG 6. Tasa de uso del 79.7% de los combustibles fósiles.

Un somero análisis de los datos nos muestra de forma concluyente nuestra dependencia de las energías contaminantes, es decir, clásicas. La cifra es demoledora pues, el 81,9% de la energía total consumida a nivel global proviene de formas no limpias. Se pone de manifiesto que la tan aclamada transición energética queda en un horizonte muy lejano a menos que se produzca un cambio global en el modus vivendi de la población a nivel mundial. Por ello, es primordial volver la vista a los ciudadanos, pues es el cambio de actitud en el uso de la energía y su aprovechamiento, lo que puede cambiar la dependencia de todas estas fuentes de energía. Sin duda, es la suma de pequeñas voluntades la que puede modificar la tendencia general sobre el consumo de combustibles fósiles y radioactivos. Y estos pequeños cambios cristalizan principalmente en el uso doméstico de la energía y la capacidad de los hogares para producirla y aprovecharla. Y es precisamente ahí en donde este Trabajo de Fin de Grado tiene más sentido, pues incide en cómo una edificación puede ser rentable energéticamente y autosostenible gracias al uso de la energía solar térmica y la aerotérmica. Si todos los miles de millones de hogares del planeta cambiaran su forma de relacionarse con la energía estaríamos en la senda de la transición energética. Sin duda, podremos lograrlo.

## 2.2 Energía solar térmica

La energía solar mueve nuestro planeta. La energía libre de Gibbs contenida en la radiación electromagnética puede aprovecharse de numerosas formas mediante transformaciones físicas y químicas. Desde la capacidad de los organismos fotosintéticos de utilizarla para escindir la molécula de agua y obtener poder reductor con el que fijar el CO<sub>2</sub>, hasta los sofisticados sistemas de conversión en energía eléctrica en los satélites, un abanico casi infinito de posibilidades se abre ante nosotros.

Esta capacidad de transformación ha sido aprovechada por el hombre desde tiempos inmemorables. En un principio, la energía solar era utilizada de forma pasiva, es decir, sin transformación, y ya desde los antiguos griegos se tienen evidencias de diseños arquitectónicos realizados para utilizar la luz solar alrededor del 400 a. de C. Estos sistemas pasivos de aprovechamiento se extenderán a lo largo y ancho de nuestra historia, siendo la época romana de especial esplendor en su utilización introduciendo el vidrio como un material que permite acumular y atrapar el calor solar. De hecho, son éstos los primeros en construir invernaderos de cristal para controlar las condiciones de crecimiento de plantas. El uso del espejo ustorio<sup>7</sup> por parte de Arquímedes para incendiar los barcos romanos en Siracusa, aunque cuestionado por los historiadores, es una prueba de la necesidad del hombre de controlar la energía proveniente del sol para su uso civil o militar.

Ya en el siglo XVIII, Horace-Bénédict de Saussure diseñó un colector que permitía elevar la temperatura del agua hasta 110°C utilizando unas “cajas calientes” de madera y cristal. Deberemos esperar a 1865, cuando Auguste Mouchout fuera capaz de convertir por primera vez la energía libre de la radiación solar en energía mecánica mediante la producción de vapor capaz de mover un motor.

El uso masivo de los combustibles fósiles, prácticamente omnipresentes a lo largo del siglo XIX y XX, hará decaer el interés por la investigación en la energía solar. Las sucesivas crisis del petróleo que se producirán a finales del siglo XX, unidas al control geopolítico y monopólico de las grandes potencias y los países árabes, permitirán el desarrollo de la investigación en este tipo de energías alternativas, entendidas éstas como aquellas que no suponen la combustión de materiales fósiles. La energía nuclear apuntará maneras, también como energía alternativa a las fósiles, pues proporciona un suministro constante de energía a la red para satisfacer el mercado eléctrico que presenta una demanda variable. De hecho, una de las principales críticas al uso de energías limpias es precisamente su intermitencia en el suministro, pues depende de los agentes meteorológicos en gran medida. La falacia de la necesidad de la existencia de una carga base de suministro energético será refutada por el desarrollo de sistemas de acumulación de calor y energía eléctrica.

A principios de los años 70 del siglo XX, se produce un repunte en el precio de los combustibles fósiles que no dejará de crecer hasta nuestros días. Esto, unido a las hipótesis de cambio climático de origen antrópico que debilitan ante la opinión pública la utilización de este tipo de energías, provocará un aumento en la investigación y uso de la energía solar frente al resto de energías mal denominadas clásicas, realmente son no renovables. Es cierto que este tipo de energía es una alternativa plausible, pero no es menos cierto que su utilización introduce un impacto medioambiental importante en el paisaje, dado que su instalación precisa de grandes superficies receptoras de la radiación solar. Podríamos decir que no son precisamente discretas.

---

<sup>7</sup> Una gran lente fue construida por M. Tschisnausen que se conservaba en el Palacio Real de París: espejo de un vidrio convexo de 3 pies de diámetro, cuyo foco se halla a 12 pies.



*FIG 7. Campo de captadores solares.*

El sistema tierra es calentado por el sol a modo de Doner Kebab, gracias al movimiento combinado de rotación y traslación, recibiendo unos 174 petavatios<sup>8</sup> (PW) de energía. Un 30% de esta es reflejada hacia el espacio, llegando a la superficie de las masas terrestres, mares y atmósfera un 70% de la misma. Un cálculo aproximado cifra en  $3'85 \cdot 10^6$  Exajulios<sup>9</sup> (EJ) por año la cantidad de energía que llega a la superficie terrestre.

Esta enorme cantidad supone aproximadamente el doble de la que se podría haber obtenido utilizando todos los recursos no renovables de la tierra juntos: petróleo, carbón, gas natural y uranio. Un análisis dimensional de los datos nos proporciona esperanzas como humanidad de la viabilidad de nuestro modelo de consumo, pues las cifras del flujo de energía recibido son [EJ/año], eso significa que en cada periplo alrededor del sol recibimos, una y otra vez, una cantidad ingente de radiación solar que puede ser aprovechada para satisfacer nuestra voraz necesidad de energía. Esta generosidad celeste debería ser utilizada con inteligencia y equidad tanto desde el sector público como del privado. Por ello, un análisis de las tendencias en los últimos 15 años sobre la creación de nuevas plantas de energía eléctrica a nivel mundial realizado por el Dr. Sven Teske para REN21 a partir de los datos proporcionados por Greenpeace International, Solar Power Europe, REN21..., pone de manifiesto el crecimiento de la utilización de la energía solar, tanto térmica como fotovoltaica, a nivel mundial. El parámetro utilizado para realizar esta

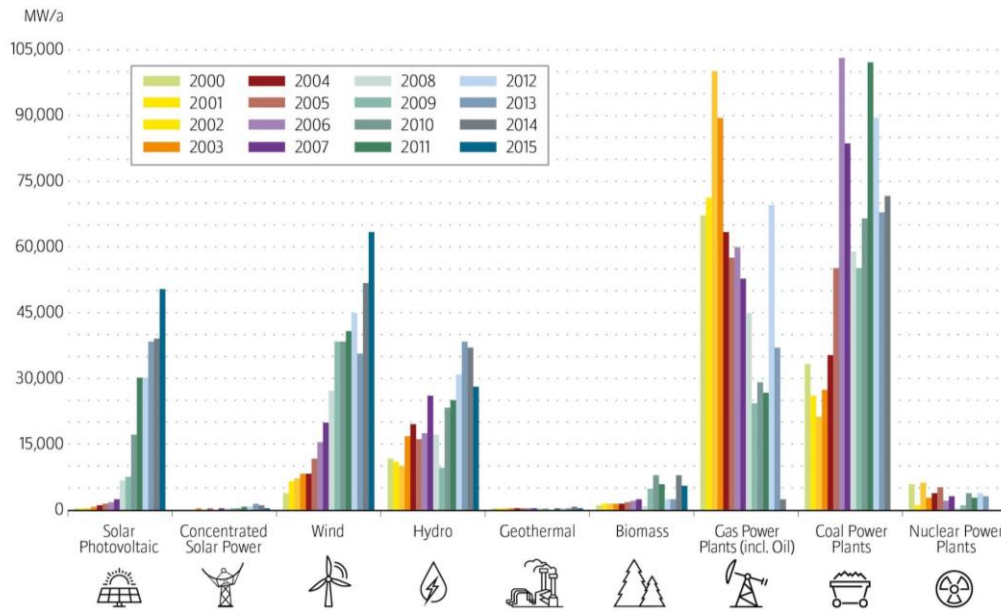
---

<sup>8</sup> Smil, Vaclav (1991). *General Energetics: Energy in the Biosphere and Civilization*. Wiley. p. 240. ISBN 0-471-62905-7.

<sup>9</sup> Smil, Vaclav (17 de mayo de 2006). *Energy at the Crossroads* (PDF). Organisation for Economic Co-operation and Development. ISBN 0-262-19492-9.

prospección es la nueva potencia eléctrica instalada anualmente desde el año 2000 al 2015 según las diferentes fuentes de energía.

**Global annual new installed power plant capacities 2000 till 2015**



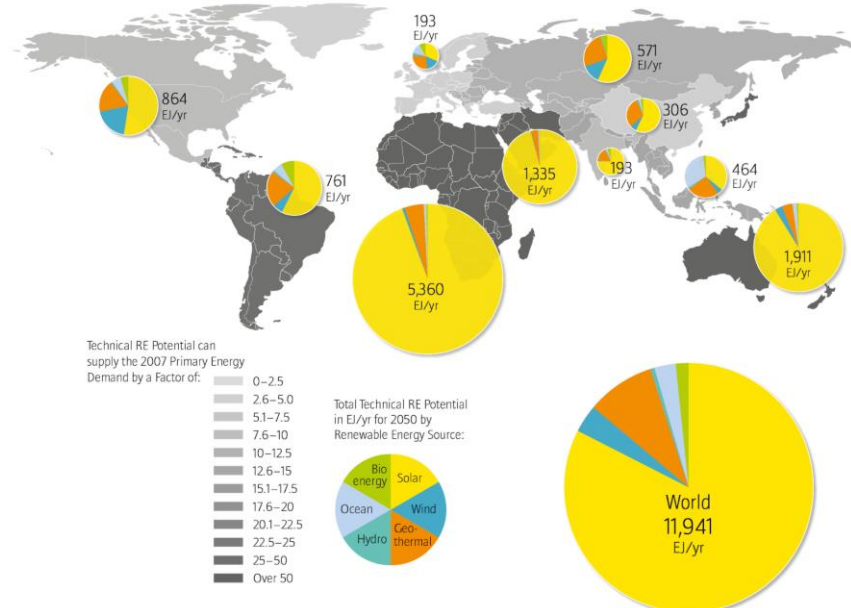
Renewables Global Futures Report Great debates towards 100 % renewable energy



**FIG 8.** Crecimiento de la utilización de la energía solar a nivel mundial.

Las previsiones realizadas por REN21 en el documento *REN21 Renewables Global Futures Report (GFR)*, nos muestran una tendencia alcista en la utilización de la energía solar para el año 2050, como se muestra en el siguiente gráfico:

**Total technical renewable energy potential in EJ/yr for 2050**



Renewables Global Futures Report Great debates towards 100 % renewable energy



**FIG 9.** Utilización de la energía solar para el año 2050.

Podemos observar en la previsión, que para el año 2050 más del 75% de la energía a nivel global provendrá de la energía radiante emitida por el sol. Esto supone un crecimiento exponencial de las superficies captadoras de radiación solar a nivel planetario y, por tanto, una disminución de la superficie fotosintética fijadora del CO<sub>2</sub>.

De nuevo, a modo de eureka arquimedeo, nos asalta una pregunta: ¿si uno de los más importantes objetivos en la utilización de renovables es la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero, la sustitución de las superficies fotosintéticas por áreas de captación de la energía solar para la obtención de potencia eléctrica o calor es rentable a nivel de rendimiento y de lucha contra el cambio climático? En pocas palabras, ¿somos capaces de mejorar la eficiencia fijadora de CO<sub>2</sub> de un cloroplasto con respecto al ahorro de emisiones CO<sub>2</sub> que supone la instalación de placas solares? Es evidente, que la colocación de estas en infraestructuras ya construidas como viviendas, puentes..., o zonas de bajo rendimiento fotosintético como regiones desérticas y subdesérticas, o los grandes desiertos marinos, hace que no compitan con la enorme capacidad asimiladora de CO<sub>2</sub> de los ecosistemas de alta producción de biomasa y, por tanto, se debe tener en cuenta, entre otros aspectos, en el momento de realizar una planificación a nivel global del desarrollo de la energía solar a nivel planetario.

La situación en España no es muy boyante dado que no se cumplen los objetivos de convergencia con la UE y no existe una inversión en el sector de la energía solar que permita la sustitución de las no renovables por otro tipo de sistemas de obtención de energía. El informe del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) del año 2016 calcula que la superficie de captación de energía solar instalada es de 3.905.445 m<sup>2</sup>, de los cuales 212.190 m<sup>2</sup> fueron instalados en 2016. Esto supone un aumento de un 5,4% para el año 2016, teniendo en cuenta que la Unión Europea sitúa el techo para el año 2020 en una superficie de 10.000.000 m<sup>2</sup> deberíamos aumentar el área un 61% para cumplir con los objetivos medioambientales planteados, algo absolutamente imposible de realizar tanto a nivel público como privado pues la inversión necesaria se escapa de nuestras posibilidades como estado.

La distribución de las superficies instaladas por comunidades autónomas se puede observar en la siguiente figura:

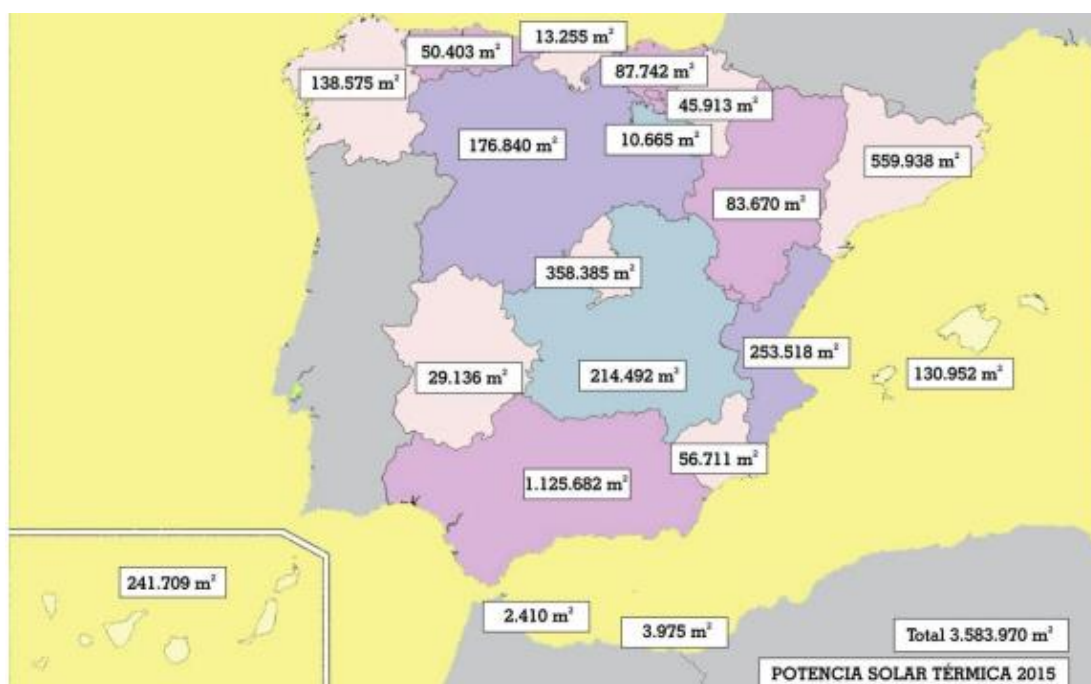


FIG 10. Distribución de las superficies instaladas en las distintas comunidades autónomas.

De todas ellas destaca Andalucía a la cabeza con casi el doble de superficie instalada en 2015, en relación con Cataluña que es la segunda con más área de captación solar. La mayor parte de estas instalaciones se centran en el sector residencial, previendo una mayor penetración en el sector servicios o industrial, con instalaciones de pequeño o gran tamaño, que proporcionarán energía térmica para diferentes usos de ACS, de climatización e industriales. Las acciones que se deberían proponer para incentivar la instalación de este tipo de energías alternativas serían los incentivos a la puesta en marcha de sistemas de calor renovable, permitir la venta de los excedentes de energía solar térmica a empresas de servicios energéticos y apostar por la investigación y desarrollo de nueva tecnología que permita aumentar la eficiencia del proceso de conversión de la energía solar.

## 2.3 Energía aerotérmica

Cualquier masa de aire a una temperatura por encima del cero absoluto ( $273,15\text{ }^{\circ}\text{K}$ ) contiene energía que la aerotermia puede utilizar. La energía aerotérmica utiliza como fuente primaria de energía el calor residual existente en el medio ambiente y utilizando como vector el aire extrae la energía calorífica que contiene. Esto permite satisfacer las demandas de calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria (ACS) de una vivienda o locales comerciales. Esto se consigue mediante el ciclo termodinámico que utiliza un gas refrigerante para extraer calor del aire exterior utilizando una bomba de calor.



FIG 11. Esquema de tecnología aerotérmica.

Los sistemas que utilizan este tipo de energía son las bombas de calor aerotérmica. Dichos equipos son capaces de extraer hasta un 75% de la energía que nos rodea o que rodea al equipo para, tras someter a un gas refrigerante a un ciclo de compresión y expansión, transmitir la energía calorífica de la fuente aire del exterior al interior de la edificación y posteriormente generar frío o calor. Utilizando un porcentaje muy bajo de electricidad para el ciclo compresivo se puede extraer la energía calorífica del aire como se muestra en el siguiente gráfico:

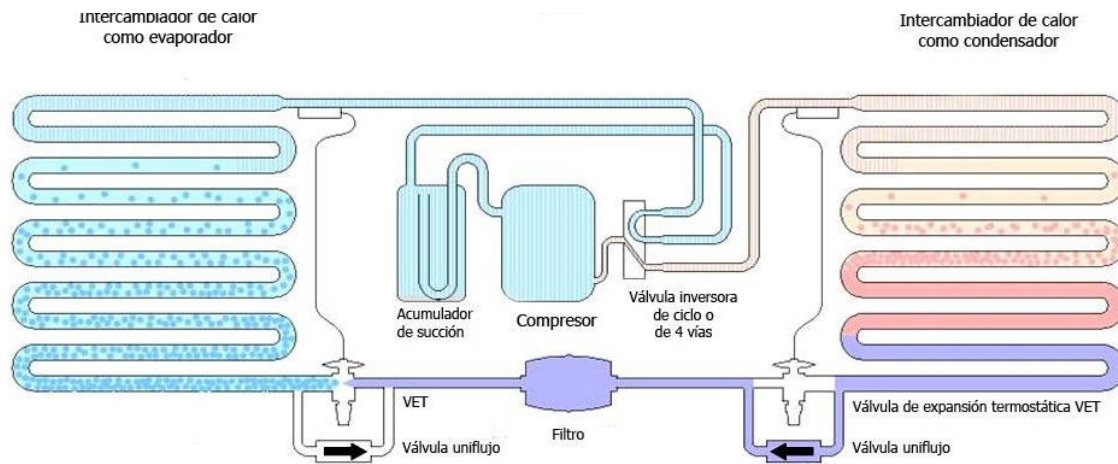


FIG 12. Diagrama bomba de calor.

Podemos decir que una bomba de calor es una máquina que transfiere el calor en un sentido inverso a la dirección termodinámica natural del mismo, es decir, la dirección espontánea de la transmisión de calor va del foco caliente al frío. En este caso la energía calorífica pasa del foco frío al caliente utilizando un aporte externo de energía, normalmente eléctrica, que utiliza un compresor accionado por un motor para invertir el flujo.

La eficiencia del proceso es alta, por ejemplo, un equipo con rendimiento 4'3 genera 4'3Kw de energía por cada Kw de energía eléctrica utilizada por el motor. Lo cual significa que hemos aportado un 76% más de energía al sistema con un gasto de un 24% de energía eléctrica, con los consiguientes abaratamientos de los costes en la utilización de la energía de la red eléctrica y por tanto con una reducción importante de las consecuencias que lleva el uso de la electricidad para satisfacer las necesidades de una vivienda. Hemos de tener en cuenta que el compresor ha de estar impulsado por un motor, generalmente eléctrico que no presenta un rendimiento del 100%. Además, la compresión del gas o del líquido refrigerante siempre presenta pérdidas de calor y rozamientos que constituyen las irreversibilidades de un sistema termodinámico real. La eficacia del intercambio depende de la eficacia con la que el evaporador y el condensador intercambian calor con el medio ambiente. Esta eficacia puede mejorarse con el uso de ventiladores tanto en el evaporador como en el condensador pero, en ese caso, acumularemos pérdidas de energía a añadir a la del motor. La eficiencia en el uso de este tipo de energía depende básicamente del salto térmico entre el refrigerante y el ambiente. Cuanta mayor sea esta diferencia mayor será la eficiencia del equipo. Por ello, la instalación doméstica e industrial debe realizar un estudio previo de las zonas térmicas donde montar los equipos de aerotermia.

Las bombas de calor pueden funcionar entre fuentes y sumideros muy diversos, en el caso de la aerotermia la fuente es el aire ambiente que puede ceder a un gas refrigerante (bomba aire-aire) o a un líquido refrigerante (bomba aire-agua) la energía calorífica. Pero existen sistemas igual de eficaces donde la fuente es una corriente de un río o un lago y se lo transmiten a un gas o un líquido (bombas agua-aire o agua-agua). También existe la posibilidad de que el foco de calor sea el subsuelo que aprovechando el gradiente geotérmico existente nos permite extraer el calor de este foco para cederlo a un gas o líquido (bombas tierra-aire o tierra-agua).

Sin duda, este sistema de extracción de energía presenta numerosas ventajas y pocos inconvenientes. Su alta eficiencia frente a otros sistemas de calefacción y refrigeración supone una disminución del consumo eléctrico y un abaratamiento de los

costes. Es una energía limpia pues no produce directamente residuos durante el proceso de transformación, es cierto que el uso de electricidad de la red podría considerarse como un elemento contaminante pues esta fuente de energía no es totalmente limpia. La instalación y mantenimiento de los sistemas son sencillos y el gas o líquido refrigerante se puede eliminar y neutralizar con procesos simples. El territorio donde existen posibilidades de instalación es muy amplio en la península Ibérica debido a las diferentes regiones climáticas en la que está dividida. Es muy versátil, pues puede generar frío o calor que puede utilizarse de formas muy diversas, desde calefacción y refrigeración hasta la producción de ACS. Como principales desventajas citaremos el coste inicial bastante elevado que dificulta la amortización de los equipos domésticos e industriales, que debido a su dependencia de la red eléctrica no puede ser instalado en lugares carentes de estas infraestructuras y, en último lugar, que se precisa de un cambio del gas o líquido refrigerante cada cierto tiempo, lo que provoca un encarecimiento de los costes y residuos que almacenar.

La aerotermia en España es uno de los sectores con más desarrollo en día pues representan el 40'8% de los 13.480 millones de euros que facturan las energías renovables, según un informe de la Comisión Europea sobre el estado de la Unión Energética de 2016. Esta inversión se da principalmente en el sector doméstico con 31'8 millones de equipos instalados en los últimos 20 años, lo que supone una potencia instalada de entre 53 a 57 GW. Esto supone la potencia generada por 55 centrales nucleares. La distribución de la potencia instalada se desglosa en un 74% en hogares y entornos domésticos, un 21% en el sector comercio y servicios y, tan sólo un 5% en la industria<sup>10</sup>.

Como se expuso en el apartado 2.1 *Fuentes de energía renovables*, existe cierta polémica sobre si la aerotermia es una fuente totalmente renovable. Según el hecho de que la fuente primaria de energía es el calor existente en el medio ambiente, esta deriva directamente de la radiación solar y por tanto es totalmente renovable a escala humana, pero debemos tener en cuenta, que todas las bombas de calor precisan de un aporte de energía para el funcionamiento del motor que provoca la compresión y expansión del refrigerante. Dado que la energía eléctrica no es de origen 100% renovable, es lógico considerar que es una energía parcialmente renovable.

---

<sup>10</sup> Tomás Díaz, T. D. (2017, 27 noviembre). Aerotermia, la primera fuente renovable de España. Recuperado 8 septiembre, 2019, de <https://www.eleconomista.es/empresas-finanzas/noticias/8771986/11/17/Aerotermia-la-primera-fuente-renovable-de-Espana.html>



# 3 Edificación objeto de estudio

## 3.1 Situación del edificio respecto al tejido urbano

El edificio a estudiar en este proyecto se sitúa en un solar en el barrio de Malilla, al sur de la ciudad de Valencia, integrado al norte con el entramado urbano de la ciudad y al sur con las zonas de huerta. Se encuentra junto a las líneas ferroviarias de la ciudad y cercano al Hospital Universitario y Politécnico La Fe. Está comunicado con la zona centro de Valencia a través de la A-40.

## 3.2 Emplazamiento

El edificio del presente estudio está emplazado en la calle Pianista Amparo Iturbi 50, en el barrio de Malilla inmediato con la zona centro de Valencia. La parcela se encuentra limitada por esta calle y por las líneas de servicio ferroviario que disponen de trayectos de media, larga y corta distancia. Su orografía es regular y plana y cuenta con todos los servicios urbanísticos: agua potable, energía eléctrica, red de alcantarillado, encintado de aceras y alumbrado público. Esta zona tiene un carácter mixto, puesto que en ella existen viviendas, colegios, naves industriales, hospital, etc. La parcela se encuentra flanqueada por los bloques de viviendas de hasta PB+7 y por las líneas ferroviarias.



FIG 13. Emplazamiento vivienda en la parcela (Fuente: Bing Maps).

Situación:

- Latitud: 39° 28' 00"N
- Longitud: 0° 22' 30" O
- Altitud sobre el nivel del mar: 16 metros

### 3.3 Descripción general del edificio

El edificio consta de 5 plantas (planta baja y 4 plantas tipo), todo a distribuir entre planta primera, planta segunda, planta tercera y planta cuarta. En cada planta de viviendas hay seis viviendas con un dormitorio (TIPO I), tres viviendas con tres dormitorios (TIPO II), una vivienda con cuatro dormitorios (TIPO III). Por tanto, hay un total de 40 viviendas, con dos bloques de escalera y un ascensor por rellano, además de aparcamiento para 58 coches en planta baja. La altura de suelo a suelo de cada planta tipo es de 2,95 m y del suelo de planta baja al suelo de planta primera es de 3,85 m. El edificio es una edificación aislada.

A continuación, se muestran la sección A-A' y la planta primera.



FIG 14. Sección A-A' del edificio de estudio.



FIG 15. Esquema de planta tipo del edificio de estudio.

*Nota: Más información gráfica en el capítulo de Planos al final de la memoria.*

El sistema escogido para el ACS es convencional, mediante calentadores en cada vivienda y un acumulador centralizado, con el apoyo de captadores solares térmicos y/o bombas de calor. La red de distribución de ACS contará con dos circuitos cerrados y un circuito abierto, el de consumo de ACS.

El material de las tuberías será de cobre para alcanzar una temperatura elevada, pues el acero galvanizado puede presentar problemas en ACS si se alcanzan elevadas temperaturas. Al tratarse de ACS y, realizarse la mayor parte de la instalación con un material plástico, es importante disponer dilatadores (liras) que absorban las posibles tensiones producidas por la dilatación del material.

### 3.3.1 Uso característico del edificio y uso previsto para la planta baja

El uso característico del edificio se ajusta al uso característico de la Ordenanza urbanística de aplicación y es el destinado a vivienda plurifamiliar. El otro uso previsto es el de la planta baja designada a aparcamiento.

### 3.3.2 Relación con el entorno

La relación con el entorno es la adecuada, pues dicho entorno se compone de edificaciones destinadas a vivienda plurifamiliar y con las mismas ordenanzas urbanísticas.

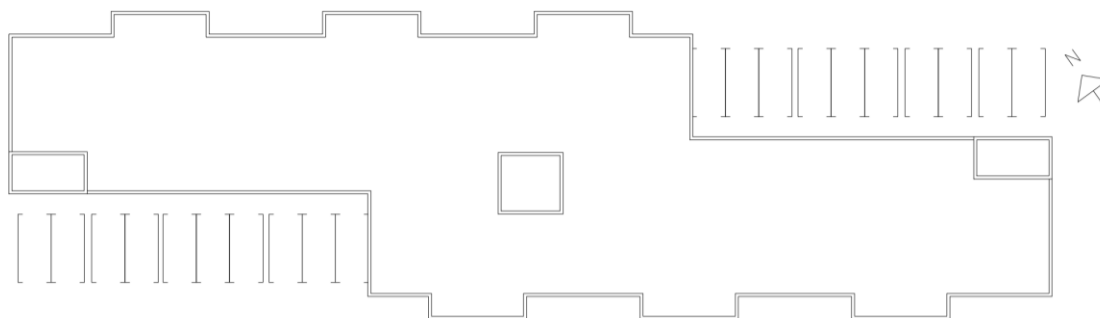
### 3.3.3 Superficie

La superficie del edificio de viviendas es de 2.506'92 metros cuadrados. Las superficies de las tipologías de viviendas están distribuidas de la siguiente manera:

CUADRO DE SUPERFICIES UTILES Y CONSTRUIDAS DE LAS VIVIENDAS						
TIPO	TIPOLOGIA	S. UTIL TIPO	S. CONST. TIPO	CANTIDAD	S. UTIL TOTAL TIPO	S. CONST. TOTAL TIPO
I	1D	47'61	51'24	24	1142'64	1.229'76
II	3D	68'75	72'25	12	825	867
III	4D	95'64	102'54	4	382'56	410'16
<b>TOTAL VIVIENDAS</b>				<b>40</b>	<b>2.350'20</b>	<b>2.506'92</b>

*TABLA 2. Superficies útiles y construidas de las viviendas.*

Para la instalación de los paneles solares y/o bombas de calor se dispone de la totalidad de la cubierta del edificio que cuenta con una superficie en planta libre de obstáculos de 837'80 m<sup>2</sup>. Habrá que tener en cuenta que la superficie no es perfectamente regular, por tanto, ambos sistemas se distribuirán en diferentes filas, regularmente sobre la superficie anteriormente indicada, además de mantener una distancia de separación adecuada entre maquinas.



*FIG 16. Superficie total edificio de vivienda.*

# 4 Diseño y dimensionado de la instalación solar térmica

## 4.1 Aspectos generales

El principal objetivo de la instalación solar térmica es captar la radiación del sol y convertirla en calor útil, obteniendo el ACS que se utilizará en las viviendas del edificio objeto de estudio. Por tanto, se describirá los tipos de instalaciones, los elementos que la integran, el procedimiento de dimensionado y su correspondiente cálculo.

Dentro de las aplicaciones obligatorias por el CTE están los usos para ACS y la climatización de piscinas.



*FIG 17. Instalación solar térmica.*

### 4.1.1 Tipos de sistemas

Según el tipo de agua a calentar, existen dos tipos de sistemas:

- a. **Circuito abierto:** en el cual el agua de consumo atraviesa directamente los captadores solares. En este tipo de instalación se reducen los costes y es más eficaz energéticamente. Sin embargo, el hecho de que no haya intercambiador puede afectar a la calidad del agua y acarrear complicaciones debido a las heladas, poco frecuentes por el emplazamiento anteriormente citado, pero no exentas de ellas.

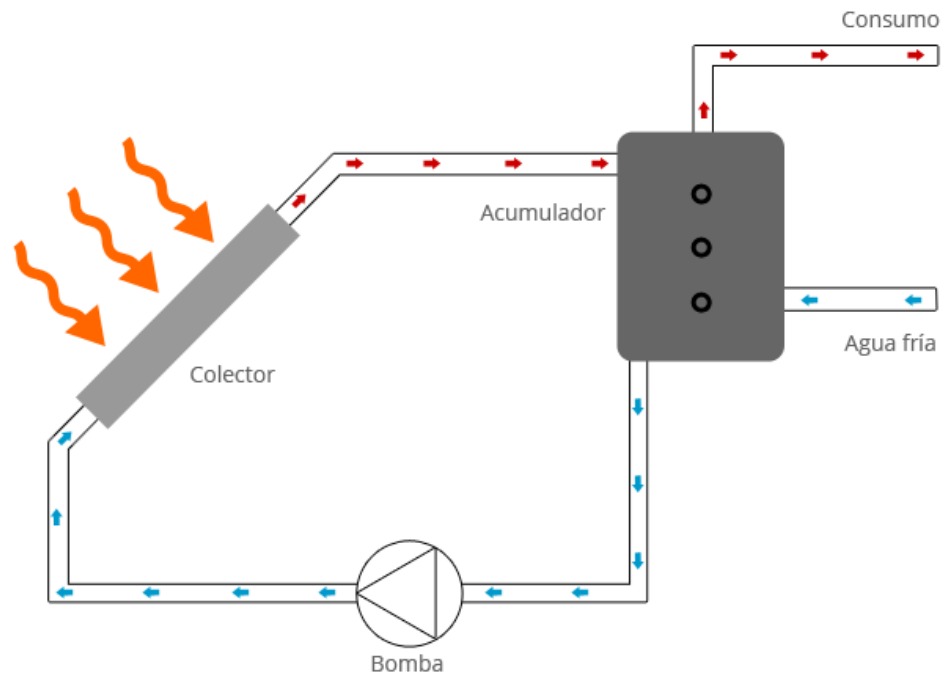


FIG 18. Esquema de una instalación con circuito abierto.

- b. **Circuito cerrado:** en el cual el agua de consumo no atraviesa directamente los captadores solares. Éste es el tipo de instalación más utilizado. Se emplea un líquido anticongelante que pasa por los tubos de los captadores y se calienta por medio de la radiación solar. Este líquido atraviesa un circuito hidráulico hasta alcanzar al acumulador; donde ese líquido calienta el agua a consumir. Dado el caso de que no se alcance la temperatura deseada, dicho acumulador contiene un generador auxiliar que se ocupa de producir calor complementario.

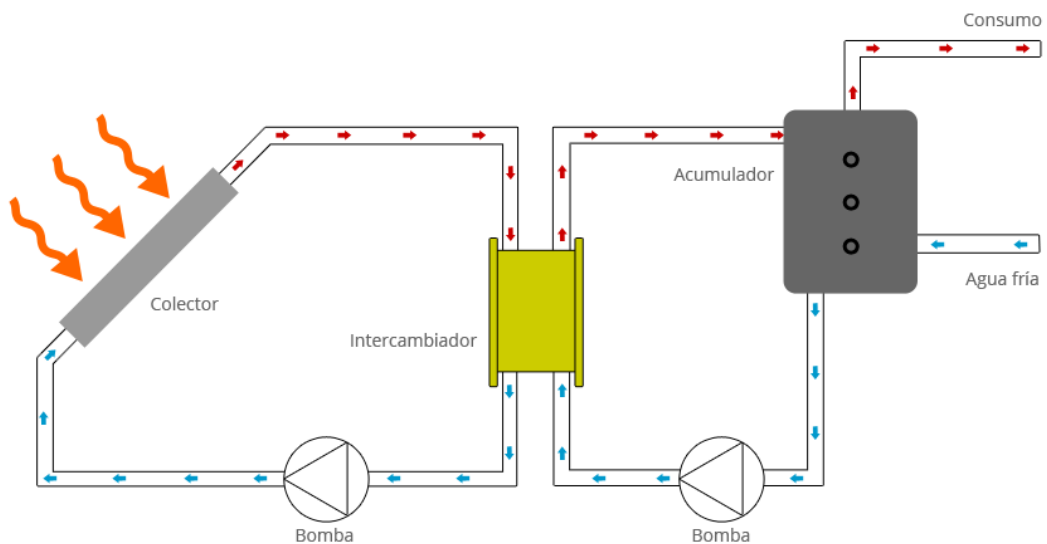


FIG 19. Esquema de una instalación con circuito cerrado.

#### 4.1.2 Elementos que integran la instalación

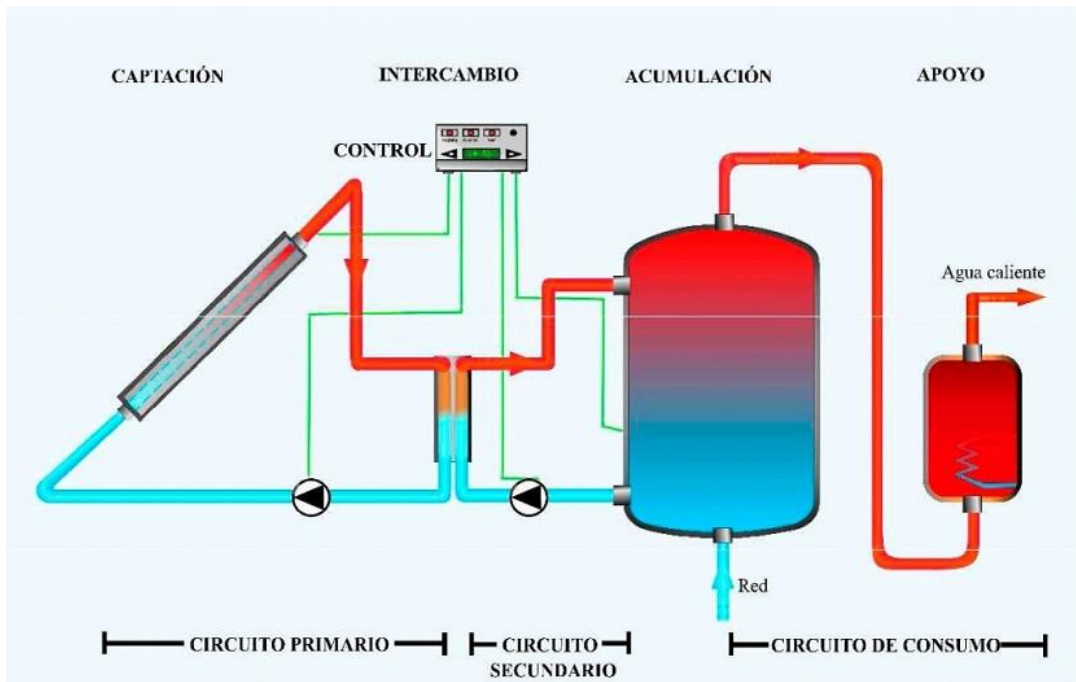


FIG 20. Esquema de una instalación solar térmica con intercambiador externo.

##### a) Captador o panel solar

Parte más importante del sistema de captación pues, nos permite atrapar la radiación solar transformándola en energía térmica para calentar un líquido circulante que fluye en su interior. Dependiendo de la región térmica donde se instale el líquido circulante podrá ser agua en zonas térmicas cálidas; o un líquido refrigerante en zonas térmicas cálidas sin heladas. Para maximizar la cantidad de calor absorbida por el panel solar existen diferentes tipos de diseños disponibles:

- **Captador plano estándar:** utilizando el principio del efecto invernadero, el captador solar plano absorbe, a través de un vidrio, el espectro de luz visible que calienta una superficie de metal aislada del exterior mediante una caja revestida. La placa colectora transforma la energía radiante en radiación de onda corta, como son los infrarrojos, convirtiéndose en un emisor de energía radiante, la cual al intentar salir al exterior a través del vidrio. Siendo el vidrio un material prácticamente opaco a los rayos infrarrojos estos quedan atrapados calentando la caja por encima de la temperatura exterior. Dentro de la caja colectora se encuentra un circuito con entrada y salida que contiene el líquido caloportador que al calentarse transmitirá el calor absorbido a otros sistemas de intercambio.

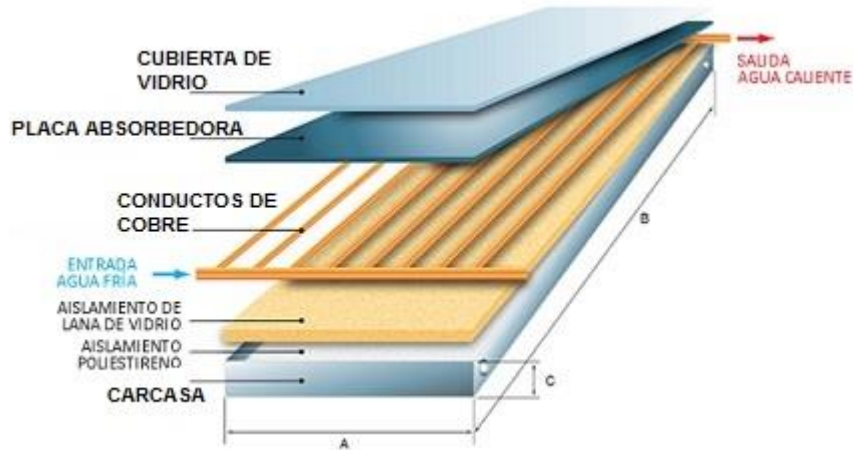


FIG 21. Esquema de un captador plano estándar.

- **Captador de aire:** utiliza el mismo principio invernadero, pero el líquido caloportador es sustituido por aire que circula por un circuito interno (FIG 19. Conductos de cobre). Las bombas utilizadas en los captadores planos con líquido refrigerante para forzar la succión del circuito aquí son sustituidas por ventiladores que impulsan la corriente de aire por e interior de la caja captadora.
- **Captador de tubos de vacío:** constituido por un conjunto de tubos en los que se ha realizado el vacío para disminuir las pérdidas de calor, en cuyo interior una varilla de metal contiene el líquido caloportador. El fluido es calentado por la absorción de la varilla de cobre situada dentro del tubo y este asciende hasta la parte superior o cabeza calentándola. Las cabezas están en contacto con un circuito de agua circulante que es calentada dependiendo de la cantidad de insolación recibida y que distribuye el calor a la instalación que lo requiera.

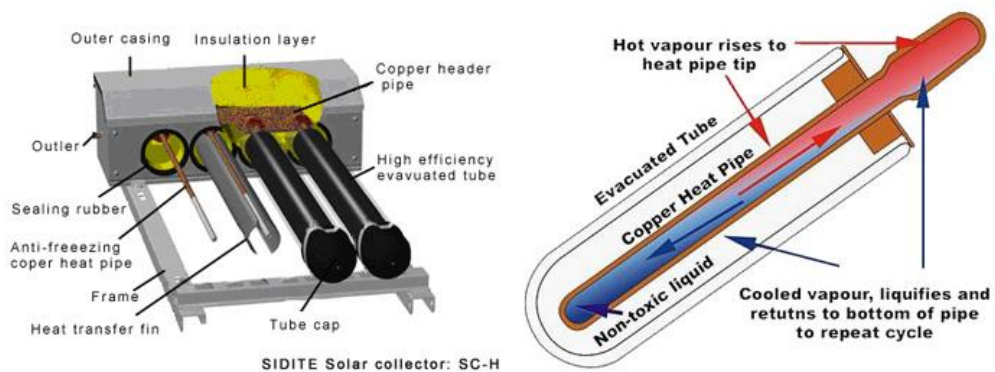


FIG 22. Esquema de un captador de tubos de vacío. Esquema izda; sección dcha.

- **Captadores concentradores (CPC):** constituidos por una superficie de canales parabólicos de espejo, son capaces de concentrar la radiación solar sobre un circuito por el que circula el líquido caloportador. Existen numerosas variaciones dependiendo de la forma de la superficie receptora, y de su capacidad para la evacuación del calor, siendo los fijos los que lo hacen con mayor facilidad.

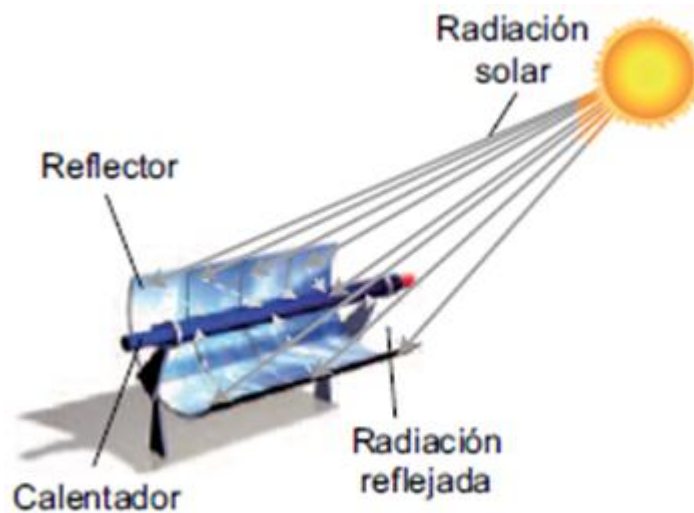


FIG 23. Esquema de un CPC.

#### b) Circuito hidráulico

Son el conjunto de tuberías que transportan el fluido caloportador desde la superficie receptora hasta el lugar donde se vaya a realizar la acción. Los circuitos son normalmente cerrados en la mayor parte de instalaciones, y es por ello, que podemos hablar de circuitos de ida y de retorno. Constituyen una caldera, desde el punto de vista termodinámico, pues su principal función es almacenar y transmitir el calor a un ámbito.

#### c) Estructura portante y elementos de fijación de los captadores solares

Sirven para fijar los captadores a la superficie necesaria, además de proporcionar la inclinación idónea a dichos captadores.

#### d) Intercambiador

Es el encargado de transferir el calor del circuito primario al circuito secundario (Ver FIG. 18), es decir, transportan el calor producido en los captadores a un circuito secundario que transporta agua, la cual se calentará. Existen muchas modalidades de intercambiadores, aquellos constituido por un serpentín situados en el interior del acumulador; y aquellos externos al acumulador constituidos por placas sólidas que transfieren el calor al acumulador.

#### e) Acumulador

Como su nombre indica es un sistema para almacenar el calor captado en los paneles. Normalmente están formados por uno o varios depósitos de agua caliente convenientemente aislados, para evitar las pérdidas de calor y mantener al máximo el calor acumulado.

#### f) Bombas de circulación

Son aquellas que trabajan para superar las pérdidas de carga de los circuitos, así como las fuerzas de rozamiento y gravedad.



### g) Energía convencional auxiliar

La intermitencia de las condiciones meteorológicas no siempre asegura un suministro constante de energía calorífica a los captadores y, por ello, se precisa de la energía convencional auxiliar, cuya función es proporcionar un suministro constante de energía al sistema para evitar las mencionadas intermitencias. En aquellas situaciones en que la capacidad captadora de calor y de su transformación supera la demanda de las instalaciones, también se precisa la utilización de una fuente de energía convencional auxiliar que permita satisfacer la relación entre la oferta y la demanda.

## 4.1.3 Otros elementos para la seguridad

La constante exposición de los elementos captadores, circuitos y demás sistemas descritos en el punto anterior a los agentes meteorológicos externos, provoca una degradación o meteorización de los mismos debido a los constantes cambios térmicos, oxidación atmosférica, reacciones químicas indeseadas... Por ello, es preciso la presencia de otros elementos para la seguridad de la instalación que nos permita minimizar el impacto de dichos agentes en los sistemas instalados.

### a) Vasos de expansión

El vaso de expansión tiene como fin absorber las variaciones de volumen de un fluido contenido en un circuito cerrado al variar su temperatura, manteniendo la presión entre límites preestablecidos e impidiendo, al mismo tiempo, pérdidas y reposiciones de la masa de fluido<sup>11</sup>. Los vasos abiertos están constituidos por un volumen abierto que contiene un rebosadero para el líquido que contienen. No son recomendables en sistemas ACS por exponer el agua caliente a una posible contaminación. Actualmente se utilizan los cerrados que están constituidos por una caldera que contiene una membrana que permite la dilatación del líquido en el interior de la caldera. Mantienen la potabilidad del agua en los sistemas ACS.

### b) Válvulas de seguridad

Se utilizan para controlar la presión del agua. La válvula dispensa líquido en el momento en que se llega al valor de la presión ajustada en el proceso de calibración, impidiendo así que la presión llegue a límites que puedan ser perjudiciales.

### c) Glicol

El etilenglicol es una sustancia orgánica del grupo de los dioles muy utilizado en la industria por sus propiedades tanto físicas, como químicas. Químicamente viene definido por el 1,2 - etanodiol y su uso industrial como anticongelante está muy difundido pues su punto de fusión es  $-13^{\circ}\text{C}$ . Como alcohol se disuelve fácilmente en agua y evita la congelación de los circuitos caloportadores.

El líquido caloportador debe ser atóxico, ni corroer, no se debe gastar, ni hervir, tener alta capacidad calorífica y ser económico. Lo ideal para una instalación solar térmica es tener 60% de agua y 40% de glicol.

---

<sup>11</sup> Definición según la norma UNE 100155 que regula todo lo relativo a sistemas de expansión.

**d) Disipadores de calor**

Un calentamiento excesivo del líquido caloportador o del agua sanitaria puede provocar desperfectos importantes en el sistema conductor. Para evitar la acumulación excesiva de calor es conveniente instalar sistemas disipadores de calor como ventiladores, acumuladores estáticos, etc. que permitan retirar los excesos de calor absorbidos por el sistema.

**e) Purgadores**

Sustraen el aire acumulado en el interior de los circuitos que puede provocar contratiempos en el funcionamiento de la instalación.

**f) Control automático**

Para que todo el sistema funciones de forma coordinada precisamos de un control de la temperatura en acumuladores, captadores, líquidos o gases portadores del calor, así como, la puesta en marcha de los sistemas de seguridad anteriormente descritos, para ello los diferentes sensores deben integrarse en un sistema de control de automático que permita que el conjunto funciones de forma eficiente y con seguridad.

## 4.2 Procedimiento de dimensionado

Se precisa calcular la demanda energética necesaria para la producción de ACS según las indicaciones del DB-HE4 del CTE, para luego obtener la contribución solar del campo de captadores.

### 4.2.1 Cálculo de la demanda energética para la producción de ACS

**a. Cálculo del volumen diario de ACS**

El DB-HE4 del CTE, en la tabla 4.1., indica los valores unitarios de consumo en litros por día de ACS a 60°C.

En la normativa viene predeterminada que la temperatura de ACS es de 60°C, ya que la temperatura del agua en el acumulador es también 60°C.

**Tabla 4.1. Demanda de referencia a 60 °C<sup>(1)</sup>**

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

*TABLA 3. Tabla 4.1. Demanda de referencia a 60°C.*

**b. Número de personas**

El DB-HE4 del CTE, en la tabla 4.2., indica los valores mínimos de ocupación para determinar el número de personas que demandan ACS en una vivienda de carácter residencial.

**Tabla 4.2. Valores mínimos de ocupación de cálculo en uso residencial privado**

<b>Número de dormitorios</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>≥6</b>
<i>Número de Personas</i>	1,5	3	4	5	6	6	7

*TABLA 4. Tabla 4.2. Valores mínimos de ocupación en uso residencial.*

**c. Factor de centralización**

El DB-HE4 del CTE, aplica un factor de centralización para viviendas de carácter residencial para corregir el volumen total de ACS. Este factor se obtiene de la tabla 4.3

**Tabla 4.3. Valor del factor de centralización**

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

**TABLA 5.** Tabla 4.3. Valor del factor de centralización.

*d. Demanda de energía total requerida para la producción de ACS*

$$ET = \rho \cdot V_{ACS} \cdot Ce \cdot (T_{acs} - T_{red})$$

Siendo:

$$\rho = 1 \text{ kg/l}$$

$V_{ACS}$  = consumo diario de ACS para temperatura de 60°C, en l/día

$Ce$  = calor específico  $1,16 \times 10^{-3} \text{ kWh/Kg } ^\circ\text{C}$

$T_{acs}$  = temperatura para cuantificar el consumo de ACS, en °C

$T_{red}$  = temperatura del agua fría de la red, en °C

En la siguiente tabla aportada por CENSOLAR se indica la temperatura mínima media del mes y anual del agua de la red general en °C, dependiendo de la ciudad.

*Tabla 4. Temperatura mínima media del agua de la red general, en °C, obtenida a partir de medidas directas. Los datos han sido agrupados en seis perfiles característicos. (Fuente: CENSOLAR).*

Nota: También se podrán tomar en consideración los valores indicados en la norma UNE 94002.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
1	ÁLAVA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	9,3
2	ALBACETE	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	9,3
3	ALICANTE	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	12,3
4	ALMERÍA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	12,3
5	ASTURIAS	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	10,3
6	ÁVILA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	8,3
7	BADAJÓZ	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	10,3
8	BALEARES	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	12,3
9	BARCELONA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	12,3
10	BURGOS	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	8,3
11	CÁCERES	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	10,3
12	CÁDIZ	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	12,3
13	CANTABRIA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	12,3
14	CASTELLÓN	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	12,3
15	CEUTA	8	9	10	12	13	14	13	13	12	11	8	11,3
16	CIUDAD REAL	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	9,3
17	CÓRDOBA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	10,3
18	LA CORUÑA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	12,3
19	CUENCA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	8,3
20	GERONA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	10,3
21	GRANADA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	10,3
22	GUADALAJARA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	10,3
23	GUIPÚZCOA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	12,3
24	HUELVA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	12,3
25	HUESCA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	9,3
26	JAÉN	8	9	11	13	14	15	17	16	14	13	11	12,3
27	LEÓN	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	8,3
28	LÉRIDA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	9,3
29	LUGO	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	10,3
30	MADRID	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	10,3
31	MÁLAGA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	12,3
32	MELILLA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	12,3
33	MURCIA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	12,3
34	NAVARRA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	9,3
35	ORINSE	5	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	10,2
36	PALENCIA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	9,3
37	LAS PALMAS	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	12,3
38	PONTEVEDRA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	12,3
39	LA RIOJA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	10,3
40	SALAMANCA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	9,3
41	STA. C. DE TENERIFE	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	12,3
42	SEGOVIA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	8,3
43	SEVILLA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	12,3
44	SORIA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	8,3
45	TARRAGONA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	10,3
46	TERUEL	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	8,3
47	TOLEDO	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	10,3
48	VALENCIA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	12,3
49	VALLADOLID	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	9,3
50	VIZCAYA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	10,3
51	ZAMORA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	9,3
52	ZARAGOZA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	9,3

*TABLA 6. Temperatura mínima media del mes y anual del agua de la red general en °C.*

## 4.2.2 Dimensionado del campo de captadores solares

### a. Contribución solar mínima

El DB-HE4 del CTE, en la tabla 2.1., indica la contribución solar mínima anual de ACS exigida en función de la zona climática y de los diferentes niveles de demanda de ACS.

**Tabla 2.1. Contribución solar mínima anual para ACS en %.**

Demanda total de ACS del edificio (l/d)	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50 – 5.000	30	30	40	50	60
5.000 – 10.000	30	40	50	60	70
> 10.000	30	50	60	70	70

**TABLA 7.** Tabla 2.1. Contribución solar mínima anual ACS.

### b. Energía solar

Es la energía total que genera el sol.

$$E_{\text{solar}} = \text{Contribución solar} \cdot ET$$

$$E_{\text{solar}}_{\text{anual}} = E_{\text{solar}} \cdot 365 \text{ días}$$

### c. Superficie de captación necesaria

Va en función de la energía total demandada, de la contribución sola, de la energía obtenida a partir de la irradiación solar y del rendimiento de los captadores.

1. Irradiación solar ( $E_{\text{irradiación solar}}$ ): depende de la zona climática del edificio. Se adoptará el valor medio de la Irradiancia para la ciudad en concreto.
2. Otras pérdidas: se tratan de las pérdidas por cambio de orientación (orientación diferente al sur) o por cambio de inclinación respecto a la que se considera óptima.
3. Rendimiento ( $\eta$ ): el rendimiento de los captadores como mínimo 0'4.
4. Superficie de captación necesaria:  $S = E_{\text{solar}} / E_{\text{irradiación solar}} \cdot \eta$

### d. Situación de los captadores

La instalación solar se dispondrá de manera que se favorezca a la aportación de la máxima energía. Los captadores se colocarán orientados hacia el Sur (Acimut 0°) ya que es la dirección donde el Sol proporciona una mayor irradiación incidente.

*e. Elección y número de captadores*

Se escoge en una casa comercial un modelo de captador. En su ficha viene detallada el área absorbadora. Por tanto, para obtener el número de captadores será necesario dividir la superficie de captación necesaria con el área absorbadora del panel. Se escoge también la forma de conexión de los captadores, en serie o paralelo.

*f. Superficie captadores*

$$S_{\text{captadores}} = \text{área absorbadora} \cdot \# \text{ captadores}$$

*g. Energía solar bruta*

$$E_{\text{solar bruta}} = E_{\text{irradiación solar}} \cdot S_{\text{captadores}}$$

*h. Cobertura aportada por captadores*

$$\text{COB} = E_{\text{solar bruta}} \cdot \eta / \text{ET año}$$

*i. Predimensionado del acumulador*

1. Volumen del acumulador: según el DB-HE4 del CTE debe estar comprendido entre 50 y 180. Normalmente en viviendas, se adopta un valor de 75

$$V_{\text{Acumulador}} = S_{\text{captadores}} \cdot 75$$

2. Volumen de acumulación por persona

$$V_{\text{Acumulador persona}} = V_{\text{Acumulador}} / \# \text{ total personas}$$

3. Retorno

$$V_{\text{Acumulador}} \cdot 10\%$$

4. Superficie del intracumulador incorporado al acumulador

$$P = 1000 \text{ W/m}^2 \cdot \eta \cdot S_{\text{captadores}}$$

$$S_{\text{min}} = 0'20 \cdot S_{\text{captadores}}$$

*j. Separación entre captadores*

$$d = h / \tan (67^\circ - \text{latitud}) = L \cdot \text{Sen } \beta / \tan (67^\circ - \text{latitud})$$

### 4.2.3 Consumo final con el sistema de apoyo

**a. Consumo energético final de caldera de gas o termo eléctrico**

Relación entre la energía solar y el rendimiento estacional del sistema de apoyo.

**b. Consumo de energía primaria asociada**

Es el consumo energético final por el factor de paso para energías primarias.

**c. Emisiones de CO<sub>2</sub>**

Es el consumo energético final por el factor de paso para emisiones de CO<sub>2</sub>.

## 4.3 Diseño de la instalación con placas solares

### I. Cálculo de la demanda energética para la producción de ACS

**a. Número de personas**

Mediante la tabla 4.2 se estima la ocupación de cada vivienda a través del número de dormitorios.

VIVIENDAS	# DORMITORIOS	# PERSONAS
24 Tipo I	1	15
12 Tipo II	3	4
4 Tipo III	4	5

**TABLA 8.** Ocupación de personas en cada vivienda tipo.

**b. Cálculo del volumen diario de ACS**

En la tabla 4.1, se obtiene el valor de la demanda en vivienda siendo 28 l/día, tomando como temperatura de referencia 60°C.

$$V_{ACS} = \text{Dotación (l/per/día)} \cdot \text{\#personas}$$

$$V_{ACS} = 28 \text{ l/per/día} \cdot (15 \text{ per/viv} \cdot 24 \text{ viv} + 4 \text{ per/viv} \cdot 12 \text{ viv} + 5 \text{ per/viv} \cdot 4 \text{ viv})$$

$$V_{ACS} = 28 \text{ l/per/día} \cdot 104 \text{ per}$$

$$V_{ACS} = 2.912 \text{ l/día}$$

**c. Factor de centralización**

Al tratarse de un edificio de viviendas plurifamiliar, aplicamos el factor de centralización para, en este caso, 40 viviendas, siendo este valor de 0'85:



$$V_{\text{ACS centralización}} = 2.912 \text{ l/día} \cdot 0'85$$

$$V_{\text{ACS centralización}} = 2.475'2 \text{ l/día}$$

**d. Demanda de energía total para la producción de ACS**

$$ET = \rho \cdot V_{\text{ACS}} \cdot CE \cdot (T_{\text{ACS}} - T_{\text{red}})$$

Para  $T_{\text{ACS}}=60^{\circ}\text{C} \rightarrow T_{\text{red}}=12'3^{\circ}\text{C}$  (Valencia)

Por tanto:

$$ET = 1 \text{ kg/l} \cdot 2.475'2 \text{ l/día} \cdot 1'1611 \cdot 10^{-3} \text{ kWh/Kg}^{\circ}\text{C} \cdot (60 - 12'3)^{\circ}\text{C}$$

$$ET = 137'09 \text{ kWh/día}$$

$$ET \text{ anual} = 50.037'47 \text{ kWh/año}$$

*NOTA: El cálculo de la demanda energética tomando en consideración la aportación de todos los meses está realizado en la hoja Excel, en el capítulo de Anexos al final de la memoria.*

**II. Dimensionado del campo de captadores solares**

**a. Contribución solar mínima**

A partir de la tabla 2.1 del DB-HE4, sabiendo que se le asigna zona IV (Valencia) según "Atlas de Radiación Solar en España utilizando datos del SAF de Clima de EUMETSAT", y con una demanda diaria de ACS del edificio a  $60^{\circ}$  (temperatura de referencia) comprendida entre el intervalo 50-5000 (2.475'2 l/día), da como resultado una contribución solar mínima (COB) anual de ACS del 50%.

**b. Energía solar**

$$E_{\text{solar}} = \text{Contribución} \cdot E_T$$

$$E_{\text{solar}} = 0'5 \cdot 137'09 \text{ kWh/día} = 68'55 \text{ kWh/día}$$

$$E_{\text{solar anual}} = 25.018'73 \text{ kWh/año}$$

**c. Superficie de captación necesaria**

**1. Irradiación solar**

Valencia  $\rightarrow$  Latitud  $39^{\circ}$

Tomando el valor de irradiación media en la tabla CENSOLAR para la población de Valencia para un día medio  $15'3 \text{ MJ/día/m}^2$ . Como se trata de un cálculo en media anual, no corregiremos los valores, sino que tomaremos directamente el valor de:

$$E_{\text{irradiación anual}} = 15'3 \text{ MJ/día/m}^2 \cdot 0'2278 \text{ kWh/día/m}^2$$

$$E_{\text{irradiación anual}} = 4'25034 \text{ Kwh/día/año} \cdot 365 \text{ día/año}$$

$$E_{\text{irradiación anual}} = 1551'3741 \text{ Kwh/m}^2/\text{año}$$

## 2. Otras pérdidas

En este caso no hay pérdidas, al estar las placas orientadas al sur y con la inclinación óptima para su uso.

$$\text{Coeficiente pérdidas (CP)} = (100 - \text{Pérdidas (\%)}) / 100 = (100 - 0(\%)) / 100 = 100 / 100 = 1$$

## 3. Rendimiento de la placa

Se elige una placa con un rendimiento medio del 55%.

## 4. Superficie de captación necesaria

$$\begin{aligned} S &= E_{\text{solar}} / E_{\text{irradiación solar}} \cdot \eta \\ S &= 25.018'73 / (1551'3741 \cdot 0'55) \\ S &= 29'32 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

### d. Situación de los paneles

La inclinación de las placas será la latitud (39°), que se considera óptima. Por lo tanto, la inclinación será:  $\beta = 39^\circ$ . La orientación es SUR.

### e. Elección y número de captadores

El captador es de la empresa VAILLANT modelo VFK 145 H y tiene un área absorbadora de 2,35 m<sup>2</sup>, por tanto:

$$29'32 / 2'35 = 12'48 \text{ captadores}$$

Nos salen un total de 12'48 captadores, que los ampliaremos hasta los 15 captadores para que la distribución de éstos sea más fácil.

*Nota: La ficha técnica de este modelo de captador se adjunta, en el capítulo de Anexos al final de la memoria.*

**SOLUCIÓN:** Se colocan 3 baterías de 5 captadores cada una, conectadas en paralelo en posición horizontal (mejor rendimiento que en serie).

### f. Superficie captadores

$$S_{\text{captadores}} = \text{área absorbadora} \cdot \# \text{ captadores} = 2'35 \cdot 15$$

$$S_{\text{captadores}} = 35'25 \text{ m}^2$$

### g. Energía solar bruta

$$E_{\text{solar bruta}} = E_{\text{irradiación solar}} \cdot S_{\text{captadores}} = 1551'3741 \text{ kWh/m}^2/\text{año} \cdot 35'25 \text{ m}^2$$

$$E_{\text{solar bruta}} = 54.681'56 \text{ kWh /año}$$

#### *h. Cobertura aportada por captadores*

$$\text{COB} = (54.681'56 \text{ kWh /año} \cdot 0'55) / 50.037'47 \text{ kWh/año} = 0'6010$$
$$\text{COB} = 60'10 \%$$

Evidentemente, COB = 60'10 %, es mayor que COB mínima = 50 %.

#### *i. Predimensionado del acumulador*

1. Volumen del acumulador:

$$V_{\text{Acumulador}} = S_{\text{captadores}} \cdot 75 = 35'25 \cdot 75 = 2.643'75 \text{ litros}$$

$$V_{\text{Acumulador}} = 2.700 \text{ litros}$$

2. Volumen de acumulación por persona

Al dividir por el número total de personas (100), obtendríamos el volumen de acumulación de ACS por persona.

$$V_{\text{Acumulador persona}} = V_{\text{Acumulador}} / \# \text{ total personas}$$

$$V_{\text{Acumulador persona}} = 2.700 / 100 = 27 \text{ l / per}$$

Escogemos un modelo de acumulación centralizada, con intercambiador en cada vivienda, pues es una solución que exige poco espacio en el interior de la vivienda.

3. Retorno

El sistema funciona con retorno invertido, recirculándose como mínimo 250 l/h en cada columna según el CTE. En general se debe recircular un 10% del caudal de alimentación, de manera que:

$$\text{Retorno} = V_{\text{Acumulador}} \cdot 10\%$$

$$\text{Retorno} = 2.600 \cdot 10\% = 260 \text{ l}$$

4. Superficie del interacumulador incorporado al acumulador

Según el CTE:  $P = 1000 \text{ W/m}^2 \cdot 50 \% \cdot S_{\text{captadores}}$

$$P = 1000 \text{ W/m}^2 \times 50 \% \times 35'25 \text{ m}^2 = 17.625 \text{ W} = 17'63 \text{ kW}$$

Según el CTE, para intercambiador incorporado al acumulador, la relación entre la superficie útil de intercambio y la superficie total de captación no será inferior a 15 %.

Tomamos un valor de 20 % para tener un margen de seguridad.

$$S_{\text{min}} = 0'20 \cdot S_{\text{captadores}} = 0'20 \cdot 35'25$$

$$S_{\text{min}} = 7'05 \text{ m}^2$$

j. Separación entre captadores

$$d = h / \tan (67^\circ - \text{latitud}) = L \cdot \text{sen} (\beta) / \tan (67^\circ - 39^\circ) = 1'233 \text{ sen} (39^\circ) / \tan (28^\circ)$$
$$d = 1'459 \text{ m}$$

$$\text{Distancia total} = 1'459 + L \cdot \cos (\beta) = 1'459 + 0'958 = 2'417 \text{ m}$$

Medidas placa= 1233 x 2033 x 80 mm

1 conjunto formado por 5 captadores:  $b = 2033 \times 5 = 10165 \text{ mm} = 10'16 \text{ m}$

Colocando los captadores en paralelo, la temperatura del fluido de entrada es la misma en todos los captadores y pasa lo mismo con la temperatura de salida. Todos los captadores trabajan con el mismo punto de la curva de rendimiento.

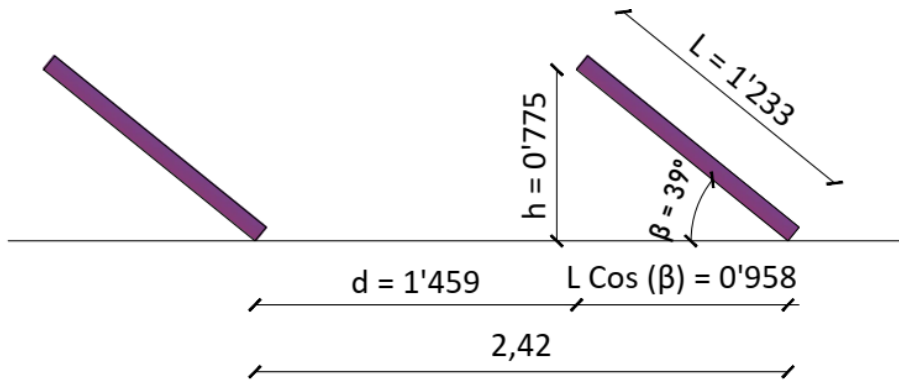


FIG 24. Cálculo distancia entre paneles.

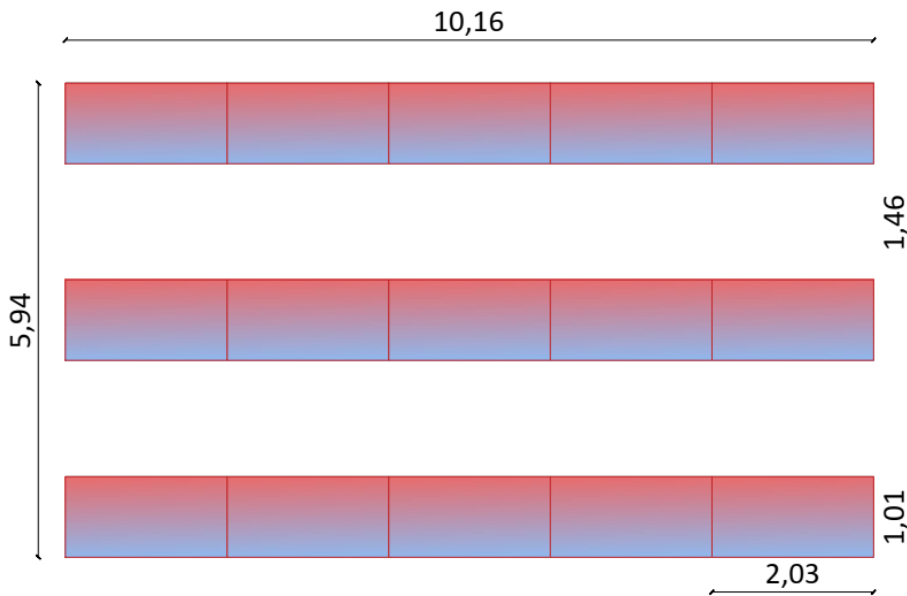


FIG 25. Medidas de ocupación de los paneles en planta cubierta.

III. Consumo final con el sistema de apoyo

Se escoge una caldera de gas natural como sistema de apoyo

**a. Consumo energético final de la caldera de gas**

Se escoge una caldera de gas natural con un rendimiento estacional de 0'92

$$E_{CGN} = 25.018'73 \text{ kWh/año} / 0'92$$

$$E_{CGN} = 27.194'27 \text{ kWh/año}$$

**b. Consumo de energía primaria asociada**

Para una caldera de gas natural, el factor de paso es de 1'19

$$E_{CGN-PnR} = 1'19 \cdot 27.194'27 \text{ kWh/año}$$

$$E_{CGN-PnR} = 32.361'18 \text{ kWh/año}$$

**c. Emisiones de CO<sub>2</sub>**

Para una caldera de gas natural, el factor de paso es de 0'252 kg/kWh

$$Em_{CGN-PnR} = 0'252 \cdot 27.194'27 \text{ kWh/año}$$

$$Em_{CGN-PnR} = 6.852'96 \text{ kWh/año}$$

## 4.4 Diseño empleando las nuevas exigencias con el borrador del CTE

Durante la redacción de este trabajo no se ha aprobado el borrador del nuevo CTE. Añadiendo la aplicación del mismo, obtendríamos igual resultado ya que este borrador exige una contribución solar mínima del 50% proveniente de las energías renovables, y en los cálculos realizados con el CTE vigente la zona climática establece una contribución mínima del 50%.

## 4.5 Cumplimiento de la cobertura solar mediante el programa CHEQ4

El programa utilizado es gratuito y de fácil acceso en la página web del instituto para la Diversificación y el Ahorro de energía (IDEA). Se ha elaborado un pequeño cálculo con este programa para obtener la cobertura solar verificando si la instalación con el modelo de placas y el sistema de apoyo escogidos cumplen con la exigencia básica HE Ahorro de energía del Código Técnico de la Edificación (CTE).

Se procede a mostrar paso a paso todas las ventanas en el transcurso de verificación de dicha instalación.

*Nota: El certificado del cumplimiento de los requerimientos mínimos especificados por el HE4, se encuentra en el capítulo de Anexos al final de la memoria.*

Análisis comparativo entre placas solares térmicas y otro sistema de captación como la aerotermia aplicado a la vivienda

En la pantalla de *Localización* se escoge la provincia y el municipio donde se ubica el edificio de la instalación y el programa genera sus valores climáticos y de temperaturas.

	Rad(MJ/m2)	T.Red (°C)	T.Amb (°C)
Enero	9,1	10,0	10,4
Febrero	12,2	11,0	11,4
Marzo	16,8	12,0	12,6
Abril	21,9	13,0	14,5
Mayo	24,4	15,0	17,4
Junio	26,9	17,0	21,1
Julio	27,6	19,0	24,0
Agosto	23,8	20,0	24,5
Septiembre	19,0	18,0	22,3
Octubre	13,6	16,0	18,3
Noviembre	9,6	13,0	13,7
Diciembre	7,7	11,0	10,9
Promedio	17,7	14,6	16,8

FIG 26. Pantalla Localización CHEQ4. (CHEQ4 2019)

En la siguiente pantalla, *Configuración*, se determina el tipo de sistema de intercambio, en nuestro caso, intercambio distribuido.

FIG 27. Pantalla Configuración CHEQ4. (CHEQ4 2019)

Análisis comparativo entre placas solares térmicas y otro sistema de captación como la aerotermia aplicado a la vivienda

Posteriormente, se establece el uso del ACS, así como el número de personas que lo frecuentan para determinar su demanda. En la ocupación estacional se muestra la diferencia de usuarios mensuales, según lo anunciado en el capítulo 4.3.

**CHEQ4** Herramienta para la validación del cumplimiento del HE4 en instalaciones solares térmicas

CONSUMO ÚNICO  
Aplicación:   
Número de...:   
Demanda calculada (l/día a 60 °C):

CONSUMO MÚLTIPLE

	Viviendas	Dormitorios	Personas	Litros/día
Tipo A	<input type="text" value="24"/>	<input type="text" value="1"/>	36,0	857
Tipo B	<input type="text" value="12"/>	<input type="text" value="3"/>	48,0	1.142
Tipo C	<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="4"/>	20,0	476
Tipo D	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	0,0	0
Demanda calculada (l/día a 60 °C) 2.475				

CONSUMO TOTAL  
Otras demandas (l/día a 60°C):   
Demanda total (l/día a 60°C) 2.475

CONTRIBUCIÓN SOLAR MÍNIMA EXIGIDA  
Caso general FS 50%      Caso piscina FS 60%

OCUPACIÓN ESTACIONAL (%)

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
100	100	100	100	100	100	100
	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
100	100	100	100	100	100	100

Datos proyecto    Nuevo proyecto    Abrir proyecto    Guardar proyecto    Ayuda    Acerca de...    Salir

FIG 28. Pantalla Demanda CHEQ4. (CHEQ4 2019)

**CHEQ4** Herramienta para la validación del cumplimiento del HE4 en instalaciones solares térmicas

CAPTADORES  
Empresa:   
Marca/Modelo:   
AVISO: Verificar la existencia y vigencia de la certificación del captador seleccionado.

Datos de ensayo

Área (m2)	2,352
n0 (-)	0,801
a1 (W/m2K)	3,32
a2 (W/m2K2)	0,023
Qtest(l/hm2)	54,1
k50	0,82
Laboratorio	TÜVRheinland
Certificación	NPS-22515

CAMPO DE CAPTADORES  
Núm. captadores:     Captadores en serie:     Pérdidas sombras (%):   
Orientación (°):     Inclinación (°):     Área total captadores (m2) 35,28

CIRCUITO PRIMARIO / SECUNDARIO  
Caudal prim.(l/h):     Anticongelante (%):     Long. circuito (m):   
Diám. tubería (mm):     Esp. aislante (mm):     Aislante:

SISTEMA DE APOYO  
Tipo de sistema:   
Tipo de combustible:

Datos proyecto    Nuevo proyecto    Abrir proyecto    Guardar proyecto    Ayuda    Acerca de...    Salir

FIG 29. Pantalla Solar/Apoyo CHEQ4. (CHEQ4 2019)

En la pantalla, *Otros parámetros*, fijamos el volumen de acumulación, además de los valores de la distribución.

Análisis comparativo entre placas solares térmicas y otro sistema de captación como la aerotermia aplicado a la vivienda

**CHEQ4** Herramienta para la validación del cumplimiento del HE4 en instalaciones solares térmicas

**VOLUMEN DE ACUMULACIÓN**  
 Volumen total (l)   
 Vol/Área (l/m<sup>2</sup>) 76,53

**VOLUMEN ACUMULACIÓN SUBESTACIONES**  
 Tipo A (l)  Tipo C (l)   
 Tipo B (l)  Tipo D (l)   
 Volumen total (l) 0 Vol/Área (l/m<sup>2</sup>)

**DISTRIBUCIÓN**  
 Long. circuito (m)   
 Diám. tubería (mm)  Pot HX (kW)   
 Esp. aislante (mm)   
 Aislante

**DISTRIBUCIÓN SUBESTACIONES**  
 Long. total (m)   
 Diám. tubería (mm)   
 Esp. aislante (mm)   
 Aislante

**PISCINA CUBIERTA**  
 Altura (m)  Temp. ambiente (°C)   
 Apertura diaria (h)  Temp. piscina (°C)   
 Superficie lámina (m<sup>2</sup>)  Renov. volumen día (%)   
 Humedad relativa (%)  Ocupación (pers/m<sup>2</sup>)

Buttons: Datos proyecto, Nuevo proyecto, Abrir proyecto, Guardar proyecto, Ayuda, Acerca de..., Salir

FIG 30. Pantalla Otros parámetros CHEQ4. (CHEQ4 2019)

Finalmente, llegamos a la pantalla de *Resultados*, de donde obtenemos la verificación de que “la instalación solar térmica especificada CUMPLE los requisitos de contribución solar mínima exigida por la HE4”

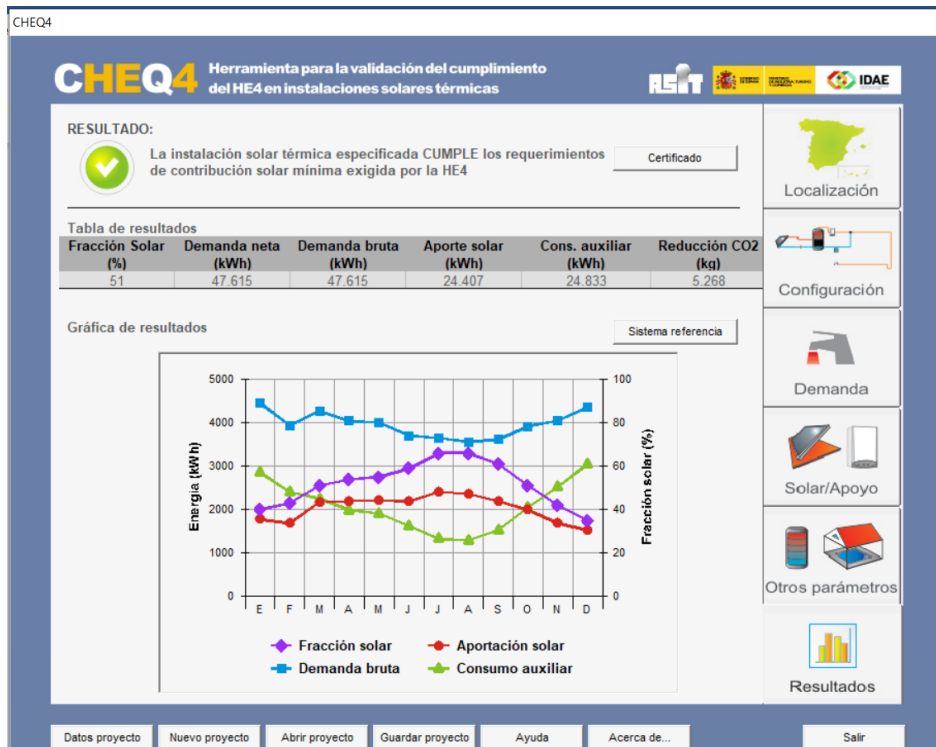


FIG 31. Pantalla Resultados CHEQ4. (CHEQ4 2019)



# 5 Diseño y dimensionado de la instalación con BC aerotérmica

## 5.1 Aspectos generales

La aerotermia es un sistema de aprovechamiento del funcionamiento de una bomba de calor para extraer la energía térmica existente en el aire del entorno de una edificación. Para dicha extracción se precisan dos focos de calor a diferente temperatura, un compresor y una válvula de expansión que utilizan energía de una fuente externa.

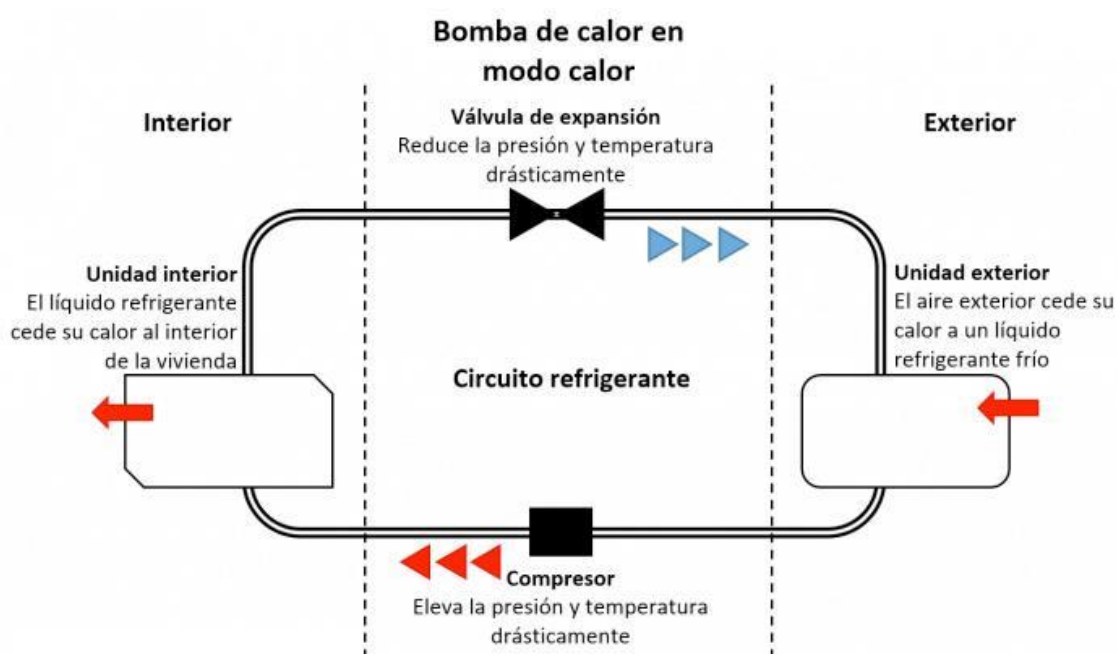


FIG 32. Esquema de funcionamiento de una bomba de calor según Marcos Martínez.

La aerotermia está introducida en el conjunto de energías procedentes de fuentes renovables, según la *Directiva Europea 2009/28/CE*, siendo hoy en día, una de las menos conocidas a pesar de sus múltiples ventajas. La principal ventaja de usar la bomba de calor se basa en la capacidad de esta de suministrar mayor energía calorífica útil a la vivienda de la utilizada para su funcionamiento interno. Se puede llegar hasta niveles de ahorro de un 70% (según la media de ahorro de las fuentes consultadas) comparadas con los sistemas de calentamiento y refrigeración convencionales que utilizan energías no renovables y contaminantes. Es precisamente esta reducción en el uso de las energías contaminantes el que contribuye a considerar la aerotermia como una alternativa plausible a la energía solar, pues su contribución a la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, impacto de las instalaciones, reciclaje de sus componentes y un largo etcétera, la hacen un candidato idóneo para ser utilizadas en los edificios de viviendas.

### 5.1.1 Tipos de BC aerotérmicas

Las bombas de calor aerotérmicas se clasifican atendiendo a diferentes criterios que nos dan un amplio abanico de posibilidades en su utilización en el diseño arquitectónico:

- Según el medio con el que intercambian calor:
  - Bomba de calor aire-agua: el foco caliente es el aire exterior que transporta el calor a un líquido refrigerante que transmitirá el calor a un circuito de agua que calentará la vivienda o será utilizada como ACS.
  - Bomba de calor aire-aire: el foco caliente es el aire exterior que transporta el calor a un circuito con un líquido refrigerante que, a su vez transmitirá el calor al aire en el interior de la vivienda.
- Según la morfología de la bomba:
  - Compactas: todos los componentes están juntos en una única unidad.
  - Split: los componentes se separan en una unidad interior y otra exterior, para evitar el ruido del compresor en el interior del local a climatizar.
  - Multisplit: en el interior hay varias unidades para climatizar diferentes espacios.
- Según la funcionalidad:
  - Reversibles: pueden calefactar o refrigerar.
  - No reversibles: sólo puede producir calor o frío.
  - Termofrigobombas: producen ambos a la vez.

### 5.1.2 Elementos de una bomba de calor aire-agua

Las bombas de calor aire-agua pueden estructurarse en dos partes: un grupo bomba de calor situado en la parte exterior de la edificación y el depósito de acumulación situado en el interior de la vivienda.

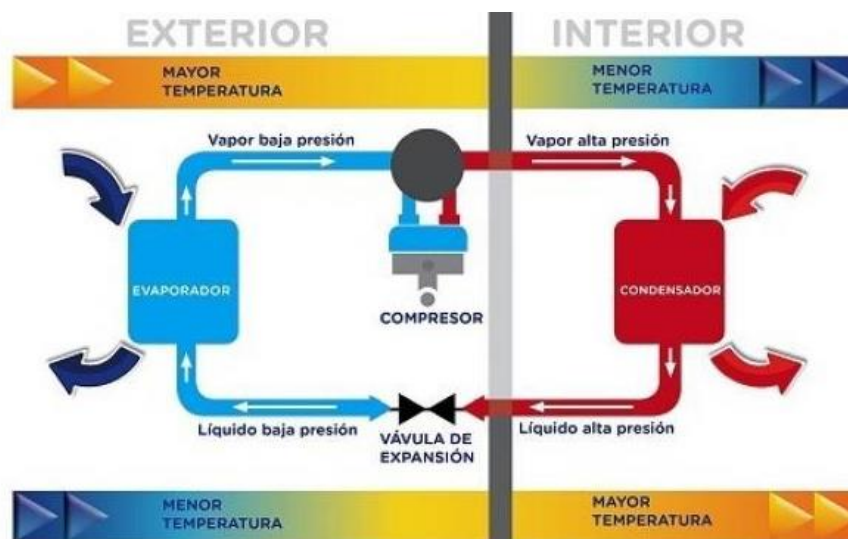


FIG 33. Esquema del ciclo de una BC reversible.

Ambas partes están conectadas por un circuito cerrado que contiene el líquido caloportador que realiza la función de transmitir el calor entre ambas.

**a) Evaporador:**

Consiste en un intercambiador de calor situado en el exterior de la edificación, el cual a través de una superficie ampliada por un sistema de aletas produce el intercambio entre el aire exterior y el fluido refrigerante. Aquí se produce la evaporación del fluido refrigerante absorbiendo con el cambio de estado el calor del medio ambiente.

**b) Compresor:**

Desarrolla un trabajo gracias a la electricidad con la que se alimenta. El compresor transforma el vapor a baja presión del evaporador en vapor a alta presión y temperatura que moverá hasta el interior de la vivienda.

**c) Condensador:**

Consiste en un intercambiador de calor situado en un calderín en el interior del edificio. El fluido caloportador a alta temperatura recorre el interior de la caldera calentando el agua en contacto con este. Al transmitir la energía al agua circundante el líquido del serpentín se condensa y se transforma en un líquido frío a alta presión.

**d) Válvula de expansión**

Está produce un cambio de sección brusco del circuito provocando una rápida expansión del fluido caloportador y consecuentemente una disminución muy rápida de la presión y temperatura del líquido refrigerante, el cual volverá a calentarse y evaporarse en el evaporador, reiniciándose el ciclo.

## 5.2 Justificación para el uso de la instalación aerotérmica

Según el DB-HE4 del CTE, se permite que la contribución solar mínima para ACS y/o climatización de piscinas cubiertas pueda ser reemplazada parcial o totalmente a través de una instalación alternativa de otras energías renovables, realizada en el propio edificio o a mediante la conexión a una red de climatización urbana. Para el caso de bombas de calor, si se precisa realizar esta sustitución debe justificarse documentalmente que:

- a. La bomba de calor a instalar tenga la consideración de renovable, esto es su SCOPnet (SPF) sea  $\geq 2'5$ .
- b. Las emisiones de CO<sub>2</sub> y el consumo de energía primaria no renovable debido a la instalación de bomba de calor y todos sus equipos auxiliares para cubrir la demanda de ACS han de ser iguales o inferiores que las del sistema de referencia, en este caso la instalación solar térmica y la caldera de gas.

Por tanto, las bombas de calor con un valor de SPF inferior a 2'5 no se consideran como renovables

## 5.2.1 Bombas de calor como energía renovable

En la Directiva 2009/28/CE se reconoce como energía renovable, en determinadas condiciones, la energía capturada por bombas de calor, según se dice en su artículo 5 y se define en el Anexo VII: Balance energético de las bombas de calor:

- Las bombas de calor que podrán considerarse como renovables son aquellas en las que la producción final de energía supere de forma significativa el insumo de energía primaria consumida por la bomba de calor.
- La cantidad de energía ambiente capturada por bombas de calor que debe considerarse energía renovable a los efectos de la presente Directiva, ERES, se calculará de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$E_{RES} = Q_{usable} * (1 - 1/SPF)$$

siendo

$Q_{usable}$  = el calor útil total estimado proporcionado por bombas de calor conformes a los criterios mencionados en el artículo 5, apartado 5, aplicada como sigue: sólo se tendrán en cuenta las bombas de calor para las que  $SPF > 1.15 * 1/\eta$

SPF = el factor de rendimiento medio estacional estimativo para dichas bombas

$\eta$  el cociente entre la producción total bruta de electricidad y el consumo primario de energía para la producción de electricidad, y se calculará como una media de la UE basada en datos de EUROSTAT.

Antes del 1 de enero de 2013, la Comisión establecerá las directrices para que los Estados miembros estimen los valores de  $Q_{usable}$  y SPF para las diferentes tecnologías y aplicaciones de las bombas de calor, teniendo en cuenta las diferencias de las condiciones climáticas, especialmente en climas muy fríos.

La Comisión, mediante la Decisión 2013/114/UE, fija el valor de la eficiencia del sistema de energía ( $\eta$ ) en 0,455 (45,5%). Como consecuencia, el SPF mínimo de corte (SCOPnet) de las bombas de calor accionadas eléctricamente, que debe considerarse, para que éstas capturen energía renovable, es 2,5. Por tanto, las bombas de calor con un valor de SPF inferior a 2,5 no se consideran como renovables.

Dicha decisión establece que la determinación del SPF de las bombas de calor accionadas eléctricamente debe efectuarse de acuerdo con la norma EN 14825:2012 (el SPF se refiere al SCOPnet).

## 5.3 Procedimiento para la justificación de la sustitución total de la contribución solar mínima para ACS

### a. Comprobación del valor mínimo de SCOPnet

Se deberá comprobar si el SCOPnet facilitado por el fabricante es mayor que el mínimo exigido por la normativa vigente (2'5).

**b. Consumo energético final de caldera de gas o termo eléctrico**

Relación entre la energía solar y el rendimiento estacional del sistema de apoyo.

**c. Consumo de energía primaria asociada**

Es el consumo energético final por el factor de paso para energías primarias.

**d. Emisiones de CO<sub>2</sub>**

Es el consumo energético final por el factor de paso para emisiones de CO<sub>2</sub>.

## 5.4 Cálculo de comprobación de bombas de calor como renovable

Para el cálculo de comprobación, se escoge una bomba de calor compacta aroSTOR de la empresa VAILLANT modelo VWL B 200, la cual tiene un SCOPnet de 3'57.

*Nota: La ficha técnica de este modelo se adjunta, en el capítulo de Anexos al final de la memoria.*

### I. Comprobación del valor mínimo de SCOPnet

El SCOPnet facilitado por el fabricante es mayor que el mínimo fijado por la normativa vigente.

$$3'57 > 2'5$$

### II. Consumo energético final de la bomba de calor

A partir del SCOPnet facilitado por el fabricante se tiene:

$$E_{BC,F} = 50.037'47 \text{ kWh/año} / 3'57$$

$$E_{BC,F} = 14.016'10 \text{ kWh/año}$$

### III. Consumo de energía primaria asociada

Para una caldera de gas natural, el factor de paso es de 1'19

$$E_{BC,PnR} = 1'954 \cdot 14.016'10 \text{ kWh/año}$$

$$E_{BC,PnR} = 27.387'46 \text{ kWh/año}$$

### IV. Emisiones de CO<sub>2</sub>

Para la energía eléctrica convencional, el factor de paso es de 0'331 kg/kWh

$$Em_{BC,PnR} = 0'331 \cdot 14.016'10 \text{ kWh/año}$$

$$Em_{BC,PnR} = 4.639'33 \text{ kWh/año}$$

# 6 Presupuesto

## 6.1 Presupuesto Parcial. Mediciones

- Presupuesto para la instalación solar térmica con caldera de gas natural

SISTEMA DE CAPTACION					
CÓDIGO	Ud.	DESCRIPCIÓN	Cantidad	Precio unitario	Total
1.1	Ud.	Colector solar plano vidriado con marcado CE de 2,35 m <sup>2</sup> de superficie útil, carcasa de aluminio y aislamiento térmico de lana mineral, homologado según RD 891/1980, totalmente instalado, comprobado y en correcto funcionamiento, según DB HE-4 del CTE	1,00	13.394,05	13.394,05

1.2	Ud.	Instalación de conjunto de perfiles de aluminio y pletinas de sujeción para 6 catadores solares, abrazaderas de sujeción del perfil y pletinas de acero inoxidable para forjado, según DB HS y DB HE-4 del CTE.	1,00	1.852,69	1.852,69
-----	-----	---	------	----------	----------

SISTEMA DE INTERCAMBIO					
CÓDIGO	Ud.	DESCRIPCIÓN	Cantidad	Precio unitario	Total
2.1	Ud.	Intercambiador de calor de placas desmontables con marcado CE para la producción de 6300 l/h de ACS con colectores solares, para una presión máxima de 10 bar y una temperatura de estancamiento de 208 °C, realizado con acero inoxidable AISI con junta de nitrilo NBR, bastidor de acero al carbono de dimensiones 180x480mm, incluso conexiones estándar, conforme a las especificaciones dispuestas en las normas UNE-EN 1148 y UNE-EN 305,306,307 y 308, en el RITE y sus instrucciones técnicas, totalmente instalado, comprobado y en correcto funcionamiento según DB HE-4 del CTE.	2,00	2.257,60	4.515,20

SISTEMA DE ACUMULACIÓN					
CÓDIGO	Ud.	DESCRIPCIÓN	Cantidad	Precio unitario	Total
3.1	Ud.	Depósito de acumulación de ACS MXV-7000-IB de la compañía LAPESA con marcado CE de acero con aislamiento, 7000 litros de capacidad y dimensiones de 1750x3652(diámetro x altura) incluyendo manguitos de acoplamiento, totalmente instalado, comprobado y en correcto funcionamiento, según DB HE-4 de CTE	1,00	15.129,93	15.129,93

3.2	Ud.	Interacumulador de ACS 5000RB de la compañía IDROGAS con marcado CE de acero con aislamiento, 5000 litros de capacidad y dimensiones de 1910x2710 (diámetro x altura) incluyendo manguitos de acoplamiento, totalmente instalado, comprobado y en correcto funcionamiento, según DB HE-4 de CTE.	1,00	6.338,97	6.338,97
<b>SISTEMA HIDRAULICO</b>					
<b>CÓDIGO</b>	<b>Ud.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Total</b>
4.1	Ud.	Tubería cobre rígido de 30 mm de diámetro interior, puesta a punto de soldadura dura, codos, té, manguitos y demás accesorios y pequeño material, aislada con material aislante, de espesor nominal de 25 mm, recubierta de pintura protectora exterior del aislante, medida la unidad ejecutada, totalmente montada, probada y funcionando	1,00	883,77	883,77
4.2	Ud.	Tubería cobre rígido de 18 mm de diámetro interior, puesta a punto de soldadura dura, codos, té, manguitos y demás accesorios y pequeño material, aislada con coquilla, de espesor nominal de 35 mm, recubierta de pintura protectora exterior del aislante, medida la unidad ejecutada, totalmente montada, probada y funcionando.	4,00	945,74	3.782,96
4.3	Ud.	Vaso de expansión de capacidad CE con 100 litros de capacidad, fabricado en acero inoxidable con membrana resistente al anticongelante ya a altas temperaturas, para instalaciones de energía solar térmica, totalmente instalado, comprobado y en correcto funcionamiento según DB HE-4 del CTE	1,00	888,63	888,63
4.4	Ud.	Bomba para ACS con marcado CE, carcasa en hierro fundido luz indicadora de funcionamiento y fallos, control electrónico del sentido de giro, auto purgante, aislamiento térmico, tres velocidades, totalmente instalada, comprobada y en correcto funcionamiento según DB HE-4.	3,00	999,83	2.999,49
<b>SISTEMA DE APOYO</b>					
<b>CÓDIGO</b>	<b>Ud.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Total</b>
5.1	Ud.	Instalación interior de gas natural en vivienda para calentador ACS, compuesta por tubería de gas de cobre, codos, llaves, kit de evacuación de humos y elementos necesarios para la entrada y salida de aire, totalmente instalada y en correcto funcionamiento según ITC-ICG 07	40,00	513,73	20.549,73
<b>PRESUPUESTO DE EJECUCION MATERIAL (P.E.M)</b>					<b>70.334,89</b>

El Presupuesto de Ejecución Material para una instalación solar térmica con caldera de gas natural asciende a los setenta mil trescientos treinta y cuatro euros con ochenta y nueve céntimos.

- Presupuesto para la instalación con bomba de calor aerotérmica

SISTEMA BOMBA CALOR					
CÓDIGO	Ud.	DESCRIPCIÓN	Cantidad	Precio unitario	Total
6.1	Ud.	Bomba de calor para producción de ACS, aire-agua, para instalación interior, con interfaz de usuario con pantalla LCD y control digital, con serpentín de 1 m <sup>2</sup> de superficie, potencia calorífica nominal de 1,9 kW, COP = 3'57, depósito de ACS de acero vitrificado de 200 litros, perfil de consumo XL, dimensiones 1835x700x735 mm, resistencia eléctrica de apoyo de 2kW, ánodo de magnesio, alimentación monofásica a 230 V.	1	56.925,57	56.925,57
<b>PRESUPUESTO DE EJECUCION MATERIAL (P.E.M)</b>					<b>56.925,57</b>

El Presupuesto de Ejecución Material para una instalación con bomba de calor aerotérmica asciende a los cincuenta y seis mil novecientos veinte cinco euros con cincuenta y siete céntimos.



# 7 Comparación de alternativas

## 7.1 Consumo y emisiones de CO2

	INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA + CALDERA GAS NATURAL	BOMBA DE CALOR (AEROTERMIA)
Demanda energ. de ACS (kWh/año)	50.037'47	50.037'47
Porcentaje de demanda ACS cubierta por los paneles	50 %	
Demanda energ. cubierta por renovables (kWh)	$0'5 \times 50.037'47 = 25.018'73$	
Fuente de energía	Gas Natural	Electricidad
Eficiencia estacional equipo	0'92 (caldera apoyo)	3'57 (SCOP <sub>net</sub> aerotermia)
Consumo energ. final (kWh)	$25.018'73 / 0'92 = 27.194'27$	$50.037'47 / 3'57 = 14.016'10$
Consumo energía primaria no renovable (kWh)	$27.194'27 \times 1'19 = 32.361'18$	$14.016'10 \times 1'954 = 27.387'46$
Emisiones de CO2 (kgCO2)	$27.194'27 \times 0'252 = 6.852'96$	$14.016'10 \times 0'331 = 4.639'33$

TABLA 9. Comparación de alternativas.

	INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA + CALDERA GAS NATURAL		BOMBA DE CALOR (AEROTERMIA) <sub>el</sub>
Consumo energía primaria no renovable (kWh)	32.361'18	>	27.387'46
Emisiones de CO2 (kgCO2)	6.852'96	>	4.639'33

TABLA 10. Comparativa consumo y emisiones de CO2.

A la vista de la tabla podemos observar fácilmente que los valores obtenidos demuestran las ventajas de la instalación de la bomba de calor aerotérmica frente a la instalación solar térmica con apoyo de caldera de gas natural. Evidentemente las ventajas hacen referencia a dos factores vitales como son el consumo de energía primaria no renovable y las emisiones de CO2 que en ambos casos aconsejan la instalación de la aerotermia por consumir menos energía y, por tanto, emitir menos CO2 a la atmósfera. Pero también deberíamos considerar otros factores no cuantizados en este TFG como son: la cantidad de calor disipado, el impacto sonoro y visual que introducen las instalaciones de los sistemas estudiados, su vida media y posibilidades de reciclaje, la huella ecológica que produce su fabricación, transporte, instalación y reciclaje, y un largo etcétera.

La necesidad de una convergencia geopolítica para reducir el impacto, que el efecto invernadero está provocando en las economías mundiales, ha provocado que los países europeos determinen una serie de normas que deben ser cumplidas en todas las edificaciones de nueva planta. No debemos de olvidar que estas normativas obedecen a múltiples fines y pretenden satisfacer a numerosos sectores industriales que ejercen una gran presión sobre las decisiones finales que se toman y, por ende, en las diferentes normativas aplicables a la construcción. Teniendo en cuenta lo anteriormente dicho podemos afirmar que el consumo de energía primaria no renovable de la bomba de calor proyectada y las emisiones de CO2 son menores a la que se obtendría con una instalación solar térmica y un equipo de apoyo que cumpliera el CTE-HE4. Por lo tanto, Sí se puede instalar esta bomba de calor en sustitución de los paneles solares, cumpliendo así con la normativa vigente.

## 7.2 Presupuesto

La sostenibilidad de una vivienda no sólo podemos medirla según los parámetros de eficiencia energética, sino que los costes presentes y futuros que permiten el acceso de la población a un recurso primordial también son un aspecto muy importante a tener en cuenta. Podemos hablar de sostenibilidad económica como la capacidad de generar riqueza en cantidades adecuadas, que esta sea distribuida con equidad en los diferentes ámbitos sociales y solvente los problemas económicos de la sociedad que genera dicha riqueza, sin poner en peligro económico ni las generaciones presentes, ni las futuras. Es, por ello, un concepto que debemos abordar a la hora de tomar decisiones sobre el tipo de instalación, pues una disminución de los costes, permitiría un acceso más fácil de la población a las viviendas y, por tanto, cumplir con los criterios de sostenibilidad económica anteriormente citados.

	INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA + CALDERA GAS NATURAL		BOMBA DE CALOR (AEROTERMIA)
Presupuesto de ejecución (€)	70.334'89	>	56.925'57

*TABLA 11. Comparativa de costes de las distintas instalaciones.*

El presupuesto de ejecución de la bomba de calor es menor al que se obtiene mediante la instalación solar térmica con apoyo de caldera de gas, por tanto, a nivel económico es más viable la inversión en una bomba de calor. Es cierto, que un presupuesto de ejecución tan solo tiene en cuenta los costes de instalación y, en muchas ocasiones, el mantenimiento de los sistemas puede encarecer los costes finales de uso y, por este motivo, realizaremos un somero análisis en el siguiente apartado.

### 7.3 Mantenimiento

Las instalaciones de placas solares para la obtención de ACS tienen un mantenimiento a tener en cuenta, pues supone una superficie captadora grande que está expuesta constantemente a los factores meteorológicos. Su vida media estimada es alrededor de 30 años, aunque a partir de los 20 años se detecta una caída en la capacidad captadora de las superficies solares; frente a una aerotermia con una vida media por encima de los 35 años y sin pérdidas en la eficiencia pues está depende de las temperaturas de los focos exterior e interior.

Es por ello que, en este punto, también parte con ventaja la bomba de calor, ya que, a diferencia de las instalaciones resueltas con placas solares, la aerotermia resuelve de la manera más exitosa tanto el mantenimiento como los consumos energéticos.

Mientras que las placas convencionales precisan de acciones de limpieza, mantenimiento e inclusive de control de captación, ya que la excedencia de captación de energía ha de regularse, la aerotermia se resuelve con un único aparato, donde su mantenimiento es casi nulo, puesto que requiere únicamente de las revisiones anuales habituales en cualquier instalación y su eficiencia está muy por encima de los sistemas convencionales.

# 8 Conclusiones

Desde el comienzo de este Trabajo Final de Grado, partimos con la idea de aportar un pequeño grano de arena en el conocimiento y utilización de las fuentes de energías renovables aplicadas a las edificaciones de viviendas para la obtención de agua caliente sanitaria. Después de un largo periplo y muchas palabras utilizadas, llegamos por fin a concluir las ideas aquí expuestas. Diremos que desde el punto de vista económico, el sistema aerotérmico diseñado para cubrir la demanda energética para la producción de ACS tiene una inversión inicial menor que el sistema de placas solares térmicas con apoyo de caldera de gas a la vista de los resultados obtenidos en el apartado 7.2 Presupuesto. Analizando el consumo y eficiencia energética también hemos dejado claro, las ventajas de la bomba de calor aerotérmica frente a la de las placas solares para la obtención de ACS. Todos los datos corroboran la idea de que la aerotermia puede utilizarse como un sistema alternativo a las placas solares, pero también tenemos que tener en cuenta que el presente análisis se ha realizado para una edificación en una zona climática IV y los estudios se han centrado en la instalación y puesta en marcha de los sistemas de obtención de agua caliente sanitaria, sin tener en cuenta, pues se saldrían del ámbito del estudio, otros factores que podrían ser determinantes para la toma de decisiones en otro tipo de edificaciones o con otros usos.

Las más recientes construcciones están dando solución a las exigencias del cumplimiento del Código Técnico de la Edificación, en lo relativo a eficiencia energética y sostenibilidad con la instalación de calderas de aerotermia para la obtención de energía. Y todo ello nos debe mover a pensar de una forma más amplia que la dirección emprendida contribuirá en alguna medida a actuaciones más eficientes y sostenibles en un futuro próximo. Es, sin duda, la suma de todos nuestros pequeños esfuerzos lo que conseguirá revertir la tendencia planetaria hacia el calentamiento global. La población mundial es enorme hoy en día, su necesidad de vivienda una obviedad y, por tanto, nuestra profesión de arquitectos permitirá, más que muchas otras, contribuir con buenas prácticas, a la suma de esos millones de esfuerzos que permitirán luchar contra el cambio climático global.

Comenzábamos con una breve frase del Dalai Lama: *Hoy más que nunca, la vida debe caracterizarse por un sentido de responsabilidad universal, no sólo entre naciones y entre humanos, sino entre humanos y cualquier otra forma de vida*; y es, precisamente, a esa responsabilidad como arquitectos, a la que queremos contribuir con este trabajo.

# 9 Bibliografía

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

CREUS SOLÉ, A.2004. *Energías renovables*. CEYSA. Editorial técnica. 2004

GAS NATURAL.2004. *Manual de cálculo y diseño de instalaciones de producción de ACS en edificaciones de viviendas mediante energía solar y apoyo individual a gas natural*. 2004

ESCOLANO.2005. *Análisis de las emisiones de CO2 y sus factores explicativos en las diferentes áreas del mundo*. *Revista de Economía Crítica*, vol. 4, p. 17-37. 2005

REY MARTINEZ, F., VELASCO GOMEZ, E.2005. *Bombas de calor y energías renovables en edificios*. 2006

IDAE.2006. *Energía Solar Térmica*. 2006

CAÑADA RIBERA, JAVIER.2008. *Manual de energía solar térmica. Diseño y cálculo de instalaciones*. 2008

IDAE.2011. *Informe de Sostenibilidad Ambiental del Plan de Energías Renovables 2011-2020*. 2011

IDAE.2011. *Plan de Energías Renovables 2011-2020*. 2011

PLATAFORMA EDIFICACION PASSIVHAUS.2011. *Guía del estándar Passivhaus. Edificios de consumo energético casi nulo*. 2011

IDAE.2011. *Evaluación del Potencial de Energía Solar Térmica y Fotovoltaica derivado del cumplimiento del Código Técnico de Edificación*. 2011

IDAE.2012. *Diseño de sistemas de intercambio geotérmico de circuito cerrado*. 2012

EUMETSAT.2012. *Atlas de Radiación Solar en España utilizando datos del SAF de Clima de EUMETSAT*. 2012

Análisis comparativo entre placas solares térmicas y otro sistema de captación como la aerotermia aplicado a la vivienda

**ENERGIA Y SOCIEDAD.2013.** *Paquete regulatorio referente a la eficiencia energética en edificación. Principales aspectos de los RD 235/2013 y RD 238/2013, de 5 de abril de 2013.* 2014

**IDAE.2014.** *Síntesis del Estudio Parque de Bombas de Calor en España. Estudios IDAI 001.* 2014

**IDAE.2014.** *Prestaciones medias estacionales de las bombas de calor para producción de calor en edificios.* 2014

**ENERGIA Y SOCIEDAD.2014.** *Real Decreto-ley 8/2014 y novedades en su tramitación como Ley 18/2014. Título III: Medidas urgentes en el ámbito energético.* 2014

**AFEC.2015.** *La Bomba de Calor. Fundamentos, Tecnología y Casos prácticos.* 2015

**CTE.2017.** *Documento Básico HE Ahorro de energía.* 2017

**SALVADOR ESCODA.2017.** *Libro Blanco de las Energías Renovables.* 2017

**IDAE.2017.** *Impacto de la Energía Solar Térmica en la Calificación Energética de Edificios.* 2017

**CIEMAT.2017.** *Situación de las energías renovables en España año 2016.* 2017

**ASIT.2017.** *Informe Mercado ST 2017.* 2017

**AENOR.2017.** *Bombas de calor con compresor accionado eléctricamente Ensayos y requisitos para el mercado de equipos para Agua Caliente Sanitaria. UNE-EN 16147:2017.* 2017

**Fuentes, E.2018.** *Evaluación Ambiental del Patrimonio Histórico Valenciano y propuesta de mejora: caso de estudio.* 2018

**MINISTERIO DE FOMENTO.2018.** *Código Técnico de la Edificación. Documento básico HE Ahorro de energía. Sección HE4 Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria.* 2018

**REN21.2019.** *Renewables 2019. Global Status Report.* 2019

**ATECYR.2019.** *Aerotermia. Nuevas soluciones para la nueva construcción.* 2019

## PÁGINAS WEB

Energía Solar. 2018. 17 de Septiembre de 2018. <https://solar-energia.net/>

REN21. 2018. 17 de Septiembre de 2018. <http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report/>

ASIT. 2018. 18 de Septiembre de 2018. <http://www.asit-solar.com/>

IDAE.2018. 20 de Septiembre de 2018. <http://www.idae.es/>

CHEQ4. 2018. 20 de Septiembre de 2018. <http://cheq4.idae.es/>

IVACE. 2018. 21 de Septiembre de 2018. <http://www.ivace.es/index.php?lang=es>

CTE. 2018. 21 de Septiembre de 2018. <https://www.codigotecnico.org/>

EnergyNews. 21 de Septiembre de 2018. <https://www.energynews.es/la-climatizacion-aerotermia-espana-equivale-a-53-nucleares/>

Salvador Escoda. 2018. 21 de Septiembre de 2018. <https://www.salvadorescoda.com/>

CENSOLAR.2018. 23 de Septiembre de 2018. <http://www.censolar.es/>

IFTec GeoEnergia SL. 2018. 2 de Octubre de 2018. <https://iftec.es/bcg.html>

APPA. 2018. 2 de Octubre de 2018. <https://www.appa.es/>

Geotermia Vertical. 2018. 2 de Octubre de 2018. <https://www.geotermiavertical.es/>

AFEC. 2018. 4 de octubre de 2018. <http://www.afec.es/es/legislacion.asp>

AEMET. 2018. 4 de Octubre de 2018. <http://www.aemet.es/>

F2E. 2018. 4 de Octubre de 2018. <http://www.f2e.es/es/normativa-europea-de-eficiencia-energetica>

# 10 Anexos

- ANEXO 01\_PLANOS
- ANEXO 02\_CÁLCULOS EXCEL
- ANEXO 03\_INFORME RESULTADOS CHEQ4
- ANEXO 04\_PRESUPUESTOS
- ANEXO 05\_FICHAS TÉCNICAS