

GRADO EN INGENIERIA MECÁNICA
TRABAJO FIN DE GRADO

***DIMENSIONAMIENTO Y ANÁLISIS DEL
SISTEMA DE CAPTACIÓN Y
ACUMULACIÓN DE UNA INSTALACIÓN
DE ACS SOLAR***

Alumno/Alumna: Iglesias, Rincón, Julen

Director/Directora (1): Arriaga, Bayo, Pedro

Curso: 2017-2018

Fecha: día 23, Septiembre, 2018>

ÍNDICE

Resumen trilingüe	5
Lista de Tablas	9
Lista de Ilustraciones	9
Lista de Acrónimos	10
1. Memoria	11
1.1. Introducción	11
1.2. Contexto	14
1.3. Alcance / Objetivos	17
1.4. Beneficios del proyecto	19
1.4.1. Beneficios económicos	19
1.4.2. Beneficios medioambientales	21
1.4.3. Beneficios sociales	22
1.5. Análisis de alternativas	23
1.5.1. Captadores solares	23
1.5.2. Acumulador	25
1.5.3. Intercambiador de calor	27
1.5.4. Técnicas de aprovechamiento de la energía solar	29
1.6. Análisis de riesgos	33
1.7. Descripción de la solución propuesta	35
2. Metodología	38
2.1. Descripción procedimiento	38
2.1.1. Método F-Chart	38
2.1.1.1. Cálculo demanda de ACS	39
2.1.1.2. Cálculo demanda energética	40
2.1.1.3. Radiación incidente sobre una superficie	41
2.1.1.4. Cálculo del parámetro D_1	44
2.1.1.5. Cálculo del parámetro D_2	46
2.1.1.6. Cálculo de la fracción solar "f"	47
2.1.2. Análisis del interacumulador	48
2.2. Descripción de las tareas. Gantt	25
2.3. Cálculos y resultados	53

2.3.1. Demanda de ACS	53
2.3.2. Demanda energética	53
2.3.3. Radiación incidente (RI)	54
2.3.4. Parámetro D1	55
2.3.5. Parámetro D2	58
2.3.6. Fracción solar "f"	59
2.3.7. Interacumulador	60
2.4. Análisis de resultados	62
2.4.1. Análisis energético de la instalación	62
2.4.2. Análisis económico de la instalación	67
2.4.3. Análisis medioambiental de la instalación	71
3. Conclusiones	73
4. Fuentes de información	76
5. Anexo I: Resultados del análisis del interacumulador	79
6. Anexo II: Datos de radiación a lo largo del día	90

Resumen trilingüe

Resumen:

En el presente proyecto se desarrolla el dimensionamiento de la superficie de captación y el volumen de acumulación de un sistema solar térmico para el abastecimiento de ACS, de una vivienda unifamiliar de cuatro integrantes situada en Madrid. A su vez, presenta un análisis del comportamiento de la instalación para distintas áreas de captación, y se muestra las propiedades del sistema, atendiendo a distintos criterios de dimensionamiento. El dimensionamiento del sistema de captación se ha realizado siguiendo el conocido método F-Chart. En cambio con el depósito de acumulación, se ha desarrollado una tabla de cálculo, que muestra una aproximación de las temperaturas del depósito a lo largo del día, y el volumen necesario se ha obtenido haciendo uso de las fórmulas elementales de la energía.

PALABRAS CLAVE

Superficie de captación, ACS, F-Chart, Energía solar térmica, Radiación solar.

Laburpnea:

Aurkezten den proiektuan hartze-azaleraren dimentsionamendua eta eguzki-sistema termiko baten bolumenaren metakea garatzen da. Ur bero sanitarioa hornitzeko egiten da eta Madrilen kokatutako lau kideko etxebizitza familiabakar batean oinarrituta dago. Aldiz, hartze-alor desberdinetarako instalazioaren portaeraren analisia azaltzen da eta sistemaren ezaugarriak erakusten dira, dimentsionamendu-irizpide desberdinei erantzuna emanez. Hartze-sistemaren dimentsionamendua F-Chart metodo ezagunari jarraituz egin da. Metaketa-gordailuarekin ordea, kalkulu-taula bat garatu da, gordailuaren tenperaturen hurbilketa egunean zehar erakusten duenak. Beharrezko bolumena energiaren oinarritzko formulak erabiliz lortu da.

HITZ GAKOAK

Hartze-azalera, UBS, F-Chart, Eguzki energia termikoa, Eguzki-erradiazioia.

Abstract:

In this project the sizing of the collector area and the volume of accumulation of a solar thermal system is developed for the supply of HSW of a single-family house of four members in Madrid. At the same time, an analysis of the behavior of the installation for different catchment areas is presented, and displays the properties of the system according to different criteria of dimensioning. The sizing of the collection system has been done following the F-Chart method. Besides, with the accumulation tank a table of calculation has been created which shows an approximation of the temperatures of the tank throughout the day. The required volume has been obtained by the basic equations of power.

KEY WORDS

Catchment area, HSW, F-Chart, Solar termal energy, Solar radiation.

Lista de tablas

Tabla 1. Resultados de estudio del IDAE	19
Tabla 2. Fuente de suministro energético	37
Tabla 3. Demanda a referencia de 60°C	39
Tabla 4. Temperatura media del agua de RED	40
Tabla 5. Radiación solar en Madrid	41
Tabla 6. Factor de corrección K	42
Tabla 7. Porcentaje de consumos durante el día	49
Tabla 8. Ejemplo de radiación a lo largo del día	50
Tabla 9. Ejemplo energía aportada en diferentes intervalos	50
Tabla 10. Distribución de tareas, Diagrama de Gantt	52
Tabla 11. Asignación de tareas	52
Tabla 12. Resultados litros por persona de ACS	53
Tabla 13. Resultados demanda energética	53
Tabla 14. Resultados demanda energética bruta	54
Tabla 15. Tabla factor de corrección K para 50° de inclinación	54
Tabla 16. Resultados RI	55
Tabla 17. Temperatura media ambiente	55
Tabla 18. Resultados rendimiento captador	55
Tabla 19. Relación Fr'/Fr con EI	56
Tabla 20. Energía útil captada	57
Tabla 21. Resultados parámetro D1	57
Tabla 22. Factor de corrección K_2	58
Tabla 23. Resultados parámetro D2	58
Tabla 24. Fracción solar de cada mes	59
Tabla 25. Energía aportada al sistema	59
Tabla 26. Volumen de acumulación para cada mes	60
Tabla 27. Comportamiento del interacumulador en Diciembre	61
Tabla 28. Fracción solar para distintas S_c	63
Tabla 29. Rendimiento para distintas S_c	65
Tabla 30. Costes anuales para diferentes fuentes de suministro	67
Tabla 31. Periodo de retorno para diferentes fuentes de suministro	68
Tabla 32. Beneficios totales durante la vida útil del sistema	68

Tabla 33. Reducción de Kg de CO ₂	72
Tabla 34. Comportamiento del interacumulador en Enero	79
Tabla 35. Comportamiento del interacumulador en Febrero	80
Tabla 36. Comportamiento del interacumulador en Marzo	81
Tabla 37. Comportamiento del interacumulador en Abril	82
Tabla 38. Comportamiento del interacumulador en Mayo	83
Tabla 39. Comportamiento del interacumulador en Junio	84
Tabla 40. Comportamiento del interacumulador en Julio	85
Tabla 41. Comportamiento del interacumulador en Agosto	86
Tabla 42. Comportamiento del interacumulador en Septiembre	87
Tabla 43. Comportamiento del interacumulador en Octubre	88
Tabla 44. Comportamiento del interacumulador en Noviembre	89
Tabla 45. Radiación a lo largo del día en Enero	90
Tabla 46. Radiación a lo largo del día en Febrero	90
Tabla 47. Radiación a lo largo del día en Marzo	90
Tabla 48. Radiación a lo largo del día en Abril	91
Tabla 49. Radiación a lo largo del día en Mayo	91
Tabla 50. Radiación a lo largo del día en Junio	91
Tabla 51. Radiación a lo largo del día en Julio	92
Tabla 52. Radiación a lo largo del día en Agosto	92
Tabla 53. Radiación a lo largo del día en Setiembre	92
Tabla 54. Radiación a lo largo del día en Octubre	93
Tabla 55. Radiación a lo largo del día en Noviembre	93
Tabla 56. Radiación a lo largo del día en Diciembre	93

Lista de Ilustraciones

Figura 1. Esquema de instalación solar térmica_____	13
Figura 2. Estructura del consumo en una vivienda_____	15
Figura 3. Consumo en viviendas, según fuentes de energía_____	15
Figura 4. Ejemplo de captador de placa plana_____	24
Figura 5. Acumulador e interacumulador_____	25
Figura 6. Ciclo de absorción_____	29
Figura 7. Comparativa radiación y demanda de frío_____	30
Figura 8. Esquema descriptivo de la instalación estudiada_____	35
Figura 9. Objetivos de los criterios de elección_____	74
Figura 10. Ventajas y desventajas de los criterios de elección_____	75

Lista de gráficas

Gráfica 1. Fracción solar “f” durante el año_____	62
Gráfica 2. Fracción solar para diferentes Sc_____	63
Gráfica 3. Rendimiento mensual de la instalación_____	64
Gráfica 4. Rendimiento de la instalación para diferentes Sc_____	65
Gráfica 5. Periodo de retorno para diferentes Sc_____	69
Gráfica 6. Beneficio para diferentes Sc_____	69
Gráfica 7. Reducción de Kg de CO ₂ _____	71

Lista de Acrónimos

- ACS** (Agua Caliente Sanitaria)
- IDAE** (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía)
- CTE** (Código Técnico de la Edificación)
- DB- HE** (Documento Básico – Ahorro de Energía)
- GN** (Gas Natural)
- OEE** (Oficina Europea de Estadística)
- GLP** (Gases Licuados del Petróleo)
- S_c** (Superficie de Captación)
- “f”** (Fracción solar)
- RS** (Refrigeración Solar)

1. MEMORIA

1.1. Introducción

La energía en la sociedad compone uno de los pilares para el desarrollo de nuestra vida tal y como se conoce hoy en día. El gasto de energía es uno de los puntos principales a la hora de gestionar un país, una empresa o una vivienda. Gran parte de la energía que se utiliza en una vivienda es destinada a la generación de calor, ya sea para la producción de ACS o para el sistema de calefacción. También en los últimos años se ha producido un gran aumento de la instalación de sistemas de aire acondicionado, que suponen un gran gasto de energía y de saturación de la red de distribución eléctrica.

La instalación convencional para el abastecimiento de ACS que se utiliza hoy en día en España, toma la energía de sistemas que utilizan combustibles fósiles, estos son una fuente de energía agotable por lo que se debe moderar su uso, además el uso de combustibles fósiles es una de las actividades de mayor contaminación ambiental en nuestro planeta.

Las instalaciones de energía solar térmica en el mundo son escasas, aunque existen excepciones como países como Alemania, Chipre o Austria que si que utilizan esta energía. Sin embargo existe un creciente interés por el uso de esta tecnología ya que es una manera fácil, barata y ecológica de obtener energía.

En España el uso de esta energía puede producir grandes beneficios debido a la ventaja de contar con unas condiciones climatológicas muy beneficiosas para su aprovechamiento. Las instalaciones actuales de energía solar térmica que existentes funcionan por la acción de tres procesos:

- Captación de la radiación por parte de los colectores solares.
- Transferencia térmica del fluido calentado al sistema de abastecimiento.
- Instalación de un sistema auxiliar convencional para paliar posibles insuficiencias por parte del sistema solar térmico en ciertas situaciones.

En este tipo de instalaciones de baja temperatura, se pueden diferenciar a seis grupos de componentes, necesarios para el funcionamiento del sistema.

Sistema de captación y transferencia de calor al fluido circulante:

Este sistema está compuesto por los captadores solares, estos son los encargados de captar la energía procedente de la radiación solar y para elevar la temperatura del fluido que circula por ellos. Para conseguir el máximo rendimiento es importante que la orientación de los captadores sea la adecuada.

Sistema de intercambio de calor:

El sistema de intercambio de calor sirve para transferir el calor del fluido que circula por los captadores solares, al ACS. Esta transferencia de calor es llevada a cabo por un intercambiador de calor.

Sistema de acumulación:

Almacena la energía térmica proveniente de la captación de la radiación solar en forma de agua, de este modo, se puede hacer frente a las distintas demandas horarias ya que puede que se demande ACS en periodos en las que la producción mediante energía solar térmica es baja.

Sistemas de control:

Tienen la misión de controlar la instalación para hacer un buen uso de la energía obtenida, da las órdenes necesarias para que los equipos de bombeo y válvulas actúen correctamente en función a los datos obtenidos por las sondas del sistema.

Sistema hidráulico:

Su objetivo es asegurar a correcta circulación de los fluidos por los diferentes circuitos, su diseño y componentes deben de minimizar las pérdidas de energía al máximo para facilitar el trabajo de las bombas de circulación y evitar posibles problemas.

Sistema auxiliar de energía convencional:

Hay veces en las que el sistema de energía solar no podrá hacer frente al consumo energético energéticas de la instalación por lo que es necesario siempre que exista un sistema auxiliar para apoyar al sistema de energía solar y así satisfacer siempre las demandas de la vivienda.

La energía proveniente del sol es captada por los colectores, luego es transferida al acumulador mediante los intercambiadores de calor y después es consumida por los propietarios de la vivienda, durante este proceso el sistema hidráulico trabaja conduciendo los fluidos hacia su destino y los sistemas de regulación se encargaran de dirigir las bombas de forma adecuada, comparando parámetros y datos obtenidos de la propia instalación, y activaran el sistema auxiliar cuando detecte que la energía del sistema es insuficiente.

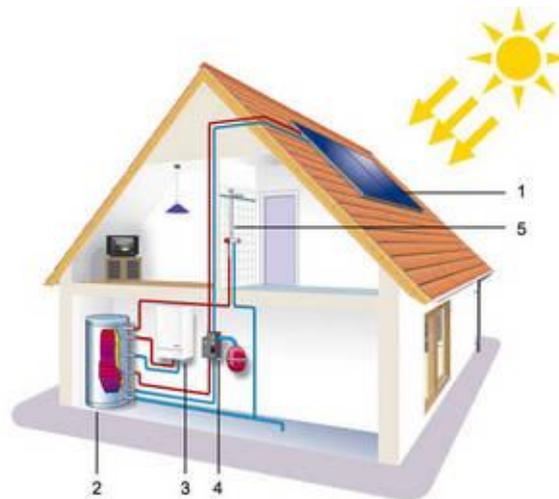


Figura 1. Esquema de instalación solar térmica.

1.2. Contexto

En la actualidad el uso de combustibles fósiles en Europa y en el resto del mundo, para la obtención de energía, sigue siendo mucho mayor que la utilización de energías renovables. Las energías renovables, toman su nombre de la capacidad de recurrir a ellas continuamente sin que estas se agoten, ya que son inagotables. En cambio las energías no renovables, son unas fuentes de energía limitadas, estas energías son extraídas de recursos limitados existentes en el planeta y cuyas reservas se van agotando con su uso. Esto implica que a medida que se agoten los recursos existentes, el coste de la energía aumenta debido a su mayor dificultad de extracción y a la menor disponibilidad de dichos recursos.

En el marco medioambiental, la obtención de energía mediante combustibles fósiles es uno de los principales causantes del efecto invernadero y la lluvia ácida, como consecuencia de la gran cantidad de emisiones contaminantes que se producen durante las fases de obtención, transformación, transporte y uso. Por lo que la limitación de su uso contribuiría notablemente a la mejora medioambiental del planeta.

En cuanto a las energías renovables, su impacto en cuanto a la generación de energía es del orden de 31 veces menor que los métodos convencionales, su utilización es mínima y pocos países destinan una gran cantidad de fondos para mejorar su implantación. España cuenta con una situación geográfica y unas condiciones climatológicas bastante más favorables que el resto de los países de Europa, para la obtención de energías renovables, y en especial la energía solar térmica.

La estructura de la energía consumida por una vivienda en España según el IDAE, la mayoría del consumo energético está destinado al consumo de calefacción y ACS (47% Calefacción y 18,9% ACS), de este consumo de energía únicamente el 17,7% se obtiene de energías renovables.

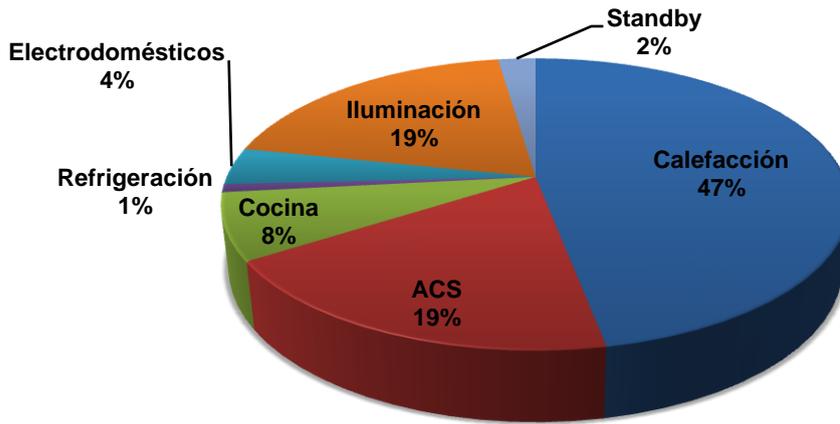


Figura 2. Estructura del consumo en una vivienda

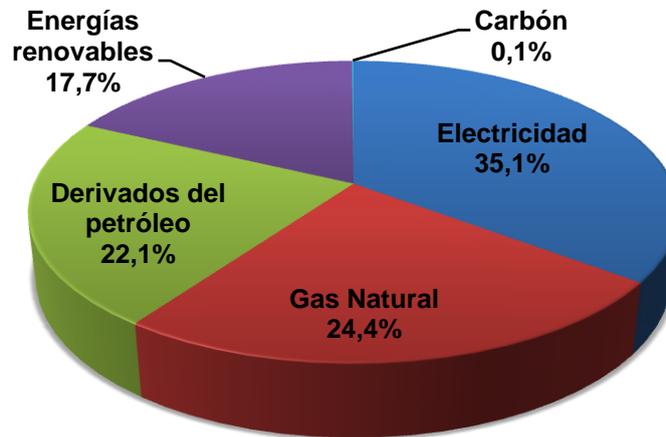


Figura 3. Consumo en viviendas, según fuentes de energía.

Estas dos ilustraciones muestran claramente como la mayor parte de la energía consumida por una vivienda (casi el 67%) es energía fácilmente obtenida de la energía térmica proveniente de la radiación solar, aunque únicamente una pequeña parte se obtiene de energías renovables, a pesar de ser unos de los países con mayor potencial, únicamente aprovechando menos del 10% de las posibilidades que ofrece el sol, durante un solo año el Sol es capaz de arrojar sobre la tierra 4.000 veces más del consumo energético del planeta, esto hace que sus posibilidades sean mayor a las de otras energías renovables . Por otra parte España es uno de los países más dependientes de energía de Europa, alrededor del 70 % de la energía que se consume en España proviene de otros

países. Una solución adecuada a los recursos del país para evitar la excesiva dependencia, sería el aumento y desarrollo de la energía solar. [8]

Por lo tanto mejorar el rendimiento y aumentar el número de instalaciones que contengan esta tecnología debería ser uno de los objetivos fundamentales de la política energética del país, que a pesar de fijar metas ambiciosas para 2020 está muy lejos de los 10.000.000 m² de superficie total de captadores que se prevenía conseguir para dicha fecha, y no solo se está lejos de conseguirlo sino que los datos muestran que el incremento de la superficie instalada anual sigue una tendencia a la baja preocupante.

La gran innovación en este sector ha permitido que esta tecnología sea una alternativa sostenible tanto medioambiental, energética como económicamente. Conseguir independencia energética trae consigo un beneficio económico al eliminar los grandes costes que acarrearán el transporte de energía, así como la reducción de los gastos de los procesos de obtención convencionales y no estar sujeto a los precios exigidos por otras naciones que con el tiempo irán en aumento debido al agotamiento de las reservas de sus recursos.

Las energías renovables a pesar de necesitar una gran aportación económica en su comienzo, con el desarrollo tecnológico se ha conseguido rentabilizar la inversión y hoy en día son plenamente competitivas con las energías convencionales.

Las ventajas medioambientales que aportan son increíblemente beneficiosas para el planeta, y puede que a veces necesaria si se quiere cumplir con la normativa europea de emisiones y conservar el entorno ecológico del país y preservar la naturaleza y fauna de cada región que son un emblema fundamental del país. Aunque el primer paso para reducir las emisiones es la reducción del uso excesivo de energía, y de este modo eliminar la gran necesidad energética actual y favoreciendo con esta iniciativa la posibilidad de abastecer la demanda energética únicamente con energías renovables. Objetivo imposible de abordar con la cantidad de energía consumida en el momento actual.

1.3. Alcance / Objetivos

Este proyecto tiene como objetivo comprobar y mostrar la viabilidad de la energía solar térmica, analizar el consumo energético de una vivienda unifamiliar usual, de cuatro integrantes, situada en la ciudad de Madrid. A partir del consumo calculado, se pretende dimensionar el área de captación de la instalación y el sistema de acumulación. Para finalizar el estudio de la instalación, se analizarán los resultados obtenidos y se mostrará el comportamiento de la instalación para diferentes superficies de captación, con el objetivo de ilustrar los diferentes caminos a tomar dependiendo del punto de vista con el que se aborde el dimensionamiento de la instalación. Dicha vivienda está dotada de una instalación solar térmica, de la cual se explica ciertos sistemas de la instalación y se proponen diferentes alternativas para la mejora del aprovechamiento de la energía captada por el sistema.

Con la realización del proyecto se pretende lograr un aumento del rendimiento energético, debido al uso directo de la energía solar, ahorro económico al utilizar energía proveniente de la naturaleza, reducir el uso de energía proveniente de combustibles fósiles y alcanzar una repercusión social de concienciación de la necesidad de la utilización y desarrollo de energías renovables.

Normalmente las instalaciones de captadores solares su uso se limita a la generación de ACS, lo que supone un ahorro del uso de energías convencionales, pero sin embargo, puede que en algunos casos la instalación puede ser beneficiada del uso de otras alternativas tecnológicas.

Para poder utilizar todas las posibilidades que la energía solar permite es necesario ampliar el campo de actuación, e implementar algunos sistemas de aprovechamiento adicionales como pueden ser utilizar la energía captada para el sistema de calefacción, refrigeración solar o climatización de piscinas. Sin embargo, estas alternativas puede que no sean siempre viables, por lo que en este documento se intenta explicar el uso de la alternativa más adecuada para la instalación propuesta,

A su vez la instalación cuenta con varios grupos de componentes, dependiendo del tipo de componentes y sus características se puede mejorar el rendimiento del sistema, por lo tanto se seleccionará las alternativas que mejor encajen con los requisitos de la instalación.

Las elección de los sistemas de captación, intercambio de calor y sistema de control, así como la técnica de aprovechamiento de la energía, serán elegidos en base a cuestiones técnicas, cálculos sencillos y normativa vigente (debido a exigencias y requisitos redactados en el CTE), la aclaración de la elección será de una forma explicativa, con argumentos técnicos que evidencien la elección y permitan visualizar ventajas de la incorporación de dichas técnicas a la instalación.

Este análisis no tendrá en cuenta detalles o características particulares de una instalación inusual que limiten el uso de ciertos sistemas, ya que en ese caso dicha instalación tendrá que utilizar los componentes que mejor se acomoden a sus requisitos, y dejar de lado las posibles alternativas debido a los impedimentos que esta tenga.

Por otro lado el dimensionamiento del sistema de captación y de acumulación, se realizaran cálculos basados en diferentes metodologías y contrastados con un programa producido por el IDAE, llamado CHEQ4.

1.4. Beneficios del proyecto

La correcta instalación de un sistema de captación de energía solar térmica en una vivienda, trae consigo numerosas ventajas, que no pueden proporcionar las instalaciones convencionales o instalaciones con energía solar térmica con un diseño inadecuado o instalaciones con un pobre mantenimiento.

1.4.1. Beneficios económicos

Bajo coste de funcionamiento:

La energía solar térmica no tiene costes de operación una vez instalada, ya que la energía se toma directamente del sol, de esta forma se eliminan las operaciones costosas de las energías convencionales ya sea durante su fase de extracción, transformación o transporte.

Un estudio realizado por el IDAE, sobre el impacto de la energía solar térmica en la calificación energética de los edificios, revela que el incorporar un sistema de energía solar térmica para el abastecimiento de ACS, piscina, calefacción y refrigeración supone un cambio de letra en la calificación energética en el 42% de los casos, esto se debe al aumento de la eficiencia que proporciona la implantación de dichos sistemas. [7]

	Incorporación Solar para ACS y piscina			Incorporación Solar para ACS, piscina, calefacción y refrigeración		
	Fracción solar ACS (*)	Reducción emisiones	Nº de caso mejora de calificación (cambio de letra)	Fracción solar total	Mejora emisiones	Nº de caso mejora de calificación (cambio de letra)
Unifamiliar	65%	16%	2	41%	38%	9
Plurifamiliar 4	51%	10%	0	27%	22%	4
Plurifamiliar 8	50%	6%	1	19%	16%	4
Oficina 4	56%	4%	2	12%	8%	5
Oficina 8	53%	3%	0	7%	5%	2
Hospital	67%	31%	6	22%	24%	8
Polideportivo	60%	29%	5	40%	18%	6
Hotel	67%	13%	7	24%	10%	9
Centro comercial	53%	0%	0	3%	2%	0
Promedio/Total	52%	12%	23	22%	16%	47

Tabla 1. Resultados de estudio del IDAE.

Bajo coste de mantenimiento:

El coste de mantenimiento de una instalación de este tipo es el único gasto que se ha de financiar posterior a la implantación, dicho gasto no supone una gran pérdida ya que el mantenimiento del sistema es sencillo.

Básicamente se basa en la limpieza del modulo solar y los demás componentes de la instalación, cuyo mantenimiento es similar al de las instalaciones convencionales.

Vida útil:

Se estima que la vida útil de un sistema de colectores solares térmicos supera la barrera de los 20 años.

Subvenciones:

Aunque se han reducido en los últimos años, a cada Comunidad Autónoma se le ha sido transferido los fondos destinados al plan de fomento de energías renovables.

Cada una de las comunidades gestiona su propio plan de subvenciones, para ciertas instalaciones que utilizan energías renovables, aun así la IDAE, a través de distintos órganos, otorga la posibilidad de créditos de bajo interés a los titulares de la instalación.

Amortización:

El tiempo de amortización de un sistemas solar térmico se encuentra entre los 8 y 12 años.

1.4.2. Beneficios medioambientales

Dentro de los beneficios del proyecto, el impacto medioambiental puede que sea el apartado de mayor importancia. Con el objetivo de cuidar el entorno en el que vivimos para evitar futuros problemas, el proyecto aporta beneficios medioambientales sustanciales que favorecen la materialización de dicho objetivo.

Reducción del consumo de combustibles fósiles:

Aplicando la tecnología propuesta por el proyecto se espera captar energía solar suficiente para abastecer más del 40% del consumo de los sistemas en los que se aplique la tecnología solar térmica.

Recudiendo el consumo de combustibles fósiles al mismo tiempo se reduce la los procesos de obtención de estos y su transporte, procesos en los que la naturaleza se ve muy castigada.

Reducción de emisiones:

La reducción del consumo de combustibles clásicos también conlleva una reducción de las emisiones que se producen en la obtención y durante su aprovechamiento.

Como ya se ha explicado en los beneficios económicos, la tecnología de captación solar es capaz de mejorar la calificación energética de los edificios notablemente. Las emisiones de la instalación se pueden llegar a reducir hasta un 58%, dependiendo del tipo de instalación anterior a la mejora y la localización de la vivienda, el valor medio de mejora suele estar alrededor del 35% y el 40%.

Como consecuencia de las reducciones de emisiones, la calidad del aire mejora, y se combate el efecto invernadero causado por gases como el CO₂.

Reducción de residuos perjudiciales para el medioambiente:

La producción de residuo es escasa y además estos no son nocivos ya que no son un peligro para el medioambiente.

1.4.3. Beneficios sociales

Concienciación y ejemplo:

Este tipo de proyectos tienen un impacto positivo en la sociedad, concienciando a la población de los problemas ambientales existentes que pueden afectar al mundo de manera directa en un futuro no muy lejano, por consiguiente, la necesidad de reducir el consumo de energía, el de combustibles fósiles y la necesidad de investigar y fomentar el uso de energías renovables. También sirve como ejemplo, mostrando la efectividad de la tecnología existente y destapando mentiras y rumores existentes, que niegan la efectividad de las energías verdes.

Desarrollo tecnológico:

El desarrollo de las tecnologías renovables se encuentra en su estado de crecimiento, a pesar de conocerla desde hace muchos años, la inversión e investigación que ha habido no ha sido suficiente para ser una alternativa real y competir con los métodos tradicionales de obtención de energía. Aumentar la investigación y desarrollo de esta tecnología puede producir grandes avances en la sociedad.

En primer lugar, se puede evitar la dependencia energética por parte de los países suministradores. Tener independencia energética, tanto para el país como para cada habitante en particular, permite no tener que estar a merced de los productores de energía globales.

En segundo lugar, se espera que con el desarrollo de esta tecnología, se consigan precios más asequibles, que permita a las familias con menos poder adquisitivo poder hacer frente a la instalación del sistema y a las personas con mayores desigualdades sociales poder disponer de energía, que ahora mismo con el sistema actual no puede disponer. De esta manera se igualarían mucho las diferencias que existen en el mundo actual entre los distintos niveles de desarrollo.

1.5. Análisis de alternativas

A continuación se muestran las diferentes alternativas tecnológicas y técnicas para el aprovechamiento de la energía solar, que se pueden implementar en la instalación, detallando sus ventajas e inconvenientes y explicando el funcionamiento con un breve resumen.

1.5.1. Captadores solares

Los captadores solares son los componentes de la instalación encargados de captar la energía del sol y transformarla en calor.

Para una instalación de baja temperatura como la estudiada en el informe, se suele optar por la utilización de captadores de placa plana o captadores de tubo vacío.

Captador de placa plana:

Los captadores de placa plana están formados principalmente por los siguientes componentes:

1. Cubierta: Generalmente de vidrio o de plástico. El material escogido debe de producir efecto invernadero, tener buena resistencia mecánica y un coeficiente de dilatación pequeño.
2. Absorbedor: Placa metálica a la que se le sueldan los tubos por los que circula el fluido caloportador. Se encarga de transformar la radiación solar en calor y transmitir dicho calor al fluido portador. Suelen ser de cobre o de aluminio.
3. Tuberías: Pueden ser de parrilla, o en serpentín. Se encargan de transportar el fluido portador.
4. Aislamiento: Cumple la función al de evitar las pérdidas térmicas del absorbedor en su parte inferior.
5. Carcasa: Protege y soporta los elementos del captador. Debe ser resistente a la corrosión, a los cambios de temperatura y permitir cierta aireación para evitar la condensación.

[1]

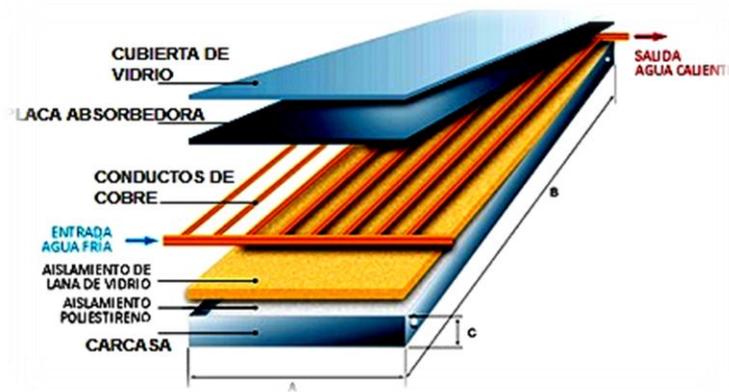


Figura 4. Ejemplo de captador de placa plana.

Captador de tubo vacío:

Son captadores en los que se le ha efectuado un vacío en el interior de un tubo. De esta manera, mediante el vacío se eliminan las pérdidas por convección.

Existen dos tipos de captadores tubulares de vacío:

- **De flujo directo:** Disponen de un captador principal al que van unidos el resto de tubos mediante un circuito de ida y vuelta.
- **Con tubo de calor (heat pipe):** Está formado por un captador principal al que van unidos los tubos de vacío, igual que en el captador de flujo directo, en este modelo el tubo de vacío está compuesto por dos tubos concéntricos, uno de ellos lleno de una mezcla alcohólica. Al calentarse esta mezcla mediante la radiación solar, se evapora y asciende a la parte superior del tubo donde se encuentra una pipeta condensadora que hace de transmisor de calor. Cuando la mezcla cede calor al circuito primario, esta se condensa y cae a la parte inferior del tubo por su propio peso.

Los captadores de tubo vacíos además de ser más eficientes que los de placas planas, tienen la ventaja en algunos casos, dependiendo del modelo, de inclinarse individualmente para obtener la inclinación óptima de captación sin necesidad de mover los paneles.

1.5.2. Acumulador

Los acumuladores de una instalación de energía solar es uno de los puntos críticos del sistema, ya que no siempre es posible captar la energía solar y al mismo tiempo satisfacer las necesidades de consumo.

Por ello es necesario un sistema de acumulación que acumule la energía en los momentos de mayor radiación solar, y que haga frente a la demanda cuando la radiación solar es baja o nula. De esta función se encargan los acumuladores, que son depósitos aislados térmicamente. El periodo de acumulación es muy variable dependiendo del tipo de aplicación, este puede ser de día, horas, días e incluso meses.

Existen dos tipos de acumuladores dependiendo si llevan el intercambiador incorporado o no:

- **Deposito acumulador:** El intercambiador de calor se encuentra en el exterior del depósito. Este tipo de acumulador es recomendable en instalaciones de gran tamaño.
- **Deposito interacumulador:** Es una unión en el mismo equipo físico de un acumulador y un intercambiador de calor, El intercambiador se encuentra en el interior del depósito y puede estar dotado de uno o varios serpentines. Normalmente se recurre a la utilización de los interacumuladores cuando se trata de una instalación de pequeña o mediana capacidad.



Figura 5. Acumulador e Interacumulador.

Los acumuladores también se pueden clasificar según la posición de funcionamiento:

- **Acumuladores verticales:** La posición vertical es la más habitual es tanto en instalaciones térmicas solares como en instalaciones convencionales. De esta manera se favorece la estratificación del agua, es decir, se tienen que formar capas de agua de tal manera que las capas de agua fría estén en la parte inferior del depósito y las capas más calientes en la parte superior. Este fenómeno es importante para aumentar el rendimiento de los captadores ya que en el fondo es donde se produce el intercambio de calor entre el circuito primario y el agua acumulada; cuanto más fría sea el agua que entra en los captadores de energía, mayor energía serán capaces de captar. Además en la parte superior se encuentra el punto de toma de agua para abastecer la instalación por lo que en ese punto debe de situarse el agua con mayor temperatura. [1]

- **Acumuladores horizontales:** Este tipo de acumulador es menos utilizado ya que no se produce el fenómeno de estratificación y es necesario calentar todo el agua del depósito para obtener agua a la temperatura de servicio. Las aplicaciones más habituales de este modelo son:
 - Grandes acumuladores
 - Instalaciones en las que la altura este limitada.

1.5.3. Intercambiadores de calor

Los sistemas de energía térmica pueden corresponder a la denominación de directos, en caso de que el fluido que circula por el captador es el utilizado posteriormente para el consumo, o pueden ser indirectos, denominados así por tener un circuito principal por donde circula el fluido caloportador y posteriormente, la energía contenida en dicho fluido se transfiere a un segundo circuito, por donde circula el fluido de utilización.

Los intercambiadores son los dispositivos que llevan a cabo la transferencia de calor entre el circuito primario y secundario, estos pueden ser de dos tipos:

- **Intercambiadores internos:** Se encuentran dentro del acumulador, denominado interacumuladores, son aconsejables para instalaciones pequeñas, ya que son más económicos. Hay dos tipos de interacumuladores mas habituales que son los de serpentín y los de doble pared.
- **Intercambiadores externos:** Son intercambiadores de calor que se encuentran en el exterior del acumulador, su utilización está destinada a instalaciones de gran tamaño, con volúmenes de acumulación de más de 1.500 litros, ya que estos permiten obtener la potencia necesaria sin limitaciones, por otra parte, los fabricantes no suministran interacumuladores cuando se tratan de volúmenes tan grandes. En instalaciones de energía solar térmica, los intercambiadores externos más utilizados son los multitubulares y los de placas. [2]

“En la práctica los sistemas de intercambio de calor adoptan formas con la mayor superficie posible respecto al volumen contenido” (Méndez Muñiz, 2008, p.83)

Los sistemas más utilizados en instalaciones solares térmicas son:

- Intercambiadores de tubos concéntricos.
- Intercambiadores de serpentín.
- Intercambiadores de doble pared.
- Intercambiadores de placas.

Intercambiadores de tubos concéntricos:

Intercambiadores compuestos por dos tubos concéntricos, por el tubo interior circula el circuito primario y por el exterior circula el secundario.

El flujo debe de ser a contracorriente para obtener la temperatura máxima en el circuito secundario.

Intercambiadores de serpentín:

Con objetivo de aumentar potencia del intercambiador, los tubos se curvan en espiral formando serpentines, con esto se logra que aumente la longitud del tubo y por lo tanto aumenta la superficie de intercambio, obteniendo grandes longitudes en espacios reducidos.

Intercambiadores de doble pared:

Formados por dos depósitos, uno dentro del otro. El depósito interior con el fin de aumentar la superficie de intercambio suele estar formado por una chapa ondulada, además de esta forma también se mejora la resistencia a la presión. La separación entre los depósitos es mínima, consiguiendo así una buena superficie de intercambio.

Intercambiadores de placa:

Estos intercambiadores son utilizados en instalaciones de un tamaño medio o grande, cuando se quiere calentar fluidos en circulación. Para evitar la instalación de equipos muy voluminosos que ocupan demasiado espacio, se emplea intercambiadores de placa, formados por varias capas de placas por las que circula intercaladamente el circuito primario y el secundario. Al estar en contacto por ambas caras y tener una forma ondulada, se obtiene una gran superficie de intercambio. Estos sistemas siempre necesitan bombas de circulación para ambos circuitos.

1.5.4. Técnicas de aprovechamiento de la energía solar.

Actualmente la energía solar térmica puede aprovecharse con una gran variedad de técnicas, que aseguran un aprovechamiento energético y una buena efectividad económica. A parte de utilizar la energía térmica procedente del sol para la obtención de ACS, existen otros métodos de utilización como pueden ser la refrigeración solar, apoyo de calefacción o climatización de piscinas.

Refrigeración solar:

La refrigeración solar se basa en un sistema de absorción en vez de un sistema por compresión convencional. En la refrigeración por absorción se sustituye el compresor mecánico del ciclo de refrigeración por un compresor térmico, compuesto por un absorbedor y un generador. Estos sistemas se basan en la afinidad de ciertas sustancias entre ellas, favoreciendo así el proceso de absorción química. La sustancia más volátil actúa como refrigerante mientras que la menos volátil trabaja como absorbente.

El sistema se compone por: absorbedor, evaporador, generador o separador y condensador:

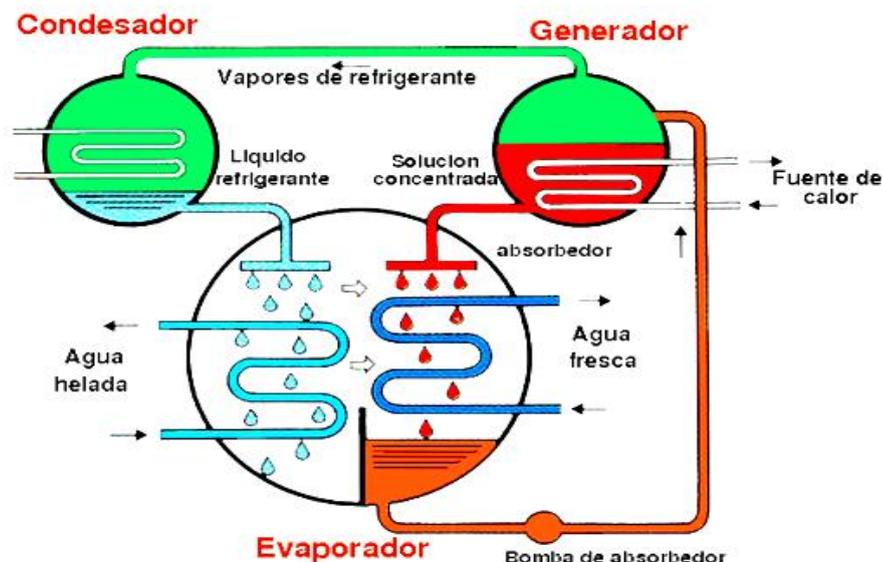


Figura 6. Ciclo de absorción

En la mezcla la sustancia as volátil actúa como refrigerante y la otra como absorbente, en el caso de utilizar H₂O/LiBr el agua es el refrigerante y el bromuro de litio el absorbente, en cambio si la mezcla está compuesta por H₂O/NH₃.

La mezcla se sitúa en un recipiente a baja presión, unos 790 Pa, y a una temperatura de 4 o 5 °C. La mezcla es bombeada hasta el generador donde es calentada mediante la energía solar y se libera el refrigerante por destilación. La solución concentrada vuelve al absorbedor para mezclares otra vez con refrigerante. El refrigerante en estado gaseoso, pasa por un condensador para cambiar a estado liquido. Al salir el fluido en estado liquido del condensador pasa por una válvula de expansión para bajar la presión, antes de entrar en el evaporador. El refrigerante es derramado al evaporador donde contacta con los tubos de un intercambiador de calor, por el cual fluye el fluido refrigerado mediante extracción de calor. El calor extraído pasa al absorbedor para ser mezclado nuevamente con el absorbente y realizar de nuevo el ciclo.

La refrigeración solar cuenta con la ventaja de coincidir la demanda máxima del sistema, durante los meses de mayor radiación solar, por lo que el funcionamiento de la instalación nunca se detendrá por falta de energía solar, utiliza refrigerantes no perjudiciales para el medio ambiente y sus emisiones de CO₂ se ven muy reducidas en comparación con sistemas de compresión mecánica, además no congestiona la red de distribución eléctrica, como sucede debido al uso excesivo de sistemas de refrigeración convencionales de bomba de calor. [3] [1] [2]

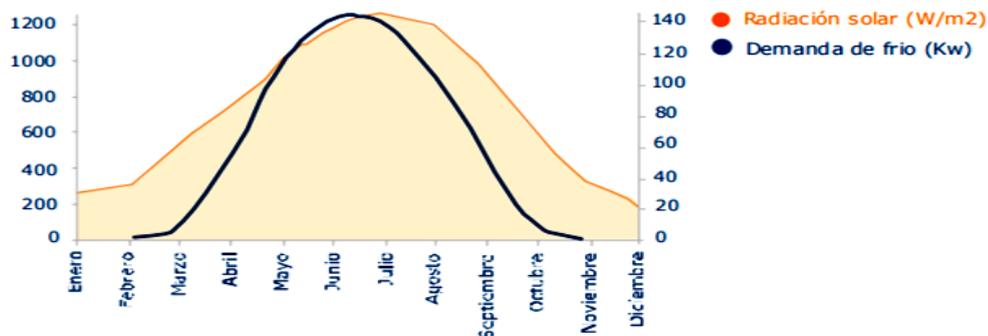


Figura 7. Comparativa radiación y demanda de frío. [21]

Calefacción:

Mantener una vivienda con una temperatura de confort, durante los meses de invierno supone una gran suma económica. Aplicando tecnología solar térmica, se puede reducir el gasto tanto económico como financiero, debido a la calefacción convencional, la cual utiliza combustibles fósiles como el gas natural o el gasóleo.

El funcionamiento de esta tecnología consiste en sustituir las calderas que calientan el agua del sistema de calefacción y trabajan con combustibles fósiles por un sistema de captadores de energía solar térmica.

Esta aplicación cuenta con varios inconvenientes ya que la mayor demanda de calefacción durante el año se produce durante los meses de menor radiación solar, por lo que puede que la energía solar no sea suficiente para mantener vivienda a la temperatura adecuada, además las instalaciones de calefacción convencionales por agua existentes, trabajan con radiadores, el agua abastecida a estos oscila entre los 70 y 90°C, temperatura imposible de alcanzar para captadores clásicos de placas planas. Conectando los captadores en serie se podría llegar a alcanzar temperaturas superiores a los 70°C. Sin embargo, debido a la baja eficiencia energética durante el invierno, las dimensiones de los captadores a disponer, tendrían que ser de un tamaño tan grande que hace que sea económicamente inviable, a no ser que en la misma instalación se atiendan otras demandas como la refrigeración solar o climatización de una piscina.

Otra solución para obtener una buena calefacción con captadores solares es el uso de sistemas como suelo radiante o *fan-coils*, que trabajan a menores temperaturas que los radiadores convencionales, entre los 30 y 40°C. [1] [2]

Climatización de piscinas:

La climatización de piscinas descubiertas con captadores solares debe de ser una alternativa a tener en cuenta a la hora de la construcción de la piscina o si se quiere hacer una renovación del sistema, ya que esta técnica de aprovechamiento de energía solar térmica que alcanza un mayor rendimiento durante su periodo de utilización. Esto se debe a que la demanda de energía solar coincide con los meses de mayor radiación y que la temperatura que de funcionamiento oscila entre los 25 y 30 °C, temperatura fácil de obtener con captadores solares y que permite tener un mayor rendimiento de estos.

Su funcionamiento es muy simple e igual que los sistemas ACS pueden ser instalaciones directas, con un solo circuito por el que fluye el agua por la piscina y por los captadores, o instalaciones indirectas en las que existen dos circuitos, uno primario por el que circula el agua calentada por los captadores y otro secundario por el cual pasa el agua de la piscina, en este tipo de instalación la transferencia de calor entre los dos sistemas se hace mediante intercambiadores de calor.

En cambio esta técnica cuenta con algunos inconvenientes, ya sean de carácter económico debido a que se necesita una inversión económica inicial muy grande o por problemas de instalación en piscinas ya construidas. También cabe destacar que, aunque obtenga un gran rendimiento durante los meses de uso, la instalación no permite durante los meses de menos radiación alcanzar el 100% de la demanda, por lo que sería necesario un sistema de apoyo convencional que utilice combustibles fósiles para poder disfrutar de su servicio.

1.6. Análisis de riesgos

A continuación se presentan los posibles riesgos que existen en el estudio realizado. En ciertos casos los riesgos pueden proceder de simplificaciones realizadas o simplemente por limitaciones del método de cálculo, ya que no se trata de un simulador dinámico que permite realizar un cálculo más detallado y realista.

Estos riesgos pueden ocasionar efectos perjudiciales en la salud, como es el caso de la legionelosis, o simplemente hacer que la instalación tenga un comportamiento diferente al estimado, lo que puede llevar a ocasionar un mayor consumo del sistema de apoyo, o incluso daños en la instalación.

Riesgo de formación de legionelosis:

Los sistemas de acumulación pueden favorecer la aparición de legionelosis. La Legionella es una bacteria que se desarrolla en un rango comprendido entre temperaturas entre los 20 y 45 °C, temperatura que se puede dar en un acumulador, siempre y cuando encuentre nutrientes adecuados. El máximo desarrollo de la bacteria se da entre temperaturas de 37°C y 42°C, y comienza a perecer por encima de los 50°C. A temperaturas superiores a 70 °C se da la muerte inmediata de la bacteria.

Los sistemas de acumulación pueden contener sedimentos y rondar temperaturas que favorezcan su formación por lo que es importante realizar un buen mantenimiento de los mismos. Aunque se puedan dar condiciones perfectas para la aparición de la Legionella, siempre que se use la instalación de continuo y no se trate de un agua estancada, se recomienda que con que el acumulador alcance supere los 60°C durante algunas épocas del año y con el mantenimiento adecuado es suficiente para evitar su aparición.

Riesgos de dimensionamiento:

Un mal dimensionamiento puede conllevar a la existencia de dos problemas opuestos pero igualmente perjudiciales y problemáticos para la instalación.

Un sobredimensionamiento puede acarrear que en épocas de mayor radiación, el sistema alcance temperaturas más altas de las que puede soportar y se produzca un rápido deterioro de los componentes que pueden dar lugar posteriormente al fallo de la instalación, y su necesaria parada y reparación. Esto conlleva costes extra y perdidos de rendimiento del sistema. Si se da esta situación es necesario contar con soluciones que disipen el calor excedente o que eviten que se alcancen valores de temperatura tan elevados.

Por otro lado un dimensionamiento en el que no se alcance una fracción solar óptima, dificultará la recuperación del capital invertido en la instalación, por lo que el sistema no será rentable en cuanto a criterios económicos.

Riesgo por meteorología:

La prevención de este riesgo es ajena al dimensionamiento o al buen uso de la instalación.

Las condiciones meteorológicas pueden causar varios problemas de diferente gravedad, desde una radiación insuficiente, hasta la rotura del sistema de captación por la acción de una tormenta.

Debido a que el cálculo de la instalación se realiza en cuanto a datos de condiciones medias durante los diferentes meses, es muy probable que no todos los días se den siempre las condiciones de radiación y temperatura impuestas en el diseño, y se produzcan variaciones en el aporte solar energético ya sean de carácter beneficioso o perjudicial.

Riesgo de variación de demanda:

Otro posible riesgo son las demandas pico que se puedan producir en ciertas ocasiones esporádicas, ya que no siempre se darán las condiciones establecidas y la demanda no será igual durante todos los días de la semana. Demandas inusuales pueden producir un mayor uso del sistema auxiliar para el calentamiento de ACS.

1.7. Descripción de la solución propuesta

La instalación solar térmica que se ha decidido analizar esta compuesta por un sistema de captación de placas planas, un interacumulador vertical con un intercambiador de serpentín es su interior. La instalación contará con un sistema de apoyo de GN en serie y un Kit Solar encargado de optimizar el funcionamiento del sistema, de forma que solo se aporte la energía estrictamente necesaria y se aproveche la energía solar al máximo.

El sistema primario cuenta con una bomba de recirculación para que el agua vuelva a los colectores al salir del serpentín del intercambiador de calor.

A continuación se analizan las diferentes elecciones tomadas para cada uno de los sistemas.

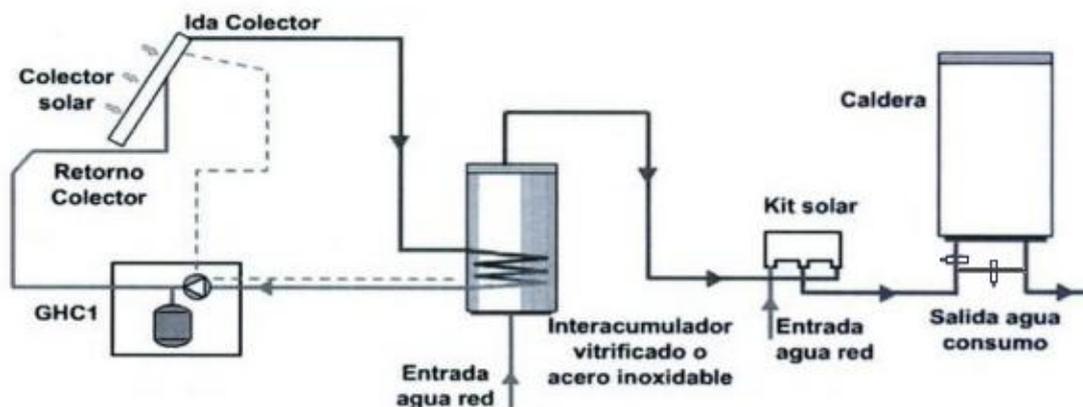


Figura 8. Esquema descriptivo de la instalación estudiada.

Sistema de Captación: (Captador de placas planas)

Se ha optado por utilizar para el estudio un captador de placas planas ya que es el habitual en instalaciones de ACS, ideal para temperaturas de trabajo no muy elevadas, por lo que se alcanza las temperaturas de trabajo sin necesidad de utilizar tubos de vacío. Además el lugar donde se sitúa la instalación cuenta con la radiación suficiente para no requerir de captadores con mayor rendimiento.

Es verdad que la instalación de los captadores de tubo de vacío es más sencilla, debido a su menor peso en comparación con los captadores de placas

planas, además soportan mejor las bajas temperaturas, necesitan menos mantenimiento y oponen menor resistencia al viento. Por contrapartida su vida útil es de menor duración, son más frágiles y se pueden dañar fácilmente durante su instalación, aunque si se produjera la rotura de uno de los tubos bastaría con sustituir ese único tubo sin necesidad de cambiar el resto. Su elevado precio es otro de los motivos por los que no se opta por este tipo de captadores ya que son alrededor de dos o tres veces más caros que los de placas planas. [10] [11]

Se debe aclarar que debido a las bajas temperaturas durante los meses de invierno, es necesario introducir un anticongelante en el circuito de captación, con el fin de evitar que el fluido de los captadores se congele inutilizando la instalación y deteriorándola. El rendimiento del captador se ve influenciado por la nueva mezcla que corre por el circuito primario, aunque la variación es tan pequeña que puede ser despreciada.

Sistema de acumulación e intercambio de calor: (Interacumulador vertical)

De todas las alternativas posibles en cuanto a la acumulación e intercambio de calor entre el circuito primario y secundario, el más común y adecuado para el tipo de instalación estudiada, es un sistema de acumulación vertical que dentro contiene un intercambiador de calor de serpentín.

La posición vertical del depósito de acumulación es la óptima para que se produzca la estratificación del agua del depósito. Por lo que para un mismo volumen se tiende a seleccionar el que tenga la forma más esbelta para que se produzca dicho fenómeno.

El intercambiador interno es más económico que uno externo, ideal para instalaciones pequeñas. La entrada de agua caliente procedente de los captadores solares al serpentín se coloca a una altura comprendida entre el 50 y 75% de la altura del acumulador la salida en la parte inferior del mismo, de esta manera se asegura que el intercambio de calor se produzca en la zona de acumulación con menos temperatura, de este modo la diferencia de

temperaturas entre el fluido de los captadores y el agua fría del acumulador es mayor, mejorando así la eficiencia del intercambiador.

La entrada del agua de red también se realizara por la parte inferior del depósito y dispondrá de un deflector que desvíe el chorro para que este no altere la estratificación del acumulador.

En cuanto a la elección de un intercambiador de serpentín, esta se debe a la que la eficiencia de ellos es mayor que la de los intercambiadores de doble pared ya que la zona de intercambio se encuentra en la zona baja del acumulador, en cambio en los de doble pared, la superficie de intercambio se extiende alrededor de todo el depósito.

Sistema convencional: (Caldera de GN)

El sistema más utilizado y más económico es la caldera de GN, ya que es la forma más barata de conseguir la energía demandada entre los sistemas convencionales, su precio se encuentra en torno al 0,056€/Kwh.

		España	Pisos	Unifamiliares
ACS	Electricidad	21,50%	21,40%	21,70%
	Gas Natural	40,30%	51,60%	13,30%
	GLP	25,90%	20%	40%
	Gasóleo	10,10%	6,10%	19,90%
	Carbón	0,10%	0%	0,30%
	Renovables	1,70%	0,60%	4,15%

Tabla 2. Fuente de suministro energético [6]

En cambio, según los datos del IDEA y Eurostat (OEE), la fuente de suministro más utilizada en España para el consumo de ACS en viviendas unifamiliares son los GLP y electricidad, cuyo precio es de 0,08€/Kwh y 0,12€/Kwh respectivamente, precio de consumo considerablemente más caro que el de una caldera de GN. [19]

2. Metodología seguida en el desarrollo del trabajo

2.1. Descripción procedimiento

En este apartado del proyecto se procede a describir y detallar el procedimiento seguido para el cálculo de los datos energéticos de la instalación, para la estimación mensual y anual de las cargas térmicas de la vivienda, se ha utilizado el método F-Chart, mientras que para el análisis diario del interacumulador, se ha creado una tabla de cálculo con el programa Excel.

2.1.1. Método F-Chart

La metodología de cálculo que se ha seguido ha sido la del método F-Chart, es un método reconocido por el IDAE, que lo incluye en su pliego de condiciones Técnicas y lo recomienda como método de cálculo.

El método F-Chart se basa en la identificación de variables a las que se le asigna un valor, posteriormente se realiza un ensayo para ver si los resultados se acercan a los objetivos. Normalmente se comienza con un predimensionamiento y mediante varias iteraciones se alcanza un correcto dimensionado de la instalación.

Este método es adecuado y perfectamente válido para el cálculo de pequeños sistemas solares, como puede ser el cálculo de ACS o de calefacción de una vivienda, en cambio en sistemas complejos no es aconsejable utilizarlo de forma determinante ya que el margen de error puede llegar a ser del 40%.

Existen otros métodos de cálculo más precisos que el utilizado, como puede ser la simulación dinámica. En cambio el método F-Chart presenta varias ventajas frente a estos métodos más realistas, ya que es más rápido y sencillo, el error que se comete es insignificante en sistemas pequeños y no requiere grandes costes ni grandes periodos de formación para su uso.

Además se trata de un método mundialmente reconocido y recomendado por varias instituciones y gran parte del sector de la energía solar.

Los pasos a seguir para el cálculo es la siguiente:

- Cálculo de la energía destinada al calentamiento de agua para el consumo de ACS.
- Cálculo de la radiación incidente sobre la superficie de captación.
- Cálculo del parámetro D_1
- Cálculo del parámetro D_2 .
- Cálculo de f .
- Análisis de resultados y realización de iteraciones necesarias.

2.1.1.1. Cálculo demanda de ACS

Para el cálculo de la demanda de ACS se seguirán las indicaciones del CTE en el documento básico HE-4, punto 4.1 Cálculo de la demanda.

La demanda se obtiene tomando los valores de la siguiente tabla facilitada por el CTE.

Critero de demanda	Litros/día·unidad	unidad
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. Demanda a referencia de 60°C (Fuente CTE).

La tabla facilitada por el CTE está referenciada para una temperatura de 60°C, para una temperatura de acumulador final diferente a esta, se deberá calcular la demanda asociada a dicha temperatura con las siguientes expresiones:

$$D(T) = \sum_{i=1}^{12} D_i(T)$$

$$D_i(T) = D_i(60^\circ) \cdot \frac{60 - T_i}{T - T_i}$$

Donde:

- $D(T)$ = Demanda de ACS anual a la temperatura T elegida.
- $D_i(T)$ = Demanda de ACS para el mes i a la temperatura T elegida.
- $D_i(60^\circ)$ = Demande de ACS para el mes i a la temperatura de 60°C.
- T = Temperatura del acumulador final.
- T_i = Temperatura media del agua fría en el mes i (Tabla 4).

2.1.1.2. Cálculo demanda energética

Una vez se tienen la demanda de ACS, se puede calcula la demanda energética necesaria para el calentamiento de ACS durante un día, mediante la siguiente expresión:

$$Q_{ACS} = C_e \cdot C_{ACS} \cdot (t^a_{ACS} - t^a_{RED})$$

Donde:

- Q_{ACS} = Energía demandada por el consumo de ACS (Kj/día).
- C_e = Calor específico del agua (4,18 Kj/Kg °C).
- C_{ACS} = Consumo diario de ACS (Kg/día) (densidad del agua 1Kg/litro).
- t^a_{ACS} = Temperatura de ACS (°C).
- t^a_{RED} = Temperatura media del agua de red del mes estudiado (°C).

Los datos de las temperaturas medias del agua de red se obtienen de la siguiente tabla.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
T° media (°C)	8	8	10	12	14	17	20	19	17	13	10	8

Tabla 4. Temperatura media del agua de RED (Fuente: CTE).

A la carga energética obtenida de ACS es necesario sumarle las pérdidas procedentes del sistema de acumulación y de las pérdidas que se dan durante la distribución. Estas pérdidas dependerán en gran medida de la calidad de los materiales de distribución y a los elementos de almacenamiento que se utilicen. Ya que el fin de este proyecto no se centra en la selección de dicho materiales se ha estimado un valor de pérdidas aproximado.

$$\text{Energía ACS Bruta} = \text{Energía ACS Neta} + \text{Pérdidas}$$

Por lo tanto la nueva Q_{ACS} de trabajo es la Q_{ACS} Bruta.

2.1.1.3. Radiación incidente sobre una superficie

Una vez obtenida la demanda energética de la vivienda, el siguiente paso realizado ha sido el cálculo de la radiación que el sistema de captación es capaz de captar durante los diferentes meses del año. Se ha obtenido la radiación de horizontal a lo largo de los diferentes meses del año según el IDAE.

	(Kwh/m ²)
Ene	2,27
Feb	3,25
Mar	4,63
Abr	5,75
May	6,61
Jun	7,75
Jul	8,02
Ago	7,00
Sep	5,47
Oct	3,55
Nov	3,41
Dic	1,86

Tabla 5. Radiación solar en Madrid (Fuente: IDAE).

Para conocer la energía que es posible captar por parte del sistema, es necesario aplicar unos factores de corrección ya que los captadores solares cuentan con un Angulo de inclinación β , por lo que la radiación que les llega es diferente a la que incide sobre un plano horizontal.

La energía incidente en el plano de captación (RI), se obtiene de la siguiente expresión:

$$RI = H \cdot K \cdot 0,94 \cdot FI \cdot FS$$

- H = Radiación media de un día medio de cada mes sobre un m^2 de una superficie horizontal.
- K = Factor de corrección en función de la latitud del lugar del emplazamiento y la inclinación β de los captadores.
- 0,94= Coeficiente de reducción de energía por el ciclo de histéresis en la regulación recomendado por el CTE.
- FI = Perdidas por orientación e inclinación.
- FS =Perdidas por sombras.

El valor del factor K se obtiene directamente de la siguiente tabla:

Incl	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1.07	1.06	1.05	1.03	1.02	1.01	1.02	1.03	1.05	1.08	1.09	1.09
10	1.14	1.11	1.08	1.05	1.03	1.02	1.03	1.06	1.1	1.14	1.17	1.16
15	1.2	1.16	1.12	1.07	1.03	1.02	1.04	1.08	1.14	1.21	1.25	1.24
20	1.25	1.2	1.14	1.08	1.03	1.02	1.03	1.09	1.17	1.26	1.32	1.3
25	1.3	1.23	1.16	1.08	1.02	1	1.02	1.09	1.19	1.3	1.38	1.36
30	1.34	1.26	1.17	1.07	1.01	.98	1.01	1.09	1.2	1.34	1.43	1.41
35	1.37	1.28	1.17	1.06	.98	.95	.98	1.07	1.21	1.37	1.47	1.45
40	1.39	1.29	1.16	1.04	.95	.92	.95	1.05	1.21	1.39	1.5	1.48
45	1.4	1.29	1.15	1.01	.91	.88	.92	1.03	1.2	1.39	1.52	1.5
50	1.41	1.28	1.13	.98	.87	.83	.87	.99	1.18	1.39	1.54	1.52
55	1.4	1.27	1.1	.94	.82	.78	.82	.95	1.15	1.38	1.54	1.52
60	1.39	1.24	1.07	.89	.77	.72	.77	.9	1.12	1.36	1.53	1.51
65	1.37	1.21	1.03	.84	.71	.66	.71	.85	1.07	1.34	1.51	1.5
70	1.34	1.17	.98	.78	.64	.59	.64	.79	1.02	1.3	1.49	1.47
75	1.3	1.13	.92	.72	.57	.52	.57	.73	.97	1.25	1.45	1.44
80	1.25	1.08	.86	.65	.5	.45	.5	.66	.9	1.2	1.41	1.4
85	1.2	1.02	.8	.58	.43	.37	.42	.58	.84	1.14	1.35	1.35
90	1.14	.95	.73	.5	.35	.29	.34	.5	.76	1.07	1.29	1.29

Tabla 6. Factor de corrección K (Fuente: CLEANENERGYSOLAR).[13]

Para obtener el valor K, es necesario escoger la tabla de la latitud correspondiente a la instalación, que en el caso analizado es de $40^{\circ} 25$ por lo que se escoge la tabla de 40° .

Como el factor K también depende de la inclinación de los captadores, previamente se elige en ángulo de inclinación de los mismos.

Para el cálculo de FI, puede estimarse con la expresión:

$$100 \cdot [1,2 \cdot 10^{-4} \cdot (\beta - \beta_{opt})^2 + 3,5 \cdot 10^{-5} \cdot \alpha] \text{ para } 15^\circ < \beta < 90^\circ$$
$$100 \cdot [1,2 \cdot 10^{-4} \cdot (\beta - \beta_{opt})^2] \text{ para } \beta < 15^\circ$$

Siendo:

- β = Inclinación real
- β_{opt} = Inclinación óptima de los captadores, en función del periodo de utilización y latitud del lugar.

Siguiendo el criterio del CTE, el ángulo β y orientación α más adecuado para los captadores solares de la instalación será:

- Orientación: Sur geográfico, $\alpha=0^\circ$
- Inclinación: Dependiendo del periodo de utilización, uno de los valores siguientes:
 - Demanda constante anual: β = Latitud geográfica.
 - Demanda preferente en invierno: β = Latitud geográfica + 10° .
 - Demanda preferente en verano: β = Latitud geográfica – 10° .

2.1.1.4. Cálculo del parámetro D_1

El parámetro D_1 relaciona la energía absorbida por el captador plano, o energía útil, y la carga calorífica mensual.

$$D_1 = \frac{\text{Energía útil del captador}}{\text{Carga calorífica mensual}} = \frac{Q_{\text{útil}}}{Q_{\text{ACS Buta}}}$$

La energía absorbida por un captador plano se calcula multiplicando el rendimiento del captador por la energía incidente sobre la superficie del mismo. El rendimiento de un captador es la relación entre la energía captada y la energía recibida.

$$\eta = \frac{\text{Energía captada}}{\text{Energía recibida}} = \frac{Q_{\text{útil}}}{S_c \cdot R_i}$$

Donde:

- S_c = Superficie de captación (m^2).
- R_i = Radiación incidente por unidad de superficie.

Mediante la ecuación de Bliss o ecuación característica del captador, se puede hallar la energía útil del captador:

$$Q_{\text{útil}} = S_c \cdot [F_r \cdot (\tau \cdot \alpha) \cdot R_i - F_r \cdot U_L (t_e - t_a)]$$

Dónde:

- S_c = Superficie de captación (m^2).
- $F_r \cdot (\tau \cdot \alpha)$ = Coeficiente óptico (Adimensional).
- $F_r \cdot U_L$ = Coeficiente de pérdidas ($\text{W}/\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$).
- t_e = Temperatura del fluido caloportador a la entrada ($^\circ\text{C}$).
- t_a =Temperatura media ambiente del mes estudiado ($^\circ\text{C}$)

Sustituyendo en la ecuación del rendimiento:

$$\eta = \frac{S_c \cdot [F_r \cdot (\tau \cdot \alpha) \cdot R_i - F_r \cdot U_L (t_e - t_a)]}{S_c \cdot R_i}$$

Simplificando se obtiene la ecuación de rendimiento de un captador que se asemeja a una recta:

$$\eta = F_r \cdot (\tau \cdot \alpha) - \frac{F_r \cdot U_L (t_e - t_a)}{R_i}$$

Con esta expresión se puede obtener fácilmente $Q_{\text{útil}}$, es decir:

$$Q_{\text{útil}} = \eta \cdot S_c \cdot R_i$$

A esta expresión se le puede añadir el término (F_r'/F_r), que determina la reducción de la energía útil del captador debido al intercambio de energía que tiene lugar entre el circuito primario y secundario.

Este valor se puede calcular mediante formulas o establece una relación con el valor E_1 , que es la eficiencia del intercambiador de calor.

Por lo que la formula de la energía útil del captador pasaría a ser:

$$Q_{\text{útil}} = \eta \cdot S_c \cdot R_i \cdot \left(\frac{F_r'}{F_r} \right)$$

2.1.1.5. Cálculo del parámetro D_2

El parámetro D_2 relaciona las pérdidas de energía en el captador solar, para una temperatura determinada, y la demanda energética de ACS.

$$D_2 = \frac{\text{Pérdidas de energía en el captador}}{\text{Carga calorífica mensual}} = \frac{Q_p}{Q_{ACS \text{ Bruta}}}$$

Las pérdidas energéticas del captador, se calculan mediante la siguiente expresión:

$$Q_p = S_c \cdot F_r \cdot U_L \cdot \left(\frac{F_r'}{F_r} \right) \cdot (100 - t_a) \cdot \Delta t \cdot K_1 \cdot K_2$$

Donde:

- S_c = Superficie de captación (m^2).
- $F_r \cdot U_L$ = Coeficiente global de pérdidas ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$).
- $\frac{F_r'}{F_r}$ = Factor de corrección, por intercambio de energía.
- t_a = Temperatura media ambiente del mes estudiado ($^\circ C$).
- Δt = Periodo de tiempo en segundos (s).
- K_1 = Factor de corrección por almacenamiento.
- K_2 = Factor de corrección que relaciona la temperatura mínima de ACS, la del agua de red y la media ambiente.

El factor de corrección K_1 , se determina mediante la siguiente fórmula:

$$K_1 = \left(\frac{Kg \text{ acumulación}}{75 \cdot S_c} \right)^{-0,25}$$

El factor de corrección K_2 , se determina mediante la siguiente fórmula:

$$K_2 = \frac{11,6 + 1,18 \cdot t_{ac} + 3,86 \cdot t_{RED} - 2,32 \cdot t_a}{100 - t_a}$$

Siendo:

- t_{ac} = Temperatura mínima de ACS.
- t_{RED} = Temperatura del agua de red.
- t_a = Temperatura media ambiente del mes estudiado.

2.1.1.6. Cálculo de la fracción solar “f”

Una vez se obtienen los valores de D_1 y D_2 , se puede comenzar ya con el cálculo del parámetro f , que indica que fracción de la demanda de ACS es proporcionada por la energía solar. De esta manera obtendremos la energía que realmente se aporta para el calentamiento del ACS.

La fracción solar se calcula aplicando la siguiente expresión:

$$f = 1,029 \cdot D_1 - 0,065 \cdot D_2 - 0,245 \cdot D_1^2 + 0,0018 \cdot D_2^2 + 0,0215 \cdot D_1^3$$

Por lo que multiplicando la demanda energética de ACS por f , se obtiene directamente la energía aportada a la instalación.

$$Q_a = Q_{ACS \text{ Bruta}} \cdot f$$

Una vez obtenido el valor de Q_a para los diferentes meses del año, se debe valorar si los resultados obtenidos, se ajustan a los objetivos deseados, o con la normativa vigente. En el caso que esto no se cumpla se deberá iterar hasta conseguirlo, cambiando algunos parámetros de entrada como pueden ser la superficie de captación, el volumen de acumulación o la calidad de los captadores.

2.1.2. Análisis del interacumulador

Una vez obtenidos la energía aportada a la instalación, se procede a analizar el intercambio de energía y variación de temperatura del acumulador a lo largo del día, para así poder obtener un volumen de trabajo que cumpla con los requisitos impuestos, con el fin de asegurar el confort de los usuarios y el máximo aprovechamiento de la energía solar.

Para ello se ha desarrollado un método basado en una tabla de cálculo, implementada con el programa Microsoft Office Excel.

Lo que se pretende con este análisis es encontrar un volumen de acumulación suficientemente grande para evitar la variación excesiva de la temperatura del depósito. Debido a la naturaleza de la ubicación, la diferencia de radiación entre las diferentes épocas del año, puede provocar que se den temperaturas excesivamente elevadas en los meses más calurosos y demasiado bajas en los meses más fríos. Utilizando un volumen de acumulación elevado se pueden reducir estas variaciones de temperatura.

Aunque las altas temperaturas pueden dañar la instalación, existen varias maneras de reducir la temperatura del depósito o prevenir que estas se alcancen. El CTE propone varias alternativas en caso de que la energía generada por el sistema solar supere el 100% de la demanda de ACS, recogidos en el apartado 2.2.2 del Documento Básico de Ahorro de Energía.

En cambio, en caso de tener temperaturas bajas no se puede aumentar la temperatura de ninguna manera por lo que es necesario prevenir este fenómeno con un volumen de almacenamiento adecuado.

Para el cálculo del volumen, se ha de determinar la variación de temperatura que se desea durante las horas en las que la radiación es mínima o nula. Es decir, a partir de las 17:00, ya que en los meses con menor radiación, la energía captada es nula a partir de esta hora. Con esto se consigue obtener la temperatura mínima del depósito justo antes de comenzar a captar energía de nuevo. Así nos aseguraremos que la energía captada durante el periodo de

radiación sea capaz de abastecer los periodos en los que la radiación es nula y mantener una temperatura adecuada.

Este análisis no representa el funcionamiento verdadero de la instalación, ya que se impone que la energía captada durante las horas de radiación no se use, sino que se acumule, para ser utilizada en los periodos en los que la radiación es nula. En cambio en la práctica, no se impone que energía se va a utilizar o almacenar a ciertas horas del día, si no que el sistema modulante se encarga de gestionar cuando se debe utilizar la energía captada con el fin de aprovecharla al máximo.

A pesar de no ser una representación fiel de la realidad, el análisis sirve para orientarse de las temperaturas que puede tener el acumulador a lo largo del día y para ver que volumen de acumulación es más idóneo. Además si se reparte la energía de apoyo entre los distintos periodos con el mismo porcentaje que se reparte la demanda, se puede obtener una aproximación de lo que sería la variación de la temperatura a lo largo del día más realista.

El cálculo de volumen se realiza para los 12 meses del año, siguiendo las condiciones de funcionamiento explicadas, y se escoge el valor más crítico, es decir, el mayor volumen necesario.

Debido a que la demanda energética no es constante a lo largo del día, se ha de diferenciar los niveles de consumo en diferentes franjas horarias, además la radiación solar tampoco es constante por lo que se debe calcular cuanta energía se aporta a la instalación a las diferentes horas del día.

El día se ha dividido en los siguientes intervalos de consumo:

Intervalo horario	0 - 6 horas	6 - 14 horas	14 - 17 horas	17 - 22 horas	22 - 24 horas
Consumo en %	3,00%	57,00%	12,50%	25,50%	2,00%

Tabla 7. Porcentaje de consumos durante el día.

Los porcentajes de consumo expresan la cantidad de la energía total demandada, que se consume durante un periodo de tiempo determinado.

Para calcular las diferentes radiaciones a lo largo del día, se han utilizado datos de las tablas disponibles en el Anexo II: Datos de radiación a lo largo del día. Esta información se ha extraído del Atlas de Radiación Solar del País Vasco [22]. A pesar de no ser los datos de Madrid, la diferencia entre la distribución de la radiación a lo largo del día es mínima y se ha considerado despreciable el diferencia que supondría utilizar los datos de Madrid. Se ha calculado el porcentaje de radiación durante los diferentes intervalos horarios, y se han relacionado dichos porcentajes con la energía aportada a la instalación.

Ejemplo:

El valor de radiación a una hora determinada, por ejemplo a las 10 de la mañana, expresa la cantidad de radiación acumulada de 9 a 10.

La radiación de un día despejado es simétrica respecto del mediodía solar, por lo que la radiación incidente a las 10 de la mañana es la misma que a las 3 de la tarde.

Hora del día	5=20	6=19	7=18	8=17	9=16	10=15	11=14	12=13
Radiación por horas (Kwh/m ²)	0	0	0	0,038	0,179	0,32	0,428	0,485
Porcentaje de radiación %	0,00	0,00	0,00	2,62	12,34	22,07	29,52	33,45

Tabla 8. Ejemplo de radiación a lo largo del día.

Intervalo horario	0 - 6 horas	6 - 14 horas	14 - 17 horas	17 - 22 horas	22 - 24 horas
Radiación %	0,00%	81,48%	18,52%	0,00%	0,00%
Energía Solar Térmica aportada (Kj)	0	17.608	4.001	0	0

Tabla 9. Ejemplo energía aportada en diferentes intervalos.

La expresión que determina el volumen necesario es la siguiente:

$$V = \frac{E_{ACS} + E_p - E_a}{\Delta T \cdot C_p}$$

- E_{ACS} = Energía demandada de ACS durante periodo de cálculo (Kj).
- E_p = Energía perdida del acumulador durante periodo de cálculo (Kj).
- E_a = Energía aportada al acumulador durante periodo de cálculo (Kj).
- ΔT = Variación de temperatura deseada (°C).
- C_e = Calor específico del agua (4,18 Kj/Kg °C).

El volumen calculado debe cumplir unos límites establecidos por el CTE. Dichos límites relacionan el volumen de acumulación y la superficie de captación.

$$50 < \frac{V}{S_c} < 180$$

- V = Volumen de acumulación solar (litros).
- S_c = Superficie de captación (m²).

Posteriormente se analizan y se muestran todos los resultados en una tabla de cálculo y se puede proceder a realizar una nueva redistribución la energía captada de manera que se aproxime más a la realidad.

2.2. Descripción de las tareas. Gantt

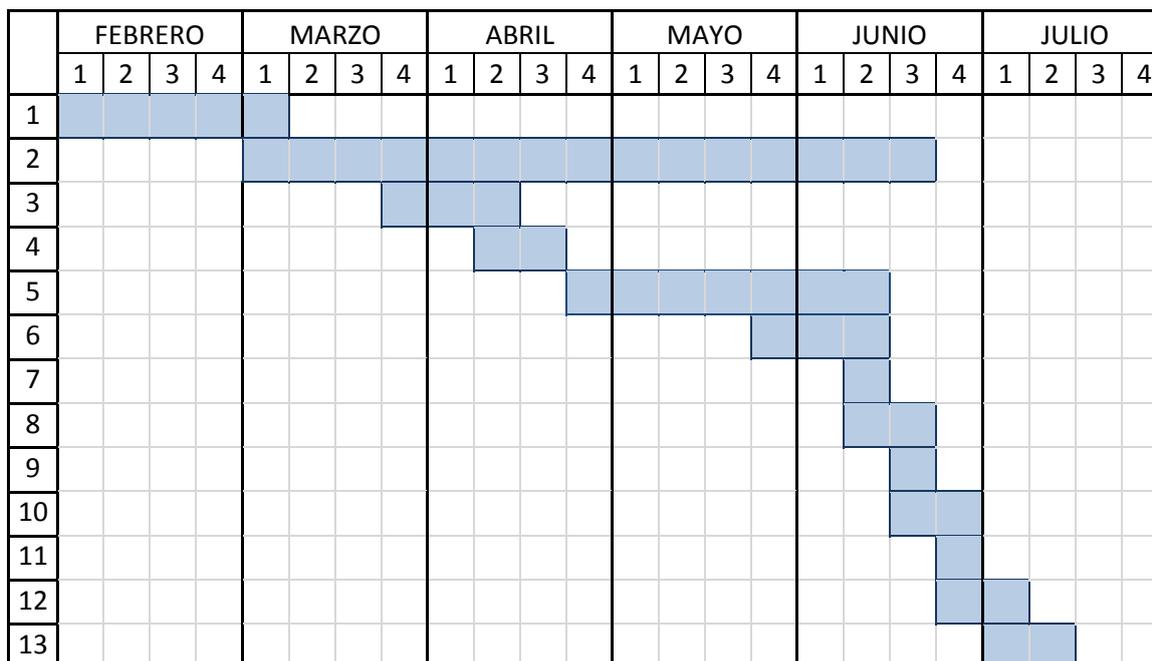


Tabla 10. Distribución de tareas, Diagrama de Gantt.

		INICIO	DURACION	FIN
1	Elección del TFG	10/02/2018	21	03/03/2018
2	Búsqueda de información	04/03/2018	108	20/06/2018
3	Redacción de la Memoria	23/03/2018	18	10/04/2018
4	Cálculos demanda ACS y energética	10/04/2018	10	20/04/2018
5	Elaboración F-Chart	25/04/2018	51	15/06/2018
6	Elaboración tabla del acumulador	24/05/2018	26	19/06/2018
7	Aprendizaje y Utilización de CHEQ4	08/06/2018	3	11/06/2018
8	Redacción de Metodología	11/06/2018	4	15/06/2018
9	Redacción de cálculos restantes	15/06/2018	4	19/06/2018
10	Elaboración tablas de resultados y análisis	20/06/2018	5	25/06/2018
11	Redacción de Análisis de resultados	26/06/2018	4	30/06/2018
12	Redacción de Conclusiones	01/07/2018	2	03/07/2018
13	Correcciones	04/06/2018	12	16/06/2018

Tabla 11. Asignación de tareas

2.3. Cálculos y resultados

En este apartado del documento se muestran los cálculos realizados y los resultados de los mismos.

2.3.1. Demanda de ACS

Consumo de litros por persona al día de ACS para los distintos meses del año:

$$D_i(T) = D_i(60^\circ) \cdot \frac{60 - T_i}{T - T_i}$$

Datos:

$D_i(60^\circ) = 28$ (Litros/persona)

$T = 55$ (°C)

$T_i =$ Tabla 4

Resultados obtenidos:

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Litros/persona	30,9	30,9	31,1	31,2	31,4	31,6	32,0	31,8	31,6	31,3	31,1	30,9

Tabla 12. Resultados litros por persona de ACS.

2.3.2. Demanda energética

Energía necesaria para el calentamiento ACS:

$$Q_{ACS} = C_e \cdot C_{ACS} \cdot (t_{ACS}^a - t_{RED}^a)$$

Datos:

$C_e = 4,18$ (Kj/Kg °C)

$t_{ACS}^a = 55$ (°C)

$C_{ACS} =$ Tabla 11

$t_{RED}^a =$ Tabla 4

Resultados obtenidos:

	Q_{ACS} (Kj)		Q_{ACS} (Kj)
Ene	24.344,32	Jul	18.726,40
Feb	24.344,32	Ago	19.194,56
Mar	23.408,00	Sep	20.130,88
Abr	22.471,68	Oct	22.003,52
May	21.535,36	Nov	23.408,00
Jun	20.130,88	Dic	24.344,32

Tabla 13. Resultados demanda energética neta.

Una vez obtenida la demanda neta de energía es necesario hallar la demanda bruta, que será:

$$\text{Energía Bruta} = \text{Energía Neta} + \text{Pérdidas}$$

Las pérdidas de energía existentes en el acumulador y en el circuito de distribución, se han supuesto 6.4080 Kj al día.

	Q _{ACS Bruta} (Kj)		Q _{ACS Bruta} (Kj)
Ene	30.824,32	Jul	25.206,40
Feb	30.824,32	Ago	25.674,56
Mar	29.888,00	Sep	26.610,88
Abr	28.951,68	Oct	28.483,52
May	28.015,36	Nov	29.888,00
Jun	26.610,88	Dic	30.824,32

Tabla 14. Resultados demanda energética bruta.

2.3.3. Radiación incidente (RI)

Radiación incidente sobre superficie de captación:

$$RI = H \cdot K \cdot 0,94 \cdot FI \cdot FS$$

Datos:

H = Tabla 5

FS = Pérdidas por sombra se han supuesto nulas.

La inclinación de los captadores solares idónea es de 40° y orientación sur (0°). Por lo tanto se ha escogido este ángulo de inclinación y orientación. El factor K de la instalación será:

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Factor K de corrección	1,41	1,28	1,13	0,98	0,87	0,83	0,87	0,99	1,18	1,39	1,54	1,52

Tabla 15. Tabla factor de corrección K para 50° de inclinación.

Ya que en nuestro caso el ángulo de los captadores y el ángulo idóneo es el mismo no se tendrá pérdidas por orientación ni por inclinación de los captadores solares.

$$FI = 100 \cdot [1,2 \cdot 10^{-4} \cdot (\beta - \beta_{opt})^2 + 3,5 \cdot 10^{-5} \cdot \alpha] \text{ para } 15^\circ < \beta < 90^\circ$$

$$\beta=40^\circ \text{ y } \alpha=0^\circ$$

Resultado: FI= 0%

Por lo tanto los valores de RI para los distintos meses del año serán:

	RI (W/m ²)		RI (W/m ²)
Ene	10.357,21	Jul	25.009,22
Feb	13.761,80	Ago	24.126,23
Mar	17.629,54	Sep	21.725,75
Abr	19.629,23	Oct	16.197,40
May	20.612,33	Nov	11.866,17
Jun	23.404,08	Dic	9.036,01

Tabla 16. Resultados RI

2.3.4. Parámetro D₁

Rendimiento del captador solar:

$$\eta = F_r \cdot (\tau \cdot \alpha) - \frac{F_r \cdot U_L (t_e - t_a)}{R_i}$$

Datos:

$$\left. \begin{aligned} F_r \cdot (\tau \cdot \alpha) &= 0,75 \text{ (Adimensional)} \\ F_r \cdot U_L &= 3,863 \text{ (W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C)} \end{aligned} \right\} \text{ Valores proporcionados por el fabricante.}$$

R_i= Tabla 15

t_e= 55 (°C)

t_a= Tabla 17

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
T^o media Ambiente (°C)	6,2	7,4	9,9	12,2	16	20,7	24,4	23,9	20,5	14,7	9,4	6,4

Tabla 17. Temperatura media ambiente. [14]

Resultados obtenidos:

		%		%		%		%
Rendimiento Captador	Ene	68,46	Abr	71,74	Jul	73,12	Oct	71,50
	Feb	70,09	May	72,09	Ago	73,08	Nov	69,73
	Mar	71,30	J.un	72,71	Sep	72,71	Dic	67,63

Tabla 18. Resultados rendimiento captador.

Energía útil captada por el captador:

$$Q_{\text{útil}} = \eta \cdot S_c \cdot R_i \cdot \left(\frac{F_r'}{F_r} \right)$$

Datos:

η = Tabla 17

R_i = Tabla 15

$\left(\frac{F_r'}{F_r} \right) = 0,94$

El valor de $\left(\frac{F_r'}{F_r} \right)$ se puede calcular con formulas o directamente relacionarlo con la eficiencia del intercambiador (E_I).

E_I	F_r'/F_r
0,5	0,88
0,6	0,91
0,7	0,94
0,8	0,97
0,9	0,98

Tabla 19. Relación F_r'/F_r con E_I .

Para una instalación constante a lo largo del año se puede considerar $E_I=0,7$.

La superficie de captación dependerá en gran parte de la fracción solar “f” que se desee obtener y de los objetivos que se quieran cumplir, ya que puede que no sea la misma S_c , para una instalación orientada a obtener un gran beneficio económico, que para una instalación en la que la mayor prioridad sea un gran beneficio medioambiental.

La superficie de captación óptima se suele obtener después de un proceso iterativo. Para comenzar, se puede estimar una superficie de captación utilizando la siguiente expresión:

$$S_c = \frac{Q_{ACS \text{ diaria}} \cdot f}{H_o \cdot \eta}$$

Siendo:

- $Q_{ACS \text{ diaria}}$ = Media anual de la demanda de ACS diaria (MJ/día).
- f = Fracción solar.
- H_o = Media anual de la radiación horizontal diaria (MJ/m² día).
- η = Rendimiento de la instalación.

Datos:

$$Q_{ACS \text{ diaria}} = 28,38$$

$$H_o = 17,57$$

η = Se ha tomado un valor de 0,4

f = La exigencia mínima del CTE para la zona IV que es donde se sitúa la instalación es de 0,6, ya para asegurar que se cumple sin problemas se ha tomado un valor de 0,7.

La superficie de captación obtenida: $S_c = 2,82 \text{ m}^2$.

Redondeando el resultado se ha tomado un valor de $2,8 \text{ m}^2$.

Resultados de Q_{util} :

	$Q_{\text{util}} \text{ (Kj)}$		$Q_{\text{util}} \text{ (Kj)}$
Ene	18.658,92	Jul	48.248,15
Feb	25.423,50	Ago	46.486,83
Mar	33.149,94	Sep	41.623,84
Abr	37.181,51	Oct	30.498,57
May	39.261,24	Nov	21.754,73
Jun	44.944,19	Dic	16.058,19

Tabla 20. Energía útil captada.

Parámetro D_1 :

$$D_1 = \frac{\text{Energía útil del captador}}{\text{Carga calorífica mensual}} = \frac{Q_{\text{útil}}}{Q_{ACS \text{ Bruta}}}$$

Datos:

$Q_{\text{útil}}$ = Tabla 19

Q_{ACS} = Tabla 13

Resultados obtenidos:

	D_1		D_1
Ene	0,6053	Jul	1,9141
Feb	0,8248	Ago	1,8106
Mar	1,1091	Sep	1,5642
Abr	1,2843	Oct	1,0707
May	1,4014	Nov	0,7279
Jun	1,6889	Dic	0,5210

Tabla 21. Resultados parámetro D_1

2.3.5. Parámetro D_2

Parámetro D_2 :

$$D_2 = \frac{\text{Pérdidas de energía en el captador}}{\text{Carga calorífica mensual}} = \frac{Q_p}{Q_{ACS \text{ Bruta}}}$$

Las pérdidas energéticas del captador:

$$Q_p = S_c \cdot F_r \cdot U_L \cdot \left(\frac{F_r'}{F_r}\right) \cdot (100 - t_a) \cdot \Delta t \cdot K_1 \cdot K_2$$

Datos:

$$S_c = 2 \text{ m}^2$$

$$F_r \cdot U_L = 3,863 \text{ (W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C)}$$

$$\frac{F_r'}{F_r} = 0,94$$

t_a = Tabla 16

$\Delta t = 30 \text{ días del mes} \cdot 24 \text{ horas/día} \cdot 3600\text{s/hora}$

$$K_1 = \left(\frac{Kg \text{ acumulación}}{75 \cdot S_c}\right)^{-0,25} = \left(\frac{300}{75 \cdot 3}\right)^{-0,25} = 0,5466$$

$$K_2 = \frac{11,6 + 1,18 \cdot t_{ac} + 3,86 \cdot t_{RED} - 2,32 \cdot t_a}{100 - t_a}$$

	K_2		K_2
Ene	0,9914	Jul	1,2843
Feb	0,9742	Ago	1,2404
Mar	1,0226	Sep	1,1894
Abr	1,0765	Oct	1,0853
May	1,1121	Nov	1,0297
Jun	1,1866	Dic	0,9886

Tabla 22. Factor de corrección K_2 .

Resultados obtenidos de D_2 :

	D_2		D_2
Ene	1,4487	Jul	1,8497
Feb	1,4054	Ago	1,7654
Mar	1,4802	Sep	1,7063
Abr	1,5677	Oct	1,5607
May	1,6013	Nov	1,4989
Jun	1,6980	Dic	1,4415

Tabla 23. Resultados parámetro D_2 .

2.3.6. Fracción solar “f”

Se calcula mediante:

$$f = 1,029 \cdot D_1 - 0,065 \cdot D_2 - 0,245 \cdot D_1^2 + 0,0018 \cdot D_2^2 + 0,0215 \cdot D_1^3$$

Datos:

D_1 = Tabla 20

D_2 = Tabla 22

Resultados obtenidos:

	“f”		“f”
Ene	0,4475	Jul	1,1087
Feb	0,6063	Ago	1,0784
Mar	0,7770	Sep	0,9867
Abr	0,8655	Oct	0,7502
May	0,9206	Nov	0,5341
Jun	1,0375	Dic	0,3827

Tabla 24. Fracción solar de cada mes.

$$F_{\text{Anual}} = 0,76$$

Cantidad de energía aportada a la instalación:

$$Q_a = Q_{\text{ACS Bruta}} \cdot f$$

Datos:

$Q_{\text{ACS Bruta}}$ = Tabla 13

f = Tabla 23

Resultados obtenidos

	Q_a (Kj)		Q_a (Kj)
Ene	13.793,58	Jul	27.946,26
Feb	18.689,04	Ago	27.687,71
Mar	23.222,12	Sep	26.257,30
Abr	25.057,27	Oct	21.369,37
May	25.790,79	Nov	15.962,87
Jun	27.607,58	Dic	11.795,10

Tabla 25. Energía aportada al sistema.

2.3.7. Interacumulador.

Volumen necesario para soportar carga energética a desde las 5 de la tarde hasta las 6 de la mañana:

$$V = \frac{E_{ACS} + E_p - E_a}{\Delta T \cdot C_p}$$

Datos:

- $E_{ACS} + E_p = E_{ACS\ Bruta}$ = Tabla 13, multiplicada por el porcentaje de uso del periodo de tabla 7 (Kj)
- E_a = Valor de tabla 24 multiplicado por el porcentaje de radiación correspondiente a cada periodo, obtenido de las tablas del Anexo II: Datos de radiación a lo largo del día (Kj)
- $C_p = 4,18$ (Kj/Kg °C)
- ΔT = Se ha determinado que la variación máxima de temperatura que se debe producir en el depósito a lo largo del día, bajo las condiciones impuestas sea de 10°C

Resultados obtenidos:

	V (Litros)		V (Litros)
Ene	261,60	Jul	158,31
Feb	261,60	Ago	185,39
Mar	245,46	Sep	217,85
Abr	220,10	Oct	241,53
May	196,57	Nov	254,71
Jun	161,51	Dic	261,60

Tabla 26. Volumen de acumulación para cada mes.

Como era de esperar, debido a su baja radiación, la menor a lo largo del año, y su alta demanda de ACS, el volumen mayor se ha obtenido para el mes de diciembre. Para asegurar que se cumplan las condiciones impuestas el volumen seleccionado debe de estar por encima de los 261,6 Litros, con el fin de acercarse más a una situación real, se ha buscado una capacidad que se amolde a las medidas comerciales. El volumen con el que se ha trabajado es de 300 Litros.

A la hora de simular el comportamiento del interacumulador a lo largo de un día se ha atribuido la energía de apoyo de la misma manera que la energía demandada, es decir, a cada periodo del día, se le ha atribuido un porcentaje de la energía de apoyo total.

DICIEMBRE					
Intervalo horario (0 - 24 horas)	0 - 6 horas	6 - 14 horas	14 - 17 horas	17 - 22 horas	22 - 24 horas
% del consumo diario	3,00%	57,00%	12,50%	25,50%	2,00%
Perdidas en el acumulador	1.620	2.160	810	1.350	540
Energía NETA demandada (Kj)	730,33	13.876,26	3.043,04	6.207,8	486,886
Potencia NETA demandada (Kw)	0,034	0,482	0,282	0,345	0,068
Energía Solar Térmica aportada (Kj)	0	10.446,46	2.106,4	0	0
Potencia Solar Térmica aportada (Kw)	0	0,363	0,195	0	0
Signo ΔT	-	+	+	-	-
Temperatura inicial en depósito (°C)	49,16	47,72	51,57	52	49,69
Temperatura final en depósito (°C)	47,72	51,57	52	49,69	49,16
Energía de apoyo (Kj)	548,144	10.414,73	2.283,932	4.659,222	365,429
Potencia de apoyo (Kw)	0,025	0,362	0,211	0,259	0,05

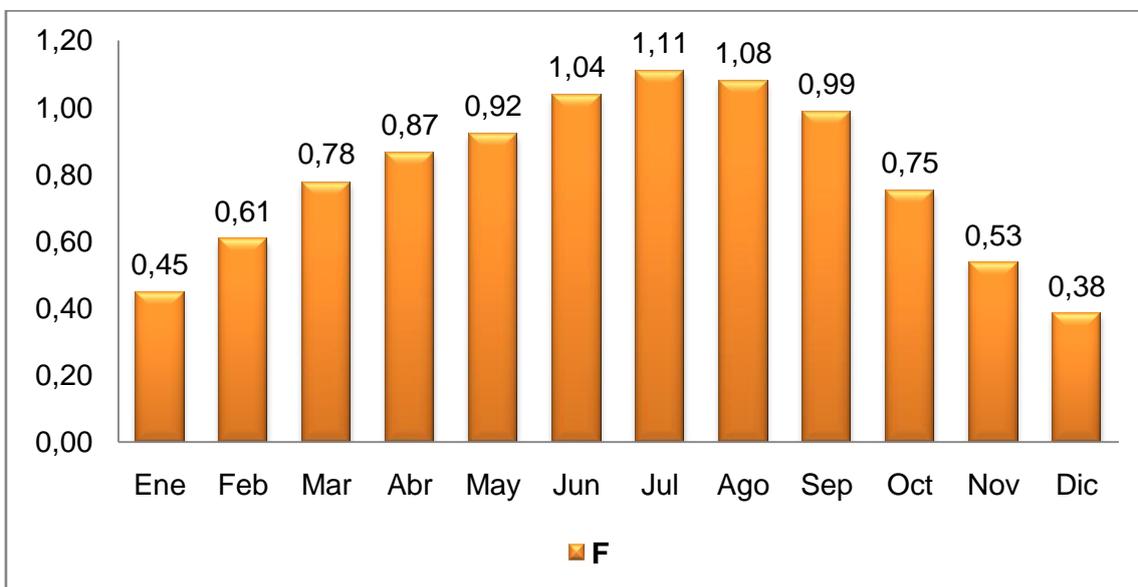
Tabla 27. Comportamiento del interacumulador en Diciembre.

Debido a que la mayor variación de temperatura que se puede dar entre las 17:00 y las 6:00 es de 10°C, se ha establecido que la temperatura a las 17:00, que se estima que esta será la hora del día en la que la temperatura será la máxima, sea de 52 °C.

2.4. Análisis resultados.

A continuación se analizan algunos resultados obtenidos, y se muestra un análisis financiero, energético y medioambiental, de la instalación seleccionada y para diferentes áreas de captación. De esta manera se podrá ver la respuesta de la instalación bajo distintas superficies de captación, evaluar sus posibles beneficios e inconvenientes y mostrar soluciones a dichos problemas.

2.4.1. Análisis energético de la instalación.



Gráfica 1. Fracción solar "f" durante el año.

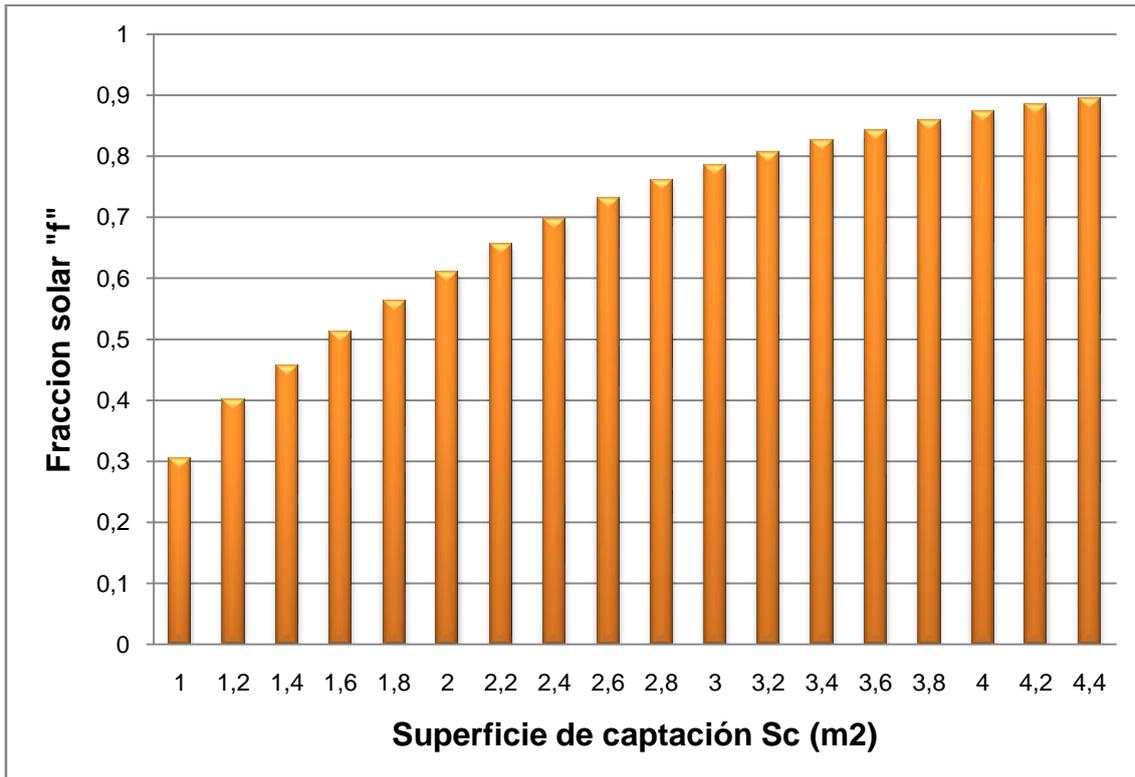
La fracción solar a lo largo del año varía desde un 0,39 hasta un 1,04. Esta gran variación se debe a la clima continental de Madrid, en el cual se dan radiaciones bajas en los meses más fríos y muy altas en los más calurosos. De todas formas, la fracción solar anual es de 0,74, superior al mínimo de 0,7 exigido por el CTE, por lo que se encuentra dentro de la legalidad vigente.

Puesto que la "f" no se supera durante 3 meses consecutivos el valor de 1, la instalación no necesitaría estrictamente contar con un sistema de disipación.

Calculando la fracción solar "f" global, de la instalación para distintas superficies de captación se obtienen los siguientes resultados:

S_c (m ²)	"f"	S_c (m ²)	"f"	S_c (m ²)	"f"
1	0,3219	2,2	0,6122	3,4	0,8169
1,2	0,3794	2,4	0,6704	3,6	0,8376
1,4	0,4342	2,6	0,7105	3,8	0,855
1,6	0,4865	2,8	0,7428	4	0,8696
1,8	0,5361	3	0,7725	4,2	0,8832
2	0,5833	3,2	0,7952	4,4	0,8953

Tabla 28. Fracción solar para diferentes S_c .

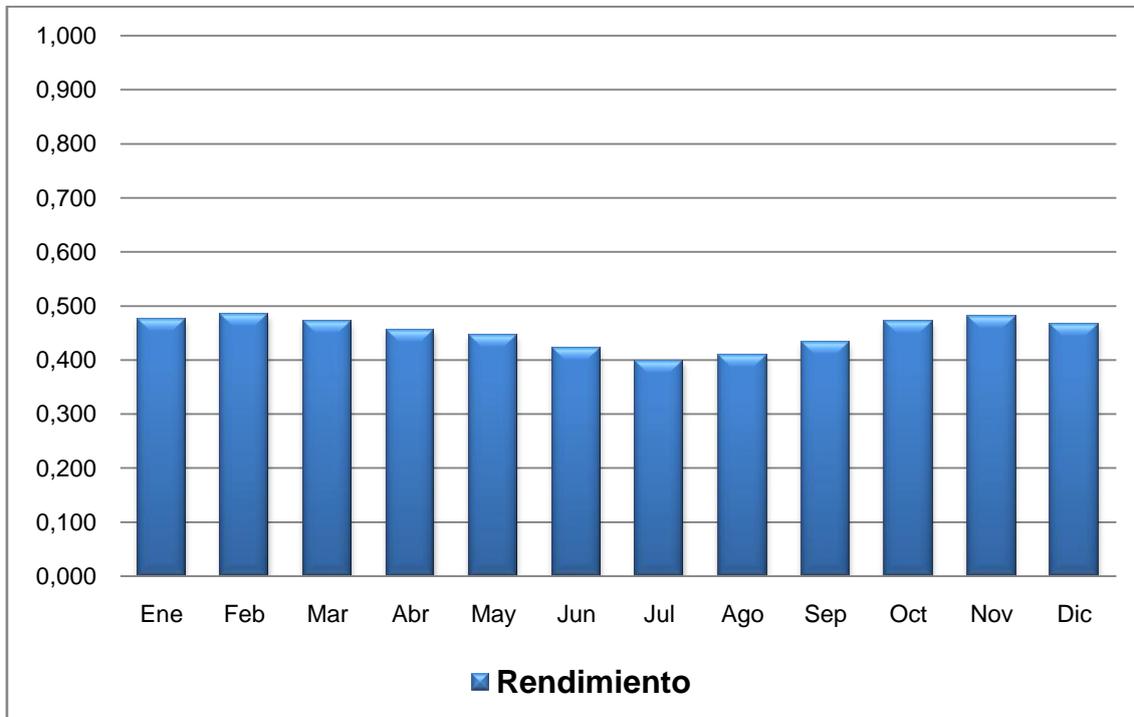


Gráfica 2. Fracción solar para distintas S_c .

Obviamente a medida que aumenta la S_c , aumenta el valor de la fracción solar anual. Sin embargo esto no significa que sea más conveniente aumentar siempre el área de captación ya que puede que otros aspectos de la instalación se vean perjudicados en consecuencia de dicho aumento. Por este motivo es necesario estudiar el rendimiento de la instalación y su comportamiento frente a distintas áreas de captación.

El rendimiento de la instalación, indica la relación entre la energía aprovechada por el sistema y la radiación incidente sobre la superficie de captación.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Energía aportada}}{\text{Radiación Incidente}} = \frac{Q_a}{RI}$$



Gráfica 3. Rendimiento mensual de la instalación.

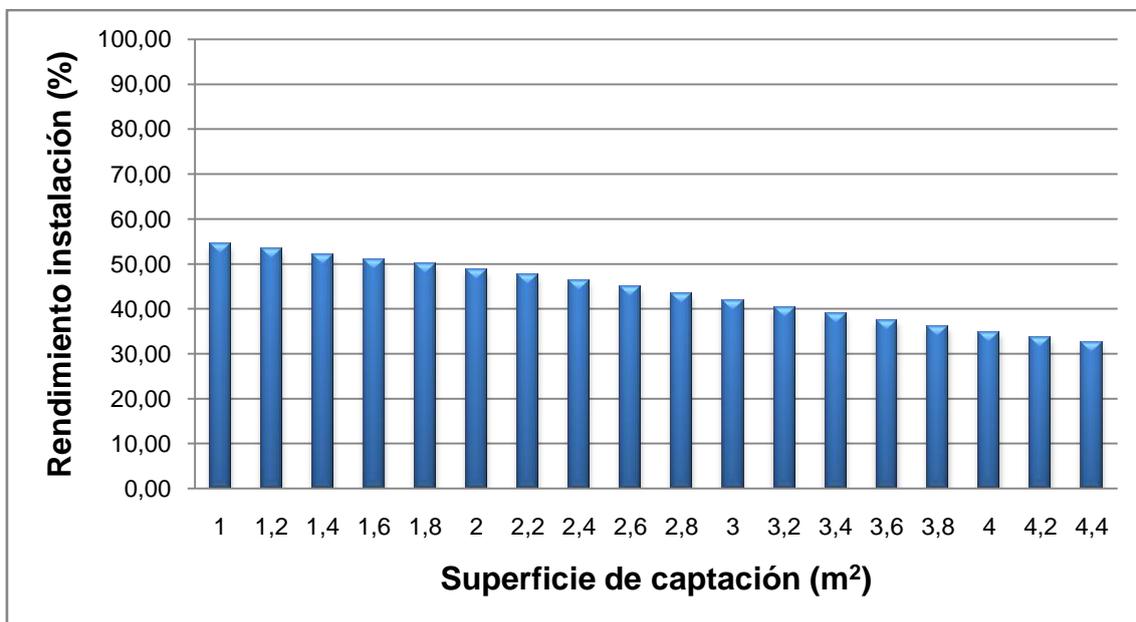
El rendimiento se mantiene más o menos constante a lo largo del año, esto no tiene porque ser así, en este caso la inclinación puede favorecer que se de un mayor rendimiento en los meses de menor radiación ya que se ven favorecidos por el factor de corrección K. Además los meses en los que se la energía aportada al sistema supera la demanda de ACS, la eficiencia del intercambiador es inferior por lo que se entiende que el rendimiento durante estos meses sea inferior al del resto del año.

El rendimiento anual es de 0,4482, resultado aceptable tratándose de una instalación de bajo consumo.

Calculando el rendimiento global de la instalación para distintas superficies de captación se obtienen los siguientes resultados:

S_c (m ²)	Rendimiento	S_c (m ²)	Rendimiento	S_c (m ²)	Rendimiento
1	54,4%	2,2	48,2%	3,4	40,6%
1,2	53,4%	2,4	47,2%	3,6	39,3%
1,4	52,4%	2,6	46,2%	3,8	38,0%
1,6	51,3%	2,8	44,8%	4	36,7%
1,8	50,3%	3	43,5%	4,2	35,5%
2	49,3%	3,2	42,0%	4,4	34,4%

Tabla 29. Rendimiento para distintas S_c .



Gráfica 4. Rendimiento de la instalación para diferentes S_c .

En la gráfica 4 se puede apreciar como a medida que se aumenta la superficie de captación, el rendimiento de la instalación disminuye. Esta gráfica sigue una tendencia contraria a la gráfica 3, por lo que un aumento de la fracción solar de la instalación aumentando la S_c , repercute directamente en una pérdida de rendimiento. Esta pérdida de rendimiento afecta directamente a la rentabilidad de la instalación. Por lo tanto, aumentar la S_c , para obtener un valor mayor de la "f" de la instalación, puede ser contraproducente, ya que puede suponer un gran aumento en la inversión inicial de la instalación, y en el periodo de retorno, con lo que puede que la instalación sea económicamente inviable para el usuario de la vivienda.

A parte del problema económico, para valores altos de “f”, es necesario tomar medidas de disipación de energía excedente, de no ser así el sistema puede deteriorarse fácilmente incluso producirse una rotura en alguno de sus elementos.

Como se ha explicado anteriormente en este documento, en el apartado 1.5.4. Técnicas para el aprovechamiento de la energía solar, se puede evitar el problema de la energía excedente, incluso aprovecharla y aumentar así el rendimiento del sistema.

La técnica idónea para esta situación es incorporar un sistema de refrigeración por absorción, en el que se aprovechasen las altas temperaturas del acumulador debido a la excesiva captación de energía.

Las razones por las que apoyan el uso de esta tecnología, son la coincidencia de la demanda de frío y la excedencia de calor en mismas épocas del año, y que los sistemas de refrigeración están presentes en la mayoría de las viviendas del territorio en el que se ubica la instalación, por lo que el uso de esta tecnología no supone un gasto añadido, ya que el gasto para la instalación de un sistema de refrigeración convencional es bastante parecido.

Estos sistemas han experimentado un gran desarrollo en los últimos años, facilitando el sistema y reduciendo su tamaño, convirtiéndose así en una alternativa viable para el consumo doméstico. Un ejemplo de ello son los sistemas de absorción rotativa, muy sencillos de instalar. Estos permite tener un sistema de absorción en una vivienda sin la necesidad de disponer de una torre de refrigeración, además la absorción rotativa mejora la eficiencia del ciclo. [21] [18]

2.4.2. Análisis económico de la instalación.

En cuanto al apartado económico, la instalación debe de tener un periodo de retorno menor que los años de vida útil del sistema. De esta forma la tecnología supondrá para el usuario no solo un beneficio energético y medioambiental, si no, también económico.

Para calcular el periodo de retorno se ha estimado que el gasto de inversión por m² de superficie de captación instalado, es de 700€. Por lo tanto la expresión que muestra los años de retorno de la inversión es la siguiente [9]:

$$\text{Periodo de Retorno} = \frac{\text{Inversión inicial}}{\text{Ahorro anual}}$$

- Inversión Inicial = $S_c \text{ (m}^2\text{)} \cdot 700 \text{ (€/m}^2\text{)}$
- Ahorro anual (€) = Diferencia entre el gasto de una instalación con ACS solar y sin ACS solar.

En realidad para calcular el ahorro anual habría que tener en cuenta los costes fijos de tarifa de combustible, pero ya que se trata de una instalación de pequeño tamaño, este coste fijo no sufrirá ninguna variación, indiferentemente de la cantidad de energía que aporte el sistema de apoyo.

Aunque anteriormente se ha definido que el sistema elegido es la caldera de GN, se estudian los demás combustibles con ánimo de mostrar la gran diferencia existente entre las diferentes fuentes de suministro. Los precios de cada fuente de suministro han sido obtenidos del BOE [19].

Analizando la instalación estudiada de 2,8 m² de S_c:

	Precios (€/Kw)	Demanda anual (Kw)	Coste anual Sin ACS solar (€)	Coste anual Con ACS solar (€)
GN	0,056	2877,92	161,16	41,46
Gasóleo	0,1	2877,92	287,79	74,03
Electricidad	0,12	2877,92	345,35	88,84
GLP	0,083	2877,92	238,87	61,44

Tabla 30. Costes anuales para diferentes fuentes de suministro.

Lógicamente, se puede apreciar en la tabla que cuanto mayor sea el gasto, mayor será el ahorro debido al ACS solar. Por lo tanto, esta tecnología solar será más atractiva para aquellos edificios que cuenten con un mayor coste debido a la fuente de suministro.

Calculando el periodo de retorno, se puede ver como se amortiza antes a inversión en los casos mencionados anteriormente.

	Precios (€/Kw)	Ahorro anual (€)	Periodo de retorno (Años)	Periodo de retorno con subvención (Años)
GN	0,056	161,16	16,37	11,46
Gasóleo	0,1	287,79	9,17	6,42
Electricidad	0,12	345,35	7,64	5,35
GLP	0,083	238,87	11,05	7,73

Tabla 31. Periodo de retorno para diferentes fuentes de suministro.

La subvención se estima un 30% de la inversión inicial.

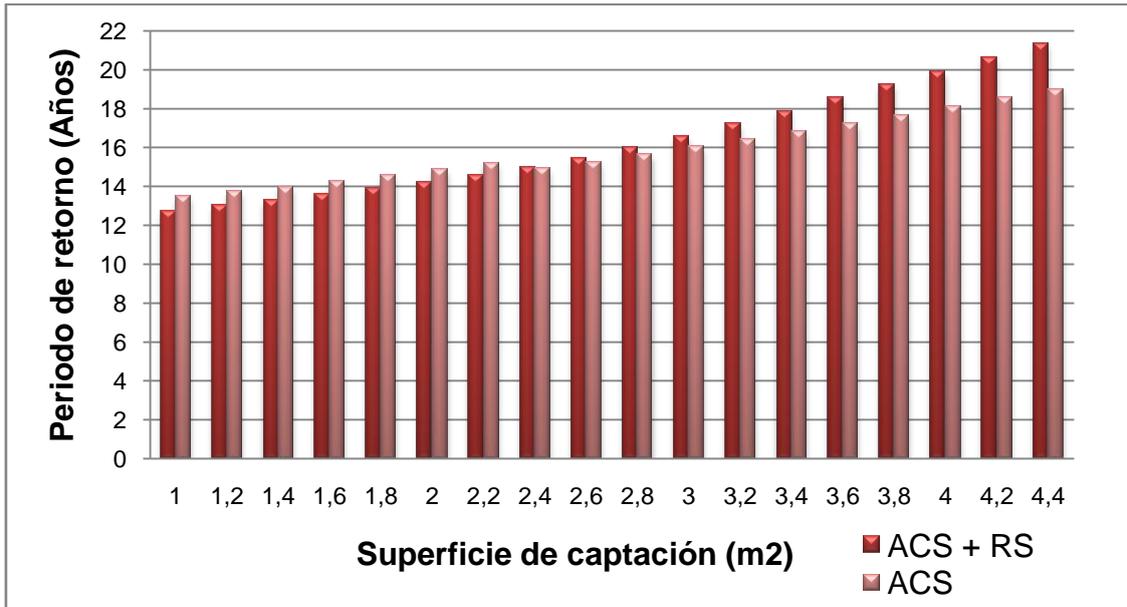
Los resultados mostrados hasta el momento son únicamente teniendo en cuenta la energía destinada al calentamiento del ACS, en este caso existe energía excedente en ciertos meses que se pueden aprovechar, como se ha comentado anteriormente con Refrigeración Solar (RS), con lo que cambiaría el periodo de retorno y como consecuencia el beneficio total al final los 25 años de vida útil del sistema solar.

	Precios (€/Kw)	Beneficio total ACS (€)	Beneficio total ACS + RS (Años)
GN	0,056	1032,67	1101,98
Gasóleo	0,1	3384,06	3507,822
Electricidad	0,12	4452,87	4601,386
GLP	0,083	2475,57	2578,292

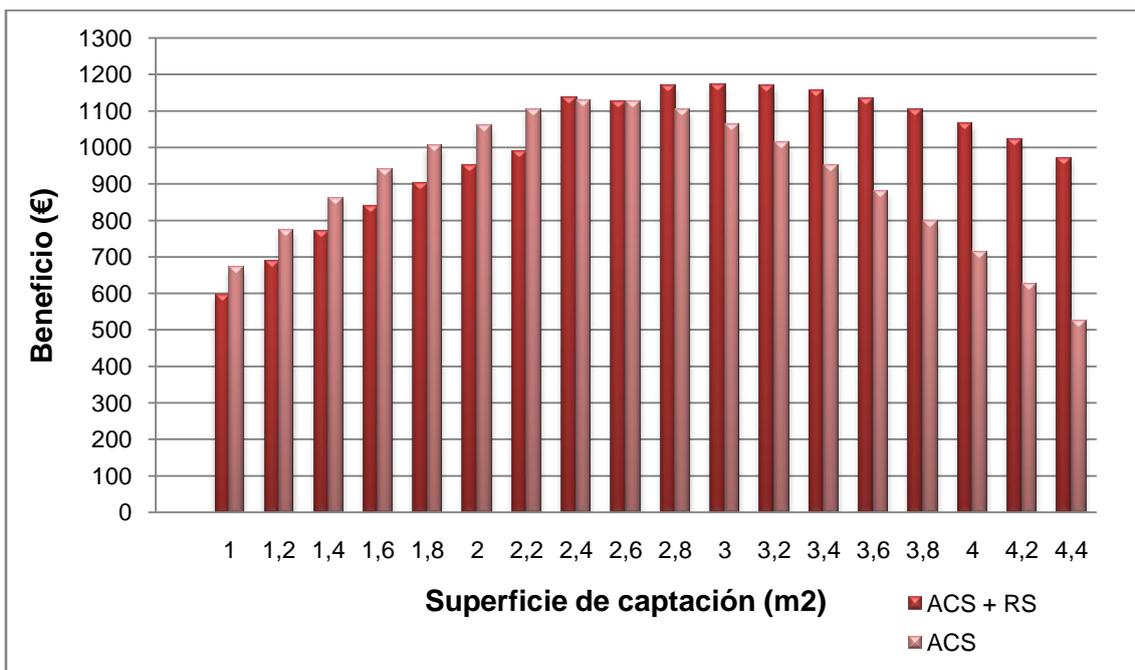
Tabla 32. Beneficios totales durante la vida útil del sistema.

En este caso la energía excedente es mínima y la diferencia entre la instalación solar de ACS únicamente y una instalación con ACS y RS, es casi despreciable. Si se aumentase el área de captación se obtendría una mayor diferencia entre las dos alternativas.

El beneficio y periodo de retorno para diferentes S_c , y las dos alternativas de instalación, con un sistema de apoyo de caldera de GN, es el siguiente:



Gráfica 5. Periodo de retorno para diferentes S_c .



Gráfica 6. Beneficio para diferentes S_c , al cabo de 25 años.

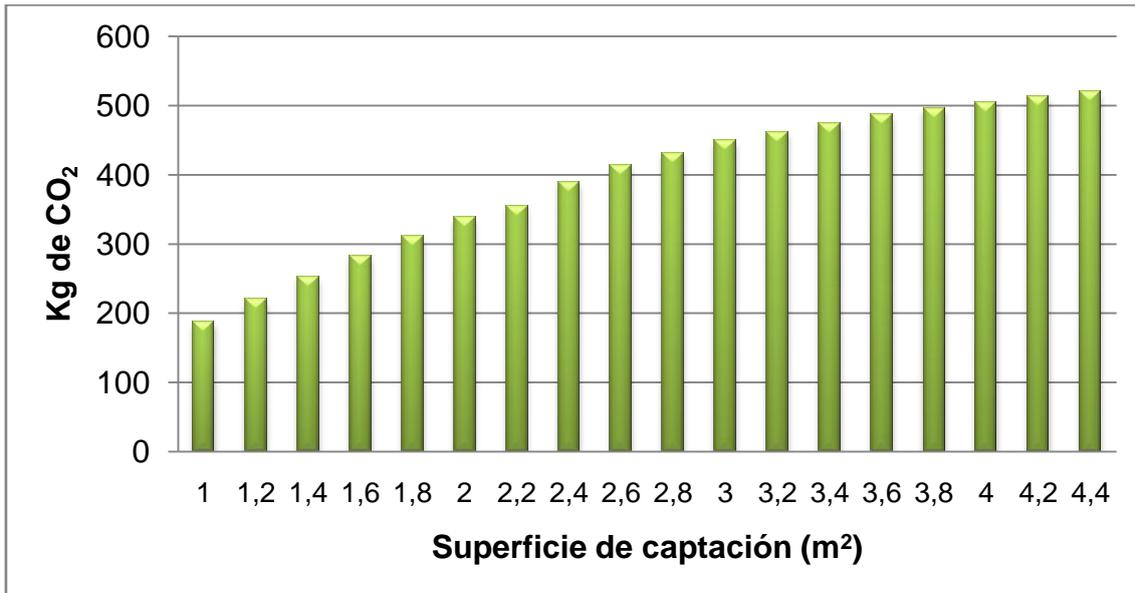
Se puede ver en la gráfica 5 como el periodo de retorno aumenta a mayor S_c , en cambio el beneficio no tiene un comportamiento lineal, y el beneficio máximo se obtiene con $2,6 \text{ m}^2$ de captación en el caso un sistema únicamente de ACS, en cambio, para un sistema de ACS solar más Refrigeración Solar, el beneficio máximo se obtiene con 3 m^2 de captación.

Viendo los resultados ilustrados en las graficas 5 y 6, desde el punto de vista económico, no sería conveniente optar por superficies de captación mayores de 3 m^2 , ya que los beneficios son inferiores a los obtenidos con áreas de captación menores y además cuenta con la desventaja de tener mayor periodo de retorno. Además con un periodo de retorno de pocos años, aumenta la posibilidad de sufrir menores pérdidas económicas ante un fallo catastrófico inesperado de la instalación, ya que para entonces la instalación ya ha podido ser amortizada. También permite cierta flexibilidad al usuario para poder cambiar de vivienda en un corto plazo, sin que la instalación solar suponga ninguna pérdida económica.

El decrecimiento que sufre el beneficio a partir de cierta S_c , es consecuencia del aumento del periodo de retorno, ya que al ser mayor y la instalación sigue manteniendo la misma vida útil, el periodo de beneficios se reduce, por lo que a pesar de tener mayores beneficios por año, la suma total de estos beneficios es menor. Para un sistema que solo cuenta con ACS solar, este decrecimiento se ve agravado por el bajo rendimiento que supone el aumentar el área de captación, debido al gran aumento de energía solar excedente, que no es aprovechada, durante varios meses del año.

2.4.3. Análisis medioambiental de la instalación.

El sistema de energía solar independientemente del área de captación siempre genera un beneficio medioambiental, proveniente de la reducción de emisiones de CO₂. Esta reducción aumenta a medida que aumenta la fracción solar de la instalación, es decir, para una mayor S_c mayor reducción de kg de CO₂.



Gráfica 7. Reducción de Kg de CO₂.

Para saber la cantidad de Kg de CO₂ que emite la instalación al año se han realizado los siguientes cálculos:

Primero se ha obtenido los Kwh de GN que se consumen al año por la instalación para posteriormente calcular la emisión de CO₂.

$$\text{Consumo anual de GN} = 10.360.510,7 \frac{\text{Kj}}{\text{Año}} \cdot \frac{1 \text{ Kwh}}{3.600 \text{ Kj}} = 2.877,92 \frac{\text{KWh}}{\text{Año}}$$

$$\text{Emisiones} \frac{\text{Kg CO}_2}{\text{Año}} = 2.877,92 \frac{\text{Kwh}}{\text{Año}} \cdot \frac{1 \text{ Nm}^3 \text{ GN}}{10,65 \text{ Kwh}} \cdot \frac{2,15 \text{ kg CO}_2}{1 \text{ Nm}^3 \text{ GN}} = 580,98 \frac{\text{Kg CO}_2}{\text{Año}}$$

Para el cálculo realizado se ha seguido la metodología propuesta por la “Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero”. [20]

La reducción de los Kg de CO₂, que se calcula con la siguiente expresión:

$$\text{Reducción} \frac{\text{Kg de CO}_2}{\text{Año}} = f \cdot \frac{\text{Emisiones Kg CO}_2}{\text{Año}}$$

Los resultados obtenidos son los siguientes:

S_c (m²)	“f”	Reducción kg CO₂
1	0,304	176,62
1,2	0,4003	232,57
1,4	0,4572	265,63
1,6	0,5112	297,00
1,8	0,5622	326,63
2	0,6104	354,64
2,2	0,6559	381,07
2,4	0,6972	405,07
2,6	0,7313	424,88
2,8	0,76	441,55
3	0,7848	455,96
3,2	0,8075	469,15
3,4	0,8264	480,13
3,6	0,8434	490,01
3,8	0,858	498,49
4	0,8721	506,68
4,2	0,8847	514,00
4,4	0,8947	519,81

Tabla 33. Reducción de Kg de CO₂.

3. Conclusiones

En el presente trabajo se han desarrollado y alcanzado los objetivos planteados al comienzo del mismo. La instalación solar ha sido estudiada y analizada de manera adecuada, siguiendo la metodología F-Chart. Los resultados obtenidos sustentan las teorías que promueven el uso de energía solar térmica para el cuidado del medioambiente y la creación de un desarrollo sostenible.

Para verificar los resultados obtenidos se han utilizado programas on-line especializados en el cálculo de instalaciones solares térmicas, y en especial el programa CHEQ-4, programa informático desarrollado y facilitado por el IDAE [12] como programa informático para verificar que una instalación solar térmica de baja temperatura, cumple con las exigencias de la sección HE4 incluida en el documento básico de Ahorro de Energía del CTE.

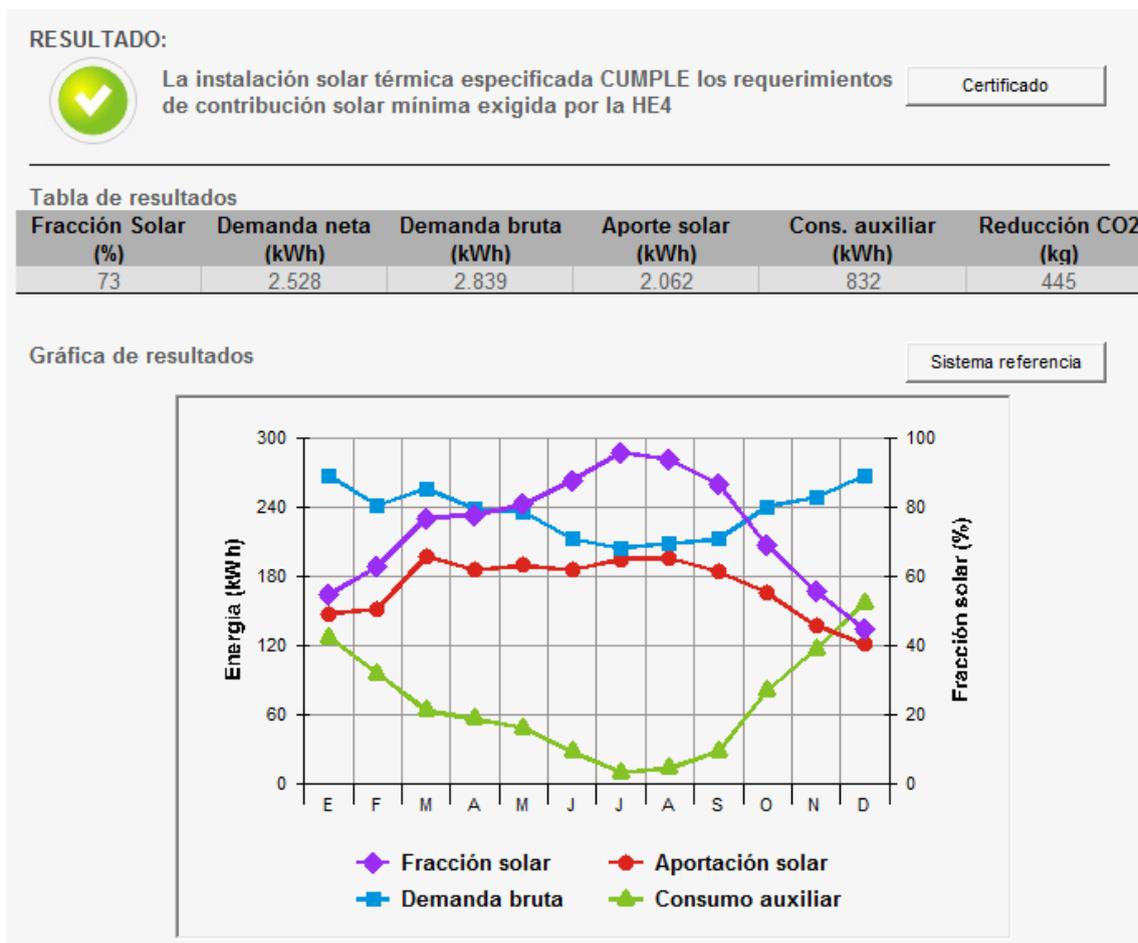


Figura 9. Comprobación con CHEQ 4.

A pesar de las simplificaciones realizadas, el documento muestra con suficiente exactitud el comportamiento de una instalación solar térmica en una vivienda unifamiliar. Los resultados obtenidos en el programa CHEQ-4 son muy similares a los calculados con el método F-chart, por lo que se verifica la legitimidad de los cálculos realizados. La diferencia más notable entre ambos resultados, son los máximos y mínimos obtenidos en la fracción solar, durante los meses de verano e invierno respectivamente.

Realizados todos los análisis y cálculos pertinentes, los resultados sirven como apoyo a la hora de orientar la instalación hacia un objetivo. Es decir, dependiendo de qué faceta de la instalación se le quiera sacar mayor partido, se escogerá una mayor o menor S_c . Cada criterio tiene establecidos unos objetivos que la instalaciones solar debe de cumplir.

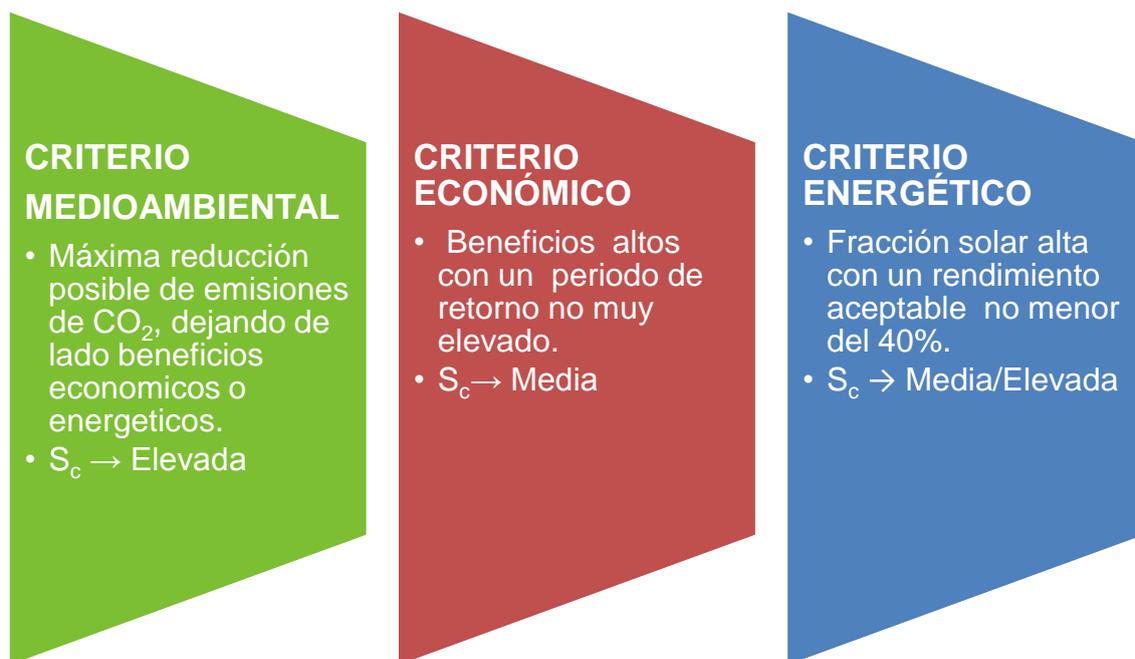


Figura 9. Objetivos de los criterios de elección.

Una vez establecidos los objetivos se debe valorar los aspectos negativos y positivos que cada punto de vista trae consigo, para ello se han ilustrado en la tabla 10 las ventajas y desventajas de cada uno de los criterios.

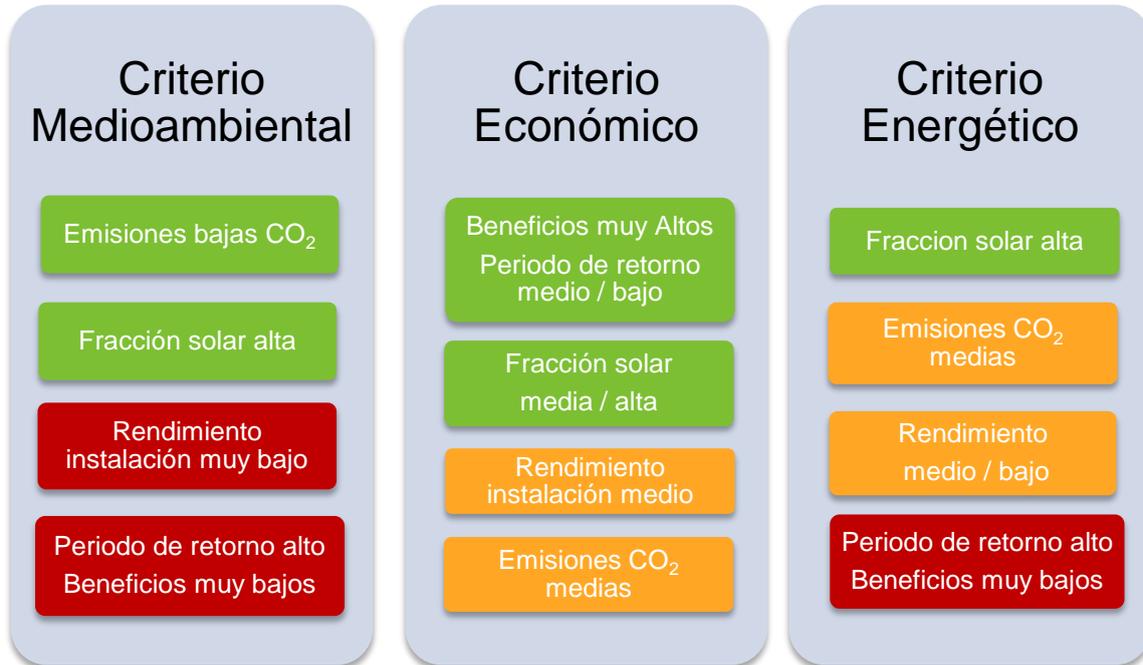


Figura 10. Ventajas y desventajas de los criterios de elección.

Se puede observar en la figura 10, como una visión económica a la hora del dimensionamiento del área de captación, trae mayores ventajas que los otros dos criterios. Además no cuenta con ningún aspecto extremadamente negativo, con lo que se podría decir que es la visión que más objetivos cumple de todos los criterios y con la que más beneficios globales se obtienen. Esto no significa que se tenga que seguir siempre un criterio económico, ya que queda a elección del usuario el sacrificar algunos aspectos para conseguir otros beneficios.

4. Fuentes de información

- [1] Méndez.J.M.,Cuervo.R.,ECA.(2008). Energía Solar Térmica. Madrid: Fundación Confemental.
- [2] Rufes, P. (2010). Energía solar térmica - Técnicas para su aprovechamiento. Barcelona: Marcombo.
- [3] Tobajas, M.C. (2012). Montaje y Mantenimiento de Instalaciones solares Térmicas. Barcelona: Cano Pina
- [4] Código Técnico de la Edificación. Documento Básico – Ahorro de Energía.
- [5] ATECYR. (2010). Guía Técnica – Agua caliente sanitaria central. Madrid: IDAE.
- [6] IDAE. Consumos del sector residencial en España. Recuperado el 30 de Marzo de http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Documentacion_Basica_Residencial_Unido_c93da537.pdf
- [7] Puche, A., Bonmati,J. y Paredes, A. (2017). Impacto de la Energía Solar Térmica en la Calificación Energética de Edificios Estudios IDAE004. Madrid: IDAE.
- [8] Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital. (2017). La energía en España 2016. Recuperado el 23 de marzo de 2018 de <https://ceiden.com/wp-content/uploads/2018/01/La-Energ%C3%ADa-en-Espa%C3%B1a-2016.pdf>
- [9] Martos,J. (2012). Proyecto de una instalación solar térmica para proveer agua caliente sanitaria a la residencia de estudiantes del campus universitario de Terrassa (TFG). Universidad Politécnica de Cataluña. Terrassa.
- [10] (2018). Energía Solar Térmica, Captadores Solares Térmicos. Recuperado el 18 de Abril de 2018 de <https://solar-energia.net/energia-solar-termica/captadores-solares-termicos>

[11] Prieto, R. (2013). Energías renovables y limpias. Recuperado el 12 de abril de 2018 de

<http://energias-renovables-y-limpias.blogspot.com/2013/01/captadores-solares-planos-frente-a-los-de-tubos-de-vacio.html>

[12] IDAE. Manual de usuario CHEQ4. Recuperado el 25 de Abril de 2018 de <http://cheq4.idae.es/userfiles/file/Manual%20de%20usuario%20CHEQ4.pdf>

[13] CLEANENERGYSOLAR. Tabla, Factor de corrección K. Recuperado el 13 de Mayo de <https://renovablesconsaburum.files.wordpress.com/2015/12/tablas-factor-correccion-k.pdf>

[14] Programa CHEQ4, Base de Datos del IDAE actualizada el 2 de Febrero de 2018.

[15] ExcitaRenovables. (19 de Junio de 2013). Pérdidas por orientación e inclinación en una instalación solar. Recuperado el 12 de Abril de https://www.youtube.com/watch?v=JvCdo_DFQU8

[16] Solarweb. <https://www.solarweb.net/>

[17] IDAE. CHEQ4. Recuperado el 27 de Abril de 2018. de <http://cheq4.idae.es/>

[18] Absorsistem. Productos Yazaki Recuperado el 20 de Mayo de <http://www.absorsistem.com/productos/yazaki>

[19] Boletín Oficial del Estado (BOE) Recuperado el 20 de Abril de <https://www.boe.es/>

[20] Oficina Catalana del canvi climàtic. (2011). Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero. Recuperado el <http://www.caib.es/sacmicrofront/archivopub.do?ctrl=MCRST234ZI97531&id=97531>

[21] Loubet,R., Chavarri,J.M., Bakartxo Egilegor, Fernández,j. (2009) Descripción de la solución kit de Rotartica. Arrasate. Recuperado el 20 de Abril de http://www.solarcombiplus.eu/docs/D42_Rotartica_v02_spanish.pdf

[22] Ente Vasco de la Energía (EVE). Ikerlan. (1998) Atlas de Radiación Solar del País Vasco. Bilbao: EVE

5. Anexo I: Resultados del análisis del interacumulador

ENERO					
Intervalo horario (0 - 24 horas)	0 - 6 horas	6 - 14 horas	14 - 17 horas	17 - 22 horas	22 - 24 horas
% del consumo diario	3,00%	57,00%	12,50%	25,50%	2,00%
Pérdidas en el acumulador	1.620	2.160	810	1.350	540
Energía NETA demandada (Kj)	730,33	13.876,2	3.043,04	6.207,802	486,886
Potencia NETA demandada (Kw)	0,03381	0,48181	0,28176	0,34487	0,06762
Energía Solar Térmica aportada (Kj)	0	11.239,3	2.554,19	0	0
Potencia Solar Térmica aportada (Kw)	0	0,390257	0,236499	0	0
Signo ΔT	-	-	-	-	-
Temperatura inicial en depósito (°C)	48,89	47,42	51,34	52	49,44
Temperatura final en depósito (°C)	47,42	51,34	52	49,44	48,89
Energía de apoyo (Kj)	510,92	9.707,52	2.128,84	4.342,83	340,61
Potencia de apoyo (Kw)	0,024	0,337	0,197	0,241	0,047

Tabla 34. Comportamiento del interacumulador en Enero.

FEBRERO					
Intervalo horario (0 - 24 horas)	0 - 6 horas	6 - 14 horas	14 - 17 horas	17 - 22 horas	22 - 24 horas
% del consumo diario	3,00%	57,00%	12,50%	25,50%	2,00%
Pérdidas en el acumulador	1.620	2.160	810	1.350	540
Energía NETA demandada (Kj)	730,33	13.876,26	3.043,04	6.207,80	486,886
Potencia NETA demandada (Kw)	,033812	,481815	,281763	,344878	,067623
Energía Solar Térmica aportada (Kj)	0	14.696,58	3.992,45	0	0
Potencia Solar Térmica aportada (Kw)	0	0,510	0,370	0	0
Signo ΔT	-	+	+	-	-
Temperatura inicial en depósito (°C)	47,82	46,23	50,68	52	48,44
Temperatura final en depósito (°C)	46,23	50,68	52	48,44	47,82
Energía de apoyo (Kj)	364,05	6.917,11	1.516,91	3.094,49	242,70
Potencia de apoyo (Kw)	0,017	0,240	0,140	0,172	0,034

Tabla 35. Comportamiento del interacumulador en Febrero.

MARZO					
Intervalo horario (0 - 24 horas)	0 - 6 horas	6 - 14 horas	14 - 17 horas	17 - 22 horas	22 - 24 horas
% del consumo diario	3,00%	57,00%	12,50%	25,50%	2,00%
Pérdidas en el acumulador	1.620	2.160	810	1.350	540
Energía NETA demandada (Kj)	702,24	13.342,56	2.926	5.969,04	468,16
Potencia NETA demandada (Kw)	0,03251	0,46328	0,27092	0,33161	0,06502
Energía Solar Térmica aportada (Kj)	0	17.531,38	5.288,93	401,795	0
Potencia Solar Térmica aportada (Kw)	0	0,812	0,245	0,019	0
Signo ΔT	-	+	-	-	-
Temperatura inicial en depósito (°C)	47,14	45,45	50,10	52	47,84
Temperatura final en depósito (°C)	45,45	50,10	52	47,84	47,14
Energía de apoyo (Kj)	199,97	3.799,55	833,23	1.699,8	133,31
Potencia de apoyo (Kw)	0,009	0,132	0,077	0,094	0,019

Tabla 36. Comportamiento del interacumulador en Marzo.

ABRIL					
Intervalo horario (0 - 24 horas)	0 - 6 horas	6 - 14 horas	14 - 17 horas	17 - 22 horas	22 - 24 horas
% del consumo diario	3,00%	57,00%	12,50%	25,50%	2,00%
Pérdidas en el acumulador	1.620	2.160	810	1.350	540
Energía NETA demandada (Kj)	674,150	12.808,858	2.808,960	5.730,278	449,434
Potencia NETA demandada (Kw)	0,031	0,445	0,260	0,318	0,062
Energía Solar Térmica aportada (Kj)	172,523	18.225,35	5.772,626	886,769	0
Potencia Solar Térmica aportada (Kw)	0,008	0,633	0,535	0,049	0
Signo ΔT	-	+	+	-	-
Temperatura inicial en depósito (°C)	47,13	45,53	49,89	52	47,85
Temperatura final en depósito (°C)	45,53	49,89	52	47,85	47,13
Energía de apoyo (Kj)	116,832	2.219,81	486,801	993,075	77,888
Potencia de apoyo (Kw)	0,005	0,077	0,045	0,055	0,011

Tabla 37. Comportamiento del interacumulador en Abril.

MAYO					
Intervalo horario (0 - 24 horas)	0 - 6 horas	6 - 14 horas	14 - 17 horas	17 - 22 horas	22 - 24 horas
% del consumo diario	3,00%	57,00%	12,50%	25,50%	2,00%
Pérdidas en el acumulador	1.620	2.160	810	1.350	540
Energía NETA demandada (Kj)	646,061	12.275,155	2.691,920	5.491,517	430,707
Potencia NETA demandada (Kw)	0,03	0,426	0,249	0,305	0,06
Energía Solar Térmica aportada (Kj)	372,225	18.235,878	5.917,749	1.264,935	0
Potencia Solar Térmica aportada (Kw)	0,017	0,633	0,548	0,07	0
Signo ΔT	-	+	+	-	-
Temperatura inicial en depósito (°C)	47,27	45,81	49,85	52	48,01
Temperatura final en depósito (°C)	45,81	49,85	52	48,01	47,27
Energía de apoyo (Kj)	66,737	1.268,007	278,072	567,266	44,491
Potencia de apoyo (Kw)	0,003	0,044	0,026	0,032	0,006

Tabla 38. Comportamiento del interacumulador en Mayo.

JUNIO					
Intervalo horario (0 - 24 horas)	0 - 6 horas	6 - 14 horas	14 - 17 horas	17 - 22 horas	22 - 24 horas
% del consumo diario	3,00%	57,00%	12,50%	25,50%	2,00%
Pérdidas en el acumulador	1.620	2.160	810	1.350	540
Energía NETA demandada (Kj)	603,926	11.474,6	2.516,36	5.133,374	402,618
Potencia NETA demandada (Kw)	0,028	0,398	0,233	0,285	0,056
Energía Solar Térmica aportada (Kj)	720,3	19.002,126	6.192,742	1.692,4	0
Potencia Solar Térmica aportada (Kw)	0,033	0,660	0,573	0,094	0
Signo ΔT	+	+	+	-	-
Temperatura inicial en depósito (°C)	47,43	46,23	50,51	52	48,18
Temperatura final en depósito (°C)	46,23	50,51	52,79	48,18	47,43
Energía de apoyo (Kj)	0	0	0	0	0
Potencia de apoyo (Kw)	0	0	0	0	0

Tabla 39. Comportamiento del interacumulador en Junio.

JULIO					
Intervalo horario (0 - 24 horas)	0 - 6 horas	6 - 14 horas	14 - 17 horas	17 - 22 horas	22 - 24 horas
% del consumo diario	3,00%	57,00%	12,50%	25,50%	2,00%
Pérdidas en el acumulador	1.620	2.160	810	1.350	540
Energía NETA demandada (Kj)	561,792	10674,048	2340,800	4775,232	374,528
Potencia NETA demandada (Kw)	0,026	0,371	0,217	0,265	0,052
Energía Solar Térmica aportada (Kj)	595,869	19445,192	6329,453	1575,742	0
Potencia Solar Térmica aportada (Kw)	0,028	0,675	0,586	0,088	0
Signo ΔT	+	+	+	-	-
Temperatura inicial en depósito (°C)	47,64	46,38	51,65	52	48,37
Temperatura final en depósito (°C)	46,38	51,65	54,18	48,37	47,64
Energía de apoyo (Kj)	0	0	0	0	0
Potencia de apoyo (Kw)	0	0	0	0	0

Tabla 40. Comportamiento del interacumulador en Julio.

AGOSTO					
Intervalo horario (0 - 24 horas)	0 - 6 horas	6 - 14 horas	14 - 17 horas	17 - 22 horas	22 - 24 horas
% del consumo diario	3,00%	57,00%	12,50%	25,50%	2,00%
Pérdidas en el acumulador	1.620	2.160	810	1.350	540
Energía NETA demandada (Kj)	575,837	10.940,899	2.399,320	4.894,613	383,891
Potencia NETA demandada (Kw)	0,027	0,380	0,222	0,272	0,053
Energía Solar Térmica aportada (Kj)	276,017	19.905,469	6.369,894	1.136,329	0
Potencia Solar Térmica aportada (Kw)	0,013	0,691	0,59	0,063	0
Signo ΔT	-	+	+	-	-
Temperatura inicial en depósito (°C)	47,19	45,66	51,08	52	47,93
Temperatura final en depósito (°C)	45,66	51,08	53,61	47,93	47,19
Energía de apoyo (Kj)	0	0	0	0	0
Potencia de apoyo (Kw)	0	0	0	0	0

Tabla 41. Comportamiento del interacumulador en Agosto.

SEPTIEMBRE					
Intervalo horario (0 - 24 horas)	0 - 6 horas	6 - 14 horas	14 - 17 horas	17 - 22 horas	22 - 24 horas
% del consumo diario	3,00%	57,00%	12,50%	25,50%	2,00%
Pérdidas en el acumulador	1.620	2.160	810	1.350	540
Energía NETA demandada (Kj)	603,926	11.474,602	2.516,36	5.133,374	402,618
Potencia NETA demandada (Kw)	0,028	0,398	0,233	0,285	0,056
Energía Solar Térmica aportada (Kj)	0	19.660,639	6.038,856	557,806	0
Potencia Solar Térmica aportada (Kw)	0	0,683	0,559	0,031	0
Signo ΔT	-	+	+	-	-
Temperatura inicial en depósito (°C)	46,6	44,84	49,8	52	47,35
Temperatura final en depósito (°C)	44,84	49,8	52	47,35	46,6
Energía de apoyo (Kj)	10,607	201,541	44,197	90,163	7,072
Potencia de apoyo (Kw)	0,00049	0,007	0,00409	0,00501	0,00098

Tabla 42. Comportamiento del interacumulador en Septiembre.

OCTUBRE					
Intervalo horario (0 - 24 horas)	0 - 6 horas	6 - 14 horas	14 - 17 horas	17 - 22 horas	22 - 24 horas
% del consumo diario	3,00%	57,00%	12,50%	25,50%	2,00%
Pérdidas en el acumulador	1.620	2.160	810	1.350	540
Energía NETA demandada (Kj)	660,106	12.542,006	2.750,44	5.610,898	440,07
Potencia NETA demandada (Kw)	0,031	0,435	0,255	0,312	0,061
Energía Solar Térmica aportada (Kj)	0	16.513,883	4.729,430	126,06	0
Potencia Solar Térmica aportada (Kw)	0	0,573	0,438	0,007	0
Signo ΔT	-	+	+	-	-
Temperatura inicial en depósito (°C)	47,33	45,68	50,36	52	48
Temperatura final en depósito (°C)	45,68	50,36	52	48	47,33
Energía de apoyo (Kj)	213,424	4.055,063	889,268	1.814,107	142,283
Potencia de apoyo (Kw)	0,01	0,141	0,082	0,101	0,02

Tabla 43. Comportamiento del interacumulador en Octubre.

NOVIEMBRE					
Intervalo horario (0 - 24 horas)	0 - 6 horas	6 - 14 horas	14 - 17 horas	17 - 22 horas	22 - 24 horas
% del consumo diario	3,00%	57,00%	12,50%	25,50%	2,00%
Pérdidas en el acumulador	1.620	2.160	810	1.350	540
Energía NETA demandada (Kj)	702,24	13.342,56	2.926	5.969,04	468,16
Potencia NETA demandada (Kw)	0,033	0,463	0,271	0,332	0,065
Energía Solar Térmica aportada (Kj)	0	12.846,262	3.116,606	0	0
Potencia Solar Térmica aportada (Kw)	0	0,446	0,289	0	0
Signo ΔT	-	-	+	-	-
Temperatura inicial en depósito (°C)	48,41	46,89	51,11	52	49
Temperatura final en depósito (°C)	46,89	51,11	52	49	48,41
Energía de apoyo (Kj)	417,754	7.937,325	1.740,641	3.550,909	278,503
Potencia de apoyo (Kw)	0,019	0,276	0,161	0,197	0,039

Tabla 44. Comportamiento del interacumulador en Noviembre.

6. Anexo II: Datos de radiación a lo largo del día

ENERO								
Hora	5=20	6=19	7=18	8=17	9=16	10=15	11=14	12=13
Radiación por horas (Kwh/m ²)	0	0	0	0,038	0,179	0,32	0,428	0,485
%	0,00	0,00	0,00	2,62	12,34	22,07	29,52	33,45
Intervalo horario (0 - 24 horas)								
	0 - 6 horas	6 - 14 horas	14 - 17 horas	17 - 22 horas	22 - 24 horas			
Radiación en %	0,00%	81,48%	18,52%	0,00%	0,00%			

Tabla 45. Radiación a lo largo del día en Enero.

FEBRERO								
Hora	5=20	6=19	7=18	8=17	9=16	10=15	11=14	12=13
Radiación por horas (Kwh/m ²)	0	0	0	0,133	0,297	0,448	0,559	0,618
%	0,00	0,00	0,00	6,47	14,45	21,80	27,20	30,07
Intervalo horario (0 - 24 horas)								
	0 - 6 horas	6 - 14 horas	14 - 17 horas	17 - 22 horas	22 - 24 horas			
Radiación en %	0,00%	78,64%	21,36%	0,00%	0,00%			

Tabla 46. Radiación a lo largo del día en Febrero.

MARZO								
Hora	5=20	6=19	7=18	8=17	9=16	10=15	11=14	12=13
Radiación por horas (Kwh/m ²)	0	0	0,098	0,265	0,438	0,587	0,694	0,75
%	0,00	0,00	3,46	9,36	15,47	20,73	24,51	26,48
Intervalo horario (0 - 24 horas)								
	0 - 6 horas	6 - 14 horas	14 - 17 horas	17 - 22 horas	22 - 24 horas			
Radiación en %	0,00%	75,49%	22,78%	1,73%	0,00%			

Tabla 47. Radiación a lo largo del día en Marzo.

ABRIL								
Hora	5=20	6=19	7=18	8=17	9=16	10=15	11=14	12=13
Radiación por horas (Kwh/m ²)	0	0,05	0,207	0,39	0,567	0,716	0,823	0,878
%	0,00	1,38	5,70	10,74	15,62	19,72	22,67	24,18
Intervalo horario (0 - 24 horas)								
	0 - 6 horas	6 - 14 horas	14 - 17 horas	17 - 22 horas	22 - 24 horas			
Radiación en %	0,69%	72,73%	23,04%	3,54%	0,00%			

Tabla 48. Radiación a lo largo del día en Abril.

MAYO								
Hora	5=20	6=19	7=18	8=17	9=16	10=15	11=14	12=13
Radiación por horas (Kwh/m ²)	0	0,118	0,283	0,464	0,635	0,777	0,879	0,932
%	0,00	2,89	6,92	11,35	15,53	19,01	21,50	22,80
Intervalo horario (0 - 24 horas)								
	0 - 6 horas	6 - 14 horas	14 - 17 horas	17 - 22 horas	22 - 24 horas			
Radiación en %	1,44%	70,71%	22,95%	4,90%	0,00%			

Tabla 49. Radiación a lo largo del día en Mayo.

JUNIO								
Hora	5=20	6=19	7=18	8=17	9=16	10=15	11=14	12=13
Radiación por horas (Kwh/m ²)	0,09	0,136	0,305	0,486	0,657	0,8	0,902	0,955
%	2,08	3,14	7,04	11,22	15,17	18,47	20,83	22,05
Intervalo horario (0 - 24 horas)								
	0 - 6 horas	6 - 14 horas	14 - 17 horas	17 - 22 horas	22 - 24 horas			
Radiación en %	2,61%	68,83%	22,43%	6,13%	0,00%			

Tabla 50. Radiación a lo largo del día en Junio.

JULIO								
Hora	5=20	6=19	7=18	8=17	9=16	10=15	11=14	12=13
Radiación por horas (Kwh/m ²)	0,05	0,13	0,296	0,477	0,647	0,788	0,89	0,943
%	1,18	3,08	7,01	11,30	15,33	18,67	21,09	22,34
Intervalo horario (0 - 24 horas)								
	0 - 6 horas	6 - 14 horas	14 - 17 horas	17 - 22 horas	22 - 24 horas			
Radiación en %	2,13%	69,58%	22,65%	5,64%	0,00%			

Tabla 51. Radiación a lo largo del día en Julio.

AGOSTO								
Hora	5=20	6=19	7=18	8=17	9=16	10=15	11=14	12=13
Radiación por horas (Kwh/m ²)	0	0,077	0,24	0,425	0,602	0,75	0,856	0,912
%	0,00	1,99	6,21	11,00	15,59	19,42	22,16	23,61
Intervalo horario (0 - 24 horas)								
	0 - 6 horas	6 - 14 horas	14 - 17 horas	17 - 22 horas	22 - 24 horas			
Radiación en %	1,00%	71,89%	23,01%	4,10%	0,00%			

Tabla 52. Radiación a lo largo del día en Agosto.

SEPTIEMBRE								
Hora	5=20	6=19	7=18	8=17	9=16	10=15	11=14	12=13
Radiación por horas (Kwh/m ²)	0	0	0,138	0,322	0,507	0,665	0,778	0,838
%	0,00	0,00	4,25	9,91	15,61	20,47	23,95	25,80
Intervalo horario (0 - 24 horas)								
	0 - 6 horas	6 - 14 horas	14 - 17 horas	17 - 22 horas	22 - 24 horas			
Radiación en %	0,00%	74,88%	23,00%	2,12%	0,00%			

Tabla 53. Radiación a lo largo del día en Setiembre.

OCTUBRE								
Hora	5=20	6=19	7=18	8=17	9=16	10=15	11=14	12=13
Radiación por horas (Kwh/m ²)	0	0	0,029	0,198	0,366	0,524	0,64	0,701
%	0,00	0,00	1,18	8,06	14,89	21,32	26,04	28,52
Intervalo horario (0 - 24 horas)								
	0 - 6 horas	6 - 14 horas	14 - 17 horas	17 - 22 horas	22 - 24 horas			
Radiación en %	0,00%	77,28%	22,13%	0,59%	0,00%			

Tabla 54. Radiación a lo largo del día en Octubre.

NOVIEMBRE								
Hora	5=20	6=19	7=18	8=17	9=16	10=15	11=14	12=13
Radiación por horas (Kwh/m ²)	0	0	0	0,065	0,215	0,36	0,47	0,529
%	0,00	0,00	0,00	3,97	13,12	21,96	28,68	32,28
Intervalo horario (0 - 24 horas)								
	0 - 6 horas	6 - 14 horas	14 - 17 horas	17 - 22 horas	22 - 24 horas			
Radiación en %	0,00%	80,48%	19,52%	0,00%	0,00%			

Tabla 55. Radiación a lo largo del día en Noviembre.

DICIEMBRE								
Hora	5=20	6=19	7=18	8=17	9=16	10=15	11=14	12=13
Radiación por horas (Kwh/m ²)	0	0	0	0,01	0,126	0,258	0,362	0,418
%	0,00	0,00	0,00	0,85	10,73	21,98	30,83	35,60
Intervalo horario (0 - 24 horas)								
	0 - 6 horas	6 - 14 horas	14 - 17 horas	17 - 22 horas	22 - 24 horas			
Radiación en %	0,00%	83,22%	16,78%	0,00%	0,00%			

Tabla 56. Radiación a lo largo del día en Diciembre.