Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TRABAJO FINAL DE GRADO

TÍTULO: APLICACIÓN DE DISPOSITIVOS DE CAPTACIÓN SOLAR PARA AREAS URBANAS

AUTOR: BARROSO MARTIN, ADRIÁN

DIRECTOR: MIRET TOMÁS, JAIME

FECHA DE PRESENTACIÓN: OCTUBRE 2017

APELLIDOS: BARROSO MARTIN **NOMBRE: ADRIÁN**

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERIA MECÁNICA

DIRECTOR: JAIME MIRET TOMAS

DEPARTAMENTO: INGENIERIA ELECTRÓNICA

CALIFICACIÓN DEL TFG

TRIBUNAL

PRESIDENTE	SECRETARIO/A	VOCAL
RAMOS LARA, RAFAEL RAMÓN	PRAT TASIAS, JORDI	MIR SERRA, ANNA MARIA

FECHA DE LECTURA: 31/10/2017

Este proyecto tiene en cuenta aspectos medioambientales: X Sí ☐ No

RESUMEN

Este trabajo, de carácter teórico, pretende mostrar la viabilidad de una instalación solar en un bloque de pisos en concreto que maximice todo el espacio disponible a través de captadores térmicos y/o fotovoltaicos.

En principio, las zonas son la azotea donde hacer un estudio para la instalación de un equipo de placas solares térmicas y los toldos de los balcones donde hacer otro estudio para la instalación de un conjunto de captadores solares.

En este último la importancia radica en encontrar captadores que tengan la propiedad de enrollarse a la par que los propios toldos de manera que permita tenerlos recogidos en caso de que se requiera.

A través de modelos de dimensionado de instalaciones para tanto placas térmicas como fotovoltaicas se quiere mostrar la reducción que puede haber en el consumo de estos hogares.

Las normativas dirigidas a este sector, serán de ayuda para redirigir el proyecto y llevarlo a unos resultados y a unas conclusiones lo más reales posibles basadas en estas.

Para dimensionar correctamente la instalación y el rendimiento que se puede obtener, se tiene en cuenta tanto la climatología de la ciudad de estudio (porcentaje de días solados o nublados) y las pérdidas por sombra que puedan ser ocasionadas por edificios colindantes que interfieran con la trayectoria del sol.

Palabras clave (máximo 10):

CAPTADOR	ENERGIA	SOLAR	RENOVABLES	FOTOVOLTAICA
TÉRMICA	ACS	IRRADIANCIA	INSTALACIÓN	

ABSTRACT

This theoretical Project, aims to show the viability of a solar installation in a certain building which maximizes all the available space through thermal and photovoltaic collectors.

The space is a rooftop, where a study will be done installing a group of thermal collectors, and the awnings of the balconies where another study will be done by installing a group of photovoltaic collectors.

In this second study, it is very important to find a collector which is able to be rolled rolled at the same time as the awnings when required.

Through dimensioned models of installations for both thermal and photovoltaic collectors, the objective is to demonstrate the reduction that can be done in the consumption of a multi-apartment.

The regulations to this sector will make possible to show the most accurate results and conclusions.

To do an accurate determination of both the installation and the capacity that can be produced, it will take into account the climatology of the city (percentage of sunny or cloudy days) and the loss of energy produced due to the shadows of nearby buildings, which can interfere with the of the sun.

Keywords (10 maximum):

COLLECTOR	ENERGY	SOLAR	RENEWABLE	PHOTOVOLTAIC
THERMAL	HWS	IRRADIANITY	INSTALLATION	

ÍNDICE

Capítulo 1: Presentación del trabajo **6**
1.1 Introducción 6
1.2 Objetivos y alcance del proyecto 7

Capítulo 2: Estudio geográfico **8**
2.1 Posición geográfica 8
2.2 Climatología 10
2.3 Zona climática y radiación solar: 13
2.4 Pérdidas por sombras 16

Capítulo 3: Estudio energético-térmico **22**
3.1 Demanda de agua caliente sanitaria (ACS) y contribución solar mínima 22
3.2 Demanda de energía térmica 26
3.3 Cálculo de rendimientos para placas térmicas: Método de cálculo F-Chart 27
3.4 Selección del captador solar térmico 30
3.5 Cálculos y obtención de rendimientos: 35
3.6 Selección y resultados 37

Capítulo 4: Estudio energético-fotovoltaico: **40**
4.1 Demanda eléctrica 40
4.2 Selección del captador solar fotovoltaico 42
4.3 Selección y resultados 43
4.4 Rendimiento del conjunto 44

Capítulo 5: Redimensionado de la azotea **45**
5.1 Máximo dimensionado de la instalación solar térmica 45
5.2 Instalación de captadores mixta 48

CONCLUSIONES **52**

BIBLIOGRAFIA: **53**

Capítulo 1: Presentación del trabajo

1.1 Introducción

El cambio climático es consecuencia en gran parte del uso de los combustibles fósiles alrededor del mundo.

El abuso en todas sus vertientes (gas, carbón, petróleo y sus derivados), el decreciente nivel de los depósitos subterráneos y el aumento en los costes de su extracción, ha hecho que las energías renovables empiecen a ganar terreno.

La aplicación de sistemas de energía renovable empieza a ser una solución al consumo de estos combustibles y a la vez ecológica para el medio ambiente. Su inclusión ayuda a empezar a cambiar el sistema de consumo y la mentalidad de las persona a nivel mundial.

España, es un país con un clima mediterráneo cuyas temperaturas lo hace un lugar ideal para poder aplicar captadores solares. Además la cantidad de horas que tiene al día respecto a otros países de Europa, permite la opción de poder depender en mayor medida de estas instalaciones.

Pese a estas características, la inversión en de estos dispositivos es mucho menor que en países como Alemania que dispone de menos horas de Sol.

Por otro lado, el precio de la electricidad es cada vez más caro obligando al consumidor a desembolsar cada vez más dinero.

Este trabajo propone una serie de estudios enfocados a establecer un soporte energético a la demanda de todos los habitantes de un bloque de pisos en concreto.

De esta manera, se pretende mostrar una manera diferente de determinar el potencial de las superficies disponibles y determinar la relevancia del uso de energías renovables aplicadas a situaciones similares.

1.2 Objetivos y alcance del proyecto

Los objetivos principales de este proyecto son los de determinar, con métodos teóricos, la reducción del consumo de electricidad y gas natural o butano que tiene ahora mismo un bloque de pisos en concreto en términos de potencia.

Para no mostrar unos valores ideales de aportación energética, se añadirán conceptos climatológicos que permitan llegar a unos valores de radiación reales y cálculos de pérdidas por sombras.

Por un lado, se dimensionará la instalación de placas térmicas en la azotea del edificio, definiendo primero la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) y la cantidad de captadores necesarios o posibles (según se vea) que se instalarán.

Por otro lado, se dimensionará la instalación de captadores fotovoltaicos en los toldos de los balcones, determinando la energía total necesaria y la aportación que se pueda obtener de estas.

Para ello, y debido a que nos es viable la instalación de placas fotovoltaicas en dichas zonas, se buscarán productos solares que puedan ser instalados para poder obtener energía eléctrica.

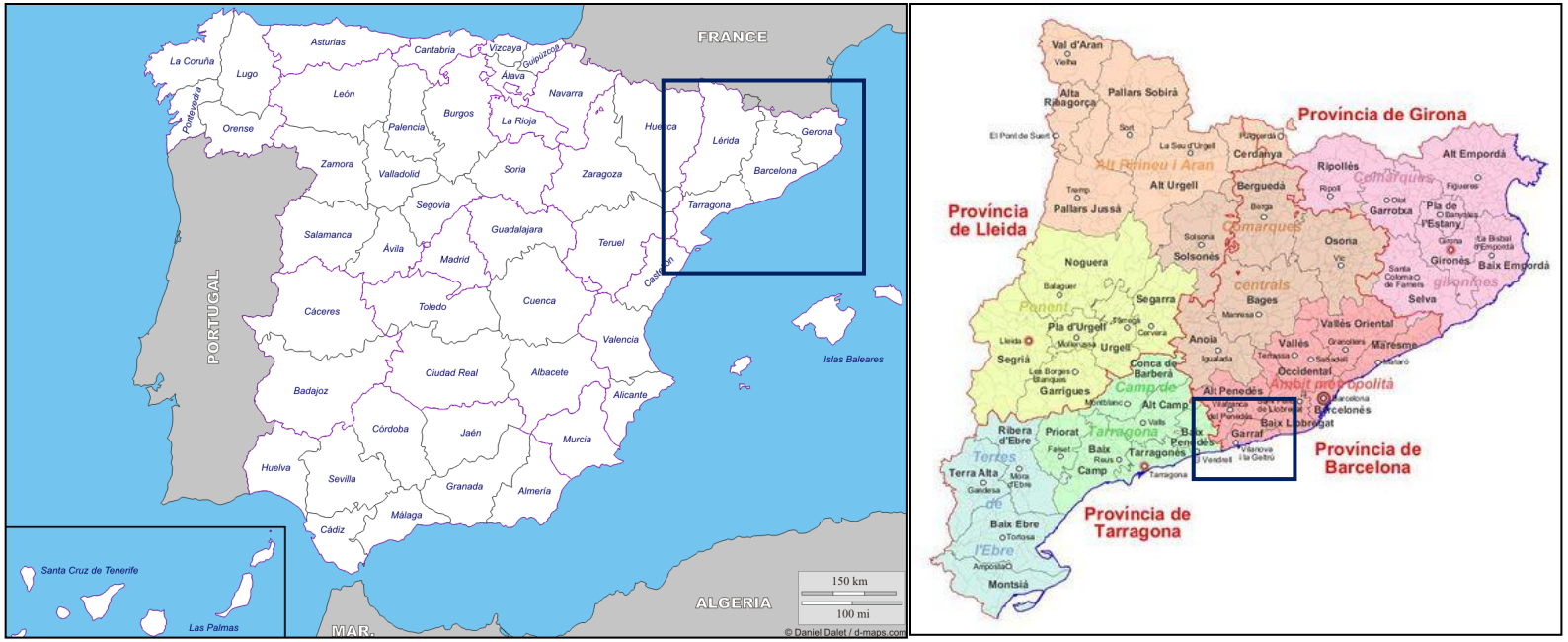
Como parte final, se mostrarán las reducciones de consumo que aportará estas instalaciones y sus inversiones iniciales.

Capítulo 2: Estudio geográfico

En este capítulo se presentarán las propiedades climatológicas de las que dispone la ciudad donde se hará el estudio. También se incluyen las superficies disponibles para las diversas instalaciones que se harán y las limitaciones que habrá, como pueden ser las pérdidas por sombra o tener días nublados.

2.1 Posición geográfica

La zona de estudio se encuentra en una pequeña ciudad llamada Vilanova i la Geltrú, capital de la comarca del Garraf, situada a aproximadamente 40 kilómetros de Barcelona y a 45 kilómetros de Tarragona.



Figuras 2.1 y 2.2: Mapas de España y Cataluña respectivamente posicionando la ciudad de Vilanova i la Geltrú (Fuentes: Google y gifex.com [1])

Vilanova i la Geltrú cuenta con una extensión total de 33,5 km^2 i una población de 65.972 habitantes (revisión a 1 de enero del 2016) [2].

Figuras 2.3 y 2.4: Vistas aéreas de Vilanova i la Geltrú i la azotea donde se hará la instalación de placas solares (Fuente: Google maps).

Para empezar, uno de los datos a determinar para este trabajo es su posición geográfica en términos de latitud y longitud. Esta posición define cuánta energía se puede obtener de la instalación por medio de la radiación solar. Con hacer una pequeña búsqueda por internet se pueden obtener dichos datos.

En este caso se ha utilizado la web "sunearthtools" [3] para obtener los resultados. Esta web será utilizada más adelante para la obtención de datos adicionales. Los valores obtenidos son de **41º 13' 16'' N y 1º 42' 58'' E**.

Como se observa en la figura 2.5a, la azotea no está paralela a la línea imaginaria de norte a sur, sino que tiene una orientación de 25 grados que deberá tenerse en cuenta a la hora de la instalación de las placas y los toldos solares.

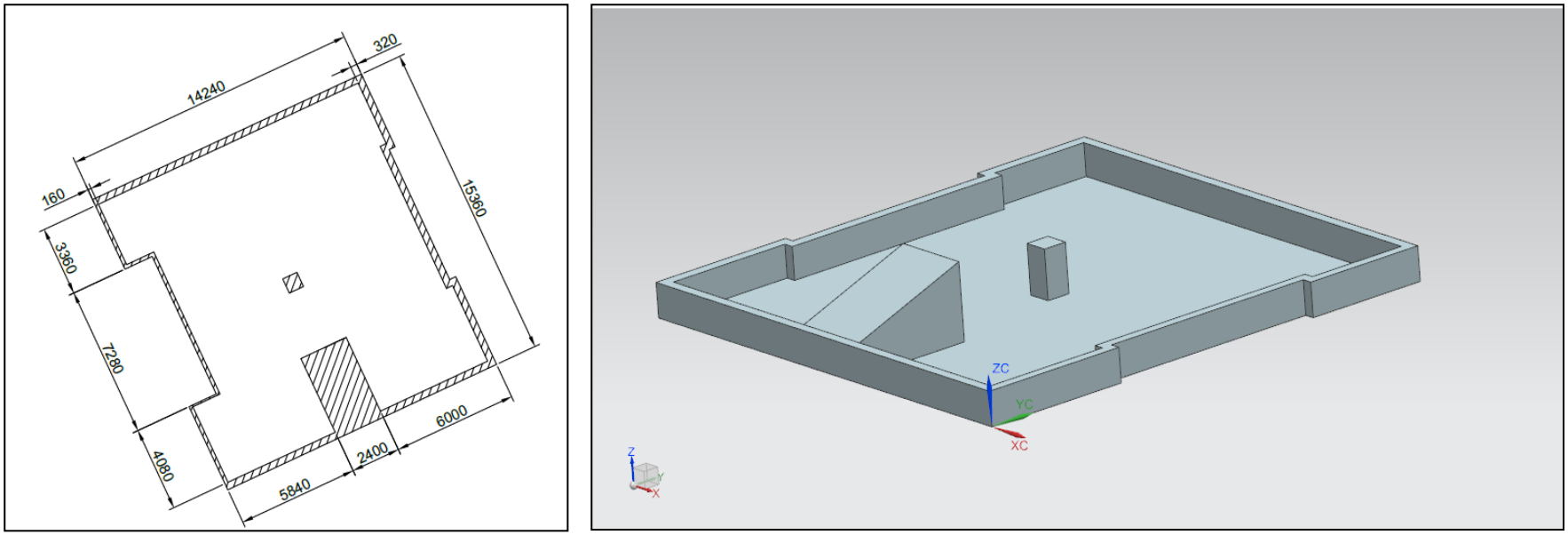


Figura 2.5a y 2.5b: Plano de la azotea en 2D orientado al norte y en 3D.

2.2 Climatología

Vilanova i la Geltrú presenta un clima templado-cálido donde los inviernos presentan más precipitaciones que en verano, con una temperatura media de 16,5 ºC y de precipitaciones de 583mm al año [4].

Los cálculos que se determinarán en el siguiente bloque, se basarán en las temperaturas mínimas para los meses más fríos (noviembre-abril) y las en las máximas para los meses más calurosos (mayo-octubre) ofrecidas en la imagen anterior.

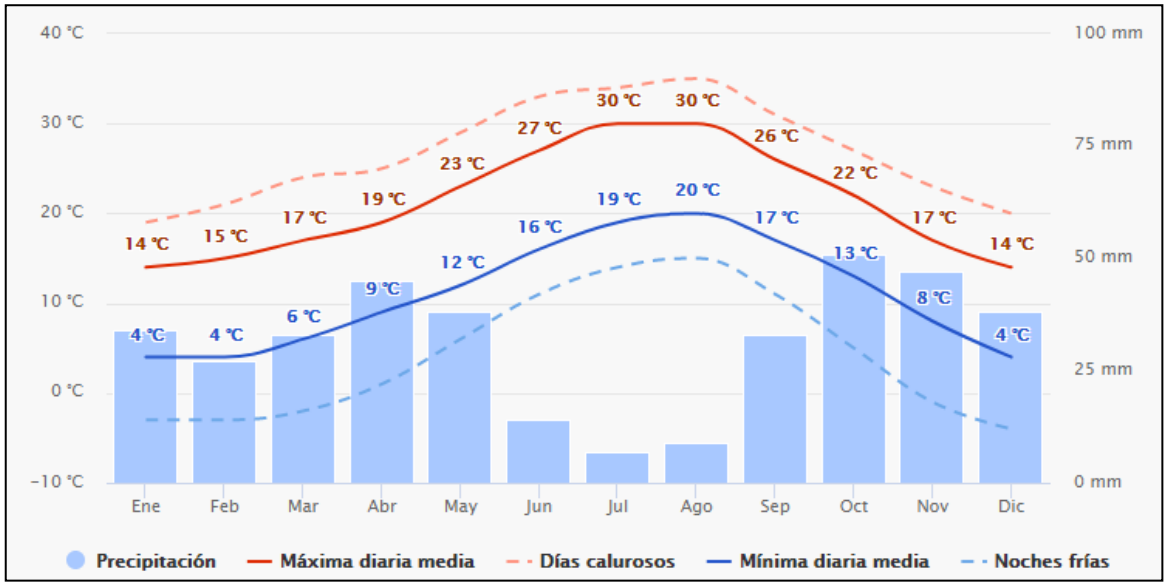


Figura 2.6: Temperaturas y precipitaciones para cada mes del año en Vilanova i la Geltrú (Fuente: meteoblue.com [5]).

El objetivo es sobredimensionar la instalación para los meses que mas demanda energética se necesite (meses fríos).

Por otro lado, se infradimensiona para los meses de menos demanda (meses cálidos) para evitar la posibilidad de sufrir una ola de calor que produzca un deterioro rápido de los captadores.

Por otro lado, para determinar con la mayor exactitud posible la disponibilidad solar, se tiene que tener también en cuenta los días nublados y/o lluviosos que se tienen durante el año.

En la figura siguiente se muestra una media para cada mes del año con las proporciones.

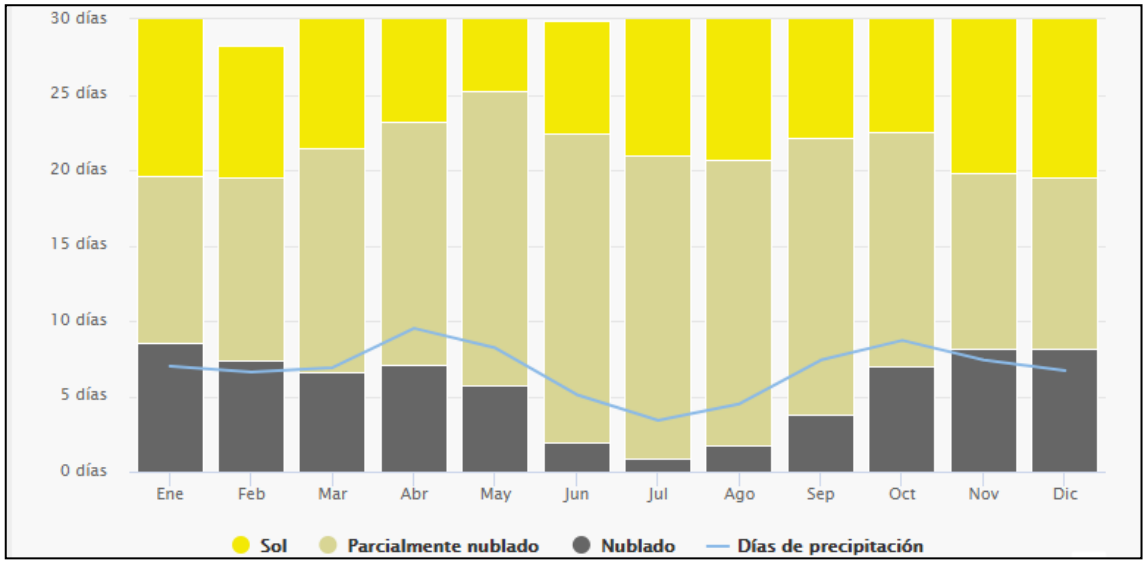


Figura 2.7: Cantidad de días para cada mes del año para cada situación meteorológica (Fuente: meteoblue.com).

Según la web meteoblue.com los días con menos del 20% de cobertura por nubes se consideran soleados, entre un 20% y un 80% se consideran parcialmente nublados y mayor del 80% se consideran como nublados.

Con el objetivo de no mostrar una obtención energética ideal, se establecen unas ponderaciones en función de cada situación posible.

El cálculo se determina restando el mínimo valor de cobertura por nubes para cada caso siendo:

- Soleado = 100% obtención solar total (100 – 0)
- Parcialmente nublado = 80% obtención solar total (100 – 20)
- Nublado = 20% obtención solar total (100 – 80)

A continuación se muestra una tabla con los datos mostrados en la imagen anterior:

Días	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Soleados	11,4	8,8	9,5	6,8	5,8	7,5	10	10,3	7,9	8,5	10,2	11,6
Par. Nublados	11,1	12,1	14,9	16,1	19,5	20,5	20,1	19	18,3	15,5	11,6	11,3
Nublados	8,5	7,4	6,6	7,1	5,7	1,9	3,4	1,7	3,8	7	8,2	8,2
Días en total	**22**	**20**	**23**	**21**	**23**	**24**	**27**	**26**	**23**	**22**	**21**	**22**

Tabla 2.1: Días soleados totales para cada mes del año para la ciudad de Vilanova i la Geltrú.

Los días mostrados resultan de la suma de cada uno de los tipos de días que se tienen multiplicados por el porcentaje correspondiente. Por ejemplo, para enero obtenemos: 11,4*1 + 11,1*0,8 + 8,5*0,2 = 21,98 = 22 días

Estas consideraciones permiten no asumir una obtención de energía solar utópica para todo el año y permitirán dimensionar las instalaciones dentro de unos márgenes reales.

2.3 Zona climática y radiación solar:

La zona climática determina las condiciones ambientales que existen para cada sector. Este trabajo principalmente se moverá a través de las normativas que se aplican en base al *Documento Básico de Ahorro de Energía (DB)* establecido por el *Código Técnico de la Edificación (CTE)* [6].

En particular, será utilizado el apartado *HE4: Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria* para determinar ciertos aspectos para el cálculo de la demanda energética.

Según la tabla B.1 de la sección HE1 del DB, determina Barcelona como zona climática de tipo II. Sin embargo, no es posible determinar a Vilanova i la Geltrú con esta zona debido a la distancia considerable que hay entre ambas ciudades.

Según el ICAEN (Institut Català d'Energía), determina a la comarca del Garraf como **tipo IV** [7]. En el DB se encuentra la demanda que, por norma, se deberá abastecer en porcentaje siendo del 50%.

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

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

Figura 2.8: Porcentaje de contribución en función de la demanda de agua y la zona climática.

A continuación se muestra para diversas inclinaciones comprendidas de 0 y 90 grados, la irradiación para cada mes del año. Dado que no se tienen datos para la ciudad de estudio, se utilizarán los datos referentes a las radiaciones de Barcelona

Ángulo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media
0 º	1,89	2,68	3,86	5,15	6,18	6,68	6,49	5,67	4,46	3,17	2,15	1,68	4,17
5 º	2,14	2,93	4,09	5,32	6,27	6,73	6,56	5,81	4,68	3,42	2,41	1,93	4,36
10 º	2,38	3,17	4,30	5,46	6,33	6,74	6,59	5,92	4,87	3,66	2,65	2,17	4,52
15 º	2,60	3,39	4,48	5,58	6,34	6,70	6,58	6,00	5,04	3,88	2,88	2,39	4,66
20 º	2,81	3,58	4,64	5,65	6,32	6,63	6,53	6,04	5,17	4,06	3,10	2,60	4,76
25 º	3,00	3,76	4,77	5,70	6,28	6,52	6,46	6,06	5,27	4,23	3,29	2,80	4,84
30 º	3,18	3,91	4,87	5,71	6,20	6,39	6,35	6,03	5,34	4,37	3,46	2,98	4,90
35 º	3,33	4,03	4,94	5,68	6,08	6,23	6,21	5,97	5,38	4,48	3,61	3,13	4,92
40 º	3,46	4,13	4,98	5,62	5,93	6,03	6,03	5,87	5,38	4,56	3,74	3,27	4,92
45 º	3,56	4,21	4,98	5,55	5,74	5,79	5,81	5,73	5,35	4,62	3,85	3,39	4,88
50 º	3,65	4,26	4,96	5,40	5,52	5,52	5,56	5,56	5,29	4,64	3,93	3,48	4,81
55 º	3,71	4,28	4,91	5,24	5,26	5,21	5,27	5,36	5,19	4,64	3,98	3,55	4,72
60 º	3,75	4,27	4,82	5,04	4,98	4,89	4,96	5,12	5,06	4,61	4,01	3,60	4,59
65 º	3,76	4,24	4,71	4,82	4,68	4,56	4,64	4,86	4,90	4,54	4,03	3,62	4,45
70 º	3,75	4,18	4,57	4,57	4,36	4,21	4,30	4,56	4,71	4,45	3,98	3,62	4,27
75 º	3,71	4,09	4,40	4,30	4,02	3,83	3,94	4,26	4,50	4,33	3,93	3,59	4,07
80 º	3,65	3,98	4,20	4,00	3,84	3,43	3,56	3,94	4,25	4,19	3,85	3,55	3,87
85 º	3,56	3,84	3,98	3,69	3,28	3,04	3,15	3,59	3,98	4,01	3,75	3,48	3,61
90 º	3,45	3,68	3,73	3,36	2,89	2,66	2,78	3,23	3,69	3,82	3,62	3,38	3,36

Tabla 2.2: Radiación solar global diaria (en kWh/m^2·dia) sobre superficies con diferentes inclinaciones para Barcelona (Fuente: ICAEN)

Por norma, se recomienda instalar las placas (térmicas o fotovoltaicas) en función de los siguientes criterios:

- Inclinación verano = -10º la latitud del lugar
- Inclinación verano = +10º la latitud del lugar
- Sin modificación durante todo el año = la latitud del lugar

El objetivo que se persigue, tal y como se explica al principio, no es el de aprovechar al máximo la radiación durante el año. Independientemente de las inclinaciones desfavorecedoras para verano, el límite en la instalación de captadores sigue siendo la misma estación del año. Es por eso que los paneles estarán fijados a un ángulo específico.

Para el cálculo tomamos como criterio los meses cuyas temperaturas sean inferiores a la media mínima que se muestra en la imagen 6 del apartado 2.2. Extrayendo los otros meses e inclinaciones menos relevantes de la tabla 2.2, se obtiene la siguiente tabla:

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Noviembre	Diciembre	Media
45 º	3,56	4,21	4,98	5,55	3,85	3,39	4,26
50 º	3,65	4,26	4,96	5,40	3,93	3,48	**4,28**
55 º	3,71	4,28	4,91	5,24	3,98	3,55	**4,28**

Tabla 2.3: Cálculo de la suma de radiaciones en kWh/m^2·día para los meses de más frio.

Se observan dos inclinaciones cuya media es igual (ángulos de 50 y 55 grados). Se toma como siguiente criterio para la elección de la inclinación la diferencia de radiaciones entre ambas inclinaciones.

Al llegar a este punto, se observa que la diferencia es menospreciable, pero aún así, los meses de diciembre a febrero nos indican el ángulo a seleccionar.

Queda justificado así, que el ángulo que se mantendrá en las placas térmicas será de **55 grados**, por lo que la radiación que se tomará en los cálculos será el mostrado en la tabla 4.

Inclinación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
55º	**3,71**	**4,28**	**4,91**	**5,24**	**5,26**	**5,21**	**5,27**	**5,36**	**5,19**	**4,64**	**3,98**	**3,55**

Tabla 2.4: Radiación solar diaria media (kWh/m^2·dia) para cada mes del año a la inclinación seleccionada.

Con la tabla 2.4 y la tabla 2.1 se puede determinar ahora la radiación media aproximada en función del porcentaje de días soleados calculados:

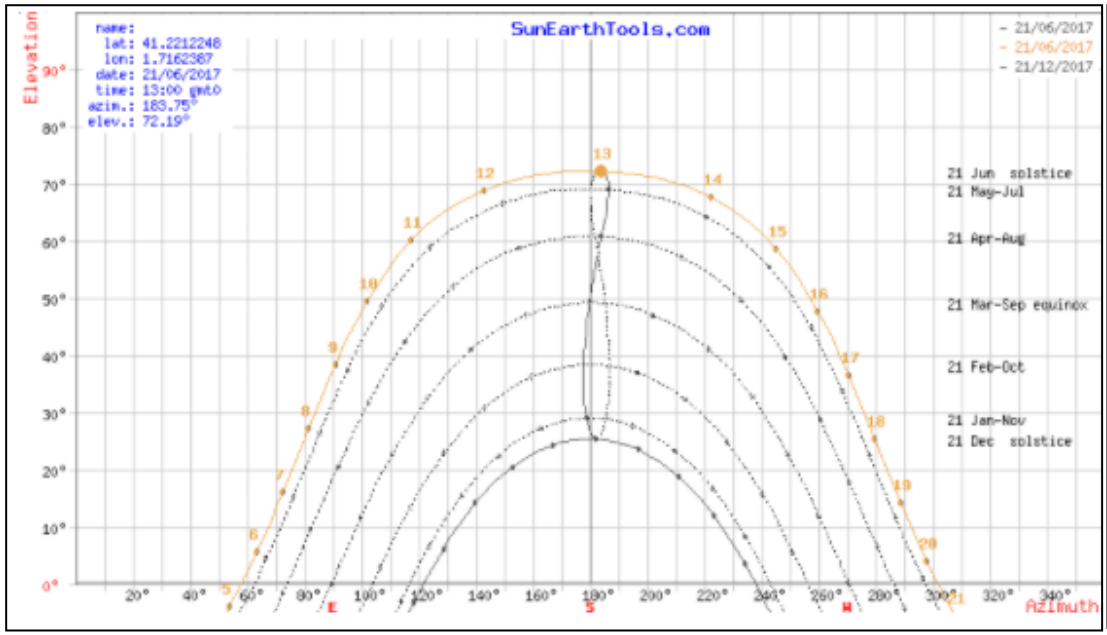
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Rad. a 55º (kWh/m2·dia)	3,71	4,28	4,91	5,24	5,26	5,21	5,27	5,36	5,19	4,64	3,98	3,55
Días en total	22	20	23	21	23	24	27	26	23	22	21	22
Porcentaje (%)	71	71	74	70	74	80	87	84	77	71	70	71
Radiación (kWh/m2·día)	**2,63**	**3,06**	**3,64**	**3,67**	**3,91**	**4,17**	**4,59**	**4,49**	**3,98**	**3,29**	**2,78**	**2,52**

Tabla 2.5: Radiación media diaria (kWh/m^2·día) en función de los días de sol totales.

2.4 Pérdidas por sombras

Otra limitación que se puede tener para la instalación es la de las sombras provocadas por la interferencia de otros edificios de mayor altitud cuando el sol está en cierta posición.

Para determinar hasta qué punto afecta la sombra a la instalación, se utiliza la página web anteriormente mencionada [3]. En ella se obtiene el recorrido del sol para cada día del año mostrado en la figura 2.9.



Figuras 2.9 y 2.10: Trayectoria del sol y puntos donde es posible que se produzca sombra en la azotea (Fuente: sunearthtools.com)

Esta web también ofrece la capacidad de estudiar las sombras que provocan edificios cercanos a la zona seleccionada.

Observando la figura 2.10, que estudia el día más corto (21 de diciembre), se observan 3 puntos donde la interferencia de los bloques colindantes pueda producir sombra. Sin embargo, debido a que los bloques orientados al sur y al este del mapa no tienen la altura suficiente (5 y 4 pisos respectivamente), carecen de importancia.

Por otro lado, el bloque de pisos orientados al oeste del mapa sí que puede ser un obstáculo por ser un bloque de 7 pisos y por estar en la zona de descenso del sol.

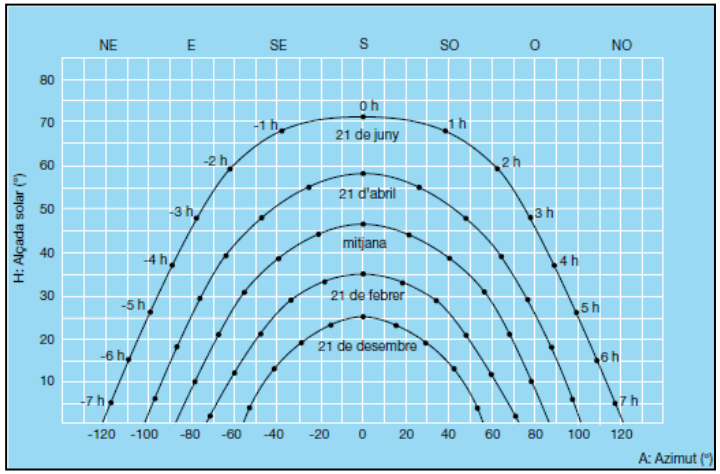
Para determinar el impacto se utiliza una ecuación proporcionada por el ICAEN:

$$\mathbf{d = (h/\tan_{H\ solar}) \cdot \cos_{A\ solar}} \qquad (2.1)$$

Donde:

- d = distancia mínima requerida
- h = altura del obstáculo
- tan = tangente de la altura solar en el mes más desfavorable (diciembre) (19º)
- cos = coseno del azimut solar en el mes más desfavorable a las 10h (29º)

Los ángulos mencionados, provienen de la tabla 2.6 mostrada a continuación procedente del ICAEN.



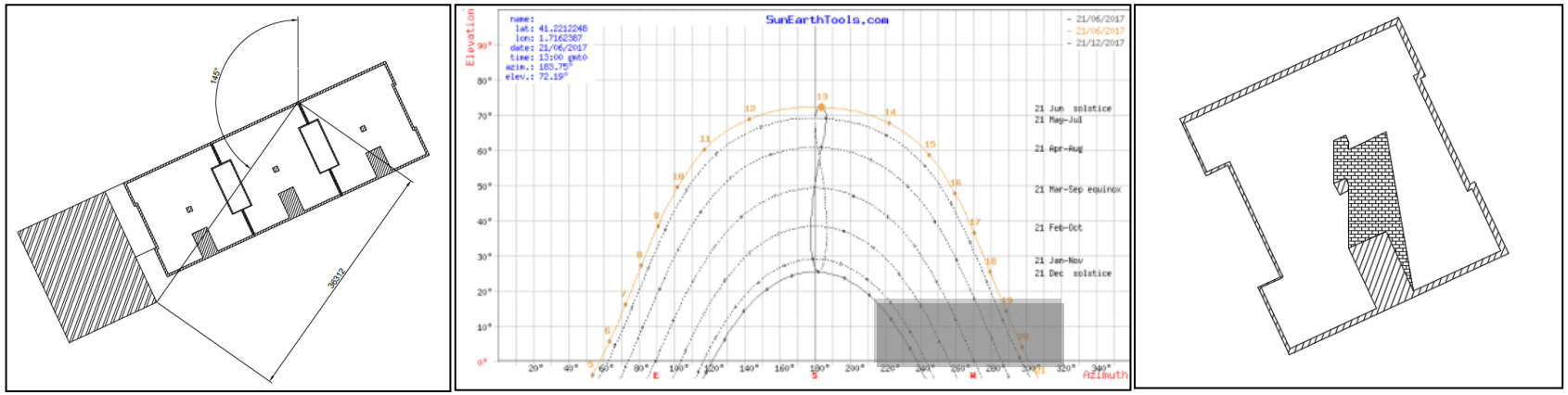
H	Gener		Febrer		Març		Abril		Maig		Juny		Juliol		Agost		Set.		Oct.		Nov.		Des.	
	A	H	A	H	A	H	A	H	A	H	A	H	A	H	A	H	A	H	A	H	A	H	A	H
0	0	27	0	35	0	46	0	58	0	67	0	71	0	70	0	62	0	51	0	39	0	29	0	25
1	16	26	18	33	21	44	26	55	33	64	38	68	36	66	29	59	23	49	19	37	16	28	15	23
2	30	21	34	29	39	38	48	48	57	56	63	59	60	58	52	52	43	42	36	32	31	23	29	19
3	43	15	48	21	55	30	64	39	73	46	78	48	76	47	68	42	58	34	50	25	44	17	42	13
4	54	6	60	12	67	20	76	29	85	35	89	37	87	36	80	32	71	24	62	15	56	8	53	4
5			71	2	78	9	87	18	95	23	99	26	97	25	91	20	82	13	73	5				
6							97	6	104	12	108	15	106	14	101	9	92	2						
7									114	2	117	5	116	4										

Gráfico 2.1 y tabla 2.6: Trayectoria centrada del sol para Cataluña y alturas solares (A) y azimuts (H) para los diferentes meses del año (Fuente: ICAEN)

Para la variable h, se ha estimado una altura de 11,5 metros, basándose en cálculos trigonométricos aproximados.

El resultado da una distancia mínima de **29 metros**. Este resultado significa que siempre y cuando la distancia sea superior a 29 metros para este caso, la aparición posterior de sombra no provocará pérdidas apreciables en el sistema.

Como se puede observar en la figura 10, la distancia inicial a partir de la cual el sol empieza a provocar sombra en la instalación, se encuentra a 36 metros con un azimut de 215 grados aproximadamente.



Figuras 2.10, 2.11 y 2.12: Planos sobre las interferencias por sombra del edificio situado al este, la sombra producida con la trayectoria del sol y la sombra producida por los elementos situados en la azotea.

Otro de los puntos a tener en cuenta es la entrada a la azotea y la pequeña chimenea del centro.

Sabiendo que la altura más alta de la entrada es de 2,3 metros aproximadamente y se inclina hasta 1 metro y la chimenea mide 1 metro, con la fórmula 2.1 se calcula la zona afectada mostrada en la figura 2.12.

<u>Nota:</u> Se consideran menospreciables la influencia de la baranda.

Además de las sombras en la azotea, también se han de determinar las sombras que se producirán sobra los toldos.

Para ello, se utiliza la misma ecuación presentada (2.1) para determinar la influencia del edificio de enfrente. Los ángulos para este caso sí que variaran dado que dependiendo del mes del año, habrán toldos que no puedan obtener energía.

También los propios toldos pueden provocarse sombra entre ellos como se puede observar en la figura 2.13.

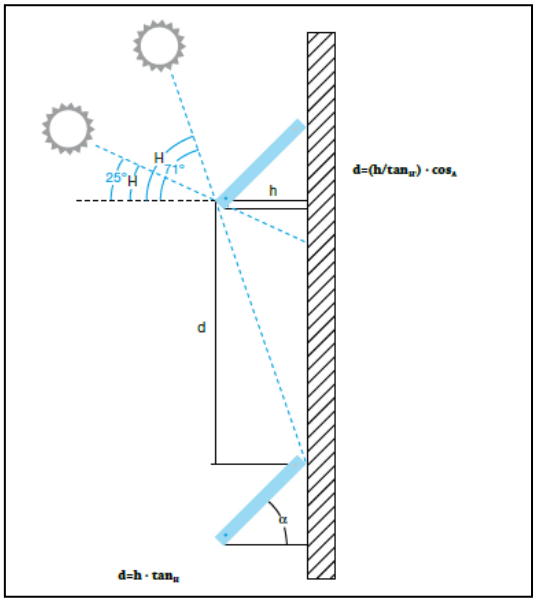


Figura 2.13: Imagen de la posición mínima de los captadores para evitar pérdidas por superposición de toldos.

Se determina una distancia entre toldos de 1,5 metros. Se recuerda que los ángulos de los toldos serán iguales que los captadores térmicos: 55 grados.

La tabla 2.7 muestra los cálculos obtenidos para la influencia de los toldos donde los ángulos provienen de la tabla 2.6, el parámetro K es la tangente del ángulo en radianes y el parámetro D es la distancia que produce la sombra del toldo en metros.

Los porcentajes representan el porcentaje de toldo cubierto por la sombra del toldo superior siempre y cuando el parámetro D sea superior a 1,5 metros.

Al final se muestra, eliminando las pérdidas del toldo superior por no tener elementos que produzcan sombra, el resultado a aplicar a la obtención ideal de energía.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Ángulo (º)	27	35	46	58	67	71	70	62	51	39	29	25
K	0,51	0,70	1,04	1,60	2,36	2,90	2,75	1,88	1,23	0,81	0,55	0,47
D (m)	0,41	0,56	0,83	1,28	1,88	2,32	2,20	1,50	0,99	0,65	0,44	0,37
% sombra	0	0	0	0	31	67	57	0	0	0	0	0
% total	0	0	0	0	23	50	43	0	0	0	0	0

Tabla 2.7: Cálculos de las pérdidas por sombra entre toldos.

Se determina una distancia entre edificios de 20 metros, una altura del edificio de estudio de 17,5 metros y el edificio situado al sur de 21,5 metros.

Los cálculos que se muestran se basan en la ecuación 2.1. La altura relativa que se determina es restando al total del edificio orientado al sur, la altura desde el suelo hasta la base del toldo.

Una vez obtenidos dichos valores, se determina para cada mes del año y con los ángulos anteriormente mencionados si los diferentes toldos obtendrán energía solar o no.

	Altura relativa (m)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Piso 4	7,25	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Piso 3	11	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
Piso 2	14,5	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0
Piso 1	18,5	0	0	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0
	Resultado (%)	25	50	100	100	100	100	100	100	100	75	50	25

Tabla 2.8: Obtención de energía solar para cada piso y mes del año.

Como resultado, se muestran en la siguiente tabla los rendimientos que se obtendrán en el caso de la aplicación de captadores fotovoltaicos.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
% por edificio	25	50	100	100	100	100	100	100	100	75	50	25
% por toldo	0	0	0	0	23	50	43	0	0	0	0	0
% Final	25,00	50,00	100,00	100,00	76,52	49,74	57,40	100,00	100,00	75,00	50,00	25,00

Tabla 2.9: Rendimiento final de los captadores fotovoltaicos que se instalen en los toldos.

Capítulo 3: Estudio energético-térmico

Dentro de este capítulo, se hace el estudio de la instalación de la azotea donde se calculan las demandas energéticas para agua caliente sanitaria (ACS) en función del consumo de agua y los rendimientos que se pueden obtener por la radiación.

También se determina el tipo de captador y el producto adecuado para aplicar y se muestra la cantidad de energía que se puede proporcionar a la red.

3.1 Demanda de agua caliente sanitaria (ACS) y contribución solar mínima

3.1.1 Temperatura del agua fría sanitaria (AFS)

Para las temperaturas medias del agua suministrada en la ciudad de estudio se ha de hacer una aproximación de los datos de la provincia más cercana establecidos en la tabla B.1 del DB:

Capital de provincia	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
A Coruña	10	10	11	12	13	14	16	16	15	14	12	11
Albacete	7	8	9	11	14	17	19	19	17	13	9	7
Alicante/Alacant	11	12	13	14	16	18	20	20	19	16	13	12
Almería	12	12	13	14	16	18	20	21	19	17	14	12
Ávila	6	6	7	9	11	14	17	16	14	11	8	6
Badajoz	9	10	11	13	15	18	20	20	18	15	12	9
Barcelona	9	10	11	12	14	17	19	19	17	15	12	10
Bilbao/Bilbo	9	10	10	11	13	15	17	17	16	14	11	10
Burgos	5	6	7	9	11	13	16	16	14	11	7	6
Cáceres	9	10	11	12	14	18	21	20	19	15	11	9
Cádiz	12	12	13	14	16	18	19	20	19	17	14	12
Castellón/Castelló	10	11	12	13	15	18	19	20	18	16	12	11
Ceuta	11	11	12	13	14	16	18	18	17	15	13	12
Ciudad Real	7	8	10	11	14	17	20	20	17	13	10	7
Córdoba	10	11	12	14	16	19	21	21	19	16	12	10
Cuenca	6	7	8	10	13	16	18	18	16	12	9	7
Girona	8	9	10	11	14	16	19	18	17	14	10	9
Granada	8	9	10	12	14	17	20	19	17	14	11	8
Guadalajara	7	8	9	11	14	17	19	19	16	13	9	7
Huelva	12	12	13	14	16	18	20	20	19	17	14	12
Huesca	7	8	10	11	14	16	19	18	17	13	9	7
Jaén	9	10	11	13	16	19	21	21	19	15	12	9
Las Palmas de Gran	15	15	16	16	17	18	19	19	19	18	17	16

Tabla 3.1: Extracto de la tabla B.1 del DB sobre temperaturas medias de AFS por mes y provincia.

A través de la ecuación que se muestra a continuación se puede hacer una aproximación de las temperaturas de las que se dispone en la ciudad de estudio:

$$\mathbf{T_{CDE} = T_{PR} - B \cdot A_Z} \qquad (3.1)$$

Donde:

- T_{CDE} = Temperatura en la zona de estudio (ºC)
- T_{PR} = Temperatura de provincia (ºC)
- B = Coeficiente (0,0066 de octubre a marzo y 0,0033 el resto) (T/m)
- A_Z = Diferencia de alturas entre las dos ciudades (A_{CDE} - A_{PR}) (m)

Tanto Tarragona como Barcelona están a una distancia similares, así que hay que determinar qué provincia se toma como referencia seleccionando la que pueda tener más impacto en los cálculos.

- T media Barcelona = 13,75 ºC
- T media Tarragona = 14,92 ºC
- A_Z para Barcelona = 22 - 12 = 10 m → B · A_Z = 0,066 (~0,5%)
- A_Z para Tarragona = 22 - 68 = -46 m → B · A_Z = - 0,3036 (~-2,2%)

Los resultados obtenidos son:

- T media en Vilanova (Barcelona como referencia) = 13,70 ºC
- T media en Vilanova (Tarragona como referencia) = 15,16 ºC

Se considerará, para encontrar los casos más desfavorecedores, las temperaturas de referencia con Barcelona para los meses de octubre a marzo y las de referencia con Tarragona para los meses de abril a agosto.

De esta manera se obtiene una media en el rendimiento de esta instalación inferior al que se podría obtener, dado que, las limitaciones no sólo serán sobre el espacio o la radiación disponible, sino que además se ha de tener en cuenta el rendimiento por mes máximo que podemos obtener según el apartado 2.2.2 del DB.

Así pues, las temperaturas que se utilizarán son las siguientes:

Mes	AFS Bar.	AFS Tar.	Coef.	AFS V-B	AFS V-T	AFS final
Enero	9	10	0,0066	**8,934**	10,3036	8,93
Febrero	10	11	0,0066	**9,934**	11,3036	9,93
Marzo	11	12	0,0066	**10,934**	12,3036	10,93
Abril	12	14	0,0033	11,967	**14,1518**	14,15
Mayo	14	16	0,0033	13,967	**16,1518**	16,15
Junio	17	18	0,0033	16,967	**18,1518**	18,15
Julio	19	20	0,0033	18,967	**20,1518**	20,15
Agosto	19	20	0,0033	18,967	**20,1518**	20,15
Septiembre	17	19	0,0066	**16,934**	19,3036	16,93
Octubre	15	16	0,0066	**14,934**	16,3036	14,93
Noviembre	12	12	0,0066	**11,934**	12,3036	11,93
Diciembre	10	11	0,0066	**9,934**	11,3036	9,93

Tabla 3.2: Determinación de la temperatura de cada mes de la ciudad de estudio.

Dado que la densidad y el calor específico del agua varían ligeramente respecto a la temperatura y que son directamente proporcionales a la demanda energética, podemos determinar un valor general estándar para ambas variables siendo la densidad un valor fijo de **1 kg/m^3** y el calor específico de **0,00116 W/Kg·ºC**.

3.1.2 Demanda de ACS

Antes de determinar la cantidad de captadores a instalar, se debe estimar la cantidad de agua que se consume a lo largo del año.
Según la tabla 4.1 del DB, se establece de media un consumo de 28 litros por día y persona a una temperatura de 60 ºC.

Tabla 4.1. Demanda de referencia a 60 °C[1]

Criterio 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

Tabla 3.3: Valores de demanda en función de la zona de aplicación

Por otro lado, el documento estima la cantidad de personas en función del número de habitaciones. En este caso, todas las viviendas del bloque tienen 4 dormitorios por lo que se considera 5 personas por vivienda.

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

Tabla 3.4: Cantidad de personas a considerar según el DB.

También se añade un factor de centralización por conjunto de viviendas. El edificio cuenta con 8 viviendas por lo que se aplicará un factor de 0,95 al cálculo posterior.

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

Tabla 3.5: Factor de centralización a aplicar según el DB.

Al no tener datos sobre el consumo de ACS para los diferentes meses del año se procederá a hacer los siguientes pasos:

- Determinar el consumo de ACS para 45 litros con la ecuación 4.2 del apartado 4 del DB:
  - D_{ACS} (45ºC) = D_{ACS} (60ºC) · (60-T_i)/(45-T_i) = 40 litros/día

- Determinar el consumo de ACS para 60 litros con la misma ecuación pero para las temperaturas de AFS que se obtienen en la tabla 3.2.

Los resultados se muestran en la tabla 3.6.

3.2 Demanda de energía térmica

Una vez se conoce la demanda de agua, se puede determinar la demanda energética mensual necesaria para abastecer de ACS al bloque de estudio.

Primeramente se calcula la demanda energética en función de la demanda de agua y la temperatura del agua fría sanitaria (AFS) con la ecuación mostrada a continuación:

$$\mathbf{D_{ACS} = C_{ACS} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_{uso} - T_{AFS})} \qquad (3.2)$$

Donde:

- D_{ACS} = Demanda de ACS (Wh)
- C_{ACS} = Consumo de ACS (dm^3)
- ρ = Densidad del agua (kg/dm^3)
- c_p = Calor específico del agua (Wh/kg·ºC)
- T_{uso} = Temperatura de salida del agua (establecida a 60 ºC)
- T_{AFS} = Temperatura de entrada del agua (ºC)

Mes	T (AFS)	litros a 60ºC	E demanda (kWh)
Enero	8,93	1073,52	63,74
Febrero	9,93	1064,60	61,98
Marzo	10,93	1055,32	60,21
Abril	14,15	1022,71	54,52
Mayo	16,15	1000,02	50,99
Junio	18,15	975,17	47,45
Julio	20,15	947,83	43,92
Agosto	20,15	947,83	43,92
Septiembre	16,93	990,58	49,60
Octubre	14,93	1014,08	53,14
Noviembre	11,93	1045,65	58,44
Diciembre	9,93	1064,60	61,98

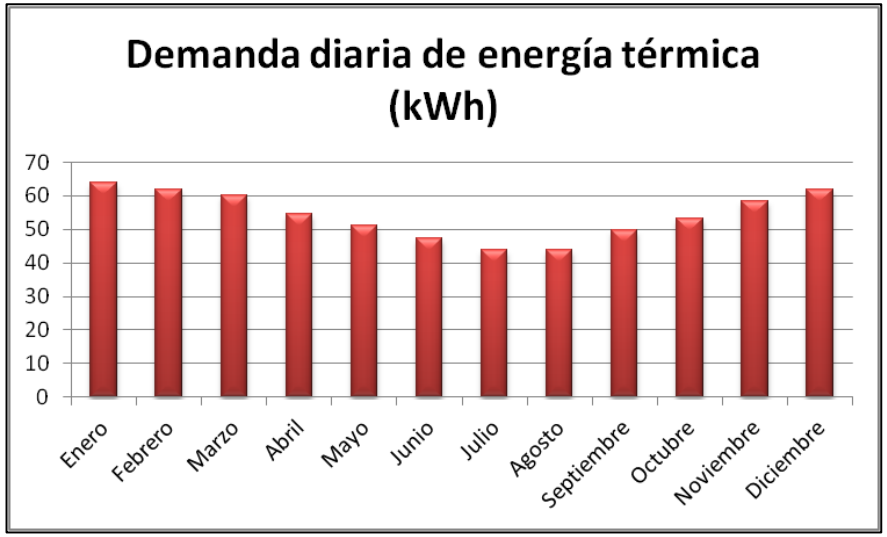


Tabla 3.6 y gráfico 3.1: Demanda diaria para cada mes de energía en forma de ACS.

3.3 Cálculo de rendimientos para placas térmicas: Método de cálculo F-Chart

El rendimiento del captador és la relación que hay entre la energía útil y la radiación solar disponible. Cuanto más alto sea el aprovechamiento energético, mejor será el rendimiento o la eficiencia del captador.

De hecho, los fabricantes presentan habitualmente el rendimiento o eficiencia del captador de una manera gráfica, a partir de los factores de trabajo, temperatura del captador y ambiente que lo rodea, etc.

El método de cálculo F-Chart permite calcular la cobertura de un sistema solar, es decir, de su contribución a la aportación de calor total necesario para cubrir las cargas térmicas y de su rendimiento medio en un largo periodo de tiempo.

Ampliamente aceptado como un proceso de cálculo suficientemente exacto para largas estimaciones, no ha de aplicarse para estimaciones de tipo semanal o diario.

Para desarrollarlo se utilizan datos mensuales medios meteorológicos y es perfectamente válido para determinar el rendimiento o factor de cobertura solar en instalaciones de calentamiento mediante captadores solares.

Su aplicación sistemática consiste en identificar las variables adimensionales del sistema de calentamiento solar y utilizar la simulación de funcionamiento mediante ordenador, para dimensionar las correlaciones entre estas variables y el rendimiento medio del sistema para un largo periodo de tiempo.

La ecuación utilizada en este método puede apreciarse en la siguiente fórmula:

$$\mathbf{f = 1{,}029D_1 - 0{,}065D_2 - 0{,}245D_1 + 0{,}0018D_2^2 + 0{,}0215D_1^3} \qquad (3.4)$$

El parámetro D_1 representa la relación entre la energía absorbida por la placa del captador plano y la carga calorífica total de calentamiento durante un mes:

$$\mathbf{D_1 = (Energía\ absorbida\ /\ carga\ calorífica\ mensual)} \qquad (3.5)$$

La energía absorbida por el captador viene dada por la siguiente expresión:

$$\mathbf{E_a = S_c \cdot F'_t\,(\tau\alpha) \cdot R_1 \cdot N} \qquad (3.6)$$

Donde:

- S_c = Superfície del captador (m^2)
- R_1 = Radiación diaria media mensual incidente sobre la superficie de captación por unidad de área (W/m^2)
- N = Número de días del mes
- $F'_t\,(\tau\alpha)$ = Factor adimensional que viene dado por la siguiente expresión:

$$\mathbf{F'_t\,(\tau\alpha) = F_t\,(\tau\alpha)_n \cdot [(\tau\alpha)/(\tau\alpha_n)] \cdot (F'_t/F_t)} \qquad (3.7)$$

Donde:

- $F_t\,(\tau\alpha)_n$ = Factor de eficiencia óptica del captador, es decir, ordenada en el origen de la curva característica del captador.

- $(\tau\alpha)/(\tau\alpha_n)$ = Modificador del ángulo de incidencia. En general, se puede tomar como constante: 0,96 (superficie transparente sencilla) o 0,94 (superficie transparente doble).
- (F'_t/F_t) = Factor de corrección del conjunto captador-intercambiador. Se recomienda tomar el valor de 0,95.

El parámetro D_2 expresa la relación entre las pérdidas de energía en el captador, para una determinada temperatura y la carga calorífica de calentamiento durante un mes:

D_2 = energía perdida por el captador / Carga calorífica mensual (3.8)

La energía perdida por el captador viene dada por la siguiente expresión:

$$E_p = S_c \cdot F'_t\, U_L \cdot (100 - t_a) \cdot \Delta t \cdot K_1 \cdot K_2 \quad (3.9)$$

Donde:

- t_a = Temperatura media mensual del ambiente
- Δt = Periodo de tiempo considerado en horas
- K_1 = Factor de corrección por almacenamiento que se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$K_1 = (V/75 \cdot S_c)\text{^}(-0{,}25) \quad (3.10)$$

- K_2 = Factor de corrección, para ACS, que relaciona la temperatura minima de ACS, la del agua de la red y la media mensual del ambiente, dado por la siguiente expresión:

$$K_2 = (11{,}6 + 1{,}18t_{ac} + 3{,}86t_r - 2{,}32t_a)/(100 - t_a) \quad (3.11)$$

Donde:

- t_{ac} = Temperatura mínima ACS (60ºC)
- t_r = Temperatura del agua de red
- t_a = Temperatura media mensual del ambiente

- $F'_t U_L = F_t U_L \cdot (F'_t/F_t)$

(3.12)

Donde:

- $F_t U_L$ = Pendiente de la curva característica del captador (coeficiente global de pérdidas del captador)

3.4 Selección del captador solar térmico

3.4.1 Tipología de captadores térmicos y selección

Captadores solares planos:

El captador solar de placa plana tiene una buena relación coste/efectividad en este clima y se adapta correctamente a un gran número de aplicaciones (calentamiento de agua sanitaria, climatización de piscinas, soporte a la calefacción, precalentamiento de fluidos industriales, etc.).

Se pueden distinguir dos tipos básicos de captadores de placa plana, en función de la configuración del absorbedor: el paralelo de “tipo parrilla" y el de “tipo serpentín”.

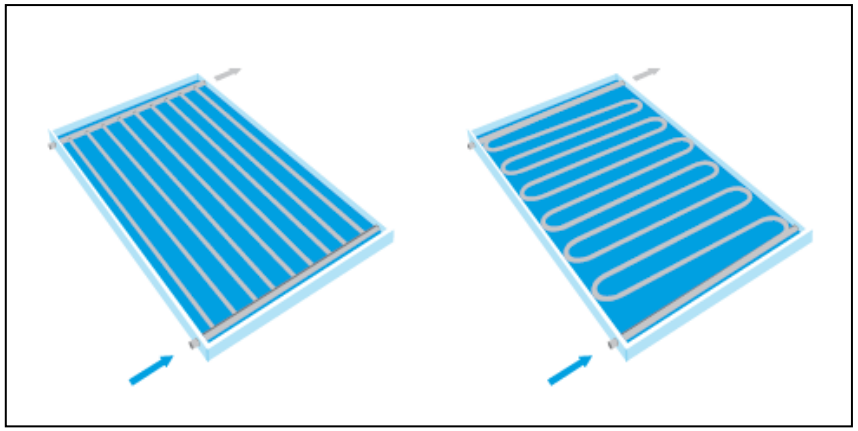


Figura 3.1: Captador tipo parrilla y tipo serpentín (Fuente: ICAEN)

Captadores planos sin cubierta:

Tal y como su nombre indica, los captadores sin cubierta constan básicamente del elemento absorbedor, formado generalmente por un conjunto de tubos de material plástico, caucho o polipropileno.

Este tipo de captadores solares son muy económicos y fáciles de instalar ya que presentan configuraciones flexibles que permiten colocarlos sobre cualquier superficie. Además, son resistentes a la corrosión y permiten configuraciones de calentamiento directas como en el caso del calentamiento de piscinas.

Sin embargo, este tipo de captadores con absorbedor sintético suelen tener curvas de rendimiento muy inclinadas ya que, por el hecho de no tener cristal tienen un muy buen rendimiento óptico pero, en contrapartida, pierden rápidamente su rendimiento cuando la temperatura ambiente está por debajo de la temperatura de trabajo o cuando hay una velocidad de viento elevada.

Por esto, este tipo de captadores, sólo son aconsejables en aplicaciones de baja temperatura en que la temperatura de trabajo sea próxima a la temperatura ambiente.

Captadores de cilindro parabólico:

Los sistemas de concentración están diseñados especialmente para obtener altas temperaturas. Su principio de funcionamiento se base en la proyección de toda la radiación incidente de una superficie reflectante sobre un punto concreto.

Actualmente se dispone en el mercado de captadores de concentración de clinidro parabólico compactos que presentan formatos y dimensiones similares a los captadores planos.

Los captadores están formados por unas conducciones con un revestimiento selectivo que recorren longitudinalmente el captador y que actúan de absorbedor.

Estas conducciones reciben la radiación solar reflejada por las paredes curvadas que las envuelven, consiguiendo así una cantidad de energía superior por unidad de superficies de absorbedor (W/m^2). Figura 3.2.

El resultado de todo esto es un captador capaz de generar temperaturas altas hasta los 200ºC con niveles estándares de radiación.

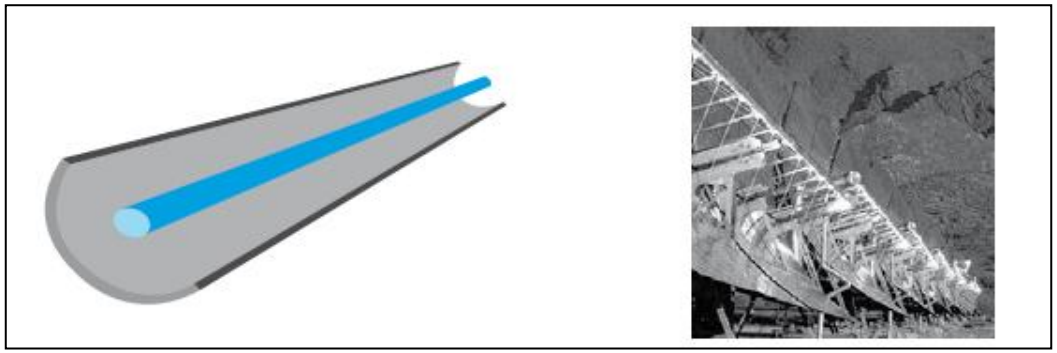


Figura 3.2: Captador de tubo de vacío (Fuente: ICAEN)

Captadores solares de tubos de vacío:

Este captador consta de un conjunto de tubos cilíndricos, formados por un absorbedor selectivo, situado sobre un asentamiento reflector y envuelto de un cilindro de vidrio transparente.

Entre el tubo exterior transparente y el absorbedor interior, se hace el vacío. Con esto, se evitan las pérdidas por conducción y por convección des de la superficie absorbente y este hecho permite alcanzar temperaturas de más de 100ºC y aprovechar mucho más la radiación solar.

Actualmente, hay dos tipos de estos captadores, con técnicas bastante diferenciadas por lo que hace a la transmisión de el calor des del tubo de vacío hasta el circuito primario.

Por un lado, los captadores de vacío con fluido directo, disponen de un captador principal del circuito primario en la parte superior del captador: cada tubo se conecta con el captador mediante un circuito de ida y otro de retorno. Para este circuito se hace circular un fluido del circuito primerio que se calentará durante su recorrido.

3.4.2 Propiedades a tener en cuenta

Para determinar el captador más adecuado, en función de su aportación a la instalación, las propiedades que se deberán obtener de las fichas técnicas que ofrece cada empresa son:

- Factor de eficiencia: Rendimiento inicial que tiene el captador
- Coeficiente de pérdidas: Parámetro que indica la tendencia a perder rendimiento en función del aumento de temperatura
- Área del absorbedor: Superficie útil del captador

Una vez se seleccione el captador, se deberán tener en cuenta las medidas reales del captador para su posterior dimensionamiento.

3.4.3 Muestreo de las ofertas del mercado

Tras una búsqueda por internet, se han seleccionado a 3 empresas que ofrecen diversidad de captadores para comparar y elegir. A continuación se muestra a cada una de ellas:

JUNKERS:

Empresa top en sistemas de calefacción y producción de agua caliente sanitaria, con una experiencia de más de 100 años.

Entre sus productos, se pueden escoger dos gamas: TOP [8] y SMART [9]. Hay sutiles diferencias entre ambas gamas en cuanto a rendimientos y superficies útiles y mientras que la gama TOP ofrece tanto la distribución del fluido en parrilla y en doble serpentín, la gama SMART sólo la ofrece en parrilla. Los captadores escogidos son: FKT-2W (TOP), FKC-2S (TOP) y FCC-2S (SMART).

Figuras 3.3 y 3.4: Captadores de las gamas TOP y SMART de la empresa JUNKERS.

SALVADOR ESCODA:

Salvador Escoda es una empresa dedicada al suministro de productos para instalaciones de aire acondicionado, ventilación, calefacción refrigeración y aislamientos. En la actualidad dispone de una creciente actividad exportadora a Europa, Latinoamérica y el norte de África.

Los productos que ofrece esta empresa varían desde placas de 1,86 m^2 hasta los 2,67 m^2 con diferentes rendimientos. Se ha hecho un selección de 3 de estos captadores para compararlos con el resto: FMAX 2.0, SOL 2800 H SELECTIVO y 3.0 TINOX PLUS [10].

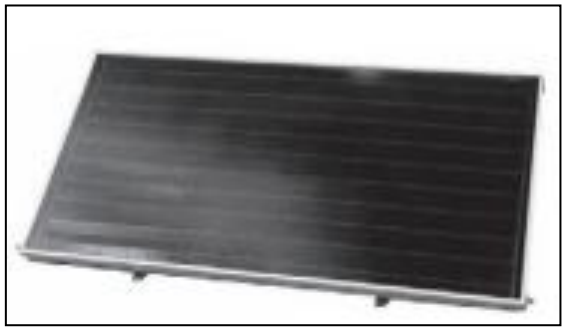
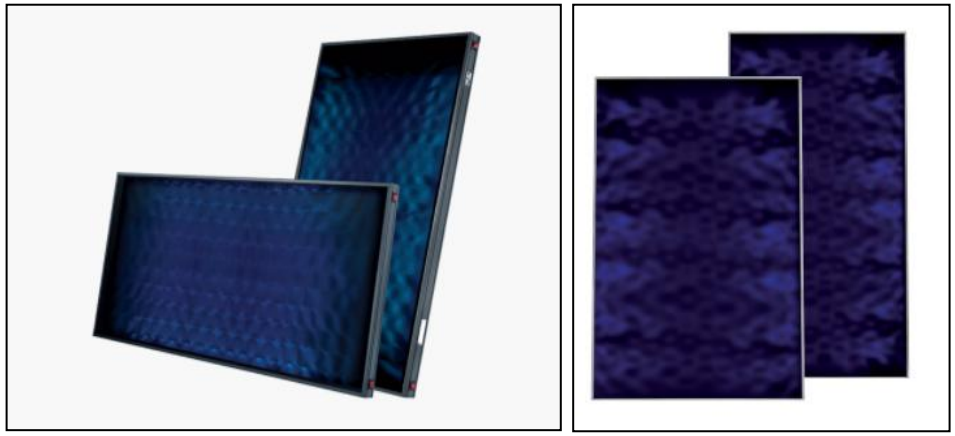


Figura 3.5: Captador SOL 2800 H SELECTIVO de la empresa SAVLADOR ESCODA.

BAXI:

Líderes en calefacción. ACS, aires acondicionados y energías renovables, la empresa BAXI se remonta 100 años atrás con las primeras fabricaciones de radiadores de hierro fundido en España.
Esta empresa ofrece dos gamas SOL [11] y MEDITERRANEO [12], donde en esta segunda ofrece una sub-gama con menor peso y espesor. Los captadores escogidos para este caso son: SOL 250, SOL 250 H, y MEDITERRANEO 250.



Figuras 3.6 y 3.7: Captadores de las gamas SOL y MEDITERRANEO de la empresa BAXI.

3.5 Cálculos y obtención de rendimientos:

Para determinar el tipo de captador adecuado y, debido a la superficie limitada disponible, se presenta el parámetro de potencia por metro cuadrado que permitirá decidir entre los captadores mostrados, el que se adecua más a la instalación.

Primeramente, hay que determinar el rendimiento medio que ofrece cada tipo de captador solar.

El procedimiento se basa en una serie de cálculos iterativos para determinar el máximo de captadores que se pueden instalar teniendo en cuenta los siguientes parámetros del DB:

- El dimensionado de la instalación se realizará teniendo en cuenta que en ningún mes del año la energía producida por la instalación podrá superar el 110% de la demanda energética y en no más de tres meses el 100% y a estos efectos no se tomarán en consideración aquellos periodos de tiempo en los cuales la demanda energética se sitúe un 50% por debajo de la media correspondiente al resto del año, tomándose medidas de protección.

A continuación se muestra el procedimiento de cálculo para un tipo de captador con las siguientes propiedades:

- Superficie útil: 2,18 m^2
- Factor de eficiencia: 0,77
- Coeficiente de pérdida: 3,216 W/m^2

Paso 1: Cálculo del parámetro D1 según las ecuaciones 3.5, 3.6 y 3.7:

Mes	Emens (kWh)	H total (kWh/m2*dia)	Superficie (m2)	Factor ad.	Eficiencia	Mod. Angulo	Factor corr.	E captada (kWh)	D1
Enero	63,74	2,63	2,18	0,68761	0,77	0,94	0,95	3,95	0,062
Febrero	61,98	3,06	2,18	0,68761	0,77	0,94	0,95	4,58	0,074
Marzo	60,21	3,64	2,18	0,68761	0,77	0,94	0,95	5,46	0,091
Abril	54,52	3,67	2,18	0,68761	0,77	0,94	0,95	5,49	0,101
Mayo	50,99	3,91	2,18	0,68761	0,77	0,94	0,95	5,85	0,115
Junio	47,45	4,17	2,18	0,68761	0,77	0,94	0,95	6,25	0,132
Julio	43,92	4,59	2,18	0,68761	0,77	0,94	0,95	6,88	0,157
Agosto	43,92	4,49	2,18	0,68761	0,77	0,94	0,95	6,74	0,153
Septiembre	49,60	3,98	2,18	0,68761	0,77	0,94	0,95	5,96	0,120
Octubre	53,14	3,29	2,18	0,68761	0,77	0,94	0,95	4,94	0,093
Noviembre	58,44	2,78	2,18	0,68761	0,77	0,94	0,95	4,17	0,071
Diciembre	61,98	2,52	2,18	0,68761	0,77	0,94	0,95	3,78	0,061

Tabla 3.8: Cálculos de muestra para la obtención del parámetro D1

Paso 2: Cálculo del parámetro D2 según las ecuaciones de la 3.8 a la 3.12:

Mes	S. (m2)	E mens (kWh)	Tmed AMB	Tred (AFS)	t (h)	K1	K2	FU (W/m2*ºC)	Eperd (kWh)	D2
Enero	2,18	63,74	9,7	8,93	7,5	0,626	1,045	3,055	2,952	0,046
Febrero	2,18	61,98	10,8	9,93	8	0,626	1,073	3,055	3,192	0,052
Marzo	2,18	60,21	12,4	10,93	9	0,626	1,094	3,055	3,597	0,060
Abril	2,18	54,52	14,5	14,15	9,5	0,626	1,209	3,055	4,096	0,075
Mayo	2,18	50,99	17,7	16,15	9,5	0,626	1,260	3,055	4,107	0,081
Junio	2,18	47,45	21,4	18,15	9,5	0,626	1,308	3,055	4,073	0,086
Julio	2,18	43,92	24	20,15	9,5	0,626	1,375	3,055	4,140	0,094
Agosto	2,18	43,92	24,1	20,15	9,5	0,626	1,374	3,055	4,131	0,094
Septiembre	2,18	49,60	22	16,93	9	0,626	1,240	3,055	3,630	0,073
Octubre	2,18	53,14	17,8	14,93	9	0,626	1,201	3,055	3,706	0,070
Noviembre	2,18	58,44	13,4	11,93	8	0,626	1,124	3,055	3,249	0,056
Diciembre	2,18	61,98	10,7	9,93	7	0,626	1,074	3,055	2,800	0,045

Tabla 3.9: Cálculos de muestra para la obtención del parámetro D2.

Paso 3 y 4: Cálculo del valor f de nuestra instalación y el rendimiento para una placa y cálculo iterativo para maximizar el rendimiento:

Mes	f	Qsol (kWh)	(%)
Enero	0,06	3,81	5,98
Febrero	0,07	4,42	7,14
Marzo	0,09	5,26	8,74
Abril	0,10	5,25	9,64
Mayo	0,11	5,59	10,97
Junio	0,13	5,97	12,58
Julio	0,15	6,55	14,92
Agosto	0,15	6,41	14,61
Septiembre	0,12	5,73	11,55
Octubre	0,09	4,73	8,90
Noviembre	0,07	4,01	6,86
Diciembre	0,06	3,65	5,89
Media	**0,10**	**5,12**	**9,81**

Mes	f	Qsol (kWh)	(%)
Enero	0,54	34,13	53,54
Febrero	0,62	38,49	62,10
Marzo	0,73	43,87	72,87
Abril	0,78	42,26	77,51
Mayo	0,85	43,44	85,19
Junio	0,94	44,40	93,58
Julio	1,04	45,64	103,93
Agosto	1,03	45,06	102,59
Septiembre	0,89	44,18	89,06
Octubre	0,73	38,87	73,15
Noviembre	0,60	34,92	59,75
Diciembre	0,53	32,77	52,88
Media	**0,77**	**40,67**	**77,18**

Tabla 3.10 y 3.11: Ejemplo de cálculo de f de la instalación y la energía captada en kWh y en porcentaje para 1 placa y para 11 en este caso.

3.6 Selección y resultados

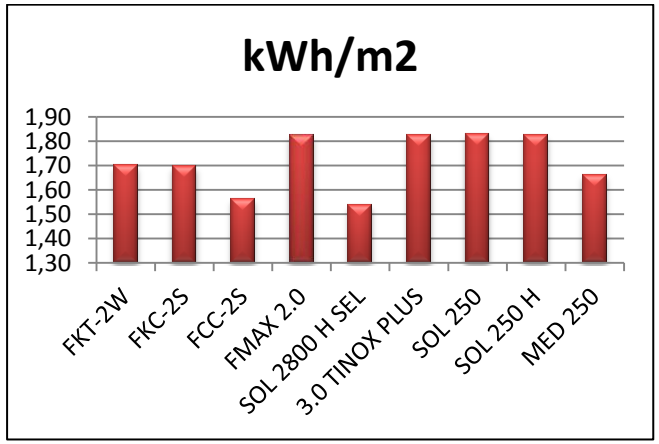
A continuación se muestra una tabla comparando los productos anteriormente mencionados.

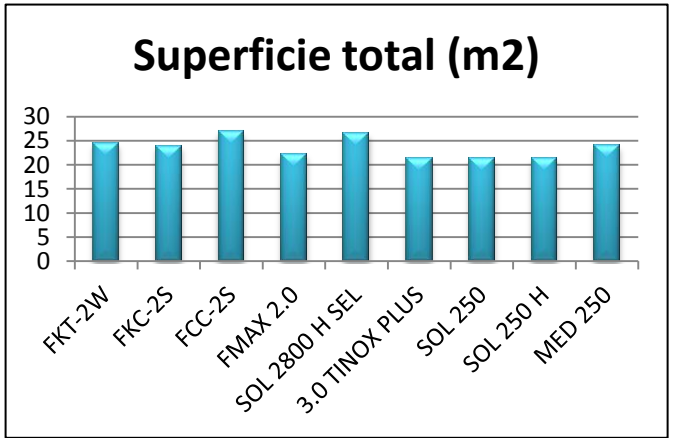
Captador	Sup. (m2)	Factor óptico	Coef. Perd.	Nº Capt.	Sup. T (m2)	Pot. Med (kWh)	kWh/m2	Precio	Precio T
FKT-2W	2,23	0,802	3,833	11	24,53	41,74	1,702	844	9284
FKC-2S	2,18	0,77	3,216	11	23,98	40,67	1,696	788	8668
FCC-2S	1,92	0,761	4,083	14	26,88	42,00	1,563	490	6860
FMAX 2.0	1,86	0,823	3,36	12	22,32	40,70	1,823	350	4200
SOL 2800 H SEL	2,65	0,711	3,168	10	26,50	40,81	1,540	550	5500
3.0 TINOX PLUS	2,67	0,823	3,86	8	21,36	38,94	1,823	630	5040
SOL 250	2,37	0,812	3,478	9	21,33	38,93	1,825	727	6543
SOL 250 H	2,37	0,818	3,748	9	21,33	38,84	1,821	758	6822
MED 250	2,4	0,765	3,653	10	24,00	39,89	1,662	657	6570

Tabla 3.12: Resultados de los cálculos mediante f-Chart para los diferentes captadores seleccionados

Los factores por los que se determina la selección final del captador son en orden descendente: kWh/m^2, superficie total, número de captadores y precio total.

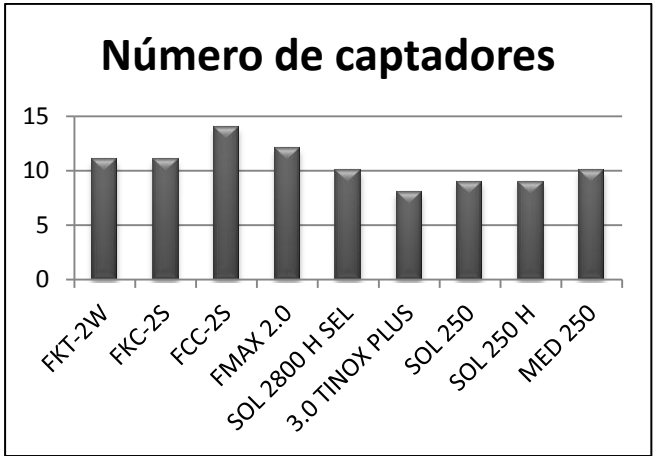
Los primeros factores son imprescindibles debido al límite de espacio disponible. En caso de haber varios modelos con resultados similares (FMAX 2.0, 3.0 TIOX PLUS y SOL 250), se hace la comparación por superficie necesaria.

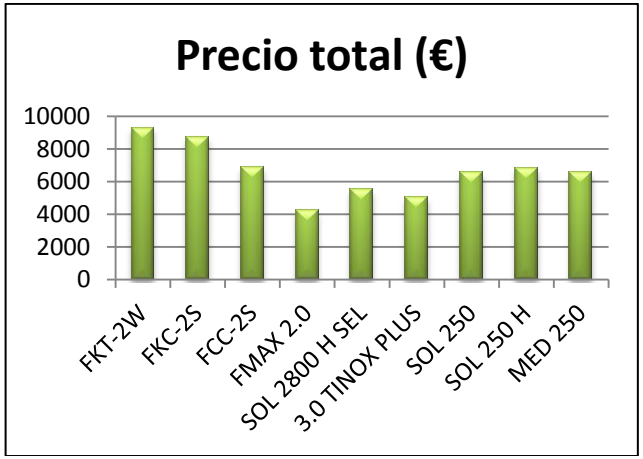




Gráficos 3.2 y .3.3: Comparación de la potencia por área y área total necesaria según la tabla 3.12.

Al seguir habiendo semejanza, se pasa a comparar el número de captadores necesarios (descartando FMAX 2.0).





Gráficos 3.4 y 3.5: Comparación del número de captadores que se pueden instalar y precio total de estos según la tabla 3.12.

Como comparación final, por precio, se acaba escogiendo el captador de la marca **ESCODA 3.0 TINOX PLUS**.

Los resultados para este captador, se muestran en la tabla siguiente.

Mes	f	Qsol (kWh)	(%)
Enero	0,51	32,46	50,93
Febrero	0,59	36,69	59,20
Marzo	0,70	41,94	69,65
Abril	0,74	40,41	74,11
Mayo	0,82	41,63	81,66
Junio	0,90	42,69	89,96
Julio	1,00	44,05	100,31
Agosto	0,99	43,46	98,96
Septiembre	0,86	42,42	85,53
Octubre	0,70	37,12	69,86
Noviembre	0,57	33,24	56,88
Diciembre	0,50	31,17	50,30
Media	**0,74**	**38,94**	**73,94**

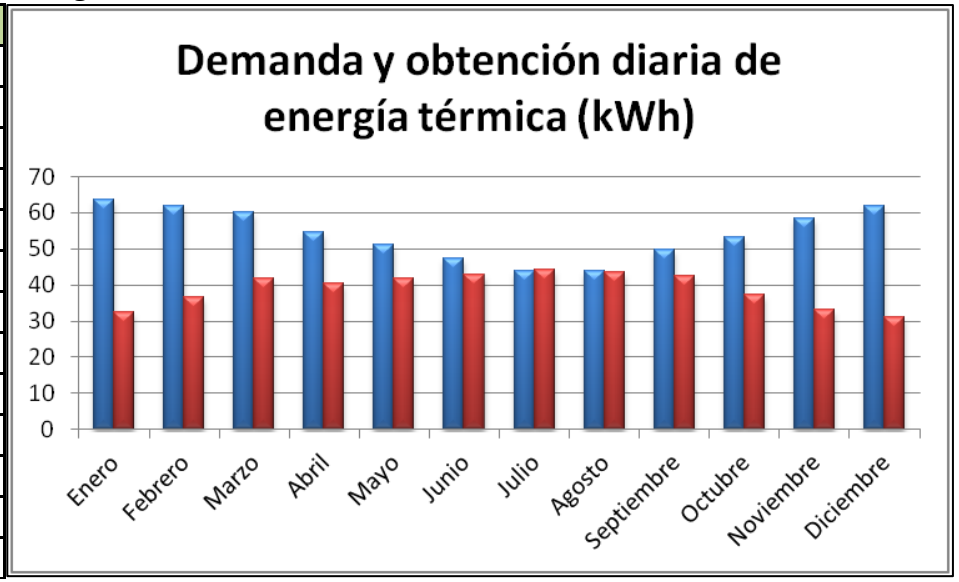


Tabla 3.13 y gráfico 3.6: Porcentaje de demanda de ACS suministrada y representación comparativa de oferta y demanda de ACS.

Finalmente se obtiene un rendimiento de las instalación del **74%**, mayor a la norma que estimaba el DB.

Los captadores serian dispuestos según la figura mostrada a continuación.

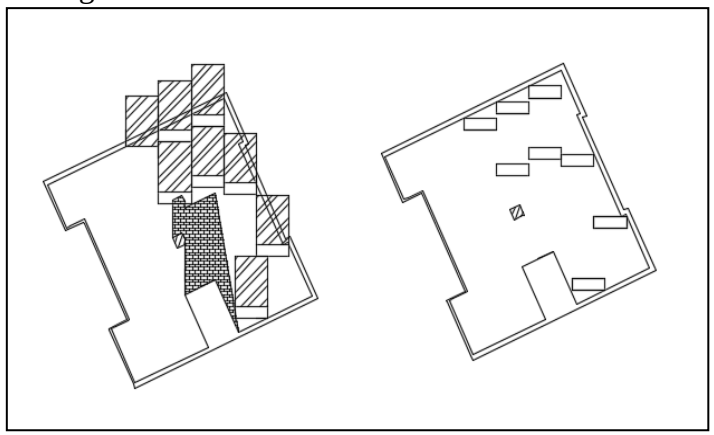


Figura 3.8: Distribución de los captadores térmicos para la azotea.

Capítulo 4: Estudio energético-fotovoltaico:

Dentro de este capítulo, se hace el estudio de la instalación de los toldos donde se calculan las demandas energéticas en función un consumo eléctrico estimado y los rendimientos que se pueden obtener por la radiación.

También se determina el posible captador a instalar y se muestra la cantidad de energía que se puede proporcionar a la red.

4.1 Demanda eléctrica

La determinación aproximada de la demanda energética requerida para este edificio, se ha basado en los siguientes datos:

- El IDESCAT [13] muestra que para el 2014, el consumo anual por vivienda era de 2.733,9 kWh. Por lo que el consumo diario se redondea a 7,5 kWh.
- Se conoce que en el edificio residen de media aproximadamente 3 personas por vivienda (25 en total).

Tal y como se explica en el apartado 7.2 del documento "Quadern pràctic número 4" del ICAEN [14], no se recomienda el uso de equipos con calentamiento eléctrico como pueden ser las cocinas eléctricas, los microondas, los radiadores eléctricos, etc., con alimentación eléctrica por placas fotovoltaicas por tener un consumo elevado.

Al tener desconocimiento de la red eléctrica de las viviendas para poder separar los diferentes suministros eléctricos por su consumo, se determina que el aporte energético que desempeñará la instalación fotovoltaica será como soporte a la red.

Se determina entonces el consumo energético considerando los siguientes aspectos:

- Consumo medio diario para una vivienda de 5 personas de 7,5 kWh.
- 8 bloques en el edificio: extrapolación del punto anterior dando un consumo de 60 kWh/dia.

La demanda energética se obtendrá mediante la ecuación siguiente:

$$D = C / f \tag{4.1}$$

Donde f es un factor de rendimiento global para instalaciones que en nuestro caso, al ser con suministro de CC, tendrá un valor de 0,8 según el apartado 7.4 del "Quadern pràctic número 4" del ICAEN.

El resultado es una demanda energética de **75 kWh/día.**

Dado que la demanda no es constante, sino que fluctúa de la misma manera que la demanda de ACS, se determina un coeficiente para cada mes con la ecuación:

$$P_i = Ci \cdot 75 \tag{4.2}$$

Donde C_i es la división de la demanda de ACS de un mes concreto por la media del año. Por ejemplo, para el mes de enero hay una demanda de 63,74 kWh y la media es de 54,16 por lo tanto la C para enero es de 1,18.

De este modo, la demanda eléctrica queda de la siguiente manera:

Energía eléctrica	Demanda energética (kWh)
Enero	88,28
Febrero	85,83
Marzo	83,38
Abril	75,50
Mayo	70,61
Junio	65,71
Julio	60,82
Agosto	60,82
Septiembre	68,70
Octubre	73,59
Noviembre	80,93
Diciembre	85,83

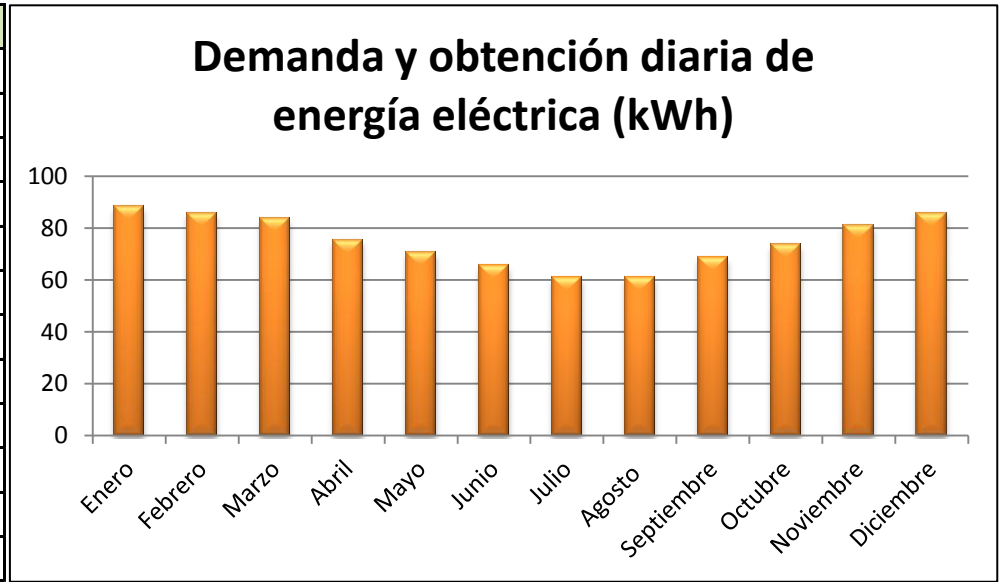


Gráfico 4.1 y tabla 4.1: Demanda aproximada de energía eléctrica para el bloque de pisos.

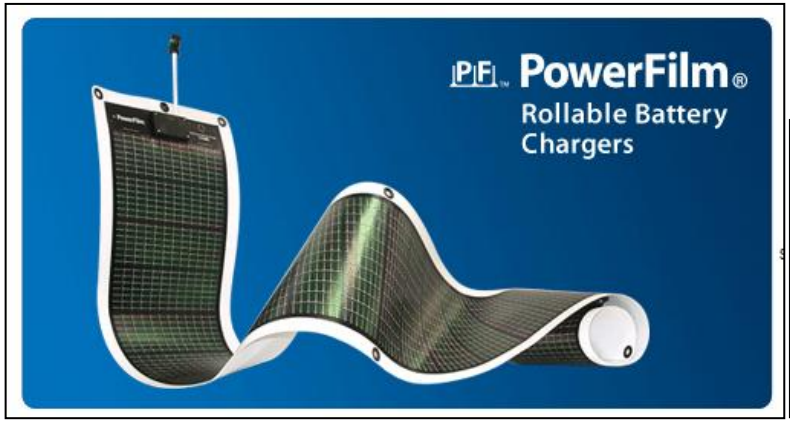
4.2 Selección del captador solar fotovoltaico

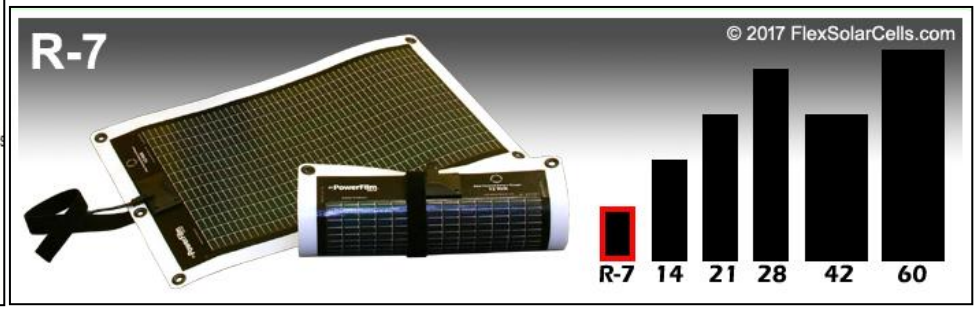
Para este caso particular, las placas fotovoltaicas convencionales no sirven: intentar instalar placas de este tipo en los toldos de las viviendas es inviable.

Pese a que se haya investigado poco por el momento, existe un tipo de captador que podría ser instalado. Es un tipo de célula solar flexible que puede ser tanto instalada como enrollada al recoger los toldos.

Tras una búsqueda, la única empresa cuyos productos pueden ser utilizados es FLEX SOLAR CELLS con su producto POWER FILM [15].

Dado que los paneles solares integrados (capa fina en plástico) están desarrollados y fabricados con un proceso de enrollado, son realmente enrollables no como otros productos de con tecnología de capa fina que son, de alguna manera, flexibles.





Figuras 4.1 y 4.2: Imágenes de la tela solar fotovoltaica POWERFILM.

Este producto está hecho de silicona y está libre de cadmio. Los módulos se comportan bien en diversos climas y no sufren por sobre-voltaje.

Dicha empresa ofrece diferentes modelos que abarcan desde los 7W hasta los 60W.

4.3 Selección y resultados

Primeramente, hay que descartar los modelos que no puedan ser instalados en los toldos. Es el caso de los modelos R-28 y R-60 por ser demasiado largos (las dimensiones de los toldos son de 3 metros de ancho por 1,5 metros de alto aproximadamente).

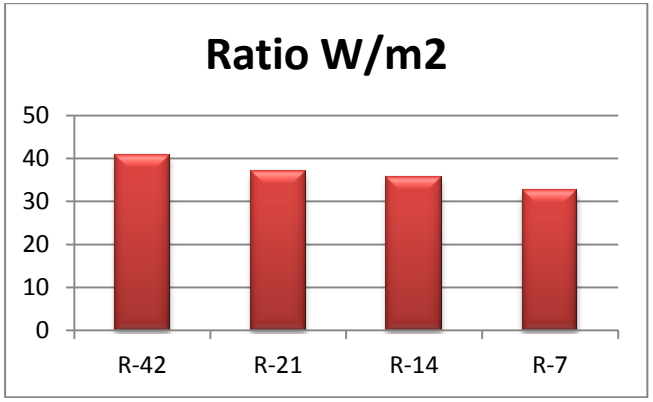
Podrían ser instalados pero parte del total del tejido quedaría dentro del recogido sobrante del toldo por lo que se estaría desperdiciando dinero.

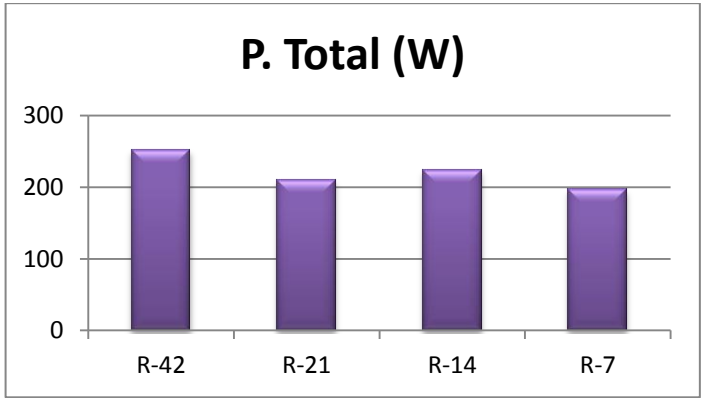
A continuación se muestra una tabla con los diferentes modelos disponibles y se hace una comparación para determinar el más adecuado.

Tipo	Potencia (W)	Cant. Max	Peso (kg)	Area (m2)	Precio (€)	P. total (€)	Ratio Kg/m2	Ratio W/m2	Pot total (W)
R-42	42	6	1,45	1,03	392,54	2355,27	1,41	40,765	252
R-21	21	10	0,64	0,57	221,39	2213,92	1,13	36,953	210
R-14	14	16	0,45	0,39	161,79	2588,58	1,15	35,626	224
R-7	7	28	0,27	0,22	110,70	3099,48	1,25	32,489	196

Tabla 4.2: Comparativa de las diferentes telas fotovoltaicas que la empresa FLEXSOLARCELLS ofrece.

Para la selección del modelo se comparará el ratio de W/m^2 y la potencia total por toldo:





Gráficos 4.2 y 4.3: Comparativa de potencia por metro cuadrado y potencia total de las variables mostradas en la tabla 3.13.

Queda justificada la elección del modelo R-42 que ofrece una potencia por metro cuadrado de 40,76W/m^2 y una potencia total de 252 W.

4.4 Rendimiento del conjunto

Para poder calcular el rendimiento que ofrecerá la instalación fotovoltaica, se ha de calcular la potencia que se obtiene por el sol. Para ello, se divide la radiación incidente para cada mes del año por la radiación estándar que se utiliza para calibrar los módulos ($1kW/m^2$) i se obtendrá el valor de HSP (Horas de Sol Pico) equivalente al número de horas a potencia nominal.

$$HSP = (\text{Radiación/potencia estándar de calibre}) \tag{4.3}$$

Una vez obtenidos los valores de potencia requerida y potencia útil, se puede obtener el rendimiento medio de esta instalación usando los datos obtenidos de la influencia de la sombra de la tabla 2.9.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
HSP (h)	2,63	3,06	3,64	3,67	3,91	4,17	4,59	4,49	3,98	3,29	2,78	2,52
E Demanda (kWh)	88,28	85,83	83,38	75,50	70,61	65,71	60,82	60,82	68,70	73,59	80,93	85,83
E Obtenida (kWph)	5,31	6,16	7,34	7,39	7,87	8,41	9,25	9,06	8,02	6,64	5,61	5,08
E reducida (kWph)	1,33	3,08	7,34	7,39	6,02	4,18	5,31	9,06	8,02	4,98	2,81	1,27
Porcentaje (%)	1,50	3,59	8,80	9,79	7,66	4,22	6,57	14,84	11,67	6,77	3,47	1,48

Tabla 3.14: Resultados de la aplicación del conjunto de telas solares del tipo R-42 para los 8 toldos disponibles.

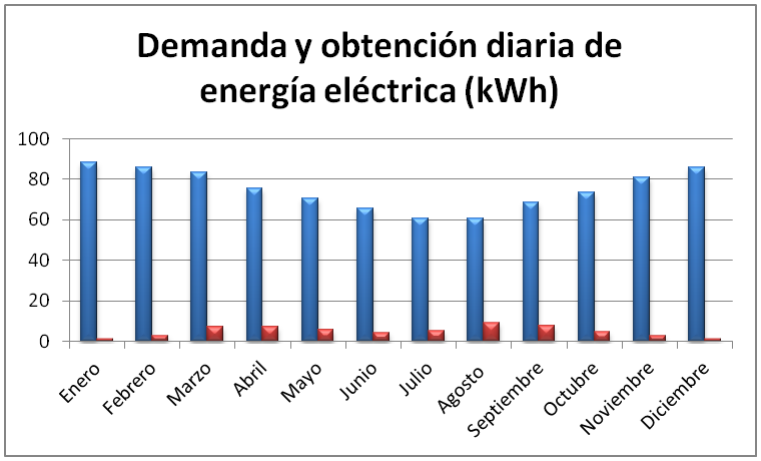


Gráfico 4.4: Comparación de la demanda eléctrica y la producción en los toldos.

El rendimiento medio que se obtiene es del **7%.**

Capítulo 5: Redimensionado de la azotea

Tras determinar, por normativa, la cantidad de captadores a instalar, se observa que se dispone de espacio suficiente para poder continuar introduciendo captadores. En este bloque se muestran diferentes opciones a tener en cuenta.

5.1 Máximo dimensionado de la instalación solar térmica

Se ha determinado la cantidad de 8 captadores para el captador escogido, pero se puede seguir añadiendo captadores para poder obtener el máximo rendimiento en los meses más fríos.

Tras determinar con métodos manuales en el programa AutoCAD la cantidad máxima de captadores posible a instalar, se estima la cantidad de 15 captadores que pueden ser instalados con una repercusión por sombra menospreciable para ciertos captadores.

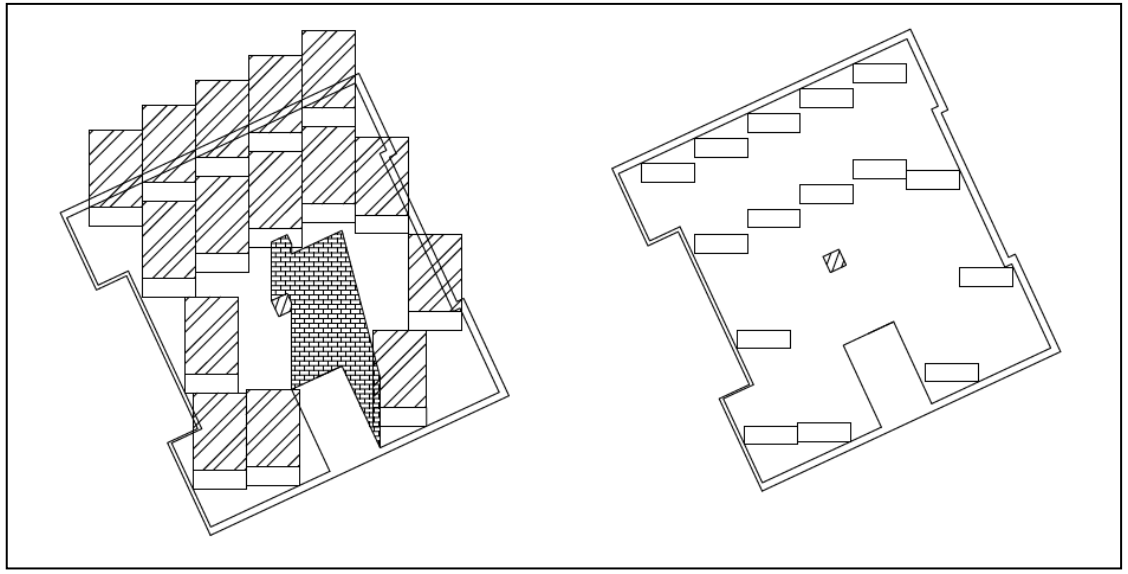


Figura 5.1: Dimensionado máximo por limitación de sombre para la azotea. A la izquierda la representación de la sombra producida.

Procediendo con el cálculo obtenemos los rendimientos mostrados en la tabla siguiente:

Mes	f	Qsol (kWh)	(%) 8 Ud.	(%) 15 Ud.	(%) Final
Enero	0,51	32,46	50,93	79,84	79,84
Febrero	0,59	36,69	59,20	90,01	90,01
Marzo	0,70	41,94	69,65	101,28	100,00
Abril	0,74	40,41	74,11	104,17	100,00
Mayo	0,82	41,63	81,66	110,63	100,00
Junio	0,90	42,69	89,96	116,76	100,00
Julio	1,00	44,05	100,31	122,64	100,00
Agosto	0,99	43,46	98,96	121,83	100,00
Septiembre	0,86	42,42	85,53	114,96	100,00
Octubre	0,70	37,12	69,86	100,38	100,00
Noviembre	0,57	33,24	56,88	86,72	86,72
Diciembre	0,50	31,17	50,30	79,09	79,09
Media	0,74	38,94	73,94	102,36	94,64

Tabla 5.1: Rendimientos finales obtenidos para la instalación solar térmica.

Como se puede observar, entre los meses de marzo a octubre, el rendimiento es superior al 100% por lo que para estos meses se deberá tapar parte de la instalación para evitar un deterioro avanzado de los captadores.

Mes	Qsol (kWh)	(%) 8 Ud.	(%) 9 Ud.	(%) 10 Ud.	(%) 11 Ud.	(%) 12 Ud.	(%) 13 Ud.	(%) 14 Ud.	(%) 15 Ud.
Enero	32,46	50,93	55,84	60,48	64,85	68,97	72,83	76,45	79,84
Febrero	36,69	59,20	64,65	69,72	74,44	78,81	82,85	86,58	90,01
Marzo	41,94	69,65	75,59	81,02	85,95	90,42	94,45	98,06	101,28
Abril	40,41	74,11	80,05	85,38	90,15	94,37	98,10	101,35	104,17
Mayo	41,63	81,66	87,74	93,10	97,77	101,82	105,28	108,20	110,63
Junio	42,69	89,96	96,06	101,29	105,71	109,40	112,42	114,85	116,76
Julio	44,05	100,31	106,13	110,88	114,68	117,64	119,87	121,50	122,64
Agosto	43,46	98,96	104,82	109,64	113,51	116,56	118,89	120,61	121,83
Septiembre	42,42	85,53	91,80	97,29	102,05	106,15	109,63	112,55	114,96
Octubre	37,12	69,86	75,69	80,98	85,77	90,07	93,93	97,35	100,38
Noviembre	33,24	56,88	62,13	67,03	71,59	75,83	79,75	83,38	86,72
Diciembre	31,17	50,30	55,18	59,79	64,13	68,23	72,08	75,70	79,09
Media	38,94	73,94	79,64	84,72	89,22	93,19	96,67	99,72	102,36

Tabla 5.2: Porcentaje de la instalación en función de la cantidad de captadores instalados.

Como resultado final, seleccionamos el rendimiento más próximo al límite o en el límite si su rendimiento es del 100% aproximadamente.

Mes	f	Qsol (kWh)	(%) 8 Ud.	(%) 15 Ud.	Placas tapadas	% Final
Enero	0,51	32,46	50,93	79,84	0	79,84
Febrero	0,59	36,69	59,20	90,01	0	90,01
Marzo	0,70	41,94	69,65	101,28	1	98,06
Abril	0,74	40,41	74,11	104,17	2	98,10
Mayo	0,82	41,63	81,66	110,63	4	97,77
Junio	0,90	42,69	89,96	116,76	6	96,06
Julio	1,00	44,05	100,31	122,64	7	100,31
Agosto	0,99	43,46	98,96	121,83	6	98,96
Septiembre	0,86	42,42	85,53	114,96	5	97,29
Octubre	0,70	37,12	69,86	100,38	0	100,38
Noviembre	0,57	33,24	56,88	86,72	0	86,72
Diciembre	0,50	31,17	50,30	79,09	0	79,09
Media	0,74	38,94	73,94	102,36	0	93,55

Tabla 5.3: Resultado final de los rendimientos por mes de la instalación en función de la cantidad de placas tapadas.

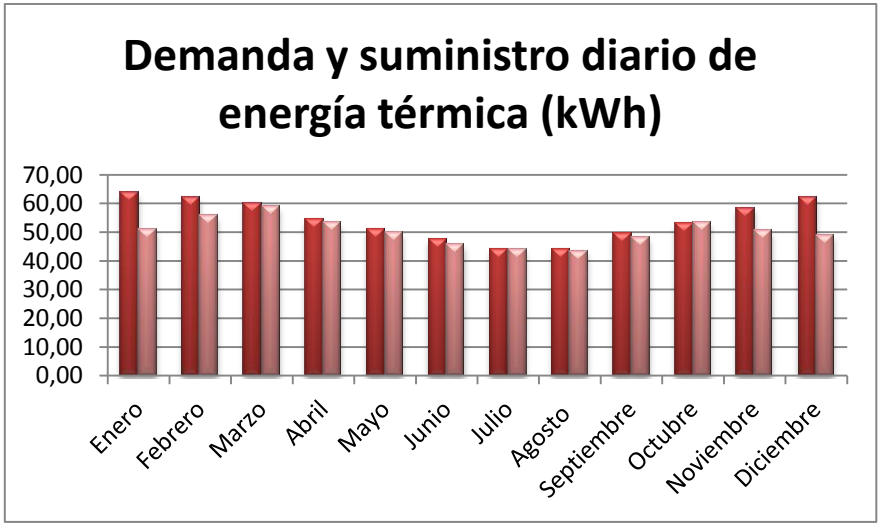
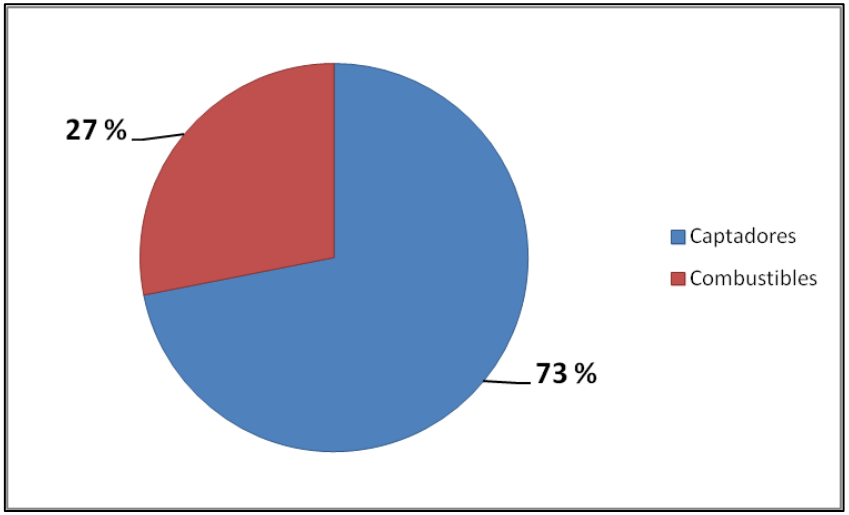
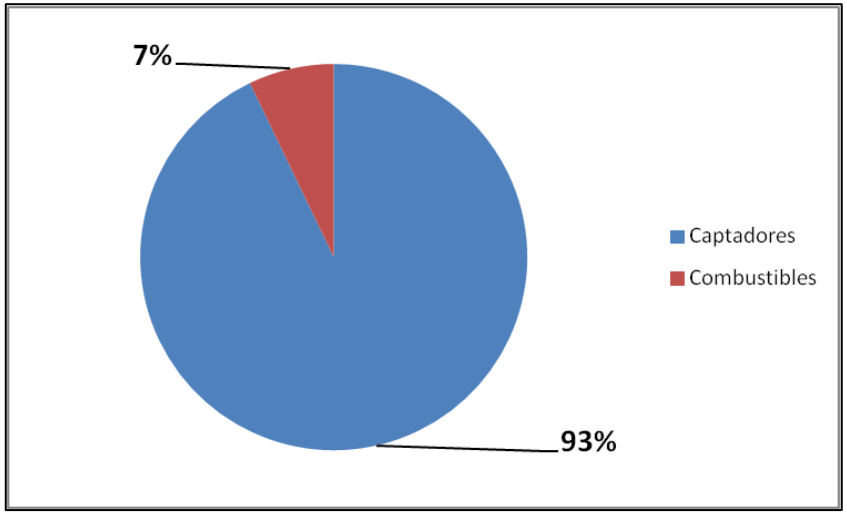


Gráfico 5.1: Comparativa de la demanda de ACS y el suministro disponible por captadores.

El rendimiento obtenido tras el aumento de los captadores a instalar es del 20%, llegando así a un **93% de rendimiento medio** y obteniendo un mínimo para los meses más fríos (Enero y diciembre) del **80%.**





Figuras 5.1 y 5.2: Comparación del rendimiento de la instalación con 8 captadores térmicos y con 15 captadores con uso flexible.

5.2 Instalación de captadores mixta

Otra opción que se baraja, es la introducción de captadores fotovoltaicos en los espacios sobrantes de la azotea. Para ello, primero se hace una búsqueda por internet de los diferentes tipos de captadores fotovoltaicos [16].

Placa	Precio	Potencia	Wh/€	Area	Wh/m2
Eco Solar 180W	185	180	0,97	1,50	120,00
Damia Solar 180W	185	180	0,97	1,28	140,65
Eco Solar 190W	190	190	1,00	1,28	148,46
Eco Solar 200W	195	200	1,03	1,28	156,27
ILB-Helios 180W	210	180	0,86	1,28	140,65
Pevafersa 180W	210	180	0,86	2,40	75,00
Eco Solar 250W	216	250	1,16	1,62	153,98
Eco Solar 260W	229	260	1,14	1,62	160,14
Damia Solar 230W	230	230	1,00	1,62	141,66
Fonroche 230W	230	230	1,00	1,62	141,66
Junko 250W	260	250	0,96	1,63	153,05
Hanwha 240W	275	240	0,87	1,65	145,45
Sharp 250W	285	250	0,88	1,65	151,52
Shinaew 190W	295	190	0,64	1,28	148,46
Sunlink PV 190W	299	190	0,64	1,28	148,46
LDK 180W	299	180	0,60	1,46	123,69
LDK 230W	348	230	0,66	1,64	140,24
REC 235W	379	235	0,62	1,65	142,42
REC 240W	380	240	0,63	1,65	145,45
Sunlink PV 230W	390	230	0,59	1,65	139,39

Tabla 5.4: Comparativa de placas fotovoltaicas.

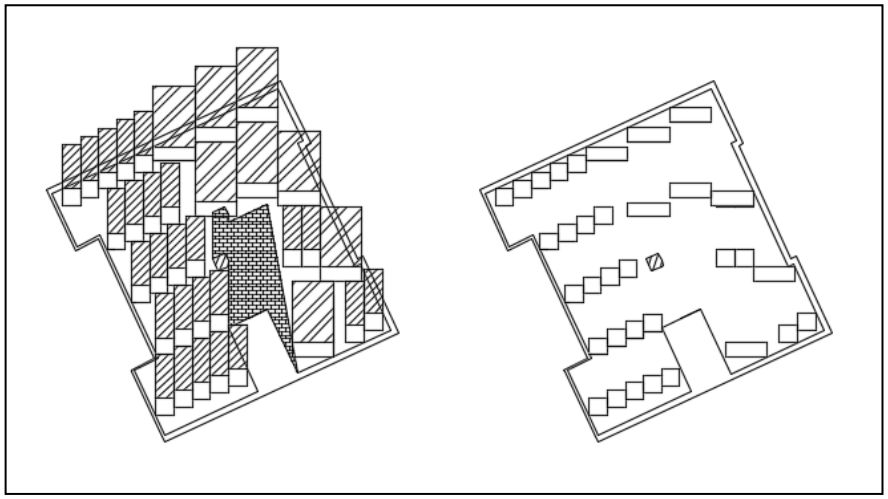
Los parámetros determinantes son, tal y como se aprecia en la tabla 5.4, los ratios de potencia-coste y potencia por área.

El resultado es la selección de la placa Eco Solar de 260W de potencia. Con unas dimensiones de (1,64 x 0,99) metros cuadrados, se procede a dimensionar la máxima cantidad de estos captadores, obteniendo un total de 26 captadores con un precio total de 5.954 Euros.

La potencia total que puede suministrar el conjunto de captadores fotovoltaicos y los toldos fotovoltaicos se muestra a continuación.

Energía eléctrica	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Demanda energética (kWh)	88,28	85,83	83,38	75,50	70,61	65,71	60,82	60,82	68,70	73,59	80,93	85,83
En. Producida placas (kWh)	17,80	20,66	24,62	24,78	26,40	28,20	31,03	30,38	26,89	22,27	18,82	17,03
En. Producida toldos (kWh)	1,77	4,11	9,79	9,85	7,21	3,70	5,33	12,04	10,69	6,64	3,74	1,69
Porcentaje (%)	22,17	28,85	41,26	45,86	47,60	48,54	59,77	69,74	54,71	39,28	27,88	21,82

Tabla 5.5: Resultado del rendimiento conjunto de las placas y los toldos fotovoltaicos.



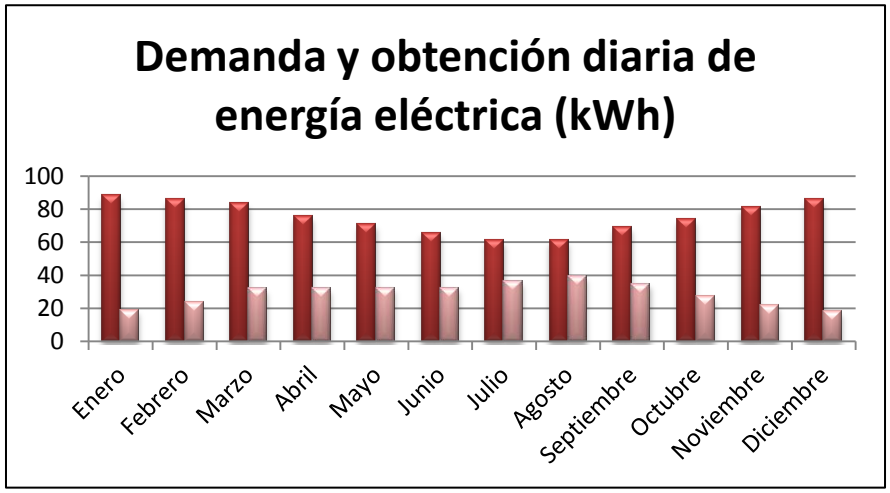
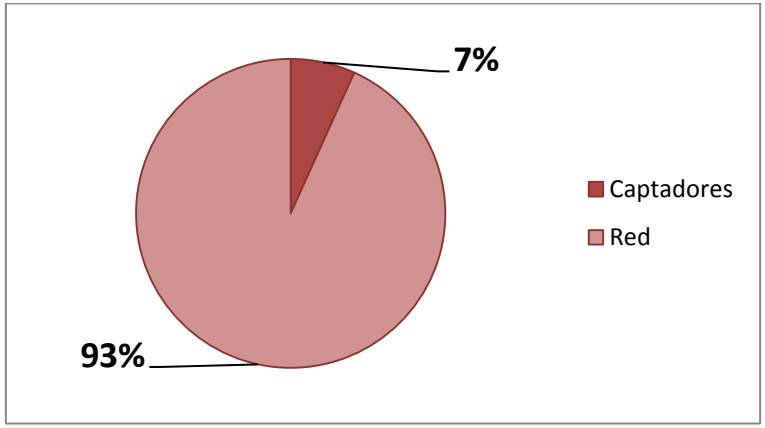
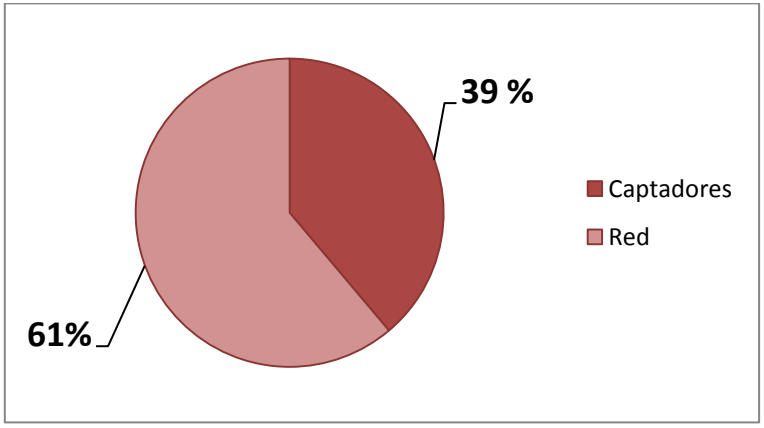


Figura 5.2 y gráfico 5.2: Dimensionado mixto de captadores térmicos y solares para la azotea y comparativa eléctrica.





Gráficos 5.3 y 5.4: Comparativa del aumento de la aportación energética por captadores fotovoltaicos.

Con este dimensionado, aparte de obtener un **74%** de rendimiento medio sobre la instalación para ACS, se obtiene un rendimiento medio de los captadores eléctricos sobre el consumo de los hogares del **39%.**

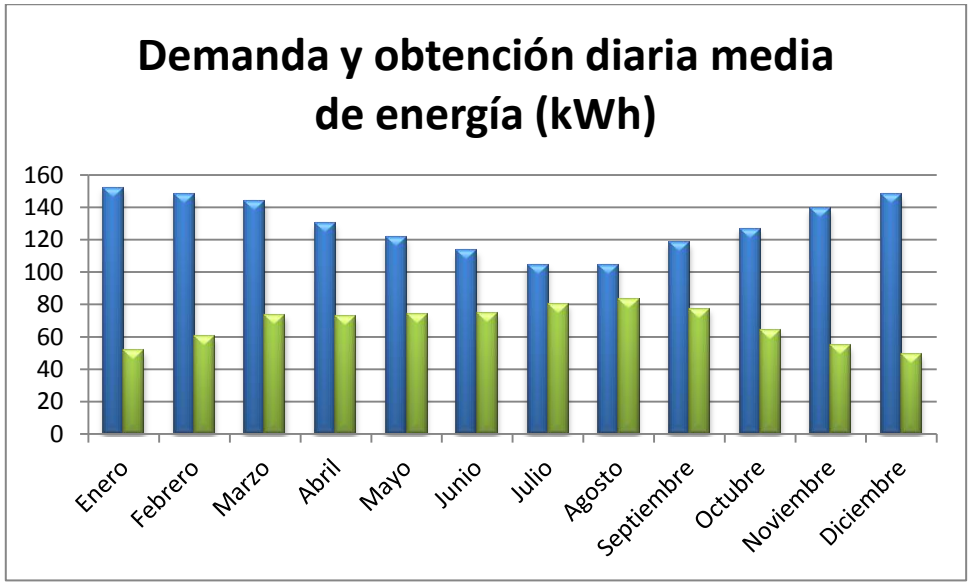


Gráfico 5.5: Comparativa de la demanda energética y la aportación de ACS y electricidad.

El conjunto de las instalaciones supone una aportación energética anual del **55%** sobre la demanda energética.

CONCLUSIONES

La aportación del estudio climatológico permite obtener unos resultados más aproximados a la realidad apartándose, de esta manera, de estudios más superficiales que sólo se basan en las radiaciones disponibles.

Menospreciar el factor climatológico puede comportar un dimensionado de la instalación por debajo de lo calculado siendo, en este caso, de hasta un 30%.

Las pérdidas por sombreado de los captadores tiene efecto mayoritariamente en el bloque fotovoltaico inicial, es decir, en los captadores enrollables instalados en los toldos, implicando así una reducción del 3% de electricidad disponible.

El dimensionado inicial de la instalación térmica, permite obtener una aportación energética para ACS del 73% y un mínimo del 50% para los meses más fríos con un coste inicial de 5.040 euros (630 por piso).

El dimensionado inicial de la instalación fotovoltaica, permite obtener una aportación energética para consumo eléctrico del 7% y un mínimo de 1,5% con un coste inicial de 2.355 euros (295 por piso).

Para el nuevo dimensionado térmico se obtiene un aumento del 20% de aporte energético para ACS, llegando al 93% y un mínimo del 80% con un aumento en los costes iniciales de 4.410 euros (551 por piso).

Para el nuevo dimensionado mixto se obtiene un aumento del 32% de aporte energético para consumo eléctrico y un aumento global del 21% con un aumento en los costes de 5.954 euros (744 por piso)

En caso de elección, se optaría por el dimensionado mixto permitiendo un ahorro, a largo plazo, del consumo tanto eléctrico como de gas natural o butano.

Por otro lado, al no maximizar la instalación térmica, se permite así evitar el improbable caso de sobreproducción de las placas que comporte un desgaste acelerado del sistema y se deba sustituir sus componentes.

BIBLIOGRAFIA:

Mapa de Cataluña:
[1]: http://www.gifex.com/detail/2010-07-26-11885/Organizacin-administrativa-de-Catalua-2007.html
Última fecha de consulta: 11/08/2017

Información sobre Vilanova i la Geltrú:
Página web oficial:
[2]: https://www.vilanova.cat/html/ciutat/ciutat_2minuts.html
Última fecha de consulta: 11/08/2017

[3]: https://www.sunearthtools.com
Última fecha de consulta: 01/09/2017

Clima de Vilanova i la Geltrú:
[4]: https://es.climate-data.org/location/57247/
Última fecha de consulta: 01/09/2017
[5]: https://www.meteoblue.com/es/tiempo/pronostico/modelclimate/vilanova-i-la-geltr%C3%BA_espa%C3%B1a_3105184
Última fecha de consulta: 01/09/2017

Documento Básico de ahorro de energía por el Código Técnico de la Edificación (CTE):
[6]: https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-ahorro-energia.html
Última fecha de consulta: 01/09/2017

"Quadern práctic número 3" del ICAEN
[7]:http://icaen.gencat.cat/web/.content/10_ICAEN/17_publicacions_informes/04_coleccio_QuadernPractic/quadern_practic/arxius/03_energia_solar_termica.pdf
Última fecha de consulta: 17/09/2017

Captadores térmicos JUNKERS:

- Gama TOP:

[8]: https://www.junkers.es/usuario_final/productos/catalogo_usuario/producto_7424
Última fecha de consulta: 01/10/2017

- Gama SMART:

[9]: https://www.junkers.es/usuario_final/productos/catalogo_usuario/producto_7616
Última fecha de consulta: 01/10/2017

Captadores térmicos ESCODA SALVADOR:
[10]: http://www.salvadorescoda.com/tarifas/Energias_Renovables_Tarifa_PVP_SalvadorEscoda.pdf
Última fecha de consulta: 01/10/2017

Captadores térmicos BAXI:

- Gama SOL:

[11]: https://www.baxi.es/productos/energia-solar/paneles/planos-sol
Última fecha de consulta: 01/10/2017

- Gama MEDITERRANEO:

[12]: https://www.baxi.es/productos/energia-solar/paneles/planos-mediterraneo
Última fecha de consulta: 01/10/2017

Consumo medio anual de agua, luz y gas:
[13]: https://www.idescat.cat/cat/idescat/publicacions/cataleg/pdfdocs/dossier19.pdf
Última fecha de consulta: 17/09/2017

"Quadern práctic número 4" del ICAEN:
[14]: http://icaen.gencat.cat/ca/detalls/publicacio/Num.-4-Energia-solar-fotovoltaica
Última fecha de consulta: 17/09/2017

Captadores solares enrollables POWER FILM de FLEX SOLARCELLS:
[15]: http://www.flexsolarcells.com/index_files/Rollable_Series/PowerFilm-Solar-Rollable-Panels-Technical-Information.php
Última fecha de consulta: 14/10/2017

Selección de captadores fotovoltaicos:
[16]: https://www.damiasolar.com/productos/de-160-a-260-watios-16
Última fecha de consulta: 20/10/2017