Proyecto Fin de Grado
Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales

DISEÑO Y DIMENSIONADO DE UNA INSTALACIÓN DE CLIMATIZACIÓN Y ACS MEDIANTE ENERGÍA SOLAR PARA UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR

Autor: Cristina Villanueva García

Tutor: Francisco Javier Pino Lucena

Departamento de Ingeniería Energética, Grupo Termotecnia

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2016

Proyecto Fin de Grado
Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales

DISEÑO Y DIMENSIONADO DE UNA INSTALACIÓN DE CLIMATIZACIÓN Y ACS MEDIANTE ENERGÍA SOLAR PARA UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR

Autor:

Cristina Villanueva García

Tutor:

Francisco Javier Pino Lucena

Profesor titular

Departamento de Ingeniería Energética. Grupo de Termotecnia

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2016

Proyecto Fin de Carrera: DISEÑO Y DIMENSIONADO DE UNA INSTALACIÓN DE CLIMATIZACIÓN Y ACS MEDIANTE ENERGÍA SOLAR PARA UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR

Autor: Cristina Villanueva García

Tutor: Francisco Javier Pino Lucena

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2016

El Secretario del Tribunal

A los míos.

Agradecimientos

Después de cuatro años muchas son las personas que merecen estar aquí, pero comenzando por el final, este proyecto no sería nada sin la confianza depositada, a ciegas, por parte de mi tutor Francisco Javier Pino Lucena, que pese a no conocerme de nada me ha guiado y aconsejado en estos últimos meses hasta el día de hoy, donde finaliza esta gran etapa de mi vida.

Es de bien nacidos ser agradecidos y creo que la causa lo merece: a todos aquellos profesores que me han enseñado a amar la profesión, la de Ingeniero, siendo claros ejemplos de lo que me gustaría llegar a ser en un futuro. Aquellos que disfrutan de sus clases y son capaces de transmitirle al alumno ganas de seguir formándose.

A mis amigos, por sostenerme, levantarme y acompañarme en esta carrera de fondo. Por los días de bibliotecas y las noches de búnker, nuestro hábitat natural, por los millones de tuppers, los préstamos de apuntes y los "Cógeme sitio". Por entender el "Hoy no salgo, tengo que estudiar" y acostumbrarse a que esta era mi prioridad. Pero sobretodo, infinidad de gracias por demostrarme que hay tiempo para todo, que sólo es cuestión de organizarse, que renunciar a algo que deseas nunca es una opción.

Y por último, no por ello menos importante, a mi familia, por poder permitirse el permitirme estudiar esta carrera. En especial a mi madre, por no desistir en aprenderse los nombres de mis asignaturas, mi calendario de exámenes y por brindarme la paciencia que a veces me falta cuando las cosas no salen como una quiere, porque resulta que al final todo esfuerzo tiene recompensa y estos cuatro años hubieran sido tremendamente más complicados sin ella.

Cristina Villanueva García

Sevilla, 2016

Resumen

El objetivo de este Trabajo, como su propio nombre indica, es el diseño de una instalación para abastecer mediante climatización solar y agua caliente sanitaria a una vivienda unifamiliar en la provincia de Sevilla, procediendo posteriormente al dimensionado de la misma de manera que se optimice la eficiencia de la misma.

Para ello, en cuanto al contenido del presente Trabajo, en primer lugar y a modo de preámbulo, en el capítulo 1 se presenta una breve introducción de la energía a escala mundial, haciendo hincapíe en el estado actual de España: su gran dependencia energética a los combustibles fósiles y la necesidad del auge de las energías renovables. Dentro de las energías renovables se destacará la energía solar junto con sus distintos tipos de aprovechamiento.

En el capítulo 2 se describe la energía solar térmica de baja temperatura, indicando los elementos habituales que conforman los diferentes sistemas de la instalación y funcionamiento. Además, se presenta de forma general las características de las instalaciones de ACS, calefacción y refrigeración.

A continuación se explica la herramienta de diseño en el capítulo 3, donde se detallará el modelo que sigue la instalación y se definirán los diversos TYPES que la componen. Una vez detallado, en el capitulo 4 tendrá lugar la simulación. La simulación tendrá como finalidad el dimensionado de una instalación de ACS, calefacción y refrigeración en una vivienda unifamiliar en Sevilla mediante energía solar térmica de baja temperatura.

Por úlitmo en el capítulo 5 se recogerán de forma resumida las conclusiones y los resultados más importantes derivados del estudio de la simulación.

Índice

1 Introducción **21**
1.1. Energía *21*
1.1.1 Sistema energético actual 23
1.1.2 Energías renovables 24
1.2. Energía solar *26*
1.2.1. Radiación Solar 26
1.2.2. Aprovechamiento radiación 29
1.2.3. Ventajas e inconvenientes 31
1.1.3 Situación en España 32

2 Descripción del sistema de climatización solar **35**
2.1. Descripción de la instalación base *35*
2.1.1 General 35
2.1.2 Elementos de la instalación 37
2.2. Agua Caliente Sanitaria *52*
2.3. Calefacción *54*
2.1.3 Sistemas de producción de calor 54
2.1.4 Sistemas de distribución de calor 56
2.1.5 Situación actual 56
2.4. Refrigeración *58*
2.4.1. Situación actual 58
2.4.2. Refrigeración solar 58
2.4.3. Absorción 59

3 Herramienta de simulación **63**
3.1. Estructura del sistema *65*
3.1.1 Lógica del sistema 66
3.2. Modelado del sistema *67*
3.1.2 Componentes utilizados 67

4 Simulación **73**
4.1. Datos de partida *73*
4.2. Cálculo de carga en la vivienda *73*
4.3. Máquina de absorción *76*
4.3.1. Funcionamiento 77
4.3.2. Modo refrigeración 77
4.3.3. Modo calefacción 79
4.3.4. Temperatura de impulsion y de retorno 80
4.4. Cálculo de demanda de ACS *81*
4.5. Características TYPES *83*
4.6. Fracción de demanda cubierta *84*

4.7. Dependencia con la energía convencional *92*

5 Conclusiones **96**

Referencias **98**

Anexo I **100**

Anexo II **114**

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4-1.- Consumo de agua caliente diaria (Temperatura de referencia 60ºC) 81
Tabla 4-2.- Temperatura de distribución del agua de red (Sevilla) 82
Tabla 4-3.- Casos analizados en la simulación (I) 85
Tabla 4-4.- Nº de horas de fracción de demanda cubierta igual a la unidad 93
Tabla 4-5.- Dimensiones óptimas de la instalación 94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1.- Distribución consumo de energía primaria en el mundo por fuentes, 2011. 21
Figura 1-2.- Distribución consumo de energía primaria en España, 2014. 22
Figura 1-3.- Distribución consumo de energía final en España, 2014. 22
Figura 1-4.- Estructura de consumo según usos energéticos en viviendas. 23
Figura 1-5.- Generación de energía eléctrica en España. 25
Figura 1-6.- Energía solar en potencia mundial. 26
Figura 1-7.- Tipos de radiación 27
Figura 1-8.- Órbita de la Tierra alrededor del Sol e inclinación del eje polar. 28
Figura 1-9.- Ángulos solares. 28
Figura 1-10.- Central Termosolar PS10, Sanlúcar la Mayor, Sevilla. 30
Figura 1-11.- Mapa de radiación solar de España, por valor medio anual de irradiación global diaria sobre superficie horizontal 32
Figura 1-12.- Potencia solar instalada en España. 33
Figura 1-13.- Superficie de Energía Solar Térmica en España 33
Figura 2-1.- Esquema general de la instalación 36
Figura 2-2.- Captador solar plano. 37
Figura 2-3.- Propiedades vidrios para cubiertas. 38
Figura 2-4.- Tipos de circulación del fluido caloportador 39
Figura 2-5.- Colectores de vacío. 40
Figura 2-6.- Depósito acumulador 41
Figura 2-7.- Intercambiador intercamulador tipo serpentín. 43
Figura 2-8.- Intercambiado interacumulador tipo doble envolvente. 44
Figura 2-9.- Intercambiador exterior de placas. 45
Figura 2-10.- Esquema funcionamiento de los vasos de expansión. 47
Figura 2-11.- Válvula de corte. 48
Figura 2-12.- Válvula de equilibrado. 49
Figura 2-13.- Válvula anti-retorno. 49
Figura 2-14.- Válvula de seguridad. 50
Figura 2-15.- Válvula termostática. 50
Figura 2-16.- Mapa solar en España 53
Figura 2-17.- Ejemplos de integración arquitectónica. 54

Figura 2-18.- Distribución territorial de las zonas climáticas es España 57
Figura 2-19.- Sistemas de calefacción en España 57
Figura 2-20.- Esquema de un sistema ed refrigeración con rueda desecante rotativa. 59
Figura 2-21.- Diagrama esquemático de Ciclo de enfriamiento por absorción 60
Figura 2-22.- Valores del COP y la temperatura de activación para distintos ciclos de absorción de simpre, doble y triple efecto. 62
Figura 3-1.-TRNSYS 63
Figura 3-2.- Solar hot water system 66
Figura 3-3.- Instalación del proyecto 67
Figura 3-4.- Type109-TMY2: Datos climáticos 68
Figura 3-5.- Type1b: Captador solar 69
Figura 3-6.- Type4c: Depósito acumulador 69
Figura 3-7.- Type3b: Bomba 70
Figura 3-8.- Type2b: Sistema de control 70
Figura 3-9.- Type14b: Definición de valores de ACS de uso horario 70
Figura 3-10.- Type14e: Definición de valores de temperatura de red de uso horario 71
Figura 3-11.- Type9a: Fichero de entrada 71
Figura 3-12.- Type6: Sistema de apoyo 71
Figura 3-13.- Type65d: Visualizador de datos en pantalla 72
Figura 3-14.- Type25b: Registrador de datos en archivo 72
Figura 4-1.- Zonificación de la vivienda 74
Figura 4-2.- Cerramiento exterior e interior 75
Figura 4-3.- Demanda de agua caliente anual 76
Figura 4-4.- Ejemplo de uno de los depósitos descargando durante la refrigeración 78
Figura 4-5.- Rendimiento de refrigeración del ClimateWell 10 78
Figura 4-6.- Ejemplo uno de los depósitos descargando calor 79
Figura 4-7.- Rendimiento de calefacción del ClimateWell 10 80
Figura 4-8.- Fracción de demanda cubierta primer cuatrimestre del año 87
Figura 4-9.- Fracción de demanda cubierta segundo cuatrimestre del año 88
Figura 4-10.- Fracción de demanda cubierta tercer cuatrimestre del año 89
Figura 4-11.- Fracción de demanda cubierta en función del 70% 91
Figura 4-12.- Grado de independencia de combustibles fósiles según superficie del campo solar 94
Figura 0-1.- Fracción de demanda cubierta primer cuatrimestre del año (12 m^2 y 1.4 m^3) 101
Figura 0-2.- Fracción de demanda cubierta segundo cuatrimestre del año (12 m^2 y 1.4 m^3) 102
Figura 0-3.- Fracción de demanda cubierta tercer cuatrimestre del año (12 m^2 y 1.4 m^3) 103

Figura 0-4.- Fracción de demanda cubierta primer cuatrimestre del año (8 m^2 y 0.8 m^3) 104
Figura 0-5.- Fracción de demanda cubierta segundo cuatrimestre del año (8 m^2 y 0.8 m^3) 105
Figura 0-6.- Fracción de demanda cubierta tercer cuatrimestre del año (8 m^2 y 0.8 m^3) 106
Figura 0-7.- Fracción de demanda cubierta primer cuatrimestre del año (6 m^2 y 0.4 m^3) 107
Figura 0-8.- Fracción de demanda cubierta segundo cuatrimestre del año (6 m^2 y 0.4 m^3) 108
Figura 0-9.- Fracción de demanda cubierta tercer cuatrimestre del año (6 m^2 y 0.4 m^3) 109
Figura 0-10.- Fracción de demanda cubierta en función del 70% (12 m^2 y 1.4 m^3) 111
Figura 0-11.- Fracción de demanda cubierta en función del 70% (8 m^2 y 0.8 m^3) 112
Figura 0-12.- Fracción de demanda cubierta en función del 70% (6 m^2 y 0.4 m^3) 113

Notación

ACS	Agua Caliente Sanitaria
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers
ASIT	Asociación al Servicio de la Investigación y la Tecnología
COP	Coefficiente Of Performance
CTE	Código Técnico de la Edificación
ETA	Equipo de Tratamiento de Aire
FOED	Fundació Observatori Esteve Duran
GLP	Gases Licuados del Petróleo
HVAC	Heating, Ventilating, and air conditioning
IDAE	Instituto para la Diversidad y Ahorro de Energía
NASA	National Aeronautics and Space Administration
REE	Red Eléctrica Española
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
UE28	28 paises que componen actualmente la Unión Europea
SI	Sistema Internacional
RITE	Reglamento de Instalaciones térmicas en los edificios

1 INTRODUCCIÓN

1.1. Energía

El hecho de realizar cualquier actividad lleva intrínseco el término energía, la cual se define como la capacidad de producir un trabajo.

La energía proviene en primera instancia de las fuentes primarias, es decir, aquellas disponibles en la naturaleza previas a ser convertidas en otro tipo de energía. Estas fuentes primarias son de diversa índole y principalmente están constituidas por los combustibles crudos, el sol, el viento y el movimiento de una corriente de agua entre otras.

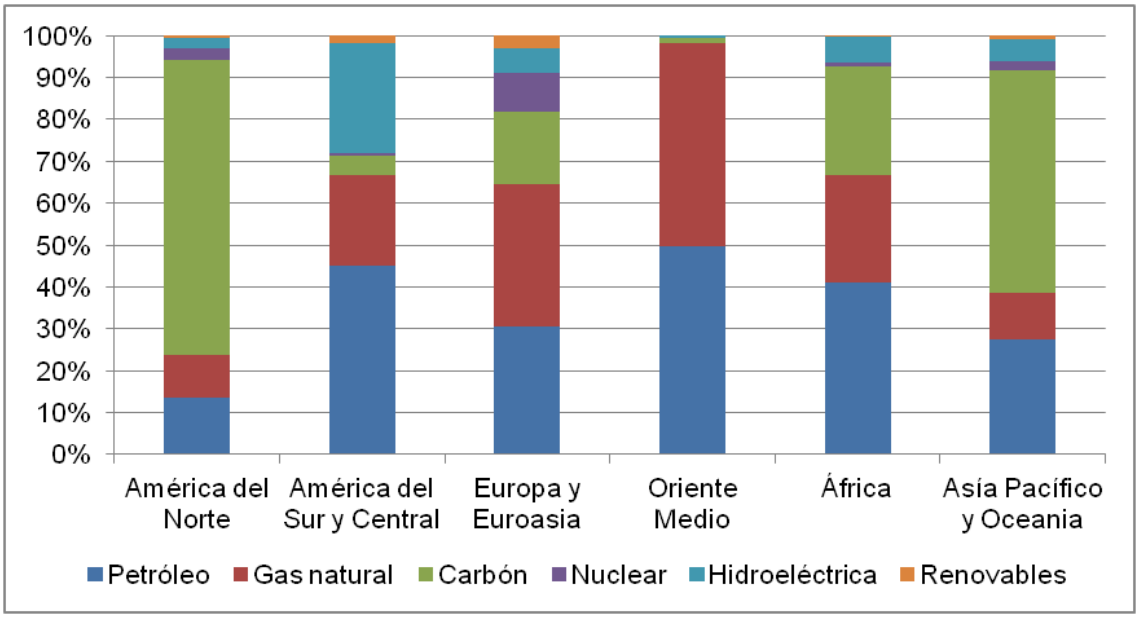


Figura 1-1.- Distribución consumo de energía primaria en el mundo por fuentes, 2011.

(Fuente: B.P Statistical Reviw of World Energy)

La distribución del uso de las mismas varía en función del país de estudio (Figura 1-1), fuertemente relacionado con el grado de desarrollo del país. Las regiones más desarrolladas pueden optar con mayor facilidad de una diversificación de fuentes, haciendo de esta manera el suministro

energético más seguro. De la misma manera, esto significa también que pueden seleccionar fuentes menos contaminantes y más eficientes.

Por otro lado, las zonas menos desarrolladas así como los países emergentes tienen predeterminadas las fuentes primarias a poder usar por factores económicos y geográficos.

Básicamente la diferencia entre regiones se basa en que las zonas más desarrolladas pueden permitirse económicamente tecnologías más avanzadas no sólo para poder obtener suministro energético de otras zonas, sino también para invertir en otro tipo de energías más sofisticadas.

En el caso de España, representado en la Figura 1-2, la energía primaria depende fuertemente de los combustibles fósiles, la mayor parte de ellos importados del exterior. Este hecho genera una gran dependencia energética a otros países, por lo que convendría sustituir el uso de estas energías convencionales por el de energías presentes en el país, como son las energías renovables.

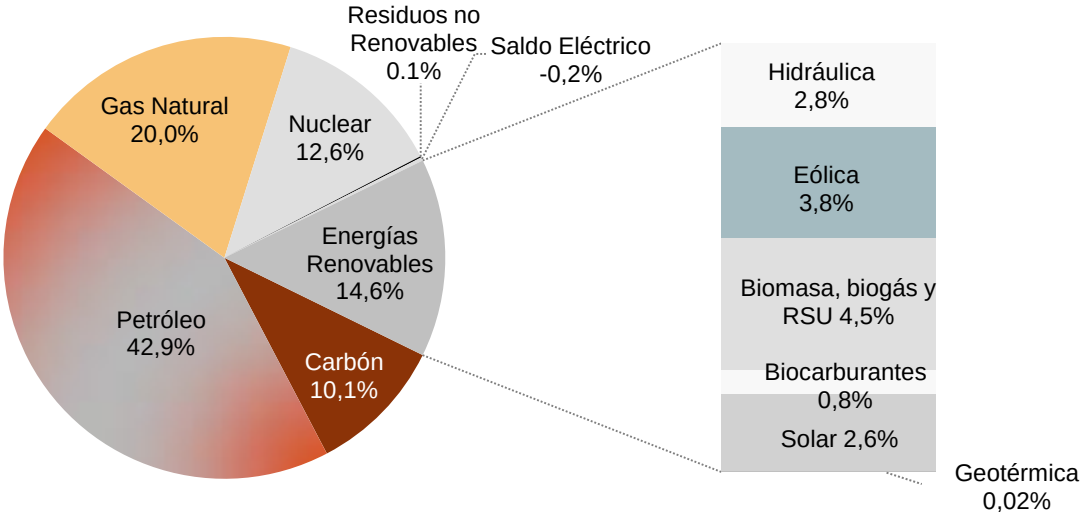


Figura 1-2.- Distribución consumo de energía primaria en España, 2014.

(Fuente: IDAE)

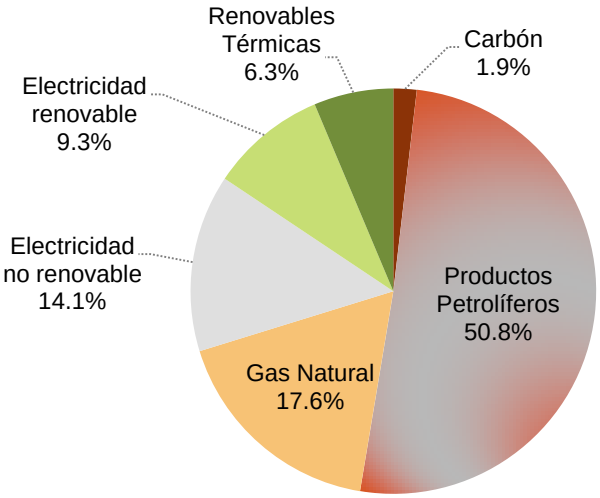


Figura 1-3.- Distribución consumo de energía final en España, 2014.

(Fuente: IDAE)

Para poder utilizar la energía primaria es obligatoria la transformación de esta así como su transporte hasta el punto de consumo, donde es denominada energía final. La distribución de la energía final en España (Figura 1-3), al igual que la primaria, depende fuertemente de los combustibles fósiles prácticamente inexistentes en nuestro país.

En cuanto al consumo de los hogares españoles, con el objetivo de indagar en la energía que aborda este proyecto, se puede afirmar que el consumo medio anual de un hogar español es de aproximadamente 11000 kWh, donde en términos de energía final, el consumo de combustibles es 1.8 superior al consumo eléctrico.

Además dentro del consumo en viviendas, como se puede observar en la Figura 1-4, en España alrededor del 50% estará destinado a la climatización en mayor parte a la calefacción respecto a la refrigeración y cerca de un 20% al consumo destinado al agua caliente sanitaria.

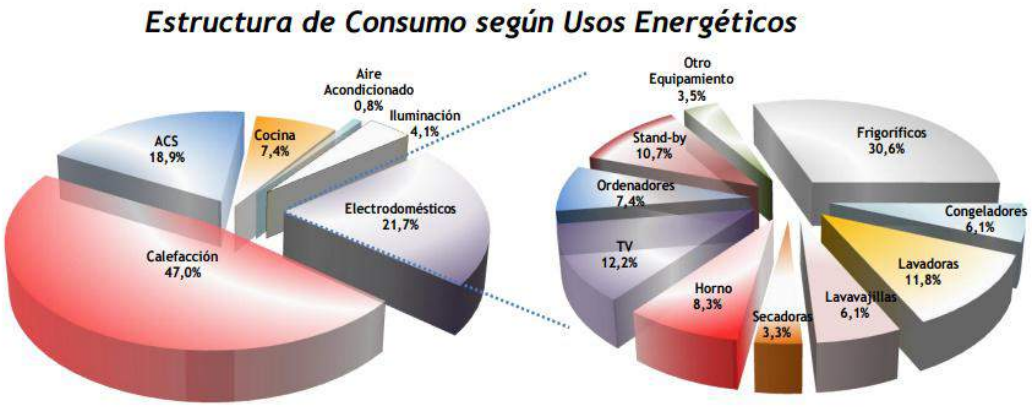


Figura 1-4.- Estructura de consumo según usos energéticos en viviendas.

(Fuente: IDAE. Informe SPAHOUSEC)

1.1.1 Sistema energético actual

Pese a la disminución del consumo de energía tanto primaria como final en España, la tendencia según el Informe de la Agencia Internacional de la Energía para el año 2040 será de un crecimiento en la demanda mundial de energía en todos los escenarios. Creciendo cerca de un tercio de la demanda entre 2013 y 2040, donde menos de un 3% de este crecimiento vendrá de parte de los países que componen la OCDE.

En este auge de demanda, la Unión Europea ha marcado una serie de medidas a tomar que se desarrollan alrededor de: la seguridad de suministro, la preservación del medio ambiente y la competitividad económica. Para ello propone, entre otros, una liberación de mercados, una reducción de emisiones contaminantes y el desarrollo de las infraestructuras de conexión.

En cuanto a política energética, en lo que a España respecta, ésta camina en la misma línea común que Europa, donde intenta principalmente:

- Adquirir autonomía energética, pues España es de los países con mayor dependencia energética de Europa situándose, según el Informe sobre el Estado de la Unión Energética publicado por la Comisión Europea, a 17 puntos por encima de la media de la UE28 dado principalmente a su deficiencia de combustibles fósiles.

- Disminuir el consumo energético por unidad de producto interior bruto. Debido principalmente a que España consume más energía que la media de países europeos.

- Impacto ambiental: cambio climático, lluvia ácida o efecto invernadero. En España existe un elevado nivel de gases de efecto invernadero, derivados generalmente de la generación de electricidad (captación, transformación y uso de la energía) y del transporte.

- Los objetivos establecidos para el año 2020 en España son que al menos un 20% del consumo de energía final al año proceda de fuentes de energías renovables, y que el 10% de la energía usada en transporte proceda también de energías renovables.

1.1.2 Energías renovables

Se consideran, las antes ya nombradas, energías renovables como aquellas tecnologías que usan un recurso energético inagotable a escala humana, como puede ser el caso de la radiación solar, el viento o las mareas.

También se considera renovable el uso de recursos que, si bien no pueden considerarse como inagotables, pueden tener ritmos de reposición superiores o al menos iguales a los de consumo humano, como es el caso de la hidráulica fluyente.

Por el contrario entenderemos como energías no renovables al petróleo, carbón, gas o el uranio, que no pueden renovarse en el subsuelo al mismo ritmo que se utilizan en la generación eléctrica. Además, a medida que las reservas de estas energías son menores, resulta más complicada su extracción aumentando el coste de las mismas.

A pesar de que evaluar el conjunto del potencial de cada una de las fuentes de energía renovable puede tornarse en una tarea complicada, dada la amplia diversidad de la naturaleza de estos recursos, en España el potencial de las energías renovables es muy superior a la demanda energética del país y sobre todo muy superior a los recursos energéticos de origen fósil del que dispone.

Así pues, las energías renovables son el principal activo energético de nuestro país, pero esto no implica que se invierta en ellas todo lo que se podría llegar a invertir. Según la Red Eléctrica de España las energías limpias aportaron en 2015 un 37.1% de la producción eléctrica total. Una disminución de seis puntos con respecto al año anterior, debido principalmente a la eólica y a la hidráulica.

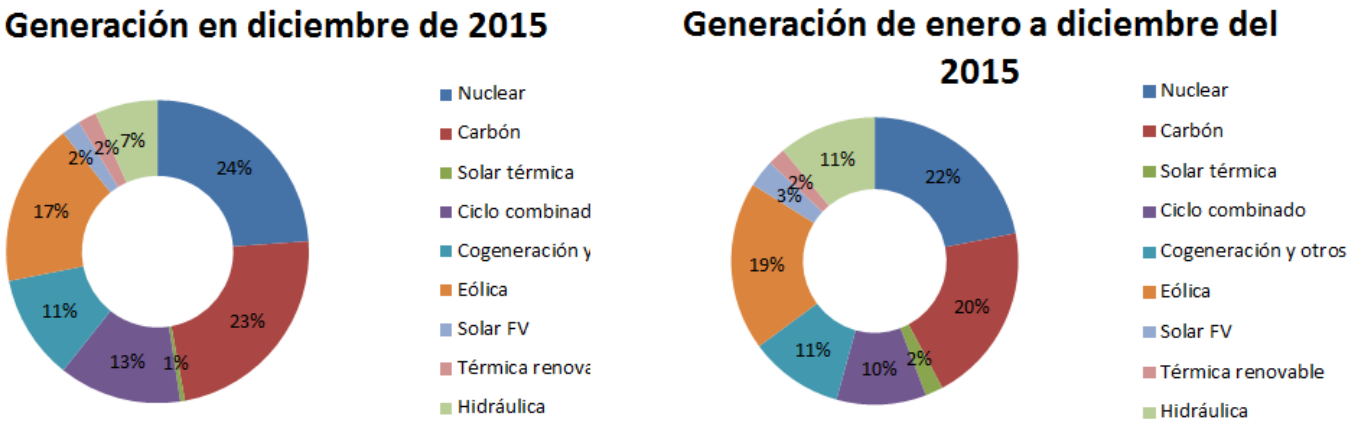


Figura 1-5.- Generación de energía eléctrica en España.

(Fuente: REE)

De esta manera, en la generación de energía eléctrica todavía el 40% proviene de recursos fósiles: carbón y gas. El gas como tal no se aprecia en la Figura 1-5, pero se encuentra en las centrales térmicas de ciclo combinado y en las centrales de cogeneración y otros que también emplean gas natural para generar electricidad.

Este consumo de energía no renovable sigue siendo elevado y en gran parte el responsable principal de las repercusiones ambientales. Los impactos más importantes asociados a esta tecnología se cuentan:

- La lluvia ácida, debida principalmente a la quema de combustibles fósiles. La quema libera dióxido de azufre (SO_2) y óxidos de nitrógeno (NOx) que reaccionan con el agua, el oxígeno y otras sustancias presentes en la atmósfera formando soluciones diluidas de ácido nítrico y sulfúrico. La precipitación de estas diluciones es lo que conocemos como lluvia ácida.

- El cambio climático, donde el CO_2 causado por el hombre en la combustión de recursos no renovables es el responsable del 63% del calentamiento global. Por otro lado, entre los gases de efecto invernadero que aunque se emitan en menor cantidad son muchos más eficaces que el CO_2 a la hora de retener calor, se tiene el metano (CH_4) responsable del 19% del calentamiento global de origen humano y el óxido nitroso, del 6%.

Con la vista puesta en el freno de estas repercusiones ambientales, las tecnologías a partir de los recursos renovables juegan un papel fundamental en la política energética, presentando una alternativa ventajosa desde el punto de vista ambiental frente a las opciones convencionales.

1.2. Energía solar

Dentro de las energías renovables aquella con mayor potencial de aprovechamiento en España, por su localización geográfica, es la energía solar, definiéndola como la obtenida gracias al aprovechamiento de la radiación electromagnética proveniente del Sol.

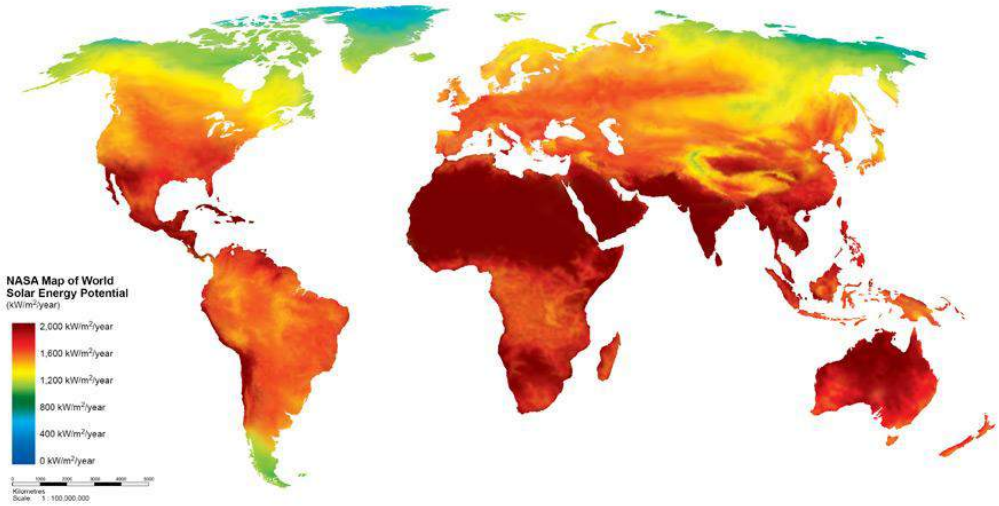


Figura 1-6.- Energía solar en potencia mundial.

(Fuente: NASA)

1.2.1. Radiación Solar

El Sol es una estrella constituida por una mezcla de gases, fundamentalmente los gases nobles Hidrógeno en un 70% y Helio en un 27%. En el núcleo de la misma, único lugar que alcanza la temperatura suficiente, se producen una serie de reacciones de fusión nuclear mediante una pérdida de masa que se transforma en energía.

A efectos prácticos se puede considerar al Sol como una esfera que emite radiación a través del espacio. Esta radiación que alcanza la superficie exterior de la atmósfera recibe el nombre de radiación extra-atmosférica y es prácticamente unidireccional ya que en el espacio no existe materia con la que la radiación pueda interaccionar.

De esta manera, al atravesar la atmósfera la radiación solar interacciona con diversos componentes:

- Fenómenos de reflexión en las nubes.
- Fenómenos de dispersión en gotas de agua o polvo en suspensión.
- Fenómenos de absorción en el ozono, vapor de agua, oxígeno o dióxido de carbono.

Como consecuencia de estas interacciones la radiación solar final que llega a la superficie terrestre lo hace con una potencia inferior a la extra-atmosférica antes definida. Además esta radiación ya no es unidireccional y únicamente "directa" (procedente del Sol), sino que también presenta otra componente determinada "difusa", la cual proviene de todas las direcciones de la esfera celeste. Por último, cabe definir la radiación proveniente del reflejo con el suelo que es el denominado efecto "albedo".

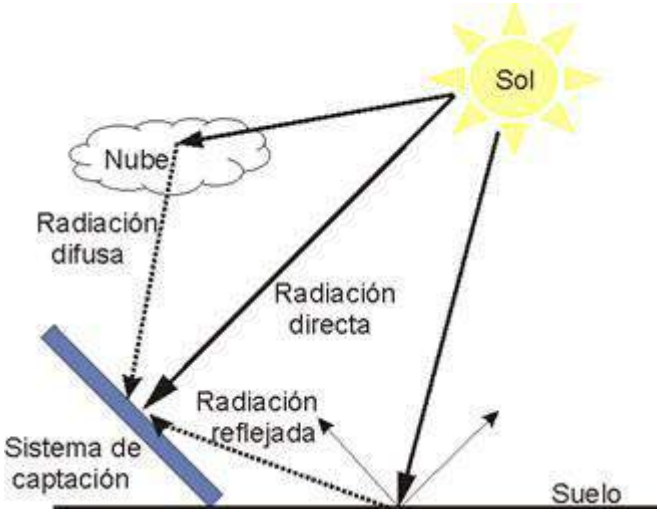


Figura 1-7.- Tipos de radiación

(Fuente: Sistema híbrido eólico-fotovoltaico (SHEFV) de baja potencia, monografñias.com)

Se puede concluir que la "radiación global" no es más que el sumatorio de estas tres componentes: directa, difusa y de albedo, representadas en la Figura 1-7.

La radiación solar puede ser expresada con unidades tanto de potencia como de energía. De esta forma, se considerará irradiancia a la potencia radiante que incide sobre una unidad de superficie, expresándose en el SI en kW/m^2, y a la irradiación, en términos de energía, como la potencia por unidad de tiempo incidente sobre una unidad de superficie con kWh/m^2 como sus unidades en el Sistema Internacional.

Estos niveles de radiación dependerán de la posición del Sol respecto al lugar donde se construya la instalación y la inclinación con la que incidan. Así pues para el posicionamiento relativo del Sol desde la superficie terrestre hay que tener en cuenta los dos movimientos de la Tierra: de rotación sobre sí misma y de traslación alrededor del Sol.

En su movimiento de traslación la Tierra describe una órbita elíptica, lo que implica que varíe su distancia con respecto al Sol no manteniéndose constante a lo largo del año. Cabe destacar que las variaciones de la distancia Sol-Tierra a lo largo del año no determinan el clima ni la radiación solar recibida en un determinado lugar.

Al mismo tiempo, la Tierra rota alrededor de su eje polar inclinado 23.45^{o} a una vuelta por día. Esta inclinación constante es el hecho que realmente determina la duración de los días a lo largo del año y la elevación que alcanza el Sol en el cielo.

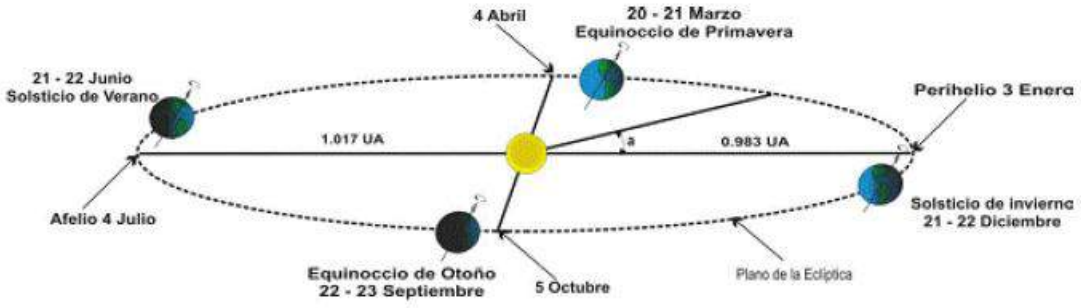


Figura 1-8.- Órbita de la Tierra alrededor del Sol e inclinación del eje polar.

(Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios Ambientales)

Teniendo en cuenta estos dos movimientos de la Tierra, hay cuatro días que destacan en el año remarcados en la Figura 1-8:

- Perihelio: día en el que la Tierra se encuentra en el punto más cercano al Sol. Suele darse a comienzos del mes de Enero.
- Afelio: día en el que la distacia entre la Tierra y el Sol es máxima. Este dia tiene lugar a comienzos de Julio.
- Solsticio de Invierno: se trata del día más corto del año. En el hemisferio norte se da a finales de Diciembre y se corresponde con el día en el que Sol alcaza su mínima altura en el cielo.
- Solsticio de Verano: en contraposición se trata del día más largo, se da a finales de Junio y se corresponde con el día en que Sol alcanza su máxima altura en el cielo.

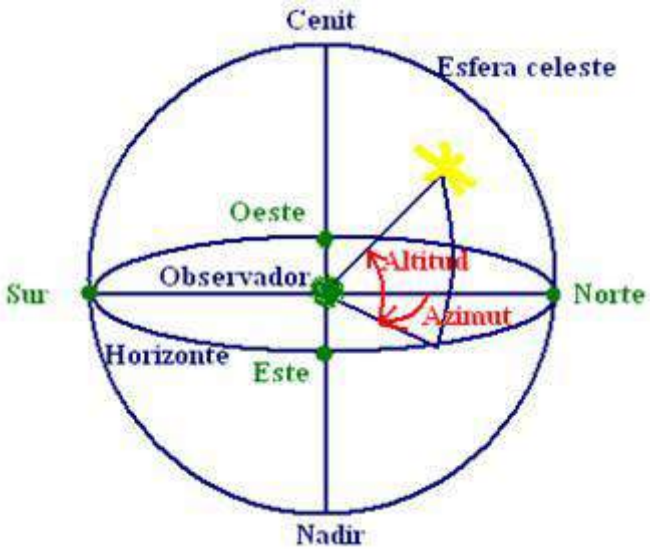


Figura 1-9.- Ángulos solares.

(Fuemte: Año de la astronomía. Medición de la altura de un astro, El rincón de la ciencia)

El tiempo que el Sol permanece en el horizonte, así como la altura que es capaz de alcanzar quedan determinadas mediante dos ángulos que son: la altura solar y el azimut.

- La altura solar o elevación es el ángulo formado por la horizontal del lugar con la dirección del Sol.

- El acimut es el ángulo que produce la proyección del Sol sobre el plano horizontal con el sur. Se considerará al acimut negativo hacia el Este y positivo hacia el Oeste.

1.2.2. Aprovechamiento radiación

La energía solar puede ser captada con la finalidad de obtenerse tanto calor como electricidad. Esto se lleva a cabo de dos maneras: térmica o fotovoltaica, cuyos procesos no se asemejan en su aplicación ni en la tecnología empleada.

1.2.2.1. Sistema de aprovechamiento eléctrico

El aprovechamiento eléctrico viene de la mano de la denominada energía solar fotovoltaica. Esta consiste en la transformación directa de energía solar en energía eléctrica gracias al efecto fotovoltaico: al incidir radiación solar, ya sea directa o difusa, sobre las células fotovoltaicas, se produce un flujo de electrones que genera electricidad.

Las células fotovoltaicas encargadas de producir la transformación suelen estar fabricadas de silicio, germanio o selenio, siendo las primeras las más comunes. Dependiendo del tratamiento que se le dé al silicio puro en su cristalización se obtendrán diferentes tipos de células con diferentes rendimientos. Ordenando su rendimiento de mayor a menor tendremos: células de silicio monocristalino, policristalino y amorfo.

Este tipo de energía es muy ventajosa para sistemas sin acceso a red, denominados sistemas aislados, ya que su uso implica la posibilidad de poder disponer de electricidad o aunque cada vez más complicado en España, verter el excedente de electricidad producida a la red.

1.2.2.2. Sistemas de aprovechamiento térmico

La energía que se corresponde con este tipo de sistemas es la conocida como energía solar térmica y se define como el aprovechamiento de la radiación solar para producir calor mediante el calentamiento de un fluido de trabajo.

El aprovechamiento térmico se puede clasificar en tres modalidades diferentes según el rango de temperatura con la que se trabaja en la instalación.

- Energía solar térmica de baja temperatura:

Se conoce como baja temperatura cuando se aprovecha la energía solar en un rango entre 35ºC y 90ºC. En este caso se capta la energía mediante colectores planos, intercambiadores de calor que transforman la radiación solar en energía térmica al aumentar la temperatura del fluido de trabajo que circula por su interior.

Entre sus principales aplicaciones destaca su uso en la edificación o industria para la producción de agua caliente sanitaria, climatización solar tanto calefacción como refrigeración y calentamiento de piscinas.

- Energía solar térmica a media temperatura:

En este caso se trabaja con temperaturas que oscilan entre 90ºC y 200ºC, gracias a los denominados colectores de concentración, ya sean tanto cilindro-parabólicos como heliostatos. Estos colectores sólo trabajan con la radiación directa, luego no serán útiles en aquellas zonas en las que no haya niveles de insolación suficientes.

Las aplicaciones de este tipo de instalaciones suelen ser de nivel industrial, ya sea para la producción de electricidad a pequeña escala, producción de vapor o desalinización del agua de mar.

- Energía solar térmica de alta temperatura:

Se habla de alta temperatura cuando la temperatura de trabajo alcanza y supera los 400ºC. Este tipo de instalaciones reciben el nombre de centrales termosolares y están compuestas básicamente de un campo solar que refleja la radiación solar dirigiéndola hacía el concentrador. Este concentrador guiará la energía hacia el receptor encargado de llevarla al respectivo bloque de potencia donde se termina produciendo la energía eléctrica.

Figura 1-10.- Central Termosolar PS10, Sanlúcar la Mayor, Sevilla.

(Fuente: ABENGOA)

1.2.3. Ventajas e inconvenientes

Se pueden enumerar diversas ventajas de la energía solar frente a las conocidas como convencionales. Entre ellas destaca:

- No contamina. Está considerada perteneciente al grupo de energías "verdes" por su respeto al medio ambiente ya que no implica emisiones de dióxido de carbono o cualquier otro gras nocivo para la atmósfera.

- Proviene de una fuente inagotable, el Sol. Esto implica que no haya preocupaciones políticas o sociales por la adquisición de suministro.

- A medida que la tecnología en este sector se va desarrollando el coste de dichos sistemas va disminuyendo. Además prácticamente consta de una inversión derivada del coste inicial de la instalación, al contrario que las instalaciones de energías convencionales que necesitan de combustibles fósiles cuyo precio aumenta con el paso del tiempo debido a su escasez.

- Fomenta la creación de puestos de trabajos ya sea para el diseño o fabricación de las células fotovoltaicas o los paneles solares, así como para realizar la instalación, ponerla en marcha y mantenerla en buenas condiciones.

Por otra parte, independientemente del impacto estético, la energía solar presenta todavía algunos inconvenientes. Aunque en contraposición de las energías convencionales, para gran parte de ellos pueden tomarse medidas:

- El nivel de radiación varía en función de la localización geográfica, de la hora del día y del mes del año en el que se capte. Por este motivo no se puede tener la entera certeza de la cantidad de energía solar disponible a priori, teniendo que recurrir a suposiciones basadas en análisis de los datos tomados años anteriores.

- Para implementar este tipo de energía a gran escala se necesitan unas grandes extensiones de terreno.

- Pese a que el desembolso inicial suele recuperarse en los primeros años de vida de la instalación, la fuerte inversión inicial suele desalentar a los consumidores.

- A niveles más medianos o incluso pequeños la mayoría de las veces estas instalaciones deben complementarse con otro tipo de energía, como por ejemplo el caso de la unión de la energía fotovoltaica con grupos electrógenos, por motivo de fluctuaciones de radiación, evitando así la necesidad de grandes y costosos sistemas de acumulación.

- Los lugares que disponen de una mayor radiación y por tanto las mejores zonas para aprovechar esta energía suelen ser lugares desérticos, pobres y alejados, donde la falta de recursos impide el uso de esta energía para fines agrícolas o industriales entre otros.

1.1.3 Situación en España

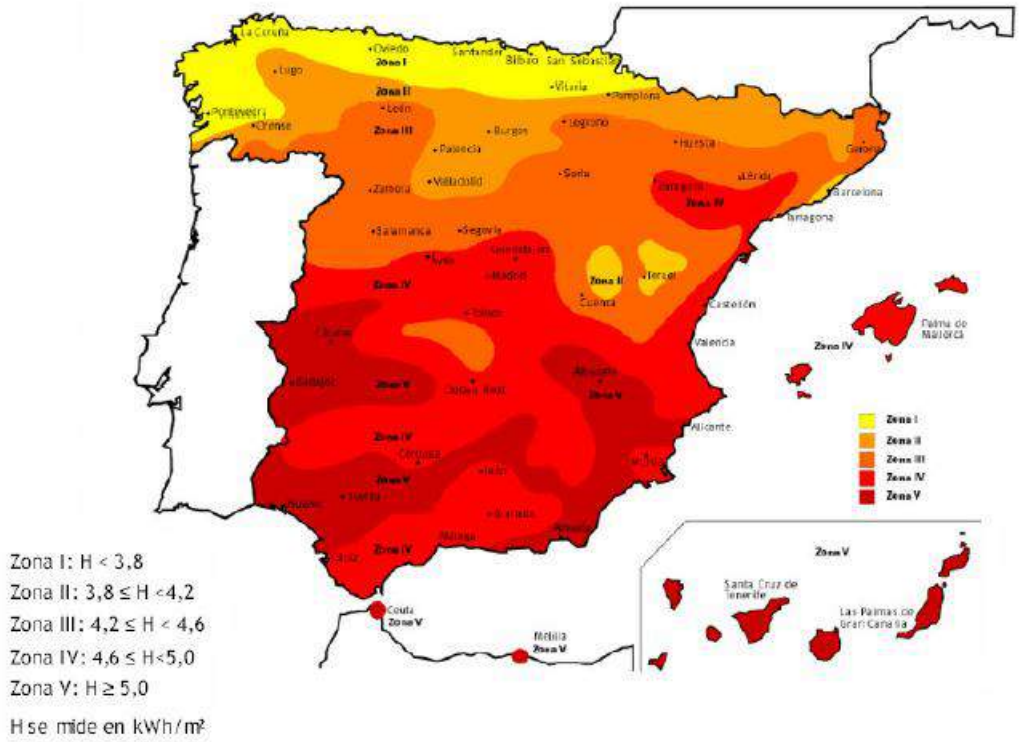


Figura 1-11.- Mapa de radiación solar de España, por valor medio anual de irradiación global diaria sobre superficie horizontal (Fuente: IDAE)

España es un país con gran potencial para el aprovechamiento de la energía solar, pues recibe un nivel de irradiación de 1600 kWh/m^2 al año sobre superficie horizontal, situándose a la cabeza de Europa.

Dada la ventaja en materia prima frente al resto de países, España fue de las primeras potencias en este tipo de energía tanto en investigación como en desarrollo y aprovechamiento. A esto cabe añadir que en los comienzos de esta andadura la legislación del país era favorable a la explotación de esta nueva energía.

Así en 2008 fue uno de los países con más potencia fotovoltaica instalada en el mundo, contando con 2708 MW instalados en ese año.

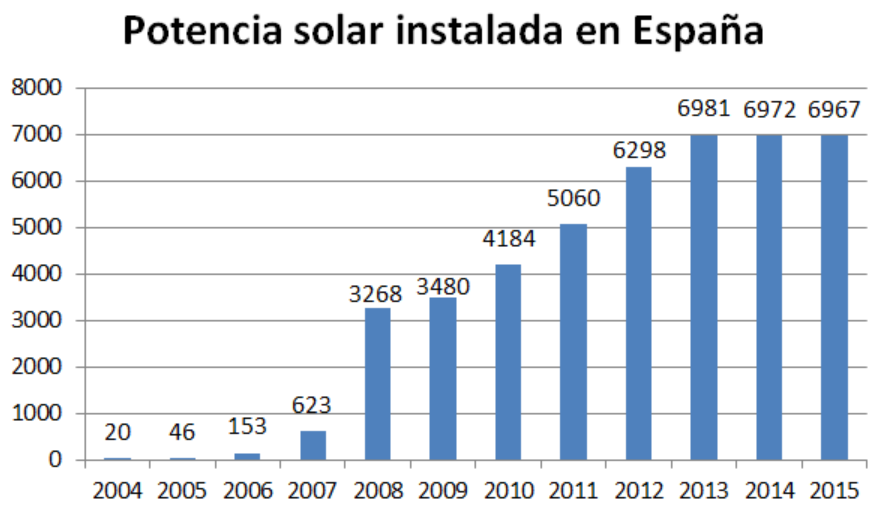


Figura 1-12.- Potencia solar instalada en España.

(Fuente: REE)

Desafortunadamente para esta tecnología las diversas regulaciones legislativas que desde un tiempo a esta parte han ido fraguando en el país, sumado a la crisis económica en la que se ha visto sumido, han hecho que él mismo haya frenado el auge de esta energía.

Al igual que la energía fotovoltaica, la energía solar térmica ha presentado una evolución análoga en el país, como se puede apreciar en la Figura 1-13.

En 2005, se realizó un Plan de Energía Renovable de cara al 2010, en el que se trataban las barrearas detectadas para el desarrollo del sector térmico con el objetivo de darle una solución a todas y cada una de ellas, solventando así las carencias que hacían de esta energía y convirtiéndola en puntera.

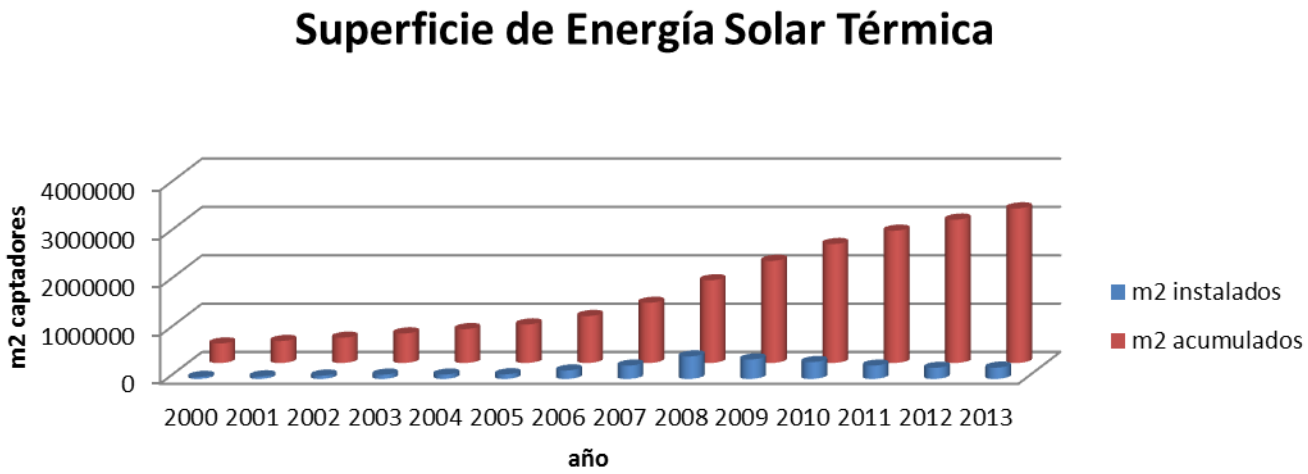


Figura 1-13.- Superficie de Energía Solar Térmica en España

(Fuente: ASIT)

Estas barreras se clasificaron según el ámbito de aplicación en aspectos económicos, aspectos tecnológicos, aspectos normativos y aspectos sociales. De ahí que se decidieran tomar medidas para hacer frente a:

- Rentabilidad insuficiente si no se complementa con ayuda a la inversión.
- Falta de incentivos fiscales.
- Falta de existencia de una normativa técnica sobre instalaciones de ámbito general.
- Necesidad de difusión a usuarios potenciales, ayuntamientos, formación a técnicos municipales y a quienes prescriben (arquitectos, promotores, etc.).
- Falta de documentación técnica para llevar a cabo el diseño de las instalaciones, de profesionalización y formación del sector de instalaciones y mantenedores.
- Bajo grado de mecanización de la fabricación de captadores.

Pero al final, pese a las medidas tomadas y al importante aumento de superficie solar térmica hasta el año 2008, las inversiones comienzan a caer con una evolución semejante a la energía fotovoltaica, denjando una situación actual Española marcada por la no liberalización del mercado energético, que junto a las restricciones y las cada vez más inexistentes ayudas a las energías renovables, es un tanto contradictoria con los objetivos que la Unión Europea tiene para impulsar este tipo de energías limpias.

2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN SOLAR

Tras lo apuntado acerca de la energía solar térmica de baja temperatura, la cual es la que se va a abordar en este proyecto, se puede afirmar que ofrece una solución idónea para satisfacer las necesidades energéticas que puedan llegar a surgir en el sector residencial. Esta tecnología, que también recibe el nombre de conversión térmica a baja temperatura, dado que el fluido no alcanza temperaturas superiores a los 100ºC. Se trata de una alternativa no sólo madura y bastante desarrollada, sino también rentable a largo plazo.

El aprovechamiento directo de la energía solar se consigue gracias a las instalaciones solares. Estas instalaciones tienen un interés común, pues no importa la aplicación final a la que vayan destinadas, su finalidad es el calentamiento de un fluido de trabajo que suele ser el agua. Así pues independientemente de que esta agua luego sea usada para el consumo de ACS o la producción de calor o frío para climatizar, todas estas instalacionescoinciden en que tendrán un esquema base semejante.

2.1. Descripción de la instalación base

2.1.1 General

Al comienzo de esta tecnología estaba permitido que las instalaciones fueran directas de circuito abierto, en otras palabras, la propia agua de red era la que circulaba por los captadores solares para ser calentada allí directamente y posteriormente ser consumida por el usuario. Esta configuración presentaba claros inconvenientes, no sólo de funcionamiento sino principalmente de higiene y durabilidad, por lo que en la actualidad está prácticamente prohibido en todo el mundo.

Por este motivo, a día de hoy, los sistemas termosolares en su inmensa mayoría están compuestos por circuitos cerrados e independientes como los representados en la Figura 2-1. De esta manera el agua de consumo no pasa por los colectores, siendo un fluido caloportador el que cumple esa misión al aumentar su energía térmica.

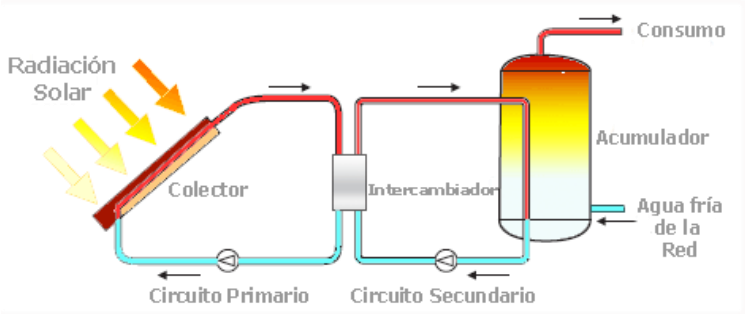


Figura 2-1.- Esquema general de la instalación

(Fuente: Energía solar térmica, solar-energía.net)

Independientemente de esos dos circuitos, cada instalación particular necesitará de diferentes circuitos que lleven al agua caliente hasta el punto de consumo como puede ser la ducha, o hasta la máquina encargada de con ella producir frío o calor.

2.1.1.1 Circuito primario o solar

El circuito primario es el compuesto por el sistema de captación y parte del sistema de intercambio de calor. El fluido que circula por este circuito suele ser un fluido caloportador con presencia de anticongelante, para evitar las heladas. Él mismo será el encargado de absorber la radiación solar mediante su paso por el campo de captadores. Como consecuencia, una vez que haya aumentado su energía térmica, el fluido caloportador será el encargado de cederla gracias al intercambiador de calor al circuito secundario.

Además, este circuito suele estar formado también por una bomba y un vaso de expansión.

- El uso de una bomba se debe a que el fluido caloportador necesita habitualmente forzar su circulación con la finalidad de nuevo de evitar heladas, así como de asegurar la correcta transferencia térmica entre el sistema de captación y acumulación.

- El vaso de expansión será necesario para absorber la dilatación de volumen que sufra el fluido caloportador dadas sus continuas variaciones de temperatura.

2.1.1.2 Circuito secundario o auxiliar

El circuito secundario es el compuesto en este caso por la otra parte del sistema de intercambio de calor, el sistema de acumulación, y en este caso su finalidad es calentar el agua de red. Para ello, el fluido que circula por este circuito es el agua de red que previamente entra por la parte baja del depósito de acumulación.

La mezcla de fluido en la parte baja del depósito, correspondiente a la parte más fría del mismo, es impulsada mediante bombas al intercambiador de calor, donde el fluido caloportador del circuito primario le transferirá su energía térmica retornando al depósito, esta vez, por la parte superior.

En la parte de arriba de este se sitúa la salida hacia, en caso de que lo hubiera, sistema auxiliar. Así la acumulación de agua caliente permitirá almacenar energía térmica de aquellos momentos en los que la irradiación sea más elevada para consumirlo posteriormente en los picos de demanda.

2.1.2 Elementos de la instalación

2.1.2.1 Sistema de captación solar

El sistema de captación solar es el encargado de transformar la radiación solar incidente en energía térmica mediante el aumento de la temperatura del fluido caloportador. Este sistema está formado por el campo solar, compuesto por colectores solares interconectados entre sí. Así pues, la finalidad de estos colectores es captar la energía solar proveniente de la radiación y transferirla al fluido de trabajo.

De forma general en el mercado existen dos tipos fundamentales de captadores: el captador solar plano y el captador solar de tubos de vacío. Aunque se utilicen para diferentes aplicaciones, tienen el mismo principio de funcionamiento.

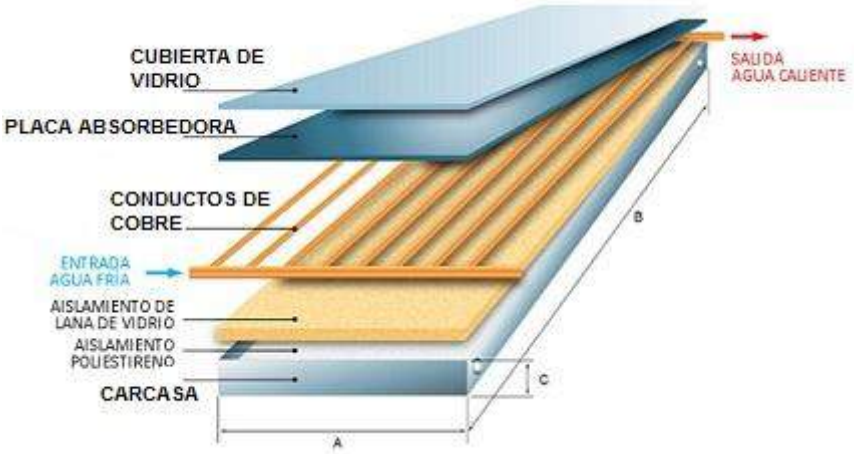


Figura 2-2.- Captador solar plano.

(Fuente: Tutorial188, ingemecanica.com)

- Captador solar plano:

Este tipo de colectores es el más extendido en la energía solar térmica de baja temperatura. Se basan en aprovechar la radiación conjugando el efecto de un cuerpo negro con el efecto invernadero, en otras palabras, los captadores tratan de absorber la mayor cantidad de radiación posible pero al mismo tiempo no emiten al exterior, produciéndose una acumulación de calor que será la que se le transfiera al fluido caloportador. Este efecto puede conseguirse por la configuración de los elementos de los que están compuestos los paneles. Estos elementos son:

- Cubierta: interesa que sea completamente transparente a la radiación solar, para permitir de esta manera su paso hasta el absorbedor. La finalidad de la cubierta es impedir que la radiación que emite el absorbedor salga al exterior, así quedará atrapada dentro del colector. Además, lo protege del exterior evitando las pérdidas por convección que tendría con el ambiente.

  Las cubiertas pueden ser de diversos materiales, pero interesa que tenga un comportamiento que permita cumplir sus funciones. Para ello hay que tener en cuenta la variación de sus parámetros con respecto a la longitud de onda, interesando por ejemplo los vidrios blancos, que se caracterizan por ser pobres en Fe_2O_3 y presentar una alta transmisividad para bajas longitudes de onda.

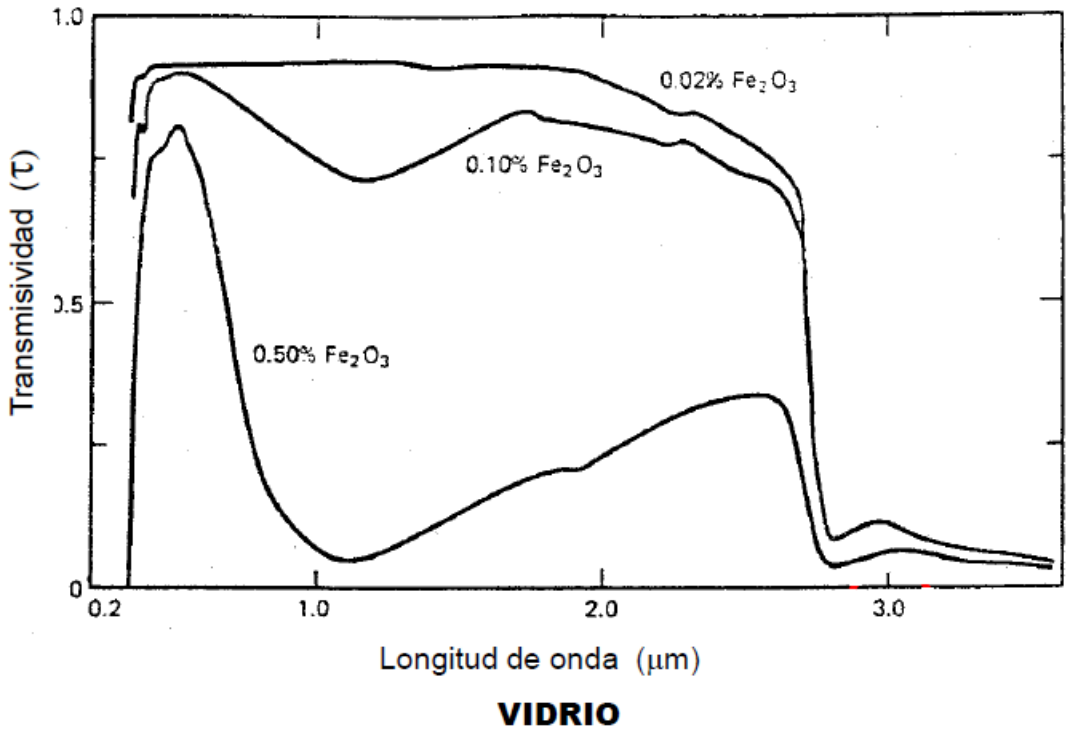


Figura 2-3.- Propiedades vidrios para cubiertas.

(Fuente: Apuntes Universidad de Sevilla)

- Absorbedor: se basa en una placa metálica que es la verdadera encargada de transformar la radiación solar recibida a través de la cubierta y transferirlo al fluido caloportador. Este fluido caloportador puede circular por la superficie del absorbedor con distintas configuraciones, como se muestra en la Figura 2-4:
  - Placa
  - Parrilla
  - Serpentín

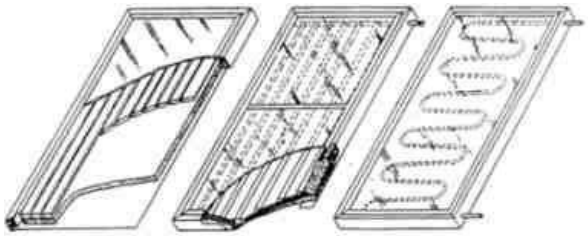


Figura 2-4.- Tipos de circulación del fluido caloportador

(Fuente: Colector solar, mmtd, Universidad del País Vasco)

Aunque desde el punto de vista de la transmisión de calor lo más eficiente sería que se moviera por la placa, esta opción no es apta por lo que a la mecánica de fluidos respecta, no tolerando altas presiones. Por otra parte, en las distribuciones de placa y tubo se tiene mayor pérdida de carga asociada a que el fluido atraviesa una sección de paso. Luego, dado que interesa un campo de temperaturas lo más homogéneo posible, los más utilizados son los tubos en configuración parrilla, con un equilibrado mediante retorno invertido con el fin de garantizar que circule el mismo caudal por cada uno de los tubos.

En la placa se pueden llegar a alcanzar altas temperaturas, lo que la convierte en un emisor de radiación infrarroja generando pérdidas en el sistema. De ahí la importancia del material del que esté compuesto el absorbedor, ya que debe ser aquel que posea una alta absortancia para baja longitud de onda, para captar mucha radiación, y baja emisividad para alta longitud de onda. Para cumplir estos requisitos se suelen emplear materiales selectivos, que son aquellos que presentan un comportamiento variable a lo largo de la longitud de onda del espectro solar.

- Aislamiento térmico: su función es la de disminuir las pérdidas térmicas del absorbedor al entorno. La razón por la que existen estas pérdidas radica en que el absorbedor se encuentra a temperaturas superiores a las del ambiente y para ello suele colocarse una lámina de aislante entre la parte posterior y la caja.

  La zona por la que se produce la captación de radiación, la cara superior, no se aísla pues estas pérdidas son amainadas por el efecto invernadero.

La capacidad para impedir las fugas de calor depende fuertemente de las propiedades del aislante, siendo los más utilizados la lana de roca, la lana mineral y la fibra de vidrio.

- Caja: es el elemento que contiene todos los componentes del colector. Su función más importante es asegurar la estanqueidad en el colector, uniéndolo a la perfección a modo de prevenir la entrada de aire externo, que generaría pérdidas por convección, o impedir la entrada humedad y polvo.

  La caja tiene que ser capaz de soportar las condiciones ambientales a las que esté expuesta por lo que debe estar hecha con materiales de buena calidad resistentes a la corrosión y sobre todo al paso del tiempo.

- Colectores de vacío:

Figura 2-5.- Colectores de vacío.

(Fuente: Tutorial188, ingemecanica.com)

Están formados por un conjunto de tubos de vidrio transparentes colocados en paralelo. Cada tubo dispone de otro tubo concéntrico en su interior, que se trata del elemento absorbedor del captador. Al igual que en los captadores planos, el absorbente se tratará de un material metálico, preferentemente con propiedades selectivas.

Entre estos dos tubos se realiza vacío de aire, lo que consigue eliminar las pérdidas por convección y conducción interna dado a la ausencia de aire en su interior que pueda transferirlas.

Al disminuir el coeficiente de pérdidas, el rendimiento que presentan los captadores de vacío frente a los captadores planos es superior. Como causa de esto, alcanzan temperaturas más altas, por lo que son más recomendables para instalaciones en las que se necesiten importantes saltos térmicos como calefacción o generación de frío por absorción.

Otra ventaja de este tipo de captadores es que se adaptan mejor en cuanto a inclinación y orientación, aumentando también el rendimiento en este aspecto.

2.1.2.2 Sistema de acumulación

El sistema de acumulación se encarga de almacenar la energía térmica generada en el sistema de captación en forma de agua caliente.

Todas las instalaciones de este tipo necesitan de un sistema de acumulación de energía por la necesidad de solventar el desfase horario existente entre la radiación solar y el consumo. De esta manera, se podrá acoplar en el tiempo la oferta de radiación solar con la demanda de agua caliente, calefacción o refrigeración.

El uso de este sistema hace que la instalación tenga un funcionamiento más homogéneo, ya que permite conservar en el depósito el agua caliente hasta esta que sea demandada. De esta manera se reduce la potencia necesaria para la producción, siendo inferior a la que se requeriría en el caso de que la producción fuera instantánea.

La acumulación de energía térmica debe de realizarse con la mayor eficiencia posible. En este caso, la eficiencia del sistema vendrá fuertemente marcada por la estratificación de temperaturas en el depósito y por las pérdidas térmicas.

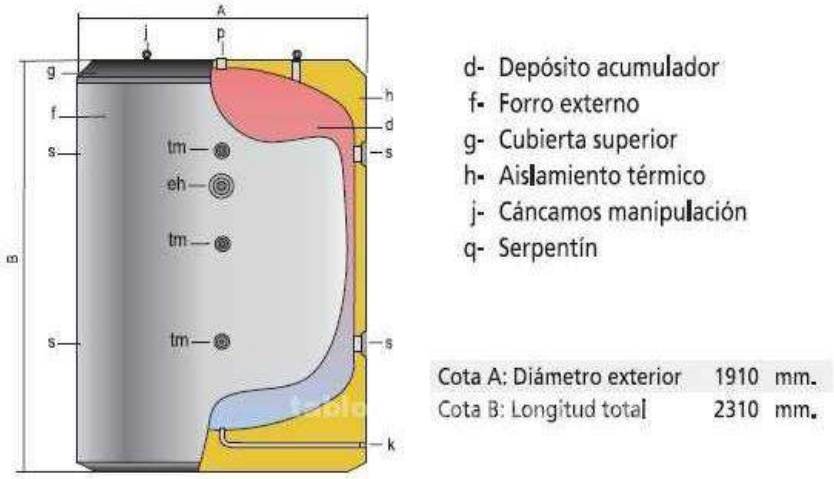


Figura 2-6.- Depósito acumulador

(Fuente: LAPESA)

En primer lugar, cuando un depósito sufre estratificación la temperatura del agua que contiene es función de la altura del mismo. Su explicación es sencilla y se basa en la diferencia de densidades. La densidad del agua caliente es inferior a la del agua fría, por ello tiende a ascender hasta la parte alta del depósito quedando este estratificado.

De este modo a medida que la estratificación de temperaturas aumente la eficiencia de la instalación crecerá también. Este incremento de eficiencia viene de la mano de dos consecuencias directas de la estratificación, que son:

- Gracias a ella se consigue enviar el agua de consumo lo más caliente posible, ya que esta se encuentra en la parte alta del depósito donde se localiza la toma de consumo. Esto permite retrasar la activación del sistema de apoyo en caso de que hubiere.

- Por el contrario, el agua que está almacenada en la parte inferior del acumulador, por ende la más fría, es la que será entregada al intercambiador haciendo que el fluido caloportador del circuito primario llegue a los captadores a la temperatura más baja posible. El hecho de tener una temperatura baja a la entrada de los captadores aumenta el rendimiento de los mismos.

En segundo lugar, hay que tener en cuenta que la temperatura de acumulación en este tipo de instalaciones puede llegar a unos 100ºC, por lo que las perdidas térmicas hacia el ambiente no son ni mucho menos despreciables.

Con el objetivo de minimizar estas pérdidas térmicas tanto el acumulador como las tuberías y bocas de conexión suelen ir revestidos con material aislante, adecuado a las temperaturas que se puedan llegar a alcanzar en cada caso. Si el depósito estuviera situado en el exterior, debe de resistir a la posible humedad del entorno y a la propia radiación solar o en caso de que tuviera algún tipo de recubrimiento exterior este también debería resistir estos factores.

Además del recubrimiento de material aislante, los depósitos acumuladores pueden recubrirse con una funda que incrementará su durabilidad.

Para la producción exclusiva de agua caliente sanitaria, el material más empleado en depósitos acumuladores es el acero galvanizado. Este está algo limitado por la temperatura, pues la máxima a la que puede almacenar es a 60ºC. Por ello, el acero inoxidable o el acero vitrificado serían una mejor opción en el caso de que la instalación tuviera que soportar mayores temperaturas.

2.1.2.3 Sistema de intercambio de calor

El sistema de intercambio de calor es el encargado de transferir la energía captada por el fluido caloportador proveniente de la radiación solar, que circula por el circuito primario, al agua de red que circula por el circuito secundario.

Está compuesto por el intercambiador de calor, que a diferencia de las instalaciones convencionales en las que suele usarse, en este tipo las temperaturas de trabajo tanto a la entrada como a la salida del mismo no se mantienen constantes. Estas temperaturas vendrán marcadas por la radiación solar del momento así como por la demanda de agua caliente.

El intercambiador de calor de estas instalaciones tiene una doble función, y es que permite aislar circuitos, ya sea el primario del secundario, independizar el de consumo o incluso ambas funciones. El hecho de aislar circuitos deriva múltiples ventajas:

- Limita la presencia de cal en el circuito primario, ya que por este no circulará agua proveniente de la red.

- De la misma forma, disminuye el riesgo de corrosión existente en los circuitos cerrados porque se limita el contenido de oxígeno disuelto en el agua. El oxígeno presente en el agua es una de las principales causas de la corrosión, por lo que hay que tomar precauciones con respecto al material empleado en cada circuito.

- Permite el uso de mezclas que contengan anticongelante para el fluido caloportador en el circuito primario. Así se previene la posible congelación en los elementos situados a la intemperie, como puede ser el fluido que recorre los captadores solares en aquellas localidades en las que se alcancen temperaturas inferiores a las del punto de congelación del agua.

En la Figura 2-1 ejemplo de caso base se ve un intercambiador de calor independiente del depósito acumulador pero en las instalaciones solares puede encontrarse el intercambiador de calor dentro del depósito. Luego, según dónde se ubique el intercambiador de calor podemos clasificarlos en:

- Intercambiadores interacumuladores: Este tipo de intercambiador suele ser recomendable para instalaciones pequeñas, ya que las pérdidas de carga asociadas a ellos son menores respecto a los intercambiadores externos. El uso de este tipo de intercambiador implica que no exista circuito secundario, ya que el fluido del circuito primario llega hasta el depósito acumulador generalmente de dos maneras diferentes:

    - Intercambiador tipo serpentín: consiste en un tubo, habitualmente de cobre, acero inoxidable o acero vitrificado, arrollado en espiral situado en la parte inferior del acumulador. En el interior del tubo circula el fluido caloportador proveniente del sistema de captación, realizando la transferencia de calor por conducción al agua del depósito. El fluido caloportador está en circulación forzada, mientras que en el exterior, la renovación del fluido en contacto con el serpentín se hace por convección natural.

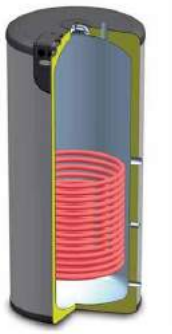


Figura 2-7.- Intercambiador intercamulador tipo serpentín.

(Fuente: Interacumulador Domusa SANIT 300, gasfriocalor.com)

- Intercambiador de doble envolvente: en este sistema el fluido caloportador procedente del sistema de captación circula alrededor del depósito en una capa cilíndrica concéntrica, transfiriendo por conducción el calor ganado a través de la superficie interna del acumulador al agua del depósito.

Figura 2-8.- Intercambiado interacumulador tipo doble envolvente.

(Fuente: IBAIZABAL Saneamientos)

- Intercambiadores exteriores: son aquellos independientes al sistema de acumulación. Tienen más rendimiento que los incorporados al acumulador y suelen utilizarse en instalaciones grandes. En este caso hay dos grandes grupos en el mercado que son los intercambiadores de placas y los intercambiadores de carcasa y tubos. En ambos la circulación de un fluido con respecto a otro puede ser equicorriente o contrarriente, siendo más eficientes estos últimos. También tienen el común la necesidad de una bomba adicional en la instalación para el circuito secundario. Al no están dentro del depósito acumulador conviene aislarlos para disminuir de esta manera las pérdidas térmicas que pueden producirse.

  - Intercambiador de carcasa y tubos: este tipo de intercambiador no suele usarle en instalaciones solares, y se trata de un haz de tubos por los cuales circula el fluido caloportador. Este haz de tubos se encuentra en el interior de una carcasa por donde circula el otro fluido.

  - Intercambiadores de placas: estos son los intercambiadores más usados en este tipo de instalaciones. Están formados por numerosas placas corrugadas (cuya posibilidad de escoger el número de placas del intercambiador para favorecer las necesidades de la transferencia de calor depende del consumidor), empaquetadas y desmontables o bien soldadas, apretadas entre sí dentro de un bastidor, donde el

flujo de trabajo circula por unos canales interconectados como queda reflejado en la Figura 2-9. Por una parte del intercambiador circula el fluido caliente proveniente de los colectores mientras que por la otra circula el fluido frío impulsado mediante bomba del depósito acumulador, por lo que es muy importante que ambos fluidos no se mezclen.

Ha de prestarse especial atención al rango de temperaturas, pero sobre todo de presiones de trabajo que el intercambiador podría llegar a alcanzar, ya que en caso de superarse los niveles de diseño del mismo podrían llegar a alterarse las juntas rompiendo el equipo.

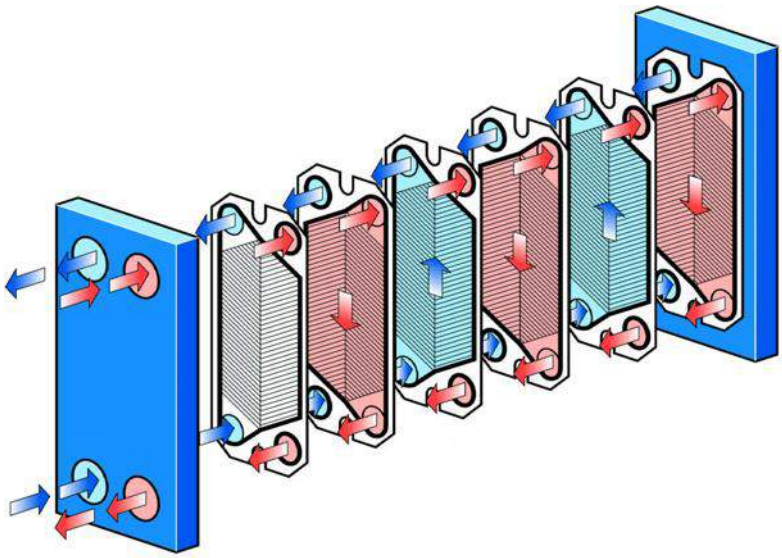


Figura 2-9.- Intercambiador exterior de placas.

(Fuente: Factor de ensuciamiento en intercambiadores de placas, t-soluciona.com)

2.1.2.4 Sistema auxiliar

El sistema auxiliar es el encargado de aportar la energía necesaria al agua proveniente del depósito de acumulación para elevar su temperatura hasta el valor de consigna. Este sistema es imprescindible, ya que garantiza el hecho de poder seguir cubriendo la demanda en el caso de que la radiación solar no sea suficiente, se den condiciones climatológicas adversas, así como en caso de mantenimiento o posible avería del sistema.

Para prevenir todas estas situaciones la gran mayoría de las instalaciones de energía solar térmica cuentan con un sistema de apoyo normalmente basado en energías convencionales, que son fuentes seguras. De esta manera se asegura la continuidad del abastecimiento de la demanda térmica.

Por último, cabe destacar que la temperatura del agua a la salida del depósito acumulador puede variar entre la temperatura a la que se suministra el agua de red hasta la temperatura de consigna de la instalación, aquella a la que es demandada. Este rango tan amplio de temperaturas crea la necesidad de instalar un sistema de control que se encargue de que el sistema de apoyo sólo funcione cuando sea estrictamente necesario. De este modo, se da prioridad al aprovechamiento de la energía solar frente al consumo de energía convencional, explotando al máximo la energía proveniente del sistema de captación.

Para que todo esto se cumpla, el sistema auxiliar tiene que ser capaz de adaptar su potencia a las necesidades en cada momento. Es decir, debe aportar exclusivamente la energía necesaria al agua de salida del depósito acumulador para que alcance la temperatura de consigna del sistema.

2.1.2.5 Sistema de transporte

El sistema de transporte también denominado sistema hidráulico engloba a todos los elementos encargados de la distribución y acondicionamiento necesarios para el consumo en la instalación. Así, transporta la energía térmica captada en el campo solar desde el circuito primario hasta el punto de consumo recorriendo toda la instalación de la forma más eficiente posible.

El circuito hidráulico está formado por el conjunto de bombas de circulación, vasos de expansión, tuberías con su respectivo aislamiento, válvulas, sistemas de purgado de aire y sistema de llenado estos elementos que se comentarán a continuación son los encargados de interconectar toda la instalación.

- Bombas de circulación:

  Son las encargadas de impulsar al fluido a lo largo del circuito hidráulico de una instalación de circulación forzada. Son necesarias para contrarrestar la pérdida de carga que va sufriendo el fluido en su paso por las tuberías y sus accesorios, así como por la pérdida que se genera tanto en los captadores solares como en el intercambiador de calor.

  Estas bombas deben de montarse en las zonas más frías de los circuitos, dadas las altas temperaturas que se pueden llegar a alcanzar en este tipo de instalaciones. Aunque, hay que evitar en todo momento que no se produzca ningún tipo de cavitación.

  Además de ser capaces de soportar ciertas temperaturas, las bombas deben de estar hechas de materiales que toleren la mezcla de anticongelante que circula por el interior del circuito primario.

  Con respecto a su colocación, según el CTE es obligatorio para instalaciones grandes donde se superan los 50 m^2 de campo solar instalar otra bomba idéntica en paralelo para evitar la parada de la instalación en caso de urgencia. Previo a la aspiración de las mismas se suele disponer de un filtro que tiene como objetivo el evitar la intrusión en la bomba de impurezas procedentes del interior de la instalación.

- Vasos de expansión:

  Son depósitos que absorben el aumento de volumen de los fluidos de la instalación. Estos dispositivos son necesarios por las variaciones constantes de temperatura a las que se someten los fluidos, sobre todo en el circuito primario, que hacen variar su densidad, y con ello el volumen que ocupan dentro de la instalación.

  Al aumentar la temperatura también aumenta la presión en el interior de las tuberías y si no se dispusiera de vasos de expansión muy probablemente se darían fugas y roturas.

  Existen dos tipos de vasos de expansión según sean abiertos o cerrados, es decir, en función de que estén en contacto con la atmósfera o no.

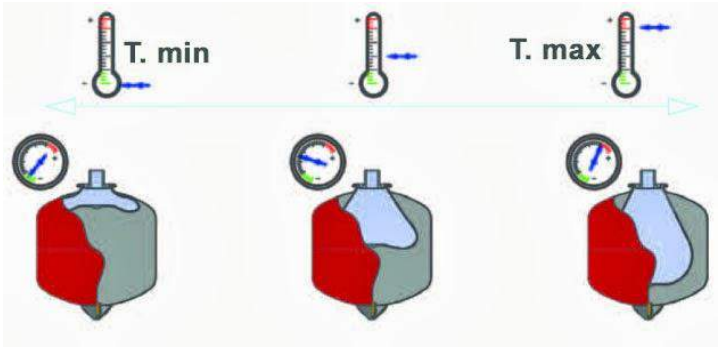


Figura 2-10.- Esquema funcionamiento de los vasos de expansión.

(Fuente: ¿Cómo funciona un vaso de expansión? Aprende a sustituirlo, Briconatur)

  En este tipo de instalaciones se utilizan vasos de expansión cerrados que irán colocados normalmente en las zonas frías de la instalación, recomendado antes del punto de aspiración de la bomba. Los vasos de tipo cerrado consisten en un depósito cerrado herméticamente, cuyo interior viene dividido en dos partes separadas por una membrana impermeable y extensible, y para el caso de que el fluido contenga anticongelante, membranas especiales. Su funcionamiento, expuesto en la Figura 2-10, se basa en la compresión del gas que hay dentro del vaso de expansión, habitualmente nitrógeno, cuando entra el fluido sobrante a causa de su expansión por el aumento de temperatura.

- Tuberías:

  Son las encargadas de transportar el fluido de trabajo por toda la instalación. Dadas las altas temperaturas y presiones que pueden llegar a alcanzarse, deberán escogerse materiales que resistan las diversas condiciones de operación. Es por ello por lo que suelen utilizarse diferentes materiales para los distintos circuitos.

  Ante todo se busca que estos materiales sean resistentes a la corrosión, presenten una buena estabilidad térmica y mecánica y que no formen obturaciones o depósitos de cal. Por tanto, en la búsqueda de cumplir con todos estos requisitos, los materiales más usados para este tipo de instalaciones son el cobre y el acero inoxidable.

Con el objetivo de minimizar las pérdidas térmicas que se dan en las tuberías el CTE impone el diseño de la instalación con la menor longitud posible y con una pendiente mínima de 1% para los tramos horizontales en el sentido de la circulación. También deben evitarse en la medida de lo posible las pérdidas de carga, que en este tipo de instalaciones suelen darse:

- Pérdidas de carga lineales: asociadas al recorrido del fluido por la tubería y que disminuirán al aumentar el diámetro de la misma.

- Pérdidas de carga en accesorios: asociadas al paso del fluido por los diferentes equipos o accesorios.

Es de especial importancia aislar correctamente las tuberías mediante material aislante. El aislante utilizado debe cumplir el espesor mínimo impuesto por el RITE que se evalúa en función del diámetro de la tubería. Además, no sólo deben aislarse las tuberías sino también todos los equipos, dispositivos y depósitos que contengan fluidos donde la temperatura sobrepase los 40ºC.

Los materiales aislantes deben resistir temperaturas elevadas, al mismo tiempo, dado a que gran parte de ellos están situados en el exterior, deben soportar la radiación solar, humedad, corrosión y sobre todo ser resistentes a los posibles ataques de la fauna propia de la localidad.

- Válvulas: son los equipos encargados de regular el paso de los fluidos correspondientes por sus tuberías. Su elección viene marcada por la función que desarrollarán dentro del circuito. Así pues, dentro de seleccionar el tipo de válvula más idónea es también medida indispensable que sea capaz de soportar tanto las presiones y como las temperaturas máximas de trabajo que pueda llegar a alcanzar el sistema.

En las instalaciones solares destacan las siguientes válvulas:

Figura 2-11.- Válvula de corte.

(Fuente: Válvulas de corte, tecnozambrano)

- Válvulas de corte: se utilizan para poder aislar partes del sistema, con la finalidad de facilitar operaciones de mantenimiento en la instalación. De esta manera se encargan de interrumpir la circulación del fluido. Normalmente están instaladas en puntos concretos de la instalación, destacando:
  - A la entrada y salida del campo solar
  - A la entrada y salida de los intercambiadores, depósitos acumuladores y bombas.

- Válvulas de equilibrado: se utilizan para conseguir que circule el caudal correcto por cada circuito mediante la regulación del mismo. Así pues, se fijará el caudal adecuado para cada ramal y se equilibrará hidráulicamente la instalación. Para este tipo de instalaciones se suelen usar válvulas de asiento.

Figura 2-12.- Válvula de equilibrado.

(Fuente: MKS)

- Válvulas anti-retorno o de retención: este tipo de válvulas tan sólo permite el paso de fluido en un único sentido. En general, estos dispositivos se instalan para prevenir el posible retorno de la corriente, luego en las instalaciones termosolares se podrá evitar flujos inversos no deseados sobre todo entre el campo solar y el depósito acumulador.

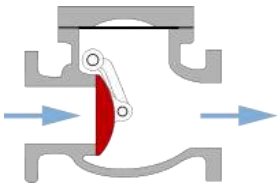


Figura 2-13.- Válvula anti-retorno.

(Fuente: Válvula antirretorno, Wikipedia)

- Válvulas de seguridad: el objetivo de este tipo de válvulas es proteger los elementos y materiales de la instalación. Se encargan de limitar la presión máxima de trabajo permitida dejando que el fluido salga al exterior. Se suelen instalar en cada una de las filas de captadores además de en los acumuladores y generalmente se emplean de tipo resorte.

Figura 2-14.- Válvula de seguridad.

(Fuente: Válvula de seguridad, tu&co)

- Válvulas termostáticas: son válvulas de tres vías, con dos entradas y una salida, como se aprecia en la Figura 2-15, de este modo por las entradas combina el agua caliente con el agua fría para obtener una mezcla de agua templada que no produzca quemaduras ni daños en la instalación. Con el objetivo de mantener la temperatura deseada, el caudal de agua caliente y agua fría se irá regulando sobre todo en aquellos meses donde la ración solar captada es muy elevada. Suele utilizarse en instalaciones que superen los 60ºC.

Figura 2-15.- Válvula termostática.

(Fuente: termosifores de serpentín y otros temas, Solarweb.net)

- Sistemas de purga de aire:

  Son necesarios para la evacuación de los posibles gases contenidos en la instalación, generalmente aire, ya que su presencia impide la correcta circulación del fluido por las tuberías, y además provoca corrosión. El encargado de cumplir estas funciones es el purgador. El purgador suele colocarse en el punto más alto de la instalación, que será donde tiendan a concentrarse las bolsas de aire y por tanto más fácil será su eliminación.

  Para evitar que se produzcan bolsas de aire pueden tomarse precauciones como colocar las bombas en tramos en vertical. De esta manera se impide que se formen bolsas de aire en el interior de las mismas o no permitir que la velocidad del fluido por las tuberías sea inferior a 0.6 m/s.

- Sistema de llenado y vaciado:

  En este tipo de instalaciones donde encontramos circuitos cerrados como es el circuito primario, debe de haber un primer momento en el que el fluido de trabajo sea introducido al sistema garantizando la estanqueidad del mismo.

  Este proceso de llenado puede ser manual o automático, pero sea como fuere, para favorecer la eliminación de aire interno del sistema, este llenado se hace desde la parte inferior de la instalación. Cuando se habla de llenado no sólo se refiere a la primera puesta en marcha de la instalación, sino que a veces en las instalaciones se dan fugas, y en el caso de que esta fuga sea en el circuito primario será necesario volver a introducir todo el fluido caloportador perdido en la misma proporción en la que está trabajando.

  Por otra parte para el vaciado se procederá desde el mismo punto desde el que se hace el llenado aprovechando la misma válvula.

2.1.2.6 Sistema de control

El sistema de control es el encargado de asegurar el buen funcionamiento de la instalación, de manera que se obtenga el óptimo aprovechamiento de la energía solar y únicamente el uso imprescindible de energía convencional.

Este control se lleva a cabo gracias a un regulador o centralita, cuyo funcionamiento normal se efectúa de forma diferencial según en CTE. Este equipo lleva a cabo principalmente un control sobre el funcionamiento de los diferentes circuitos mediante estrategias de funcionamiento muy diversas

En primera instancia, en el caso concreto de que el intercambiador de calor esté situado entre el sistema de captación y el de acumulación se colocará un termostato tanto a la salida del campo solar como a la salida inferior del depósito de acumulación correspondiente con el lado frío del mismo. De esta manera, el sistema medirá las temperaturas en dichos puntos e impedirá la entrada al intercambiador cuando esta temperatura sea inferior a un determinado valor y permitiéndolo cuando sea mayor de otro determinado valor.

Por tanto, según la diferencia de temperaturas, el regulador se encargará de poner en funcionamiento las bombas delegadas de impulsar los fluidos o todo lo contrario con la finalidad de impedir la entrada de fluido frío al depósito de acumulación disminuyendo su temperatura. Esto último habitúa a ocurrir durante las horas sin radiación.

Por otra parte, el circuito auxiliar también se ve obligado a ser controlado, por lo ya introducido anteriormente en el sistema de apoyo. El agua procedente de los depósitos de acumulación será mezclada con la proveniente de la red en caso de que la temperatura del depósito sea mayor a la temperatura de consigna y en caso de que sea inferior se calentará con ayuda del sistema auxiliar, con el fin de hacer llegar el agua de consumo a la temperatura necesaria.

Luego de forma general, gracias al sistema de control se puede tener la seguridad de que en ningún punto del circuito se alcanzarán temperaturas superiores de las máximas permitas, así como tampoco inferiores al punto de congelación del fluido caloportador o del agua.

Por último nombrar que, además de las prestaciones principales comentadas basadas en la regulación de las bombas de la instalación, también hay presentes en las instalaciones otros equipos auxiliares para:

- Protección contra heladas: en zonas de bajas temperaturas suele ser necesario un sensor encargado de activar la bomba a la entrada de los captadores para que el fluido caloportador no se congele en caso de que la temperatura sea algo superior a la de congelación evitando asó daños en la instalación.

- En instalaciones de altas temperaturas, un sensor en la parte alta del depósito de acumulación, correspondiente con la zona caliente del mismo, para evitar de este modo fallos o posibles roturas en los captadores.

2.2. Agua Caliente Sanitaria

Con la instalación descrita, se obtiene directamente el ACS requerida por el sistema. Hoy en día se puede llegar a cubrir el 100% de la demanda de agua caliente durante los meses de mayor radiación, es decir, los meses de verano, y llegar a cubrir del 50 al 80% de la demanda del resto del año. Hay que tener en cuenta que la fracción de demanda cubierta puede llegar a ser superior en aquellas zonas que dispongan de muchas horas de sol al año, que además suelen coincidir con aquellas que presentan mayores niveles de irradiación. En el caso de España, como refleja la Figura 2-16, estos puntos se encuentran en el sur del país donde tendrá localización este proyecto.

El hecho de poder llegar a cubrir tanta demanda ha convertido a esta aplicación en una de las más populares en cuanto a energía solar en la actualidad con un alto grado de desarrollo y comercialización. Además cabe destacar que el uso de esta tecnología no está limitado a viviendas unifamiliares, sino que también es frecuente en edificios ya sean viviendas multifamiliares, bloques de apartamentos, hoteles, oficinas o centros comerciales.

A día de hoy, la evolución de esta tecnología ha conllevado a que la normativa haya tomado cartas en el asunto, exigiendo a los nuevos edificios con ciertos usos y que superen una cierta superficie, así como a edificios ya existentes pero que sean reformados íntegramente o cambien de uso característico, que un porcentaje del aporte energético a los mismos sea cubierto mediante energía solar.

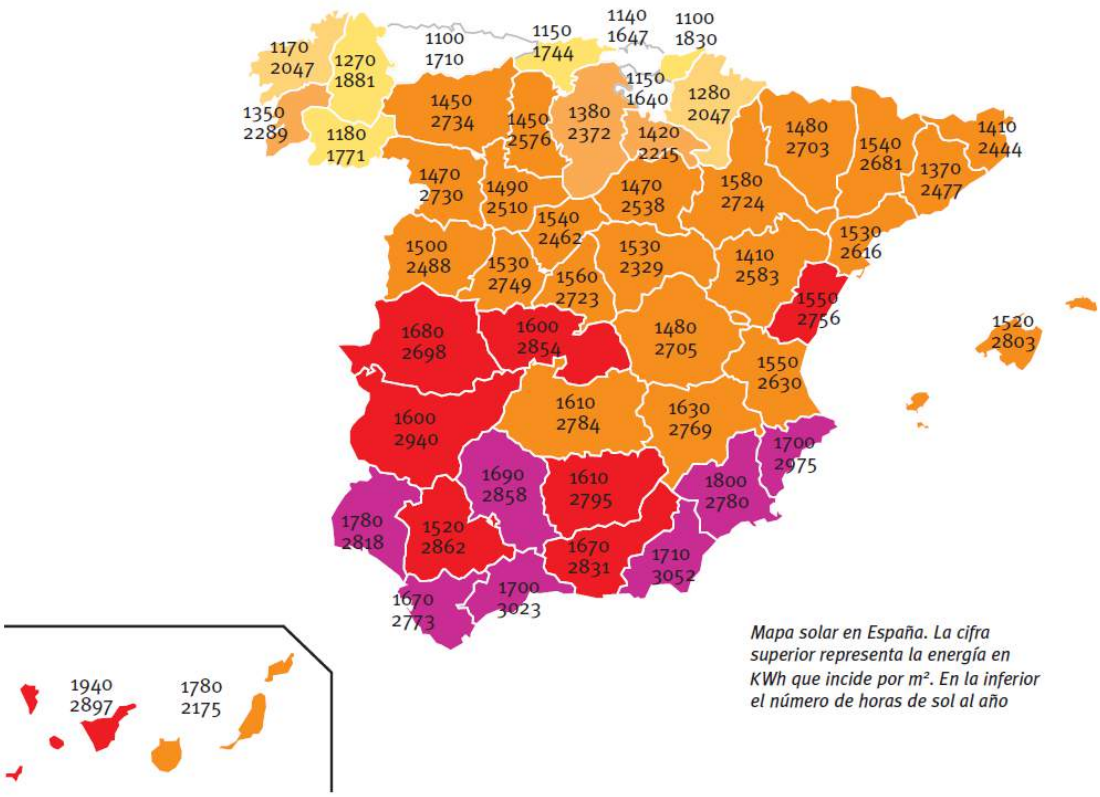


Figura 2-16.- Mapa solar en España

(Fuente: IDAE)

El porcentaje a ser cubierto variará en función de:

- Demanda del edificio.
- Zona climática en la que se ubique la instalación.
- Tipo de fuente energética convencional a sustituir.

Otra de las medidas que las normativas se han visto forzadas a regular ha sido respecto a la colocación de las instalaciones. Al ser estas instalaciones fijas en la edificación, lo más correcto es hacer que estas no generen un impacto visual o poder suavizar el mismo en la medida de lo posible. En la Figura 2-17 se muestran dos ejemplos fdesde la perspectiva externa de una instalación de agua caliente naditaio.

Este impacto visual es el denominado en este campo por: integración arquitectónica. La integración arquitectónica es subjetiva, dependiendo fuertemente de la cultura del país en cuestión y de su concepto estético. Este concepto se da cuando los captadores solares no sólo cumplen su función energética de producir calor, sino cuando también forman parte del revestimiento de la cubierta o la fachada del edificio o vivienda en cuestión.

Por lo general, en este tipo de instalaciones el área de captación se incorpora a la envolvente del edificio mientras que el sistema de acumulación se oculta en el interior del edificio.

Para que la integración arquitectónica sea posible, las normativas a las que están regidas las instalaciones permiten un margen en la orientación e inclinación óptimas recomendadas mientras que no impliquen disminuciones considerables en el aprovechamiento de la energía solar.

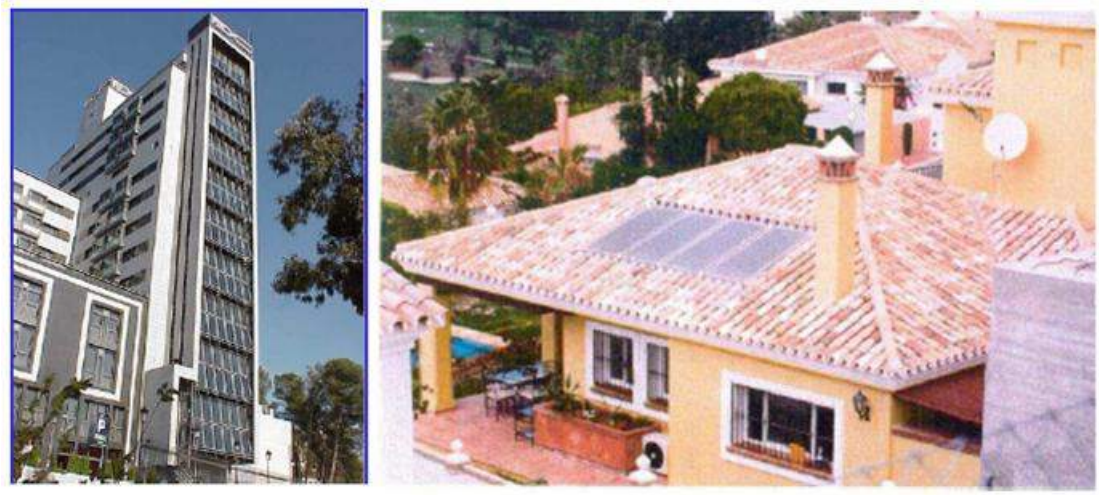


Figura 2-17.- Ejemplos de integración arquitectónica.

(Fuente: Agencia Andaluza de la Energía)

2.3. Calefacción

Las instalaciones de calefacción actuales están compuestas básicamente de tres partes principales:

- Sistema de producción de calor.
- Sistema de distribución de dicho calor.
- Sistema de emisión por medio de elementos terminales a los locales.

A continuación se expondrá brevemente cada uno de los sistemas haciendo más hincapié en los sistemas de producción de calor y cómo se adaptarían a la energía solar térmica.

2.1.3 Sistemas de producción de calor

La producción de calor en las instalaciones de calefacción se pueden dividir en dos grandes grupos en función de la extensión de la instalación: centralizadas y unitarias.

Por otra parte en las instalaciones centralizadas el calor se produce en un único lugar y desde ahí es distribuido mediante tuberías o conductos hacia los locales a climatizar o en el segundo caso, un solo equipo produce el calor necesario y lo emite directamente al local.

En cuanto a las instalaciones centralizadas, el calentamiento más lógico y económico es aquel que emplea una caldera para la producción, ya sea de combustible sólido (carbón, pellets, etc.), líquido

(gasóleo) o gaseoso (gas natural, GLP). Según la temperatura mínima de retorno con la que puedan trabajar y el rendimiento al que generen se pueden clasificar en:

- Caldera estándar, donde su temperatura media de funcionamiento debe limitarse a partir de su diseño.

- Caldera de baja temperatura, que puede trabajar en continuo a temperaturas de retorno de 35 a 40ºC.

- Caldera de gas de condensación, que está diseñada especialmente para condensar de manera permanente una parte importante de los vapores de agua contenidos en los gases de combustión.

Las calderas de combustible sólido se diferencian del resto por tener una combustión continua, sólo se apagan cuando se acaba el combustible o se corta por completo la entrada de aire. De esta manera, la regulación de la potencia a suministrar se realiza mediante la variación del aire de entrada a la caldera. A día de hoy se tiende al uso de carbón en este tipo de calderas por su alta producción de CO_2.

Las calderas funcionan con un quemador acoplado que se encargan de hacer la mezcla de aire y combustible la adecuada para quemar en el hogar. Las calderas de líquido y de combustible gaseoso son de funcionamiento intermitente, es decir, su regulación depende de la puesta en marcha o parada del quemador.

Otro sistema de calentamiento es mediante la electricidad, y esto puede hacerse de dos maneras: aprovechando el efecto Joule o por bomba de calor.

El efecto Joule suele emplearse en calentadores locales, radiadores o estufas eléctricas. Como inconveniente tienen el sobrecoste que presenta la energía eléctrica frente al coste de los combustibles.

Resulta más económico el empleo de una bomba de calor, cuyo fundamento es el inverso a una máquina frigorífica, toma calor de un espacio frío y lo transfiere a otro más caliente gracias a un trabajo aportado desde el exterior. El rendimiento o COP de una bomba de calor es mayor al del efecto Joule, por lo que se compensa el precio unitario superior de la electricidad, aunque depende fuertemente de la temperatura de agua fría. Luego, cuando la fuerte fría sea procedente del aire exterior y este esté muy frío, disminuirá el rendimiento de la instalación.

En ocasiones, con el objetivo de apaliar en la medida de lo posible los bajos rendimientos por derivados de las bajas temperaturas en la bomba de calor, se recurre a los sistemas híbridos, donde un programador electrónico determina la utilización de la bomba de calor y de la caldera en función del rendimiento que presente cada sistema.

La finalidad última del sistema de producción es generar un calor que sea transmitido al fluido caloportador encargado de transportarlo hasta el local. Es por ello que en estos sistemas cabe el uso de energía solar, donde la caldera o la instalación eléctrica será sustituida por un campo solar que genere el calor gracias a sus captadores.

El calor captado será transmitido a un fluido caloportador, normalmente agua, que calentará el agua del depósito a distribuir.

2.1.4 Sistemas de distribución de calor

En los sistemas centralizados la distribución de calor se hace actualmente de dos maneras, por agua o por aire.

El agua ha sido usada en los sistemas de calefacción clásicos desde el principio de la calefacción, donde esta agua caliente llegaba por tuberías a los elementos terminales o emisores donde se cedía el calor al local.

Por otra parte está el transportar calor hasta los locales mediante aire. Este sistema es mucho más voluminoso dado al uso de conductos en lugar de tuberías. El empleo de aire es prácticamente inexcusable cuando se combina también con la instalación de refrigeración, que normalmente suele ser por aire. No tendría sentido el hecho de utilizar dos instalaciones diferentes con el mismo fin, climatizar locales. Además una instalación de climatización por aire bien diseñada resolvería otra instalación necesaria que es la de ventilación. La ventilación no se tiene en cuenta en este proyecto dado a que el local a climatizar en una vivienda y según el CTE estas no necesitan de una instalación para tal fin.

El aire puede ser calentado directamente en el elemento encargado de producir el calor o en un equipo de tratamiento de aire (ETA), al que se lleva el calor desde el sistema de producción mediante agua por tuberías, a la temperatura adecuada, y con este agua se calienta el aire que se llevará al local. En este caso, el sistema se consideraría de agua y aire.

2.1.5 Situación actual

Dado a que este proyecto aborda la calefacción en una vivienda unifamiliar se va a proceder a un análisis según la zona climática del país quedando reflejada las zonas estudiadas en zona atlántico note, zona continental y zona mediterráneo como se aprecia en la Figura 2-18.

Las zonas climáticas más equipadas con el servicio de calefacción son Continental y Mediterránea, donde en la mayoría de los hogares que disponen de dicho sistema poseen un multiequipamiento con 1.3 tipos de calefacción de media por hogar, ya sea radiadores, caldera, ect.

En general, dominan los sistemas individuales en el 82% de los hogares con calefacción, mientras que la calefacción central está presente sólo en el 8% de los hogares, porcentaje que se incrementa hasta 18% en la zona Continental.

Figura 2-18.- Distribución territorial de las zonas climáticas es España

(Fuente: IDAE-Informe SPAHOUSEC)

El equipo de calefacción mayoritario es la caldera convencional, presente en cerca de la mitad de los hogares españoles, alcanzando su máxima representatividad en la zona Continental y en las viviendas en bloque. En la zona Mediterránea son preferidos los equipos de calefacción eléctricos como bombas de calor reversibles, calefactores y radiadores. Por su parte, la penetración de equipamientos más eficientes como las calderas de condensación aún es escasa, limitándose al 1% de los hogares con calefacción.

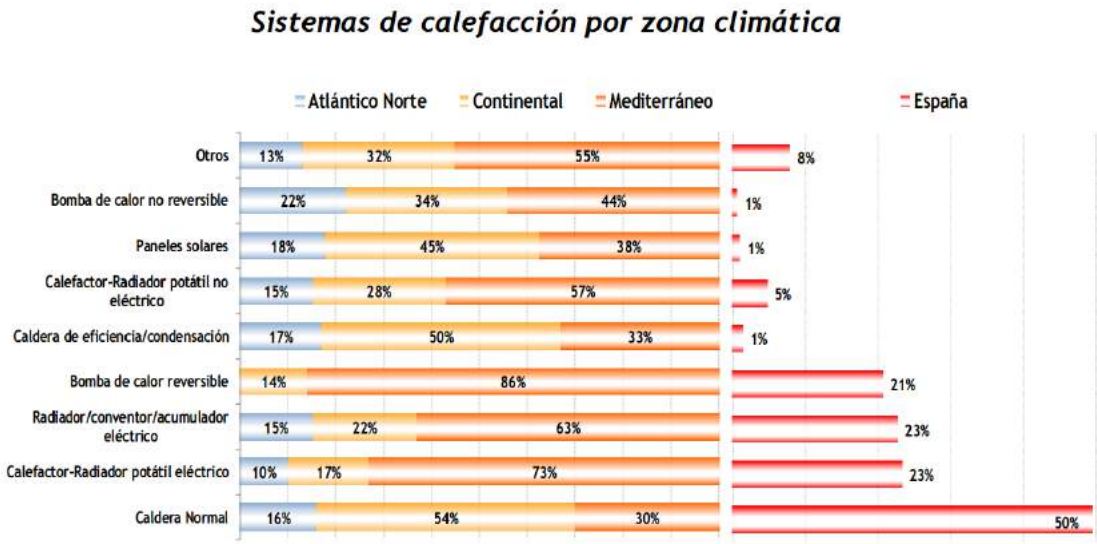


Figura 2-19.- Sistemas de calefacción en España

(Fuente: IDAE-Informe SPAHOUSEC)

2.4. Refrigeración

2.4.1. Situación actual

A nivel mundial, la demanda de refrigeración debida principalmente a la evolución de las ciudades y al constante desarrollo tecnológico, conlleva a un cada vez mayor consumo eléctrico. Al igual que crece el consumo eléctrico, se espera que el consumo energético asociado a la refrigeración aumente, principalmente por el cambio climático y con ello la necesidad de las personas de sentirse en una zona de "confort térmico" en todo momento.

La relación entre ambos consumos viene de la mano de la necesidad de energía eléctrica para poder impulsar los equipos de refrigeración que dominan el mercado actual. Este tipo de máquinas son perjudiciales para el medio ambiente, ya que su uso aumenta las emisiones de CO_2 emitidas a la atmósfera.

Además, necesitan de la utilización de refrigerantes, de los cuáles una gran mayoría han tenido que ser prohibidos y otros están en fase de prohibición. Estos son los causantes de una destrucción considerable de la capa de ozono.

Poniendo la vista en Europa, de un tiempo a esta parte los gobiernos han ido ocultando la fracción de consumo de electricidad asociado a la refrigeración de entre el consumo total de los edificios. Pero dada la gran demanda que se requiere en la actualidad en muchas zonas en verano y que las tendencias apuntan a una subida de al menos un 60% en 2020, están comenzando a tomarse medidas al respecto.

2.4.2. Refrigeración solar

Se puede denominar como refrigeración solar a aquellos sistemas capaces de generar frío a partir de la radiación solar. En esta tecnología de producción de frío se emplean máquinas de absorción, adsorción y ruedas desecante:

- Las máquinas de absorción funcionan como los ciclos de compresión mecánica simple con la diferencia de que en este caso el compresor que iría accionado mediante electricidad será sustituido por un generador y un absorbedor que cumplirán esta función gracias al aprovechamiento de el calor de recibido en los captadores.

- La adsorción es un proceso reversible mediante el cual un gas es fijado en un sólido, normalmente poco poroso. Las máquinas de adsorción aprovechan este fenómeno para sustituir la compresión mecánica por una compresión térmica a través de cámaras donde se lleva a cabo el proceso de adsorción y desorción alternativamente.

- La rueda desecante está basada en un ciclo abierto de procesos de deshumidificación y humidificación, donde el desecante es regenerado con energía solar.

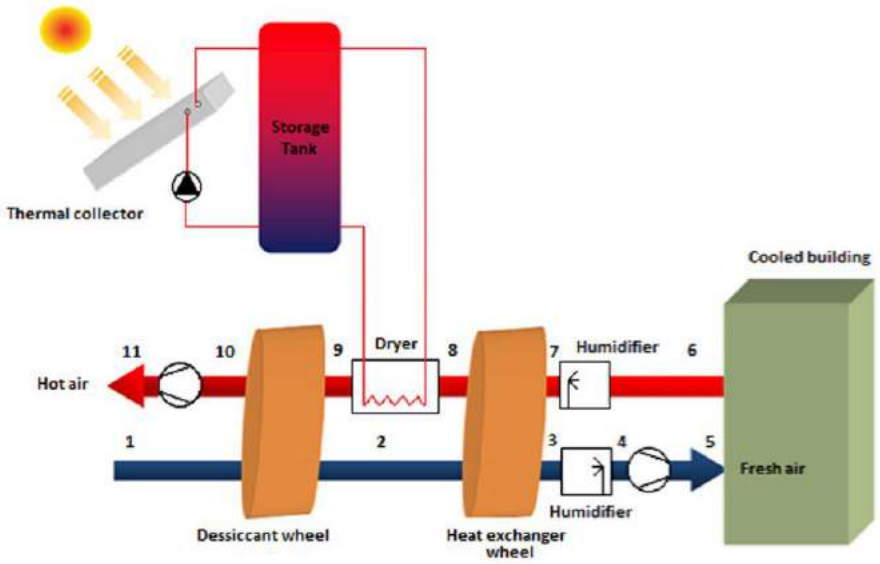


Figura 2-20.- Esquema de un sistema ed refrigeración con rueda desecante rotativa.

(Fuente: Allouhi et al. (2015))

2.4.3. Absorción

De las tres técnicas comentadas la más usada en instalaciones termosolares es la tecnología de refrigeración por absorción. Está ampliamente probada, de hecho, los ciclos de absorción fueron desarrollados con anterioridad a los ciclos de compresión mecánica, pero debido al bajo coste de la energía eléctrica y a que estos últimos presentan un mayor COP, se establecieron con prioridad.

A día de hoy, el empleo de la refrigeración solar se lleva a cabo en pocas instalaciones a nivel mundial, pero se busca invertir más en esta tecnología por:

- La coincidencia temporal existente entre la demanda de refrigeración y el periodo de máxima irradiación solar correspondiente a los meses de verano. De esta manera, el uso de la energía solar permitiría rebajar el consumo de electricidad.

- Permite el uso de refrigerantes naturales amigables con el medio ambiente, al contrario que en el caso de compresión mecánica.

- Al posibilitar la utilidad de calor a bajas temperaturas para la producción de frío, el calor solar podrá ser utilizado tanto para obtener agua caliente sanitaria como para calentar o refrigerar, permitiendo el uso de una única instalación térmica de alta eficiencia para todas las estaciones del año.

- Se obtienen unos ahorros considerables en el consumo de energía convencional y con ello una reducción de emisiones de CO_2.

- Reduce ruidos y vibraciones.

Dadas las amplias ventajas que presenta el sistema, como conclusión se puede destacar que a la hora de implantar una instalación con refrigeración solar priman más los aspectos económicos y técnicos que los tecnológicos. Debido a la dificultad de poder evaluar a largo plazo la verdadera rentabilidad de las mismas, para las cuales es necesaria una alta inversión inicial.

2.4.3.1. Ciclo de absorción simple efecto

Antes de comenzar a explicar el ciclo que sigue una máquina de absorción cabe hacer hincapié de nuevo en que la tecnología para producir frío o calor es la misma que la utilizada por las máquinas de compresión mecánica. De la misma manera el frío se producirá en el evaporador como consecuencia de la evaporación de un refrigerante y el calor será producido en el condensador al condensarse el mismo.

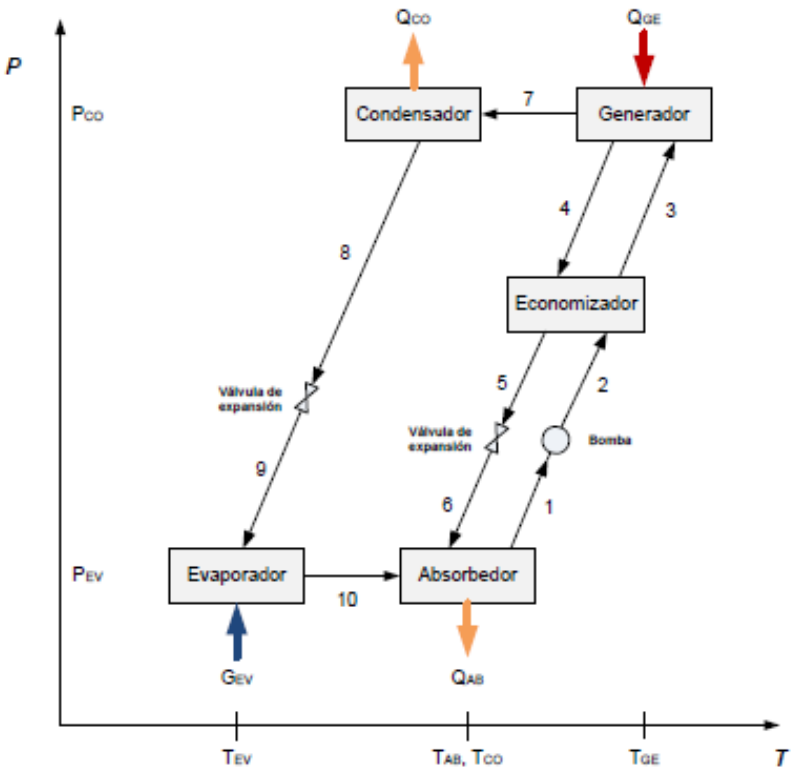


Figura 2-21.- Diagrama esquemático de Ciclo de enfriamiento por absorción

(Fuente: Tesis doctoral.- Pedro Vargas Lira)

La diferencia entre estas máquinas se encuentra en la utilización de energía eléctrica. Mientras que la enfriadora por compresión mecánica necesita de un compresor para elevar la presión del fluido hasta las condiciones requeridas por el condensador, la máquina de absorción se activa con energía térmica, reemplazando el compresor mecánico por un circuito de equipos que conforman un compresor térmico. Este aprovecha de la afinidad entre líquidos y sales para absorber el fluido de trabajo, el vapor, y de esta manera se encarga de los procesos de absorción y desorción.

La Figura 2-21 muestra un esquema del ciclo de refrigeración por absorción seguido por una máquina que opera con una mezcla agua/bromuro de litio para hacerlo más sencillo. A continuación se describirán los puntos enumerados en la Figura 2-21:

- La disolución acuosa de bromuro de litio producida por el absorbedor es impulsada mediante bomba hasta el generador, donde éste opera a una presión muy similar a la de condensación.

- En el generador la disolución es calentada por un foco caliente, en este caso el campo de captadores solares, hasta que alcance su temperatura de ebullición y como consecuencia el refrigerante se separe en forma de vapor a una alta presión. La solución resultante rica en absorbente, cerrará el circuito al retornar al absorbedor.

- Por un lado el refrigerante llega en forma de vapor al condensador donde cede su calor condensación al medio de disipación, y abandona el equipo en estado líquido. A continuación el líquido reduce su presión al pasar a través de la válvula de expansión donde se evapora parcialmente y reduce su temperatura hasta llegar a las condiciones de evaporación.

- Una vez en estas condiciones el refrigerante llega al evaporador donde absorbe el calor del medio a enfriar de manera que se produce su completa evaporación a baja presión y temperatura. El refrigerante alcanza el estado de vapor saturado y en este estado entra en el absorbedor.

- Una vez que el vapor de refrigerante llega al absorbedor se pone en contacto con la disolución concentrada procedente del generador. Esta absorbe al vapor y lo transforma a estado líquido formándose de nuevo una solución diluida con la que se comenzó la descripción del análisis de este ciclo. De este proceso se transfiere calor al medio de disipación.

Como comentario la energía eléctrica consumida en estos ciclos, de mano de la bomba que mueve la disolución desde el absorbedor hasta el generador, es despreciable frente a la electricidad consumida por un compresor mecánico. Esto se debe al bajo volumen específico de la disolución en

comparación con el vapor. Aunque a cambio sea necesario un aporte de calor para separar al refrigerante del absorbente en el generador.

Pese a no haberse hablado de él durante la explicación del ciclo uno de los equipos importantes de la instalación es el economizador situado entre el absorbedor y el generador. Este recuperador de calor es el encargado de transferir calor sensible de la disolución acuosa proveniente del absorbedor, la cual es bombeada hasta el generador, a la disolución concentrada en refrigerante que sale del generador para retornar al absorbedor.

También cabe destacar, que en la descripción se ha explicado el modelo concreto de simple efecto, pero, la principal clasificación que se hace en los sistemas de absorción hace referencia al número de efectos, y este a su vez hace referencia al número de veces que se utiliza la energía que se aporta desde el foco caliente en el sistema. Es decir, existen ciclos que aprovechan el calor residual de la compresión térmica para realizar una segunda o tercera etapa de compresión.

El hecho de volver a comprimir es beneficioso encuanto a eficiencia, pues estas compresiones se realizan a menor temperatura y mayor será el rendimiento del sistema, pero, en contraposición, mayor tiene que ser la temperatrua a la que suministrar esa energía. Este efecto queda reflejado en la Figura 2-22.

Este es el motivo por el cual en esta instalación se utilizará una máquina de simple efecto, ya que no tendría sentido el uso de fuentes de calor que superen los 140ºC.

Sistema de absorción	COP (temperatura de agua fría > 0º C)	Temperatura de Activación (ºC)
Simple Efecto	0.6 – 0.7	> 80
Doble Efecto	0.9 – 1.2	> 140
Triple Efecto	1.5-1.7	> 180

Figura 2-22.- Valores del COP y la temperatura de activación para distintos ciclos de absorción de simpre, doble y triple efecto.

(Fuente: Tesis Doctoral. Vargas Lira, Pedro)

3 HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN

La herramienta con la que se va a llevar a cabo la simulación de esta instalación para agua caliente sanitaria, calefacción y refrigeración es TRNSYS *(Transient System Simulation Program).* Este software ha sido desarrollado por Solar Energy Laboratory de la Universidad de Wisconsin en Madison, EE. UU. Se trata de una potente herramienta que permite la resolución transitoria de sistemas, ya que puede trabajar con numerosas variables en el tiempo. Lo que lo convierte en un programa flexible capaz de adaptarse a las necesidades de los profesionales y a cualquier tipo de cambio que requiera el modelo de estudio.

Figura 3-1.-TRNSYS

(Fuente: TRNSYS)

TRNSYS se emplea para modelar sistemas energéticos transitorios ya sean de ámbito eléctrico o térmico. Aunque fuera creado en un principio para simular dinámicamente el comportamiento anual de un sistema para producción de agua caliente sanitaria, con la finalidad de analizar los posibles ahorros que este sistema ofrece en un largo plazo, a lo largo de los años su flexibilidad ha ido desarrollando avances en diversos campos. Como resultado, a día de hoy se utiliza en:

- Sistemas termosolares de baja temperatura.
- Sistemas termosolares de alta temperatura.
- Sistemas fotovoltaicos.
- Sistemas HVAC.
- Simulación de edificios.
- Edificios de baja energía (Net Zero Energy Buildings).
- Simulación de varias zonas térmicas acopladas/modelado de flujo de aire.
- Optimización de sistemas energéticos.
- Simulación de procesos de transferencia de calor con el suelo.
- Calibración de modelos de edificios y sistemas con datos reales de operación.
- Plantas biomasa, cogeneración y trigeneración.
- Bombas de calor geotérmicas.
- Investigación y desarrollo en sistemas de producción y distribución energética.
- Evaluación de Tecnologías Emergentes.
- Pila de combustible.
- Eólica.

Este software está compuesto de dos partes básicas, en primer lugar un motor, gracias al cual funciona la herramienta, y una extensa biblioteca de componentes para poder crear los modelos.

Con motor se refiere a un núcleo (kernel) encargado de leer y procesar toda la información que entra al modelo para resolver mediante iteraciones el sistema hasta llegar a un punto de convergencia. Una vez solucionado podrá graficar las variables deseadas o incluso generar archivos con las variables que el usuario necesite. Para iterar y resolver el sistema, el kernel hace uso de diversas utilidades que posee como pueden ser: regresiones lineales, matrices invertidas, propiedades termofísicas o interpolación.

Por otra parte, la biblioteca estándar de TRNSYS incluye una amplia gama de componentes que se encuentran habitualmente en los sistemas de tipo eléctrico y térmico, con la capacidad de trabajar con la lectura de datos climatológicos y su procesamiento entre otros.

Los modelos creados a partir de la biblioteca podrán ser diseñados de tal manera que el usuario a posteriori pueda ser capaz de modificar sus componentes existentes o crear los suyos propios, con la finalidad de satisfacer su casuística y cumplir sus condiciones.

3.1. Estructura del sistema

Una de las características de TRNSYS es que se trata de una herramienta con estructura modular. Esto quiere decir, que el modelo estará compuesto de diferentes bloques conectados entre sí. Mediante esta técnica se puede analizar un sistema completo gracias a la suma de los módulos y así abordar la resolución de múltiples pequeños problemas en lugar de uno grande.

De esta manera, cada módulo está definido por unas relaciones matemáticas que, en el conjunto total, definirán el comportamiento de dicho módulo en la simulación. A escala global, el comportamiento de cada una de las ecuaciones del modelo estipularán los resultados de la simulación. Las principales relaciones que tiene cada componente del sistema son:

- Parámetros: se corresponden con los datos inherentes a las características de cada módulo. Normalmente marcan las restricciones en el funcionamiento del componente en cuestión, así como las propiedades derivadas del diseño del elemento.

- Inputs: se corresponden con los datos de entrada al componente. Son necesarias para que el módulo pueda resolver las ecuaciones que definen su comportamiento y suelen proceder de componentes anteriores en la dirección del flujo.

- Outputs: se corresponden con los datos de salida del componente. Se trata de la información obtenida como resultado de haber ejecutado las ecuaciones que definen al componente y suele tratarse de input para el siguiente elemento del modelo.

Cada uno de los bloques de los que está compuesto el modelo se describe mediante una subrutina, donde estarán las ecuaciones que los describen y sus parámetros característicos, recibiendo el nombre de TYPE. Estos módulos se encuentran en la biblioteca de TRNSYS y están escritos en lenguaje FORTRAN, lo que hace a este programa un programa realmente flexible por el hecho de ser posible la modificación de los componentes o incluso definir una nueva sub-rutina que añadir a los módulos ya existentes. Lo más habitual es utilizar este lenguaje para poder definir con más precisión los módulos con el objetivo de acercarse más a la realidad de la simulación.

Una vez abierto TRNSYS, a modo de ejemplificar lo que se refiere a estructura modular, bastará con crear un nuevo archivo “Solar hot water system”, el cual se refleja en la Figura 3-2. Ahí se aprecia un bloque encargado de adquirir los datos climáticos que se usarían en el periodo de simulación, llamado Weather, el sistema de captación, de acumulación, de control, la demanda de agua caliente sanitaria, etc.

Casi todos los factores explicados previamente cuando se definió la instalación termosolar básica se encuentran en la Figura 3-2, exceptuando aquellos específicos de la instalación concreta que se va a diseñar y que presentará la siguiente forma de actuación.

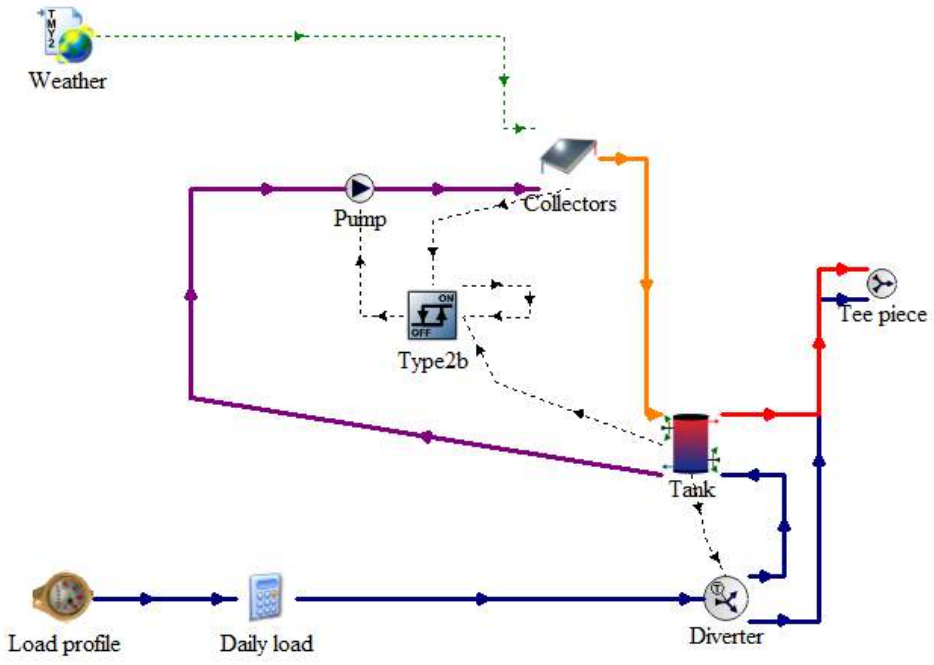


Figura 3-2.- Solar hot water system

(Fuente: TRNSYS16)

3.1.1 Lógica del sistema

El sistema se iniciará a raíz de la obtención de los datos de partida, que abarcan tanto los datos climatológicos, como los de demanda. Una vez conseguida toda la información al respecto, en función de las dimensiones del sistema solar, TRNSYS calculará la producción de energía solar del sistema.

Cuando termine de calcular la producción mediante energía solar entra en juego el sistema de control de la instalación. Se comparan los valores obtenidos de generación renovable con los introducidos al sistema de demanda energética de la instalación. Así, si la suma total de las demandas del sistema es inferior a lo que el sistema ha sido capaz de producir mediante energía solar, se cubrirá en su totalidad la demanda.

En el caso de que la producción solar sea superior a lo demandado, el exceso de energía será almacenada en forma de agua caliente en el depósito acumulador hasta que vuelva a ser necesaria.

En contraposición, cuando la demanda energética supera la generación solar que la instalación puede llegar a dar, el programa calcula el déficit de potencia necesaria para cubrir todas las necesidades, y en su lugar, este déficit será cubierto mediante el sistema de apoyo de la instalación.

3.2. Modelado del sistema

Teniendo claro cómo trabaja TRNSYS y cuál es el funcionamiento que debe ejecutar el modelo, se puede definir la instalación definitiva a abordar en el proyecto. Como se observa en la Figura 3-3, se mantienen los módulos de la instalación base de agua caliente sanitaria, mientras que se ha adjuntado la parte del modelo correspondiente con la producción de calefacción y refrigeración.

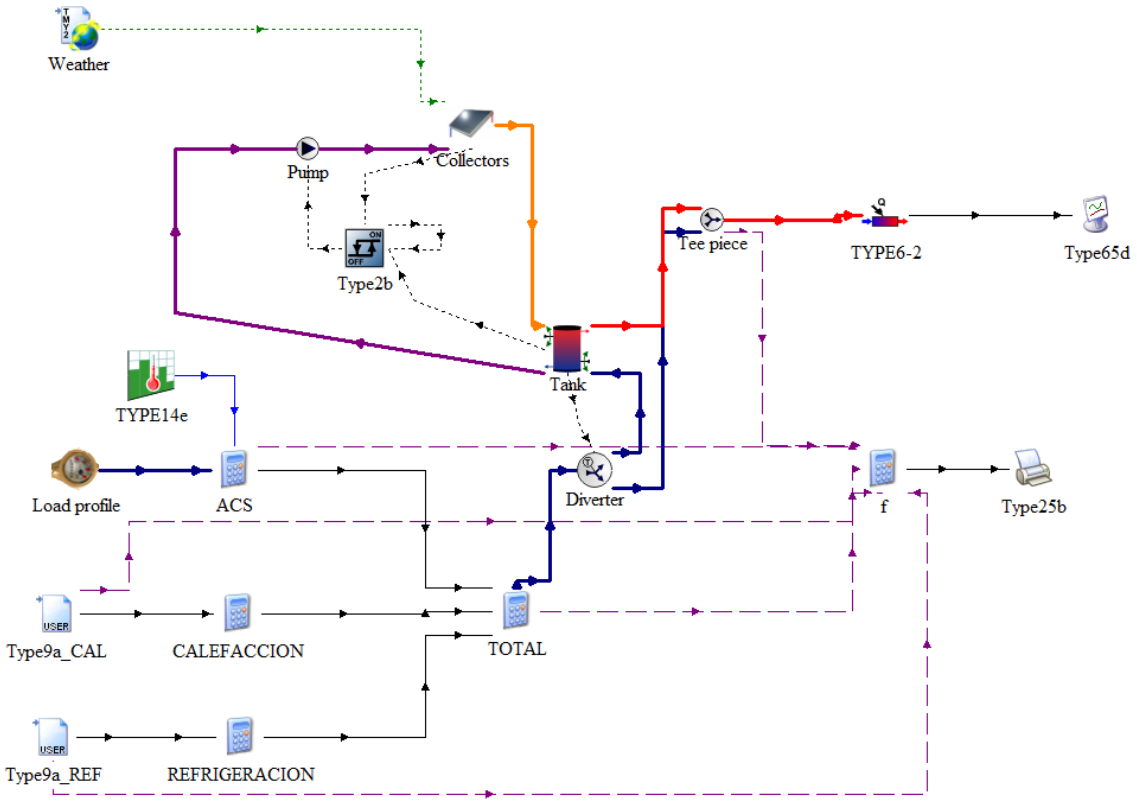


Figura 3-3.- Instalación del proyecto

(Elaboración propia)

3.1.2 Componentes utilizados

Para la simulación del sistema de la instalación se escogieron modelos matemáticos genéricos, todos ellos sacados de la biblioteca de TRNSYS adaptándolos a las características exactas de los equipos que serán utilizados mediante la asignación de valores a sus parámetros de diseño. Los dispositivos simulados fueron:

- Datos climáticos:
  Existe un bloque que es el encargado de adquirir los datos climáticos correspondientes a la ciudad de Sevilla, donde está ubicada la instalación, durante todo el proceso de simulación. Este fichero, al igual que el de otras muchas ciudades del mundo, se encuentra en la biblioteca de TRNSYS y se trata de datos experimentales promedio obtenidos en los últimos años.

Este fichero es capaz de representar muchos datos, entre los que destacan:

- Temperatura ambiente.
- Humedad relativa.
- Velocidad y dirección del viento.
- Presión atmosférica.
- Radiación solar total sobre una superficie inclinada.
- Radiación solar directa y difusa sobre una superficie inclinada.
- Radiación difusa reflejada sobre el suelo en una superficie inclinada.
- Ángulo de incidencia sobre una superficie inclinada en función de la hora y época del año.

El encargado de aportar toda esta información al sistema es el Type de la Figura 3-4, que se encuentra en "Weather data Reading and Processing" en la biblioteca, dentro de los formatos estándares.

Figura 3-4.- Type109-TMY2: Datos climáticos

(Fuente: TRNSYS)

- Campo solar:

  El Type encargado de representar al campo solar de la instalación es el que se observa en la Figura 3-5, sacado de "Solar thermal collectors" en la biblioteca de TRNSYS. Este módulo queda definido por una serie de parámetros, que son:

  - Número de colectores.
  - Área del colector.
  - Calor específico del fluido caloportador.
  - Información correspondiente a ensayos:
    - Factor de pérdidas ópticas.
    - Factor de pérdidas térmicas de primer orden.
    - Factor de pérdidas térmicas de segundo orden.
    - Flujo másico de ensayo.
    - Azimut.
    - Ángulo de superficie del colector con respecto a la horizontal.

  Para definir completamente este módulo necesitará de unas entradas y unas salidas del equipo, que vendrán marcadas por:

  - Inputs:
    - Temperatura del fluido.
    - Flujo másico.
    - Componentes del clima:
      - Radiación incidente sobre la horizontal.

- Radiación difusa sobre la horizontal.
- Temperatura ambiente.

- Outputs:
  - Temperatura del fluido.
  - Flujo másico.
  - Energía aportada al fluido.

Figura 3-5.- Type1b: Captador solar

(Fuente: TRNSYS)

- Depósito acumulador:

  Se simula utilizando el Type4c, representado en la Figura 3-6, que se corresponde con un tanque estratificado perteneciente a la biblioteca de TRNSYS en "Thermal storage". El depósito está compuesto de dos entradas con dos salidas.

  Por la parte inferior del tanque, el depósito cuenta con una entrada de agua fría proveniente de la red y una salida en el lado opuesto, desde donde se impulsa el agua hacia los colectores.

  Mientras, en la parte superior, el depósito posee la entrada del flujo proveniente de los colectores solares, así como, la salida del agua más caliente del tanque hacia el sistema de apoyo.

  Es importante la localización de las entradas y salidas de los flujos de corriente dado que al estar estratificado el tanque, por diferencia de densidades derivada de la diferencia de temperaturas, el agua más caliente quedará en la parte superior, mientras la más fría en la zona inferior del mismo.

  La estratificación del tanque tiene que ser definida en sus parámetros. Para ello el modelo te da la opción de seleccionar en cuántas franjas discretas estratificar el tanque.

Figura 3-6.- Type4c: Depósito acumulador

(Fuente: TRNSYS)

- Bomba:

  La bomba de la instalación se corresponde con el Type3b (Figura 3-7), perteneciente a la biblioteca de TRNSYS: “Hydronics”. Para que esta quede determinada estará dirigida por el sistema de control, que es el encargado de indicarle cuándo tiene que funcionar.

Figura 3-7.- Type3b: Bomba

(Fuente: TRNSYS)

El sistema de control es el representado por el Type2b también de la biblioteca de TRNSYS en este caso en controladores. Funciona por histéresis, luego va calculando continuamente la diferencia de temperaturas entre el agua de los colectores solares y la de salida del depósito acumulador. Cuando esta diferencia esté en la banda de 2 a 10°C será cuando el sistema de control esté alerta. De modo que, cuando se supere la temperatura superior de la banda de histéresis la bomba comenzará a funcionar y parará cuando tome valores por debajo del límite inferior.

Figura 3-8.- Type2b: Sistema de control

(Fuente: TRNSYS)

- Agua caliente sanitaria:

  Para especificar la demanda de agua caliente sanitaria se usa el modelo Type14b, Figura 3-9, perteneciente a la biblioteca de TRNSYS enmarcado en las llamadas “forcing functions”. En este módulo se define por horas el consumo en tanto por uno de agua.

Figura 3-9.- Type14b: Definición de valores de ACS de uso horario

(Fuente: TRNSYS)

Por otra parte, para el consumo de agua es necesaria la temperatura de agua fría del agua de red de Sevilla. Dado que esta temperatura varía para casa mes según la norma UNE 94002:2005, se volverá a recurrir a “forcing functions” de nuevo en la biblioteca de TRNSYS pero en este caso para el Type14e, Figura 3-10, que permitirá introducir valores variables en el tiempo de manera escalonada en cuanto a lo que temperatura respecta.

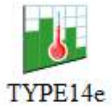


Figura 3-10.- Type14e: Definición de valores de temperatura de red de uso horario

(Fuente: TRNSYS)

- Calefacción y Refrigeración:
  Para la introducción de la calefacción y la refrigeración a la simulación se procederá de la misma manera, ya que en ambos casos se parte de un archivo en Excel donde están volcados los datos horarios de demanda de todo el año.

  Para leer estos archivos se usará el Type9a, Figura 3-11, que se encuentran en las utilidades de la biblioteca de TRNSYS. Estos se caracterizan por no tener parámetros de entrada y un único parámetro de salida que es la demanda que se deberá imponer en la simulación.

Figura 3-11.- Type9a: Fichero de entrada

(Fuente: TRNSYS)

- Sistema de apoyo:
  Para el sistema de apoyo se utiliza el Type6, Figura 3-12, de "Auxiliary heaters" en la librería HVAC de TRNSYS. Para definirlo necesita como entradas el caudal de agua a calentar y la temperatura de la misma, para así funcionar cuando el flujo no llegue a la temperatura de consigna.

Figura 3-12.- Type6: Sistema de apoyo

(Fuente: TRNSYS)

- Visualizador de datos en pantalla:
  Mediante el Type65d, Figura 3-13, se podrán visualizar los resultados temporales de cualquier variable obtenida en el sistema con la finalidad de comprobar cómo evoluciona la simulación y detectar posibles errores del modelo.

Figura 3-13.- Type65d: Visualizador de datos en pantalla

(Fuente: TRNSYS)

- Registrador de datos en archivo:
  Para poder trabajar con los resultados obtenidos se usa el Type25b, Figura 3-14. Este registra los valores de las variables deseadas, que deben ser metidas como entradas al módulo, en el intervalo de tiempo impuesto a un archivo de texto editable.

Figura 3-14.- Type25b: Registrador de datos en archivo

(Fuente: TRNSYS)

4 SIMULACIÓN

4.1. Datos de partida

El estudio se realizará en una vivienda unifamiliar en la localidad de Sevilla. En concreto, para poder hacer un análisis lo más próximo a la realidad posible, el arquitecto Francisco Manuel López González ha cedido al proyecto los planos de una de sus viviendas, los cuales quedan adjuntos en el Anexo II**.**

La vivienda estipulada consta de dos plantas y una azotea. La planta baja con una superficie útil de 103.05 m^2, estará reservada para uso comercial aún indeterminado, por lo que su estudio quedará fuera del alcance de este proyecto. Por otra parte, la primera planta donde tendrá lugar la vida familiar, consta de 147.23 m^2 de superficie construida pero 116.67 m^2 de superficie útil, por lo que dadas las dimensiones de la vivienda así se supondrá una familia de cuatro miembros para realizar la simulación.

Esta primera planta será la superficie que se estudie en el proyecto que se aborda. Está compuesta de tres dormitorios de unos 12 m^2 y un dormitorio principal de 19 m^2, dos cuartos de baño, uno de los cuales está dentro del dormitorio principal, su cocina, salón-comedor, un patio interior cubierto entre la cocina y uno de los dormitorios, un patio exterior cubierto por una cristalera, con una escalera que comunica con la planta baja y un distribuidor que conecta todas las estancias a raíz de la escalera que une las diferentes plantas de la vivienda.

Cabe añadir que la vivienda cuenta con una azotea con metros suficientes para poder situar los captadores solares del estudio y además posee un castillete donde poder ubicar todo lo necesario respecto a la instalación.

4.2. Cálculo de carga en la vivienda

Para la simulación del proyecto ha sido necesario el cálculo de carga de la vivienda. Dado a que en este proyecto queda analizada la evolución temporal del año completo, el estudio de cargas recoge tanto las cargas de calefacción para los meses de frío como las cargas de refrigeración para los meses calor.

La determinación final de las cargas térmicas ha sido posible gracias a varias fuentes. En primer lugar se hizo un estudio detallado en las condiciones más adversas que se pueden dar en la vivienda. Para ello se utilizó el programa CLwin.

CLwin es un programa de estimación de las cargas térmicas que inciden en un edificio, capaz de determinar las características de los equipos de acondicionamiento de aire. Permite importar un plano del edificio realizado previamente con un programa de CAD en formato DWG de modo que todas las dimensiones y medidas de la vivienda se pueden tomar del propio archivo.

El programa aplica las condiciones de cálculo y diseño establecidas en el RITE de 2007 y modificaciones posteriores, así como, realiza el cálculo de las ganancias instantáneas de calor y su transformación en cargas de refrigeración según el método de las funciones de transferencia de ASHRAE.

Figura 4-1.- Zonificación de la vivienda

(Fuente: Elaboración propia)

Así pues, la manera de proceder con CLwin consiste en generar un nuevo proyecto, ubicándolo geográficamente y estableciendo los puntos cardinales sobre los planos de la vivienda. Para comenzar a trabajar con el plano es necesario hacer una subdivisión de la vivienda agrupando las zonas de carga térmica similares. El programa posee un entorno gráfico muy cómodo con información en pantalla sobre los elementos que forman el edificio de forma jerárquica, donde diferencia entre: edificio, sistemas, zonas, cerramientos, acristalamientos, ocupación, iluminación… De esta manera a la hora de trabajar se ha dividido cada habitación a climatizar con una zona diferente para poder analizar de dónde provienen las mayores cargas quedando dividida la planta como la figura de la derecha en la Figura 4-1.

Cabe destacar que no formaran parte del estudio de climatización ni los patios ni el distribuidor central, ya que estas zonas no suelen acondicionarse en las viviendas.

Con la zonificación de la vivienda se procede a la definición de los cerramientos de la misma, diferenciando entre cerramiento exterior y cerramiento interior. Estos deben quedar completamente determinados según los materiales con los que estén compuestos, así como principalmente sus propiedades, ya que de ellas dependerá la eficiencia que presenten a la transmisión de calor a su paso. La composición de los cerramientos de la vivienda puede verse en la Figura 4-2:

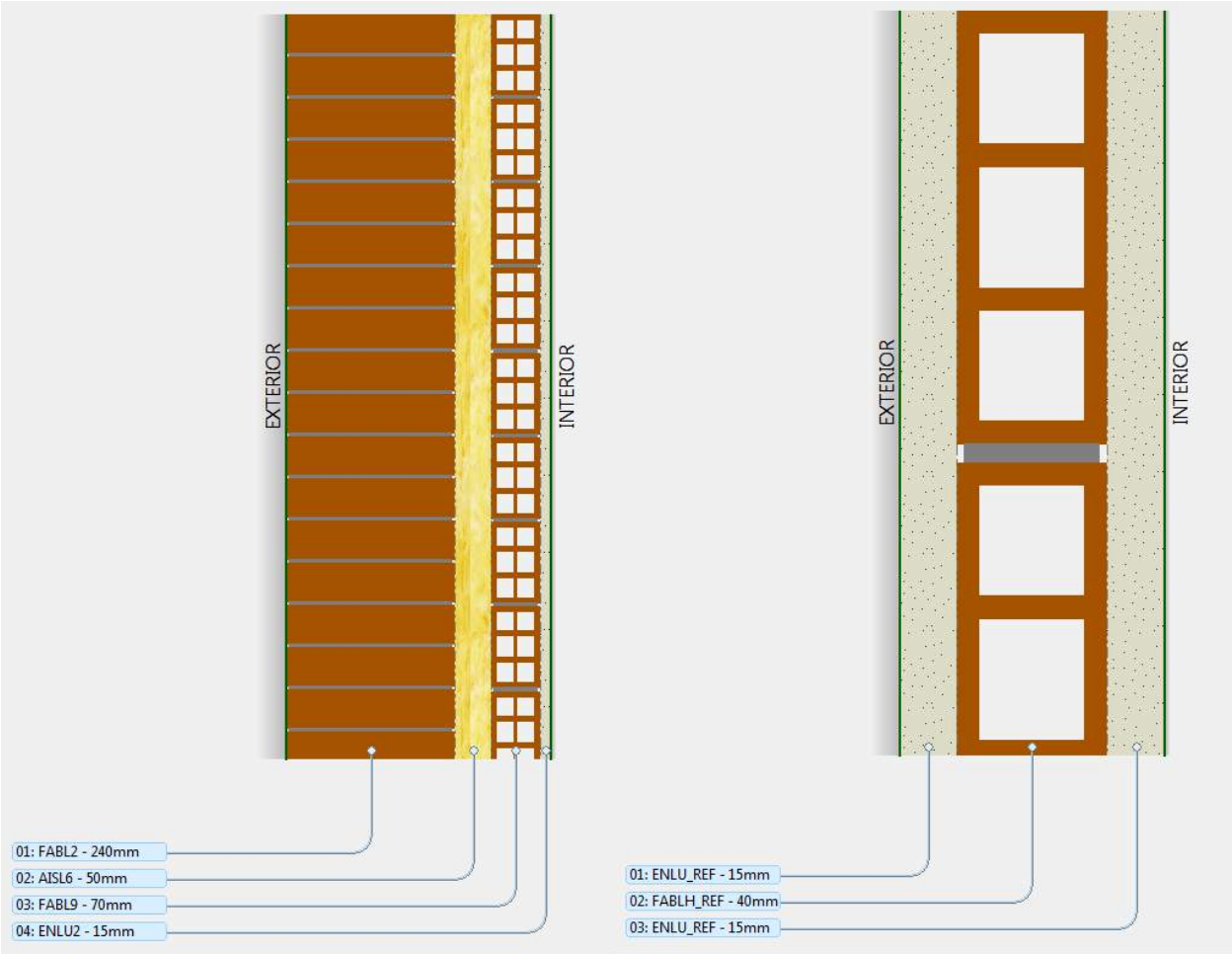


Figura 4-2.- Cerramiento exterior e interior

(Fuente: CLwin)

Además, se han definido con la misma finalidad los huecos en cerramientos ya sean ventanas, seleccionadas abatibles con doble acristalamiento bajo emisivo y marco de PVC, o puertas, donde se ha optado por puertas opacas de madera de alta densidad.

Con la vivienda completamente definida CLwin calculará las cargas estacionarias de calefacción, así como la carga de refrigeración.

Por otra parte, para la realización del proyecto se ha cedido la demanda horaria de un año real en un bloque de edificios de la zona B, al igual que Sevilla. Así pues con las cargas puntas en la vivienda y la evolución de demanda energética que presentan este tipo de edificios se ha ponderado una demanda de calefacción y de refrigeración final que será la entregada a TRNSYS como dato de entrada y que queda representada en la Figura 4-3:

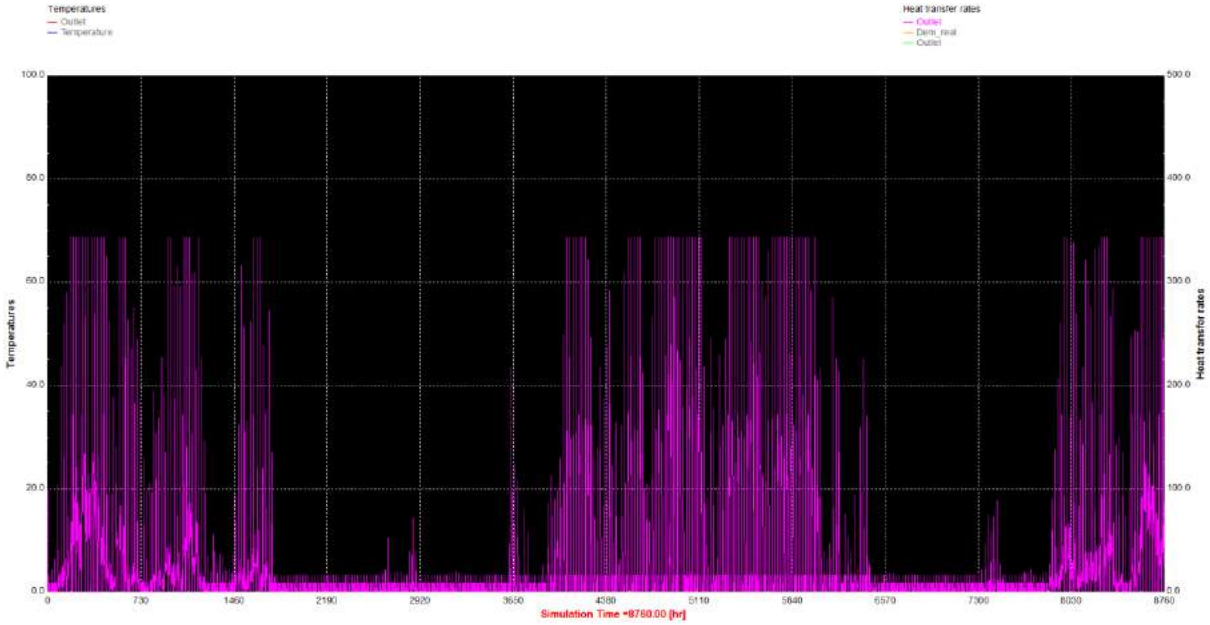


Figura 4-3.- Demanda de agua caliente anual

(Fuente: TRNSYS)

En la Figura 4-3 se observa claramente un consumo constante de agua caliente que hace referencia al ACS durante todos los días del año. Por otra parte en los primeros meses así como en los últimos, correspondientes con los meses de invierno, se hayan las cargas asociadas a la calefacción de la vivienda y en los meses otros picos de consumo correspondientes a los meses de verano y su necesitada refrigeración.

4.3. Máquina de absorción

Para la instalación de la vivienda se ha utilizará la máquina de absorción: ClimateWell^{TM} 10.

ClimateWell 10 es un equipo de climatización solar capaz de suministrar tanto frío como calor además de contar con la capacidad especial de almacenar energía. De esta manera puede operar en tres modos diferentes: carga, calefacción y refrigeración. En el modo carga almacena energía secando una sal (Cloruro de Litio – LiCl) que puede ser utilizada posteriormente cuando sea

necesario.

Es importante resaltar que la máquina puede cargar y descargar simultáneamente. Esto quiere decir que siempre puede recibir energía térmica y al mismo tiempo suministrar calor o frío. El sistema también puede calentar simultáneamente agua caliente sanitaria (como es el caso de este proyecto) o una piscina si se quisiese.

4.3.1. Funcionamiento

ClimateWell 10 lleva conectados tres circuitos externos:

- Fuente térmica de calor, que en este proyecto se trata de los colectores solares.
- Sistema de distribución de aire acondicionado para refrigerar y calentar, que en este proyecto serían los fan coils de la instalación
- Disipador de calor para carga y descarga

ClimateWell 10 es una máquina de absorción modular que se distingue de las máquinas estándar de absorción de tipo bromuro de litio básicamente en tres aspectos:

- Cuenta con un depósito almacén interno en cada uno de los dos acumuladores. De esta forma la máquina puede almacenar energía química con una gran densidad. Esta energía puede ser utilizada por consiguiente tanto para refrigerar como para calentar. Es importante señalar que lo que se almacena es energía química, y no energía térmica.

- Funciona de manera intermitente con dos acumuladores en paralelo, pues ClimateWell 10 está compuesto por dos depósitos (depósito A y depósito B), cada uno de ellos con un reactor y un condensador/ evaporador.

- Ha sido diseñado para emplear unas temperaturas relativamente bajas, con lo que está optimizado para su empleo con colectores térmicos solares. También funciona con una temperatura estable en el interior de los acumuladores, lo cual, por su parte, permite un uso eficaz de los colectores térmicos solares.

4.3.2. Modo refrigeración

En el proceso de refrigeración, el agua retorna del sistema de distribución a una temperatura superior a la que deja el condensador/evaporador tras haber refrigerado el edificio. Este calor hace que el agua del evaporador entre en ebullición y el vapor pase al reactor, donde se condensa, ya que el reactor está más frío en relación. El vapor que se condensa en el reactor diluirá la solución LiCl.

Figura 4-4.- Ejemplo de uno de los depósitos descargando durante la refrigeración

(Fuente: ClimateWell)

Como era de esperar, las bajas temperaturas del disipador de calor mejorarán la capacidad de refrigeración de ClimateWell 10, esta temperatura del disipador de calor dependerá de las condiciones ambientales y de la eficiencia del disipador de calor.

Si se aumenta la carga de refrigeración en la vivienda hasta el punto de alcanzar la potencia máxima de la máquina, la temperatura del circuito de distribución comenzará a aumentar lentamente, pero seguirá refrigerando el edificio. La temperatura interior aumentará, pero seguirá siendo inferior a la exterior, por lo que no se recomienda que haya una gran diferencia entre la temperatura interior y exterior cuando haga mucho calor en el exterior.

El caudal típico del circuito de distribución de esta máquina es de 15 L/min y es por ello que el fabricante suministra la Figura 4-5 en la que se muestra una potencia de refrigeración (a 15 L/min) por barril a plena carga en función de la temperatura del agua fría de ClimateWell 10 y la temperatura del líquido del disipador de calor, denominada Ths.

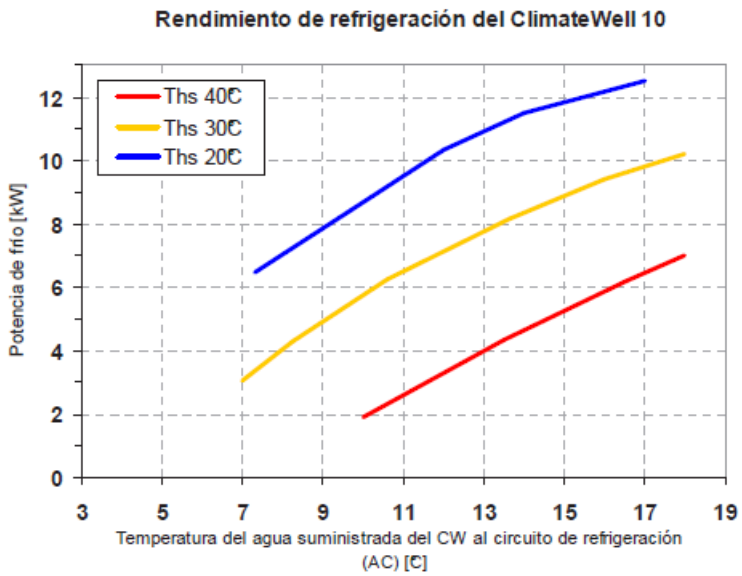


Figura 4-5.- Rendimiento de refrigeración del ClimateWell 10

(Fuente: ClimateWell)

Como se aprecia en la Figura 4-5 cuanto mayor sea la temperatura hacia el sistema de distribución, mayor eficacia tendrá el funcionamiento de ClimateWell 10 en el modo de refrigeración. El fabricante recomienda una temperatura de caudal de hasta 17ºC como temperatura ideal para aplicaciones de suelo/murales/techo radiantes.

En aquellos casos en los que sean necesarias temperaturas inferiores de agua fría, como un sistema de fan coils clásico de 7ºC, debería considerarse un disipador de calor efectivo.

Esta máquina ofrece un COP térmico estable de 0.68 para el modo de refrigeración de la instalación.

4.3.3. Modo calefacción

El proceso de calefacción o calentamiento no es más que el proceso inverso a la refrigeración, lo que significa que la energía cargada es extraída en forma de calor mediante la conexión del condensador/evaporador al disipador de calor y el reactor al sistema de distribución.

El agua retorna del sistema de distribución a una temperatura inferior a la que deja el reactor, pues ya se ha calentado el edificio. Esta agua hace que el agua del condensador/evaporador entre en ebullición y el vapor pase al reactor. El vapor que se condensa se diluirá en una solución LiCl en el reactor.

Durante la descarga, la energía térmica es extraída mediante la conexión del evaporador al disipador térmico y el reactor al sistema de distribución. En modo de carga, también puede extraerse calor mediante la conexión del condensador al sistema de distribución en el modo de carga. En la Figura 4-6 se muestra un ejemplo del funcionamiento de la máquina de absorción en modo calefacción:

Figura 4-6.- Ejemplo uno de los depósitos descargando calor

(Fuente: ClimateWell)

Como es lógico, la temperatura del disipador de calor nunca deberá descender por debajo de 0 ºC ya que, de lo contrario, podría congelarse el agua del evaporador. Con un disipador de calor bien dimensionado, sería posible incrementar la eficiencia de una caldera hasta un 160 % durante el invierno y seguir utilizando los colectores solares para agua caliente doméstica.

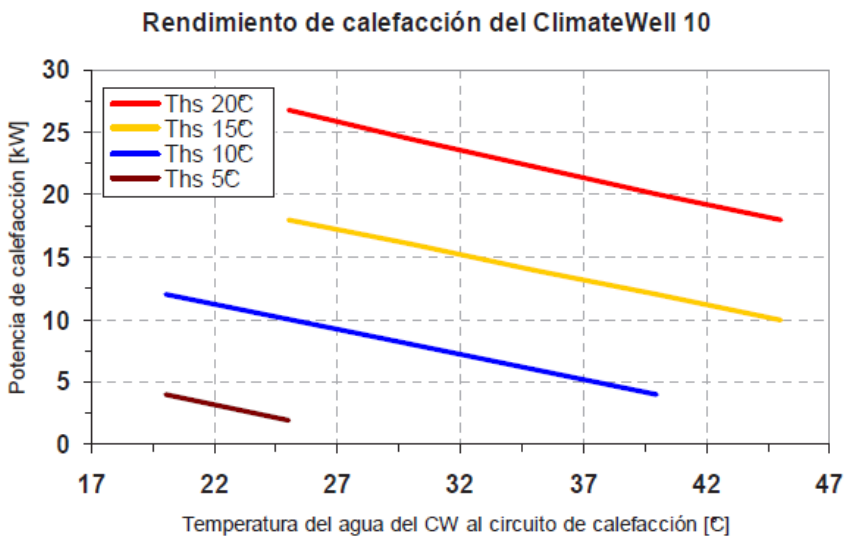


Figura 4-7.- Rendimiento de calefacción del ClimateWell 10

(Fuente: ClimateWell)

Al igual que para la refrigeración, el caudal típico del circuito de distribución de los locales suele ser de 15 L/min, por lo que en la Figura 4-7, suministrada por el fabricante, se muestra la potencia de calefacción (con 15 L/min) en los dos barriles a plena carga enfunciónde la temperatura del agua caliente de ClimateWell 10 y la temperatura del l´quido del disipador de calor, denominada Ths.

Como se aprecia en la Figura 4-7 cuanto menor es la temperatura hacia el sistema de distribución más eficaz es la forma de trabajo de ClimateWell en modo calefacción. Así pues, el fabricante recomienda el uso de temperautras superiores a 27 ºC para aplicaciones de suelo/murales/techos radiantes.

Por otro lado, al igual que en este proyecto, la fuente de calor térmico de soporte (como una caldera o elemento eléctrico) puede ser utilizada para incrementar la capacidad de calefacción en días muy fríos, o en caso de que no sea suficiente con la energía captada por los colectores solares.

Esta máquina ofrece un COP térmico estable de 0.85 para el modo de calefacción de la instalación.

4.3.4. Temperatura de impulsion y de retorno

En cuanto a la instalación de este proyecto se ha tomado como temperatura de almacenamiento de agua caliente a 85 ºC, siendo esta temperatura la de consigna para la impulsión hacia los fan-coils. Como temperatura del agua de retorno de la instalación se considerará que ha sufrido un salto de diez grados, retornando a 75 ºC.

Esta agua que retorna a 75 ºC se mezclará con el agua de reposición proveniente de la red de distribución, por lo que su temperatura caerá drásticamente y deberá volver a ser calentada por el calor captado en el campo solar.

4.4. Cálculo de demanda de ACS

La demanda energética de agua caliente sanitaria diaria se calcula mediante la siguiente expresión:

$$L_{ACS} = M_{ac} \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_{ac} - T_{af})$$

Donde:

- M_{ac}: Consumo de agua caliente diario (l/día)
- ρ: Densidad del agua (1 kg/l)
- C_p: Calor específico del agua (4190 J/kg ºC = 1 kcal/kg ºC)
- T_{ac}: Temperatura del agua caliente (ºC)
- T_{af}: Temperatura del agua fría (ºC)

Criterio de demanda	Litros ACS/día a 60ºC	
Viviendas unifamiliares	30	por persona
Viviendas multifamiliares	22	por persona
Hospitales y clínicas	55	por cama
Hotel ****	70	por cama
Hotel ***	55	por cama
Hotel/Hostal **	40	por cama
Camping	40	por emplazamiento
Hostal/Pensión	35	por cama
Residencia (ancianos, estudiantes, etc.)	55	por cama
Vestuarios/Duchas colectivas	15	por servicio
Escuelas	3	por alumno
Cuarteles	20	por persona
Fábricas y talleres	15	por persona
Administrativos	3	por persona
Gimnasios	20 a 25	por ususario
Lavanderías	3 a 5	por kilo de ropa
Restaurantes	5 a 10	por comida
Cafeterías	1	por almuerzo

Tabla 4-1.- Consumo de agua caliente diaria (Temperatura de referencia 60ºC)

(Fuente: CTE-HE4)

Por lo que se puede afirmar que la demanda de ACS dependerá del consumo diario por persona, la temperatura de preparación del agua caliente y la temperatura del agua fría de la red de distribución. A continuación se comentarán estos parámetros:

- El consumo unitario por persona y día de ACS está tabulado por el CTE-HE4 (Tabla 4-1) con respecto a una temperatura de referencia. Dado a que el depósito de la instalación no se encuentra a la temperatura de referencia de las tablas habrá que calcular el valor equivalente a los 85ºC del depósito de alimentación. Para ello:

$$M_{85ºC} = M_{60ºC} \cdot \frac{(60 - T_{ref})}{(85 - T_{ref})}$$

- La temperatura de preparación de agua caliente hace referencia a la temperatura de almacenamiento del agua caliente en el depósito.

- Por otra parte la temperatura de agua fría de la red en cada capital de provincia viene impuesta según en el mes en la norma UNE 94002:2005, expuesto en la Tabla 4-2.

De esta manera para el cálculo de la demanda horaria se ha supuesto una distribución del consumo a lo largo del día en función de la hora. En concreto para esta simulación se ha establecido que cada día se consume un 20% del consumo de ACS diaria tanto de siete a ocho de la mañana como de ocho a nueve de la misma, un 20% en el intervalo de once a una del mediodía y el 40% restante en el intervalo horario de seis a diez de la noche.

Mes	**Temperatura del agua de red ºC**
Enero	10
Febrero	11
Marzo	12
Abril	13
Mayo	14
Junio	15
Julio	16
Agosto	16
Septiembre	15
Octubre	13
Noviembre	11
Diciembre	10

Tabla 4-2.- Temperatura de distribución del agua de red (Sevilla)

(Fuente: UNE 94002:2005)

4.5. Características TYPES

De cara al dimensionado de la instalación y con el objetivo de su optimización, se variarán diferentes parámetros en los TYPES que se describieron en el apartado 3.1.2. De esta manera se podrá llegar a una instalación que sea capaz de cubrir más demanda durante el año. Cabe destacar que el resto de los parámetros que definan a los equipos se mantendrán constantes.

Es por ello que en este apartado se definirán los parámetros que constituyen los equipos de la instalación con el objetivo de saber que condiciones se dan para el desarrollo de la simulación.

En cuanto al campo solar, los metros cuadrados de superficie de esté serán una de las variables que se vean modificadas a la hora de optimizar el sistema, quedando el resto de variables definidas. El área de cada uno de los colectores del campo será de 2 m^2 de superficie y por cada uno de ellos circulará un caudal de 0.022 kg/s de agua.

Los captadores solares suelen ser definidos por su curva de rendimiento, que enfrenta normalmente al rendimiento con el término $(T_{fe} - T_{amb})/I$, donde T_{fe} se refiere a la temperatura del fluido a la entrada del captador, T_{amb} a la temperatura ambiente e I a la irradiancia que absorbe el captador. En este caso el rendimiento se expresará mediante:

$$\eta = a_0 - a_1 \cdot \frac{(T_{fe} - T_{amb})}{\text{Irradiancia}} - a_2 \cdot \frac{(T_{fe} - T_{amb})^2}{\text{Irradiancia}}$$

Donde:

- a_0: es la variable que TRNSYS define como “Intercept efficiency” y que normalmente se denomina como $F_R(\tau\alpha)$. Se corresponde con el punto de corte de la curva con el eje de coordenadas y es un parámetro característico del captador. En esta simulación toma un valor de 0.8.
- a_1: es la variable que TRNSYS define como “Efficiency slope” y es que dicho parámetro se corresponde con la pendiente. Normalmente es conocida como $F_R U_L$ y en esta simulación toma el valor de 1.94 W/m^2K.
- a_2: es la variable que TRNSYS define como “Efficiency curvature”. En esta simulación toma el valor de 0.0139 W/m^2K^2. Como se puede apreciar este término es muy cercano a cero ya que esta gráfica tiende a ser una línea recta en cuyo caso este parámetro pasaría a ser nulo.

Se puede concluir con que el rendimiento presenta una dependencia funcional de las condiciones ambientales (T_{amb} e Irradiancia), de las condiciones de operación (T_{fe}) y del captador solar (a_0, a_1 y a_2).

Hay otra serie de factores que también influyen en el rendimiento del captador solar y cuya repercusión se ve analizada por parte de TRNSYS, como es el hecho de la incidencia de la radiación

del espectro solar. Cuando se realizan las pruebas de los colectores se suele suponer que la incidencia para la radiación es normal, pero en realidad este fenómeno no suele ocurrir modificandorse el factor de forma.

Este suceso lo analiza TRNSYS mediante el parámetro "Modifier" que define como:

$$\mathrm{Modifier} = 1 - \mathrm{b}_0 \cdot \mathrm{S} - \mathrm{b}_1 \cdot \mathrm{S}^2$$

Donde:

- b_0 : es la variable que TRNSYS define como "1 st-order IAM" y en esta simulación toma el valor de 0.2.
- b_1 : es la variable que TRNSYS define como "2 nd-order IAM" y en esta simulación se supone nulo.
- $\mathrm{S} = (1/\cos\theta) - 1$, donde θ se trata del ángulo de incidencia de la radiación directa.

De esta forma, y con estos valores el campo solar queda completamente definido en la simulación.

En cuanto al depósito de acumulación, al que se le variará el volumen en búsqueda de la instalación más eficiente, para la definición de este TRNSYS tiene en cuenta un coeficiente de pérdidas desde el interior del depósito hacia el exterior, lo denomina "Tank loss coefficient" y en este estudio toma el valor de 0.694 W/m^2K. Para que este valor disminuyera debería aislarse el depósito a modo de transferir menos calor al ambiente.

Otro de los parámetros que se deben especificar en el depósito son las alturas de las distintas bandas de temperatura que sufrirá el mismo. En este caso, se ha hecho una discretización del depósito en seis nodos diferentes, es decir, seis franjas uniformes distintas de 0.3 metros de altura cada una.

Por otra parte TRNSYS da la posibilidad de introducir en el depósito de acumulación una serie de resistencias que calienten el agua en el depósito a partir de una cierta temperatura previamente determinada. Dado a que en este proyecto se pretende dar una solución a la climatización y al ACS lo más renovable posible no tendría sentido incorporar resistencias ya en el depósito de acumulación, por lo que se incorpora un calentador independiente que suministre el calor necesario para llevar el agua a la temperatura de consigna y permita evaluar el excedente de energía a aportar en la instalación para su correcto funcionamiento.

4.6. Fracción de demanda cubierta

Como se ha comentado anteriormente en la simulación de este proyecto se han ido variando

parámetros de la instalación con el fin de encontrar aquellos que la hagan más eficiente y de esta manera generen una menor dependecia de las energías convencionales a base de combustibles fósiles.

Los parámetros que se han considerado han sido las dimensiones del campo solar, es decir, el número de captadores solares y las dimensiones del depósito de almacenamiento, en concreto variando directamente su volumen en el estudio de TRNSYS.

Los casos analizados se muestran en la Tabla 4-3:

Superficie captadores (m2)	Volumen depósito (m3)
12	1.8
12	1.6
12	1.5
12	1.4
12	1.3
12	1.0
12	0.8

Superficie captadores (m2)	Volumen depósito (m3)
10	1.5
10	1.4
10	1.3
10	1.2
10	1.0

Superficie captadores (m2)	Volumen depósito (m3)
8	1.0
8	0.9
8	0.8
8	0.7

Superficie captadores (m2)	Volumen depósito (m3)
6	1.0
6	0.9
6	0.8
6	0.7
6	0.6
6	0.5
6	0.4
6	0.3

Superficie captadores (m2)	Volumen depósito (m3)
4	0.7
4	0.5

Tabla 4-3.- Casos analizados en la simulación (I)

(Fuente: elaboración propia)

A la hora de elegir un volumen del depósito acorde con las dimensiones del campo solar, se ha tenido en cuenta la restricción que el CTE impone para las instalaciones de ACS, la cual relaciona directamente el área de captación solar con el volumen de acumulación a modo que se cumpla la siguiente inecuación a modo de guía:

$$50 < {}^{V}/_{A} < 180$$

Donde:

- A: la suma de las áreas de los captadores (m^2)
- V: el volumen del depósito de acumulación solar (L)

A partir de la casuística elegida, se ha estudiado su completa repercusión si la instalación estuviera dimensionada con esos parámetros. De esta manera, para cada uno de los casos se ha calculado la fracción de demanda cubierta, entendiendo por fracción de demanda cubierta a una variable adimensional que indica la capacidad de la instalación de suministrar el agua caliente, ya sea para la climatización de la vivienda o para el ACS de la misma, a raíz de únicamente la energía solar.

Se ha analizado la fracción de demanda cubierta de cada caso de dos maneras posibles, teniendo en cuenta el número de horas que la instalación no está funcionando, que hace referencia a la cantidad de horas al año que el sistema no demanda energía y por otro lado se ha procedido al análisis sin tener en cuenta el sumatorio de estas horas para así comprobar la eficiencia de la instalación en aquellos momentos en los que es útil.

Por una parte se ha procedido a un estudio mensual, dado a que la demanda varía notablemente mes a mes, y en caso de haber dejado el estudio únicamente en un estudio anual no se podría evaluar cuando presenta inconvenientes la instalación o detectar así sus intervalos menos productivos.

ENERO			
f	Nº horas	Todo el mes	Cuando funciona
0	259	38%	0%
0 - 30	41	6%	10%
30 - 45	16	2%	4%
45 - 55	26	4%	6%
55 - 70	37	5%	9%
70 - 90	69	10%	16%
90 - 100	239	35%	56%
TOTAL	744	100%	100%

FEBRERO			
f	Nº horas	Todo el mes	Cuando funciona
0	292	44%	0%
0 - 30	12	2%	3%
30 - 45	15	2%	4%
45 - 55	7	1%	2%
55 - 70	19	3%	5%
70 - 90	25	4%	7%
90 - 100	294	44%	79%
TOTAL	672	100%	100%

MARZO			
f	Nº horas	Todo el mes	Cuando funciona
0	392	54%	0%
0 - 30	10	1%	3%
30 - 45	5	1%	1%
45 - 55	7	1%	2%
55 - 70	11	2%	3%
70 - 90	12	2%	4%
90 - 100	290	40%	87%
TOTAL	744	100%	100%

ABRIL			
f	Nº horas	Todo el mes	Cuando funciona
0	463	64%	0%
0 - 30	0	0%	0%
30 - 45	0	0%	0%
45 - 55	0	0%	0%
55 - 70	0	0%	0%
70 - 90	0	0%	0%
90 - 100	257	36%	100%
TOTAL	720	100%	100%

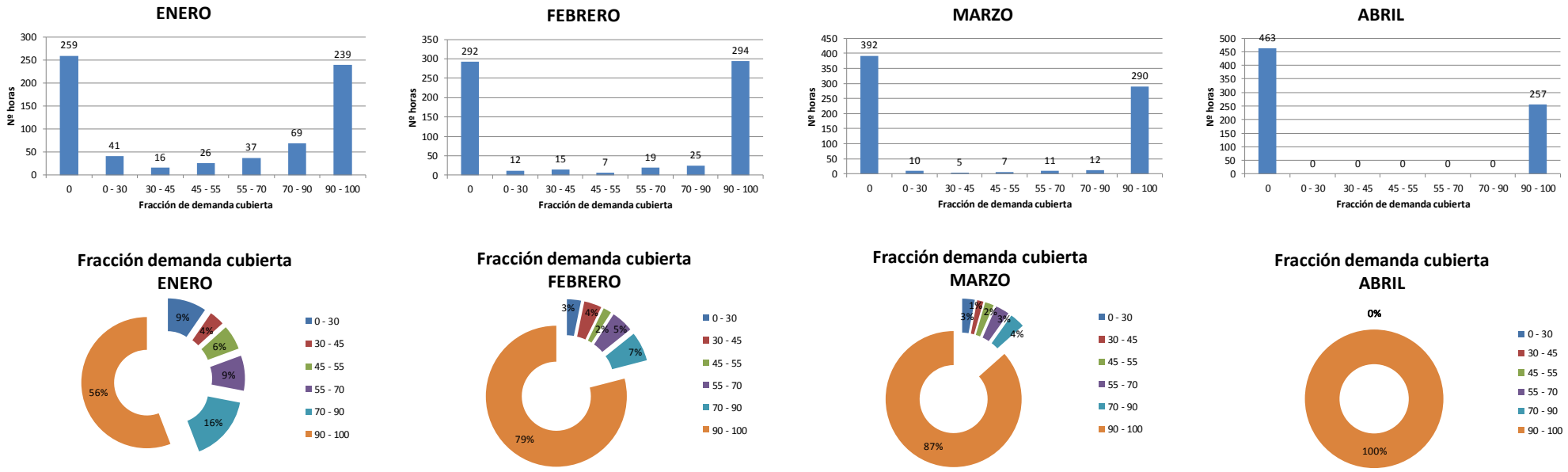


Figura 4-8.- Fracción de demanda cubierta primer cuatrimestre del año

(Fuente: Elaboración propia)

MAYO			
f	Nº horas	Todo el mes	Cuando funciona
0	485	65%	0%
0 - 30	0	0%	0%
30 - 45	0	0%	0%
45 - 55	0	0%	0%
55 - 70	0	0%	0%
70 - 90	0	0%	0%
90 - 100	259	35%	100%
TOTAL	744	100%	100%

JUNIO			
f	Nº horas	Todo el mes	Cuando funciona
0	388	54%	0%
0 - 30	3	0%	1%
30 - 45	4	1%	1%
45 - 55	4	1%	1%
55 - 70	8	1%	2%
70 - 90	28	4%	9%
90 - 100	277	39%	85%
TOTAL	720	100%	100%

JULIO			
f	Nº horas	Todo el mes	Cuando funciona
0	342	46%	0%
0 - 30	8	1%	2%
30 - 45	3	0%	1%
45 - 55	5	1%	1%
55 - 70	14	2%	3%
70 - 90	31	4%	8%
90 - 100	341	46%	85%
TOTAL	744	100%	100%

AGOSTO			
f	Nº horas	Todo el mes	Cuando funciona
0	351	47%	0%
0 - 30	5	1%	1%
30 - 45	0	0%	0%
45 - 55	2	0%	1%
55 - 70	7	1%	2%
70 - 90	21	3%	5%
90 - 100	358	48%	91%
TOTAL	744	100%	100%

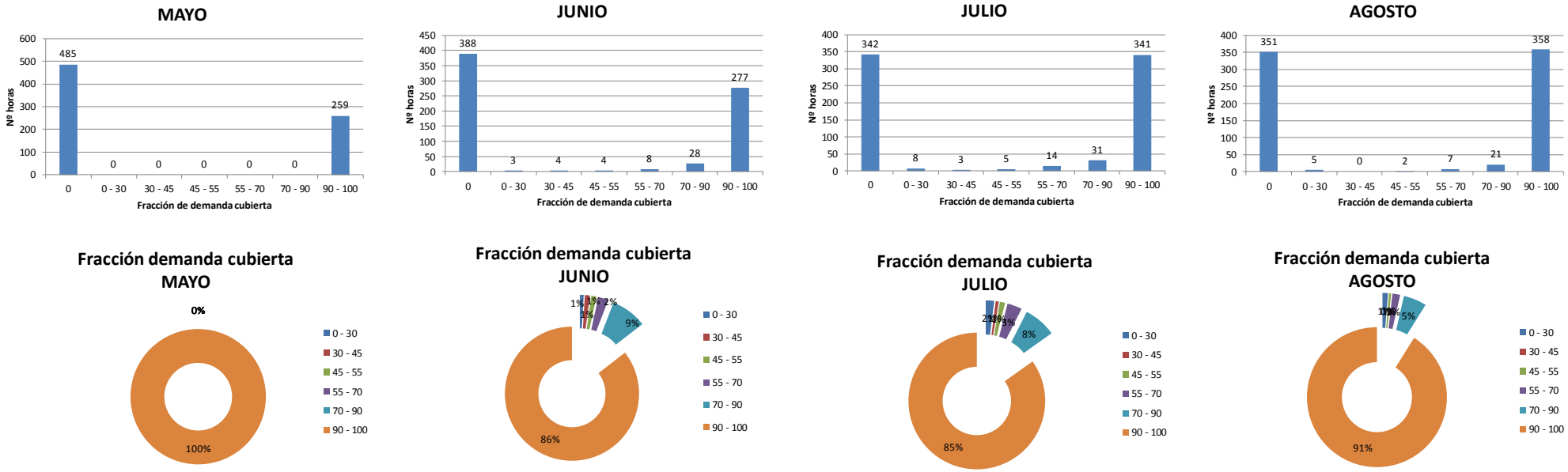


Figura 4-9.- Fracción de demanda cubierta segundo cuatrimestre del año

(Fuente: Elaboración propia)

SEPTIEMBRE			
f	Nº horas	Todo el mes	Cuando funciona
0	372	52%	0%
0 - 30	6	1%	2%
30 - 45	2	0%	1%
45 - 55	1	0%	0%
55 - 70	5	1%	1%
70 - 90	14	2%	4%
90 - 100	315	44%	92%
TOTAL	720	100%	100%

OCTUBRE			
f	Nº horas	Todo el mes	Cuando funciona
0	493	66%	0%
0 - 30	0	0%	0%
30 - 45	0	0%	0%
45 - 55	0	0%	0%
55 - 70	0	0%	0%
70 - 90	0	0%	0%
90 - 100	251	34%	100%
TOTAL	744	100%	100%

NOVIEMBRE			
f	Nº horas	Todo el mes	Cuando funciona
0	384	54%	0%
0 - 30	4	1%	1%
30 - 45	8	1%	2%
45 - 55	6	1%	2%
55 - 70	15	2%	5%
70 - 90	64	9%	20%
90 - 100	228	32%	70%
TOTAL	720	100%	100%

DICIEMBRE			
f	Nº horas	Todo el mes	Cuando funciona
0	258	38%	0%
0 - 30	59	9%	13%
30 - 45	23	3%	5%
45 - 55	32	5%	3%
55 - 70	25	4%	8%
70 - 90	34	5%	7%
90 - 100	240	36%	63%
TOTAL	744	100%	100%

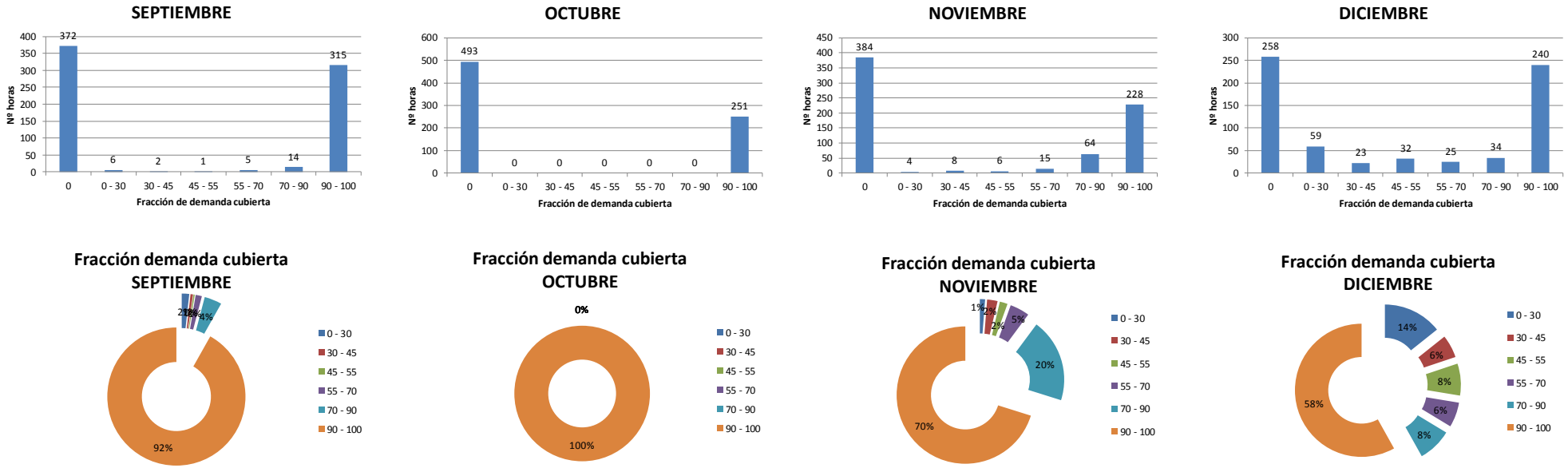


Figura 4-10.- Fracción de demanda cubierta tercer cuatrimestre del año

(Fuente: Elaboración propia)

El caso mostrado en las figuras: Figura 4-8, Figura 4-9 y Figura 4-10, se corresponde con uno de los casos intermedios estudiados, en concreto la casuística de una superficie de 10 m^2 y 1.3 m^3 de volumen de depósito acumulador. En ella se puede ver:

- La primera figura está generada de modo que cuente el número de horas con una fracción de demanda cubierta determinada según el archivoTRNSYS una vez simulada la instalación.

- En la segunda figura se representa en un diagrama de barras el número de horas de cada fracción de demanda cubierta para un determinado mes teniendo en cuenta el volumen de horas que la instalación está sin funcionar. Es en este gráfico donde se aprecia con claridad la importancia de este número de horas, justificando así su estudio descontándoas.

- La tercera figura es necesaria para saber a simple viste cuan efectiva está siendo la instalación. Dado a que se trata de un gráfico en anillo, donde están representadas las fracciones de demanda cubierta únicamente en los momentos en los que se está demandando energía a la instalación.

Con el objetivo de tener un conocimiento aún más claro del funcionamiento de la instalación a la vista de los gráficos, se ha analizado mensualmente la fracción de demanda cubierta haciendo hincapié en si ésta supera el setenta por ciento. Se ha escogido este criterio dado a que a partir de que la instalación sea capaz de generar el 70% de la energía demandada, se considerará eficiente.

De esta manera y con el mismo caso que el expuesto en las figuras anteriores tendremos la Figura 4-11, resultado de agrupar las horas en las que la fracción de demanda cubierta sea superior al 70% y en las que sea inferior.

En este caso, al disponer de un gran campo solar considerable, se cubre prácticamente toda la demanda varios meses seguidos. Para ACS, a modo de proteger la instalación frente a sobrecalentamientos, esto se debe de tener en cuenta, ya que la normativa no permite en ningún mes del año que la energía producida por la instalación supere el 110% de la demanda energética, así como tampoco permitirá que genere el 100% de la demanda durante tres meses consecutivos.

En el caso de que la contibución solar sobrepase el 100% de la demanda energética, el CTE-HE4 obliga a que se adopten cualquiera de las siguientes medidas:

- Disipación de excedentes generados.
- Tapado parcial del campo de captadores por el que circule el fluido.
- Vaciado parcial del campo de captadores.
- Desvío de excedentes a otras aplicaciones existentes.

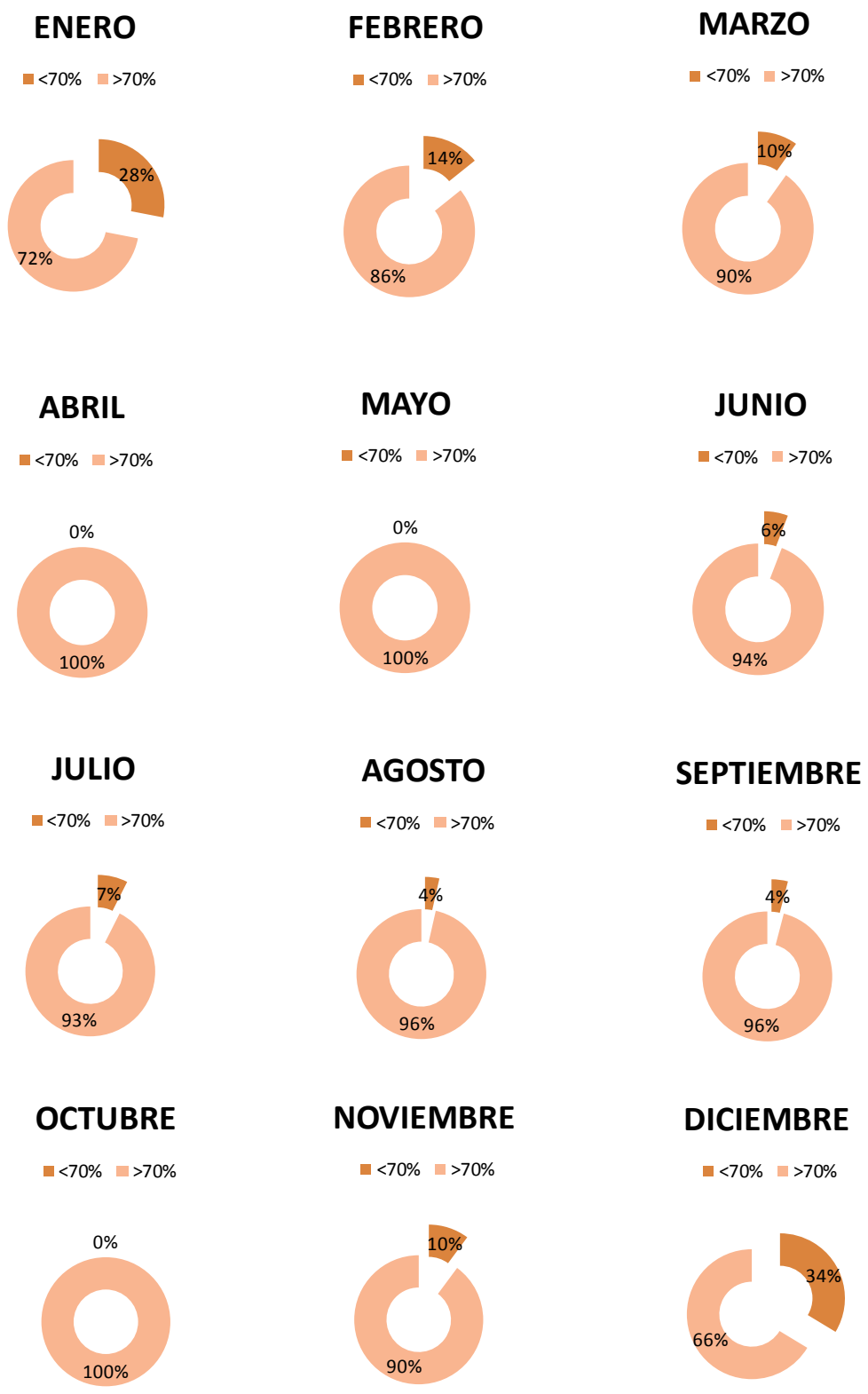


Figura 4-11.- Fracción de demanda cubierta en función del 70%

(Fuente: Elaboración propia)

Aunque en la Figura 4-11 se aprecien varios meses con altas fracciones de demanda cubiertas, hay que hacer hincapié en que en esta figura se está haciendo referencia al tanto por ciento que la fracción de demanda cubierta supera el 70%, luego, que el todo el mes la fracción de demanda cubierta sea mayor al 70% no implica que todo el mes genere el 100% de la demanda.

La evolución mensual de todos los casos es análoga, pese a que algunas casuísticas alcancen mayores coberturas, lo que permite a partir de este caso específico poder llegar a varias conclusiones:

- El 55% de las horas que componen los 365 días del año no se demandará energía a la instalación, por lo que esta misma estará parada y será tiempo que no influya a la hora de realizar el estudio de la misma.
- La mayor fracción de demanda cubierta se alcanza como era de esperar en los meses de primavera y otoño en los que la carga de climatización es escasa.
- Se cubre una mayor cobertura de demanda en verano que en invierno pues aunque el COP de la máquina de absorción sea menor, ya que los niveles de radiación en Sevilla son muy altos.
- Los niveles de demanda cubiertos pueden llegar a ser muy altos, pero el uso de esta tipología de instalaciones dependerá de factores externos como el económico, que será la limitación principal.

4.7. Dependencia con la energía convencional

Una vez analizada la fracción de demanda cubierta, otro parámetro intereseante y por ello estudiado en esta simulación, es el grado de dependencia de las energías convencionales por parte de la instalación.

Para ello hay que tener en cuenta que la instalación será completamente independiente de energías convencionales cuando la fracción de demanda cubierta sea igual a la unidad, y toda la demanda se cubra a partir de la irradiación captada en el campo solar de la instalación.

De manera análoga al procedimiento anterior se han vuelto a estudiar los mismos casos de superfie total de captación con su volumen de captación correspondiente indicados en la Tabla 4-3.

Para estos casos se ha calculado el número de horas en los que la instalación sería capaz de cubrir la demanda mediante energía solar, representados en la Tabla 4-4, así como el porcentaje sobre las horas totales de funcionamiento de la instalación que esta se servirá únicamente de la irradiación captada.

Superficie captadores (m2)	Volumen depósito (m3)	Nº horas f=1	%f=1
12	1.8	3406	74.01%
12	1.6	3424	74.39%
12	1.5	3433	74.58%
12	1.4	3442	74.76%
12	1.3	3420	74.23%
12	1.0	3259	70.56%
12	0.8	3170	68.38%
10	1.5	3104	66.55%
10	1.4	3121	66.96%
10	1.3	3161	67.86%
10	1.2	3154	67.65%
10	1.0	3114	66.68%
8	1.0	2673	56.18%
8	0.9	2708	57.00%
8	0.8	2760	58.06%
8	0.7	2760	57.92%
6	1.0	1563	31.46%
6	0.9	1644	33.21%
6	0.8	1708	34.53%
6	0.7	1803	36.45%
6	0.6	1927	38.92%
6	0.5	2076	41.96%
6	0.4	2151	43.44%
4	0.7	333	6.31%
4	0.5	458	8.78%
4	0.4	650	12.48%

Tabla 4-4.- Nº de horas de fracción de demanda cubierta igual a la unidad

(Fuente: Elaboración propia)

A la vista de la Tabla 4-4 se denota la presencia de una combinación para cada una de las superficies de captadores que junto a un volumen de depósito determinado producen un mayor número de horas sin consumo de combustibles.

El hecho de que haya un máximo está justificado dado que para una misma superficie de captación a medida que el volumen del depósito de acumulación aumenta será más complicado calentar todo el agua que contiene en su interior. Sin embargo, a medida que su volumen disminuye la cantidad de agua fría de reposición proveniente de la red que entre al depósito será superior comparada con el agua que está en el depósito.

Este hecho se puede visualizar en la Figura 4-12 donde con grado de independencia se evalúa el tanto por ciento sobre las horas de funcionamiento en los que la fracción de demanda cubierta es la unidad.

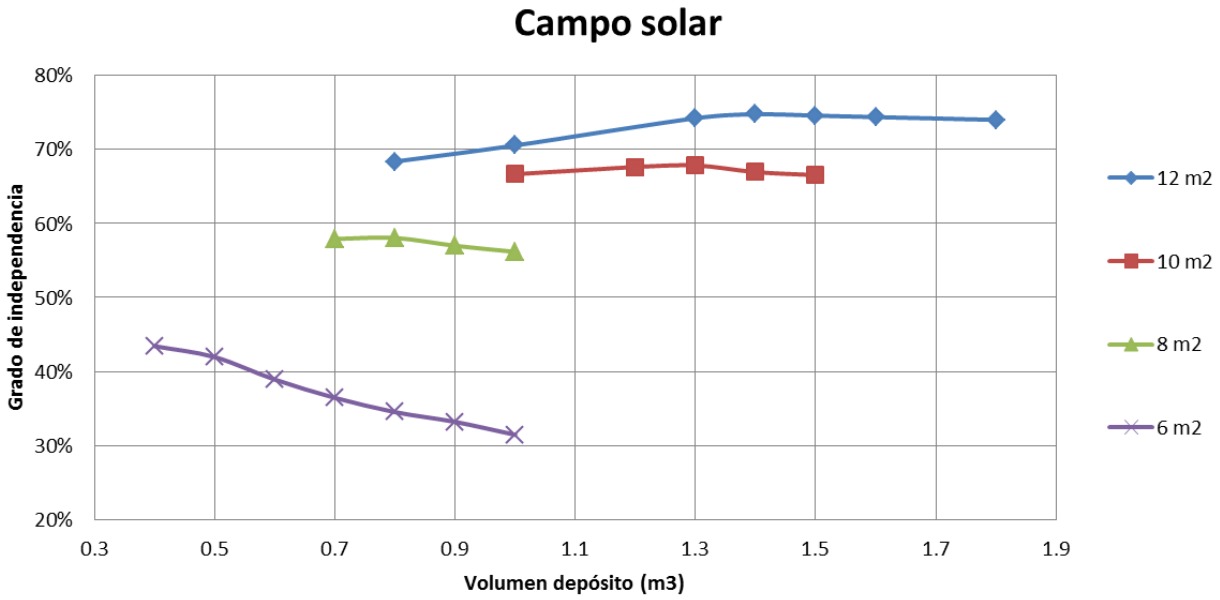


Figura 4-12.- Grado de independencia de combustibles fósiles según superficie del campo solar

(Fuente: Elaboración propia)

Los máximos que se aprecian con exactitud en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** e corresponden con la Tabla 4-5:

Superficie captadores (m2)	Volumen depósito (m3)	Nº horas f=1	%f=1
12	1.4	3442	74.76%
10	1.3	3161	67.86%
8	0.8	2760	58.06%
6	0.4	2151	43.44%
4	0.4	650	12.48%

Tabla 4-5.- Dimensiones óptimas de la instalación

(Fuente: Elaboración propia)

Como era de esperar para disponer de un alto grado de depencia de energías convencionales, gracias al sistema de energía auxiliar de la instalación, se necesitarían dimensiones muy elevadas de superficie en el campo solar. Más superficie de la disponible en la vivienda unifamiliar y además una

instalación de inversión incial demasiado elevada. Esto derivaría en una rentabilidad que no quedaría justificada a corto plazo y que crearía incertidumbre en el dueño de la vivienda.

5 CONCLUSIONES

El diseño de una instalación solar térmica, sea cual sea su aplicación final, en el caso de este proyecto una instalación multipropósito, presenta ciertas dificultades derivadas de la propia fuente de energía, que es el Sol.

Por un lado, la cantidad de radiación incidente fluctua de unos meses a otros, siendo menor en los meses de invierno, cuando precisamente la demanda de energía requerida es mayor a causa de la calefacción necesaria en la vivienda.

Por otro lado, el hecho de que sólo se pueda obtener radiación solar durante las horas de sol, hace que sea necesario el uso de un sistema de acumulación, con el objetivo de satisfacer la demanda mediante el almacenamiento de energía térmica.

Además, el nivel de radiación recibida no es un parámetro que pueda fijarse a priori, no es predecible, por lo que siempre será necesario dotar a la instalación de un sistema de energía auxiliar capaz de satisfacer toda la demanda energética en los casos más desfavorables.

La superficie de captación necesaria para atender al 100% de la demanda de ACS y climatización solar sería muy elevada y superior a la superficie disponible en la azotea de la vivienda. Aún así, las intalaciones barajadas pueden llegar a satisfacer una demanda energética considerable que conllevaría a una reducción notable del uso del sistema de energía auxiliar y por consiguiente un ahorro de emisiones y combustible.

Además, debido a la reducción de las reservas de petróleo y otros combustibles y su encarecimiento se espera un progresivo aumento del coste de la electricidad. Este hecho beneficia en gran medida a los sistemas de absorción los cuales, a diferencia de los sistemas de refrigeración por compresión, tienen un consumo muy reducido de electricidad.

A pesar de los inconvenientes frente a la refrigeración por compresión, la refrigeración por absorción tiene un futuro muy prometedor gracias a su bajo consumo eléctrico, poco mantenimiento y su respeto por el medio ambiente gracias a que no usa refrigerantes que sean dañinos ni tóxicos.

Como inconveniente principal de la instalación se tendría el tamaño, cuyo motivo viene derivado de la climatización solar, si bien es verdad que en los últimos años el número de instalaciones ha seguido aumentando, los sistemas de refrigeración solar aún no están al mismo nivel competitivo que los sistemas de compresión.

La primera causa, cuyo impacto ha quedado fuera del alcance de este proyecto, es el elevado coste inicial de los equipos y de la instalación, de al menos el triple que el de los sistemas de compresión. Durante los últimos diez años, el coste de los captadores se ha reducido considerablemente, si se mantiene el esfuerzo en desarrollar y mejorar los sistemas de

captación, reduciendo su coste y aumentando el rendimiento, afectará positivamente al mercado de la refrigeración solar. Por otro lado, si se mantienen el interés en los sistemas de absorción, con el tiempo los sistemas serán optimizados y sus costes se reducirán. Será entonces cuando este tipo de instalaciones sean más rentables y comiencen a usarse a pequeña escala, como es el caso de este proyecto.

REFERENCIAS

Ageitos, M. G. (09 de 2012). *INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA PROVEER ACS A LA RESIDENCIA DE ESTUDIANTES DEL CAMPUS UNIVERSITARIO DE TERRASSA*. Recuperado el 30 de 06 de 2016, de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/16797/Memoria.pdf?sequence=1

Agencia Andaluza de la Energía. (2011). *Energía Solar Térmica a Baja Temperatura.*

CTE. (s.f.). *Código Técnico de la Edificación*. Recuperado el 28 de 06 de 2016, de http://www.codigotecnico.org/

ENDESA. (s.f.). *Endesa educa*. Recuperado el 27 de 06 de 2016, de http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/el-sector-electrico/consumo-energia-mundo

ENERGÍAS RENOVABLES. (21 de 11 de 2015). *ENERGÍAS RENOVABLES, El periodísmo de las energías limpias.* Recuperado el 28 de 06 de 2016, de PLAN DE ENERGÍAS RENOVABLES 2011-2020

ENERGÍAS RENOVABLES. (02 de 01 de 2016). *ENERGÍAS RENOVABLES, El periodísmo de las energías limpias.* Recuperado el 28 de 06 de 2016, de http://www.energias-renovables.com/articulo/las-renovables-produjeron-en-espana-en-2015-20151230

Escobedo Bretado, J. A., Martín Dominguez, I. R., & Alarcón Herrera, M. T. (2008). *ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE UN SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA SOLAR PARA UN COMEDOR INDUSTRIAL, MEDIANTE SIMULACIÓN EN TRNSYS.* Mérida, Yucatán, México.

Espada, B. (28 de 12 de 2015). *ERENOVABLE.COM*. Recuperado el 28 de 06 de 2016, de Energía solar ventajas y desventajas.: http://erenovable.com/energia-solar-ventajas-y-desventajas/

Espinosa, J. F. (2011). *SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DEL SISTEMA SOLAR TÉRMICO DE UNA VIVIENDA.* Santiago de Chile.

European Commision. (s.f.). *Causas del cambio climático.* Recuperado el 28 de 06 de 2016, de http://ec.europa.eu/clima/change/causes/index_es.htm

European Commission. (s.f.). *2030 Energy Strategy*. Recuperado el 28 de 06 de 2016, de http://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy/2030-energy-strategy

FOED. (s.f.). *Los movimientos del Sol en el cielo. El concepto de ecuador celeste y eclíptica.* Recuperado el 28 de 06 de 2016, de http://astrogea.org/coordenada/ficha3.htm

Foro Nuclear. (2015). Recuperado el 27 de 06 de 2016, de http://www.foronuclear.org/es/energia/2015

González, A. C. (2009). *DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA MULTIPROPÓSITO PARA UN EDIFICIO DE VIVIENDAS EN GRANADA*. Recuperado el 30 de 06 de 2016, de http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/7310/PFC_Ana_Criado_Gonzalez.pdf?sequence=1

Grupo de Energías Renovables. (2006). *Prototipo de vivienda familiar de madera: comportamiento térmico experimental y modelizado con TRNSYS y SIMUSOL.* Provincia de Corrientes, Argentina.

Hernández Campillo, A. (02 de 2015). *DISEÑO DE INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA PRODUCCIÓN DE ACS EN EL CENTRO ASPACE DE VALLADOLID*. Recuperado el 30 de 06 de 2016, de https://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/13176/1/TFG-P-244.pdf

IDAE. (2006). *Energía Solar Térmica.* Madrid.

IDAE, Gobierno de España. (2011). *PLAN DE ENERGÍAS RENOVABLES 2011-2020.*

ingemecanica. (s.f.). Recuperado el 28 de 06 de 2016, de http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn188.html

M., J. R. (s.f.). *10CE, Energía renovable a tu alcance.* Recuperado el 28 de 06 de 2016, de http://www.10ceingenieria.cl/2016/03/debemos-utilizar-energias-renovables.html

MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO. (2013). *RITE.*

NATIONAL GEOGRAPHIC. (s.f.). *Medio ambiente, lluvia ácida.* Recuperado el 28 de 06 de 2016, de http://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/calentamiento-global/acid-rain-overview

NUCLENOR. (s.f.). *222 Cuestiones sobre la energía.* Recuperado el 28 de 06 de 2016, de http://www.nuclenor.org/aula/222_07/capitulo1.htm

OCDE. (s.f.). Recuperado el 27 de 06 de 2016, de http://www.oecd.org/centrodemexico/inicio/

Pascual, J. P. (12 de 12 de 2015). Recuperado el 27 de 06 de 2016, de http://lastrescrisis.blogspot.com.es/2015/12/informe-2015-agencia-internacional-energia.html

Pereda Lebaniegos, E. (09 de 2015). *OPTIMIZACIÓN DE LOS SISTEMAS TÉRMICOS SOLARES PARA VIVIENDAS UNIFAMILIARES AISLADAS*. Recuperado el 30 de 06 de 2016, de https://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/14065/1/TFG-A-021.pdf

Ruiz, M. B. (12 de 2012). *ANÁLISIS DE MÉTODOS DE DIMENSIONADO DE INSTALACIONES SOLARES PARA ACS*. Obtenido de http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/17045/PFC%20-%20Maite%20Ballesteros%20Ruiz.pdf?sequence=1

TRNSYS. (s.f.). Recuperado el 28 de 06 de 2016, de http://www.trnsys.com/

ANEXO I

En este Anexo se recogen, al igual que en las Figura 4-8, Figura 4-9 y Figura 4-10, la evolución mensual de la fracción de demanda cubierta con el fin de comrpobar que para todos los casos esta misma sigue una evolución análoga.

A la hora de representar los resultados obtenidos en la simulación, en este Anexo se recogerán exclusivamente aquellos referidos a la combinación óptima para cada una de las superficies totales del campo solar analizadas. En concreto estos valores quedaron reflejados en la Tabla 4-5, habiendo sido el caso con 10 m^2 de campo solar y 1.3 m^3 de volumen de acumulación ya expuesto a modo de ejemplo para explicar su evolución.

De este modo, para los tres casos restantes se expone el número de horas de cada fracción de demanda cubierta al mes y posteriormente para tener una mejor visión global, este Anexo contiene la evolución mensual de la fracción de demanda cubierta agrupada según supere o no el valor del 70%.

ENERO			
f	Nº horas	Todo el mes	Cuando funciona
0	260	37%	0%
0 - 30	29	4%	7%
30 - 45	17	2%	4%
45 - 55	12	2%	3%
55 - 70	33	5%	7%
70 - 90	59	8%	13%
90 - 100	292	42%	66%
TOTAL	744	100%	100%

FEBRERO			
f	Nº horas	Todo el mes	Cuando funciona
0	291	44%	0%
0 - 30	7	1%	2%
30 - 45	7	1%	2%
45 - 55	6	1%	2%
55 - 70	18	3%	5%
70 - 90	18	3%	5%
90 - 100	320	48%	85%
TOTAL	672	100%	100%

MARZO			
f	Nº horas	Todo el mes	Cuando funciona
0	392	54%	0%
0 - 30	2	0%	1%
30 - 45	4	1%	1%
45 - 55	8	1%	2%
55 - 70	15	2%	4%
70 - 90	12	2%	4%
90 - 100	295	41%	88%
TOTAL	744	100%	100%

ABRIL			
f	Nº horas	Todo el mes	Cuando funciona
0	463	64%	0%
0 - 30	0	0%	0%
30 - 45	0	0%	0%
45 - 55	0	0%	0%
55 - 70	0	0%	0%
70 - 90	0	0%	0%
90 - 100	257	36%	100%
TOTAL	720	100%	100%

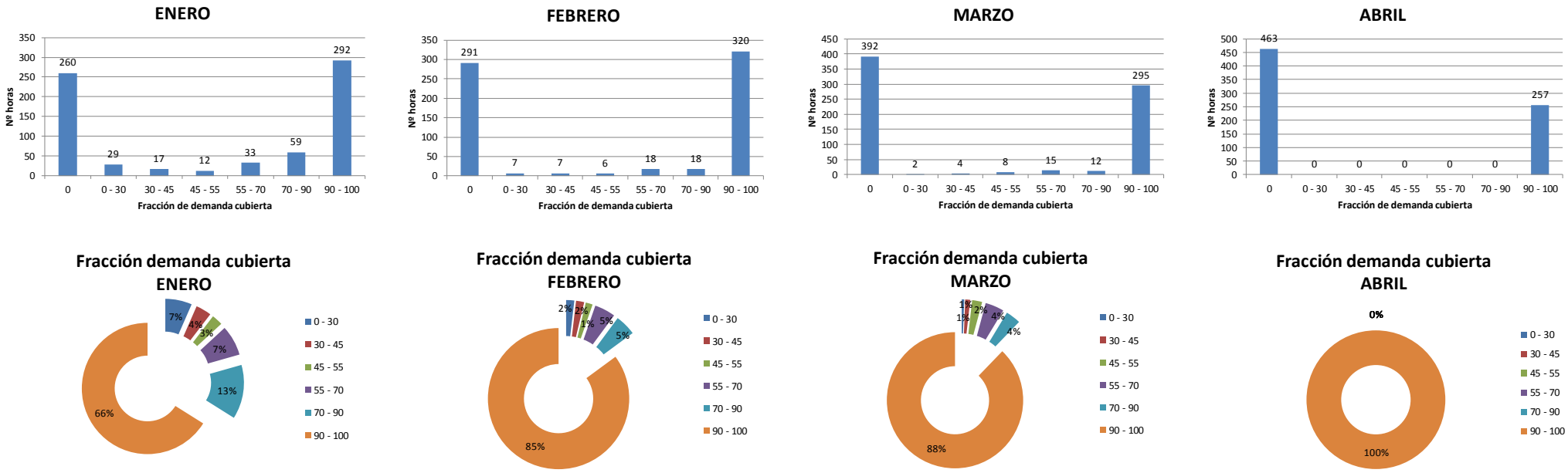


Figura 0-1.- Fracción de demanda cubierta primer cuatrimestre del año (12 m^2 y 1.4 m^3)

(Fuente: Elaboración propia)

MAYO			
f	Nº horas	Todo el mes	Cuando funciona
0	485	65%	0%
0 - 30	0	0%	0%
30 - 45	0	0%	0%
45 - 55	0	0%	0%
55 - 70	0	0%	0%
70 - 90	0	0%	0%
90 - 100	259	35%	100%
TOTAL	744	100%	100%

JUNIO			
f	Nº horas	Todo el mes	Cuando funciona
0	388	54%	0%
0 - 30	2	0%	1%
30 - 45	6	1%	2%
45 - 55	3	0%	1%
55 - 70	4	1%	1%
70 - 90	18	3%	5%
90 - 100	295	41%	90%
TOTAL	720	100%	100%

JULIO			
f	Nº horas	Todo el mes	Cuando funciona
0	342	46%	0%
0 - 30	0	0%	0%
30 - 45	7	1%	2%
45 - 55	4	1%	1%
55 - 70	7	1%	2%
70 - 90	12	2%	3%
90 - 100	372	50%	93%
TOTAL	744	100%	100%

AGOSTO			
f	Nº horas	Todo el mes	Cuando funciona
0	351	47%	0%
0 - 30	5	1%	1%
30 - 45	0	0%	0%
45 - 55	2	0%	1%
55 - 70	6	1%	2%
70 - 90	13	2%	3%
90 - 100	367	49%	93%
TOTAL	744	100%	100%

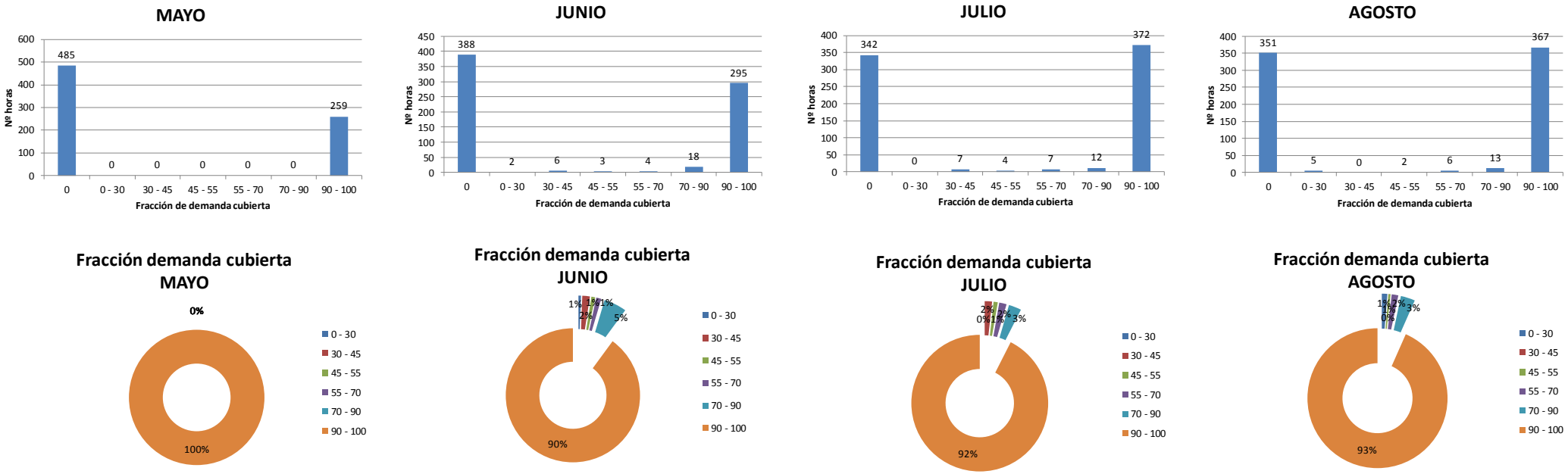


Figura 0-2.- Fracción de demanda cubierta segundo cuatrimestre del año (12 m^2 y 1.4 m^3)

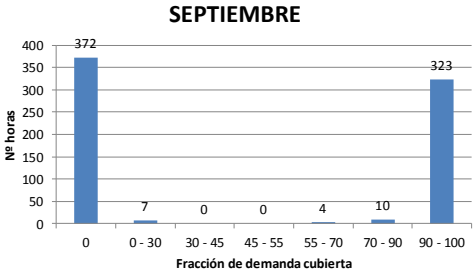
(Fuente: Elaboración propia)

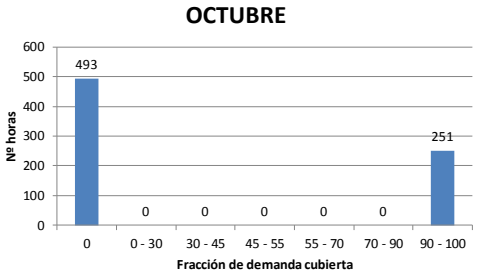
SEPTIEMBRE			
f	Nº horas	Todo el mes	Cuando funciona
0	372	52%	0%
0 - 30	7	1%	2%
30 - 45	0	0%	0%
45 - 55	0	0%	0%
55 - 70	4	1%	1%
70 - 90	10	1%	3%
90 - 100	323	45%	94%
TOTAL	720	100%	100%

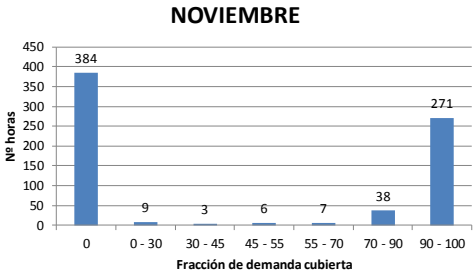
OCTUBRE			
f	Nº horas	Todo el mes	Cuando funciona
0	493	66%	0%
0 - 30	0	0%	0%
30 - 45	0	0%	0%
45 - 55	0	0%	0%
55 - 70	0	0%	0%
70 - 90	0	0%	0%
90 - 100	251	34%	100%
TOTAL	744	100%	100%

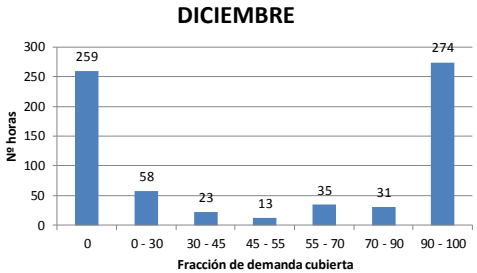
NOVIEMBRE			
f	Nº horas	Todo el mes	Cuando funciona
0	384	53%	0%
0 - 30	9	1%	3%
30 - 45	3	0%	1%
45 - 55	6	1%	2%
55 - 70	7	1%	2%
70 - 90	38	5%	11%
90 - 100	271	38%	81%
TOTAL	720	100%	100%

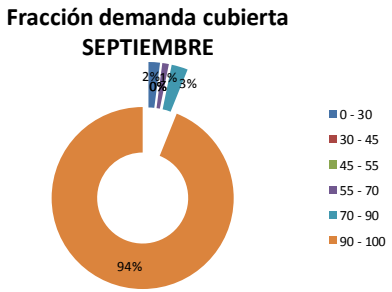
DICIEMBRE			
f	Nº horas	Todo el mes	Cuando funciona
0	259	37%	0%
0 - 30	58	8%	13%
30 - 45	23	3%	5%
45 - 55	13	2%	3%
55 - 70	35	5%	8%
70 - 90	31	4%	7%
90 - 100	274	40%	63%
TOTAL	744	100%	100%

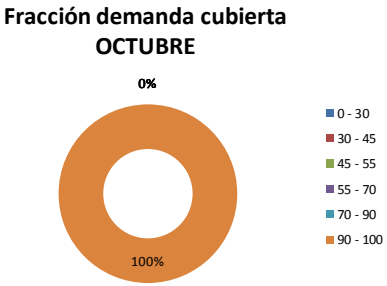


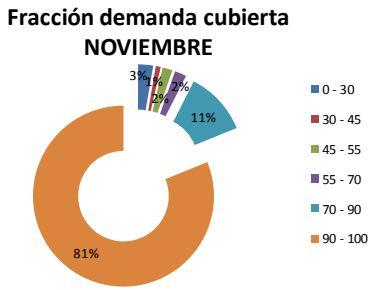












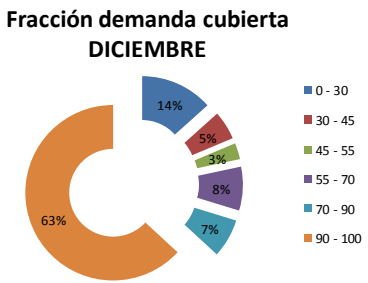


Figura 0-3.- Fracción de demanda cubierta tercer cuatrimestre del año (12 m^2 y 1.4 m^3)

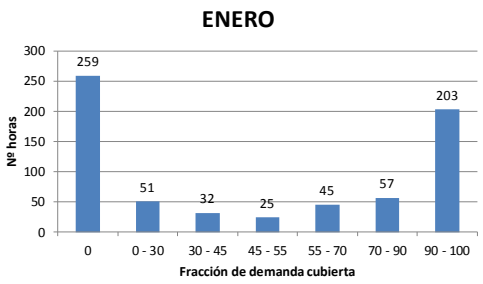
(Fuente: Elaboración propia)

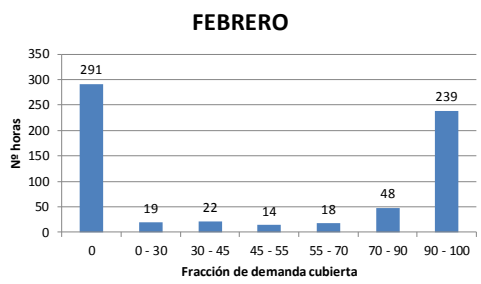
ENERO			
f	Nº horas	Todo el mes	Cuando funciona
0	259	39%	0%
0 - 30	51	8%	12%
30 - 45	32	5%	8%
45 - 55	25	4%	6%
55 - 70	45	7%	11%
70 - 90	57	8%	14%
90 - 100	203	30%	49%
TOTAL	744	100%	100%

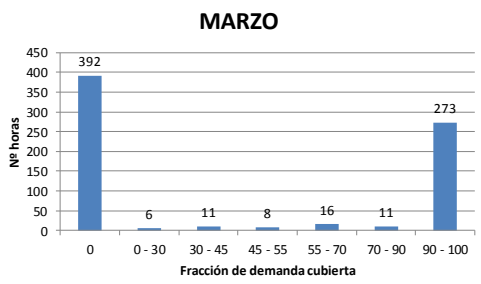
FEBRERO			
f	Nº horas	Todo el mes	Cuando funciona
0	291	45%	0%
0 - 30	19	3%	5%
30 - 45	22	3%	6%
45 - 55	14	2%	4%
55 - 70	18	3%	5%
70 - 90	48	7%	13%
90 - 100	239	37%	66%
TOTAL	672	100%	100%

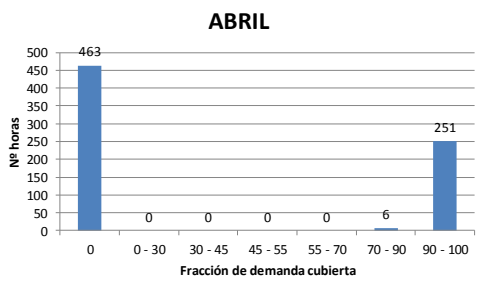
MARZO			
f	Nº horas	Todo el mes	Cuando funciona
0	392	55%	0%
0 - 30	6	1%	2%
30 - 45	11	2%	3%
45 - 55	8	1%	2%
55 - 70	16	2%	5%
70 - 90	11	2%	3%
90 - 100	273	38%	84%
TOTAL	744	100%	100%

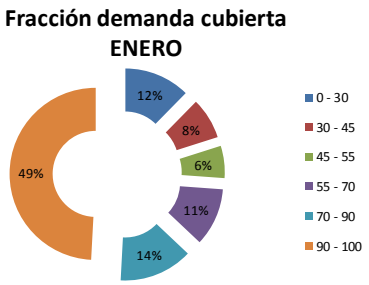
ABRIL			
f	Nº horas	Todo el mes	Cuando funciona
0	463	64%	0%
0 - 30	0	0%	0%
30 - 45	0	0%	0%
45 - 55	0	0%	0%
55 - 70	0	0%	0%
70 - 90	6	1%	2%
90 - 100	251	35%	98%
TOTAL	720	100%	100%

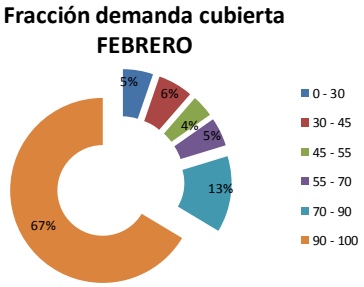


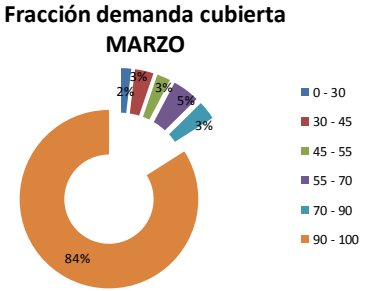












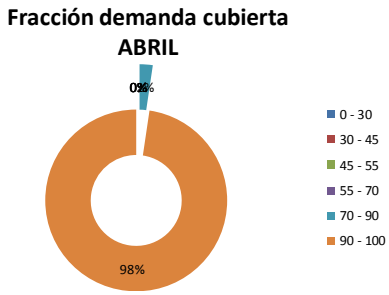


Figura 0-4.- Fracción de demanda cubierta primer cuatrimestre del año (8 m^2 y 0.8 m^3)

(Fuente: Elaboración propia)

MAYO			
f	Nº horas	Todo el mes	Cuando funciona
0	485	65%	0%
0 - 30	0	0%	0%
30 - 45	0	0%	0%
45 - 55	0	0%	0%
55 - 70	0	0%	0%
70 - 90	0	0%	0%
90 - 100	259	35%	100%
TOTAL	744	100%	100%

JUNIO			
f	Nº horas	Todo el mes	Cuando funciona
0	389	55%	0%
0 - 30	12	2%	4%
30 - 45	6	1%	2%
45 - 55	6	1%	2%
55 - 70	5	1%	2%
70 - 90	41	6%	13%
90 - 100	253	36%	78%
TOTAL	720	100%	100%

JULIO			
f	Nº horas	Todo el mes	Cuando funciona
0	342	47%	0%
0 - 30	21	3%	5%
30 - 45	9	1%	2%
45 - 55	8	1%	2%
55 - 70	16	2%	4%
70 - 90	51	7%	13%
90 - 100	282	39%	73%
TOTAL	744	100%	100%

AGOSTO			
f	Nº horas	Todo el mes	Cuando funciona
0	351	48%	0%
0 - 30	3	0%	1%
30 - 45	7	1%	2%
45 - 55	6	1%	2%
55 - 70	17	2%	4%
70 - 90	33	5%	9%
90 - 100	322	44%	83%
TOTAL	744	101%	100%

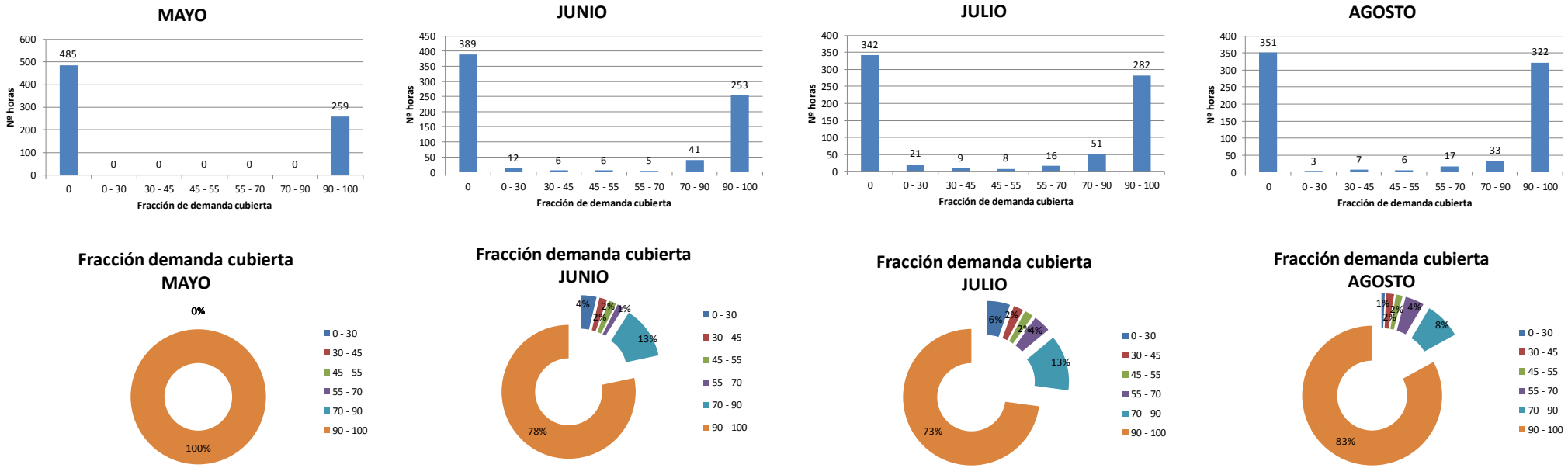


Figura 0-5.- Fracción de demanda cubierta segundo cuatrimestre del año (8 m^2 y 0.8 m^3)

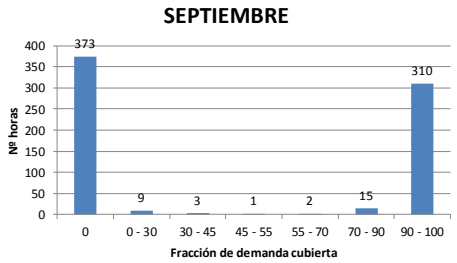
(Fuente: Elaboración propia)

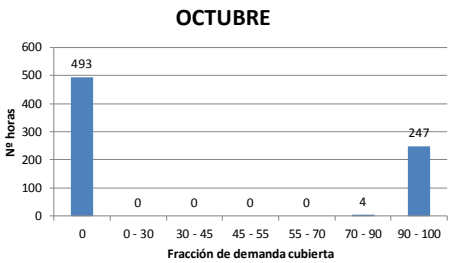
SEPTIEMBRE			
f	Nº horas	Todo el mes	Cuando funciona
0	373	52%	0%
0 - 30	9	1%	3%
30 - 45	3	0%	1%
45 - 55	1	0%	0%
55 - 70	2	0%	1%
70 - 90	15	2%	4%
90 - 100	310	43%	91%
TOTAL	720	100%	100%

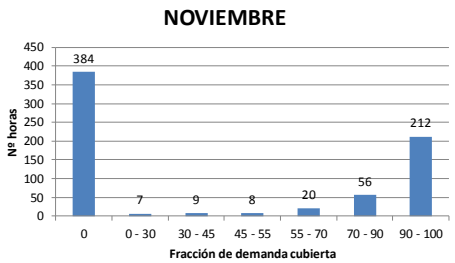
OCTUBRE			
f	Nº horas	Todo el mes	Cuando funciona
0	493	66%	0%
0 - 30	0	0%	0%
30 - 45	0	0%	0%
45 - 55	0	0%	0%
55 - 70	0	0%	0%
70 - 90	4	1%	2%
90 - 100	247	33%	98%
TOTAL	744	100%	100%

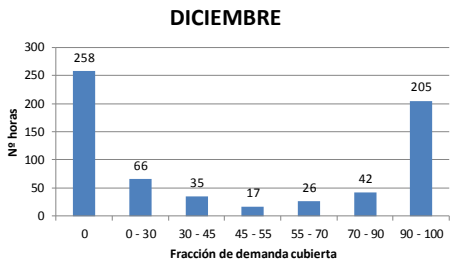
NOVIEMBRE			
f	Nº horas	Todo el mes	Cuando funciona
0	384	55%	0%
0 - 30	7	1%	2%
30 - 45	9	1%	3%
45 - 55	8	1%	3%
55 - 70	20	3%	6%
70 - 90	56	8%	18%
90 - 100	212	30%	68%
TOTAL	720	100%	100%

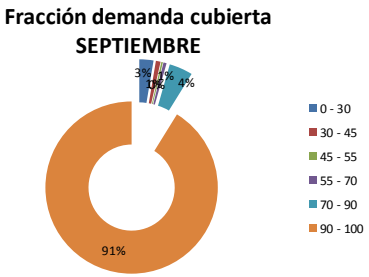
DICIEMBRE			
f	Nº horas	Todo el mes	Cuando funciona
0	258	40%	0%
0 - 30	66	10%	13%
30 - 45	35	5%	5%
45 - 55	17	3%	3%
55 - 70	26	4%	8%
70 - 90	42	6%	7%
90 - 100	205	32%	63%
TOTAL	744	100%	100%

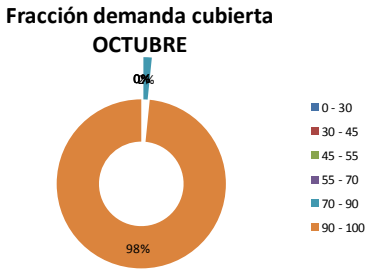


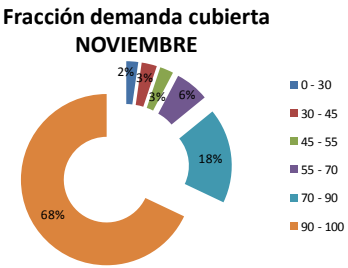












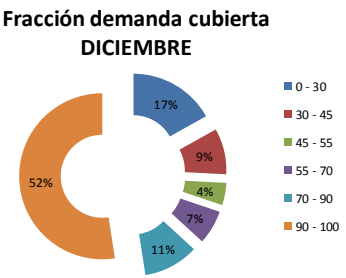


Figura 0-6.- Fracción de demanda cubierta tercer cuatrimestre del año (8 m^2 y 0.8 m^3)

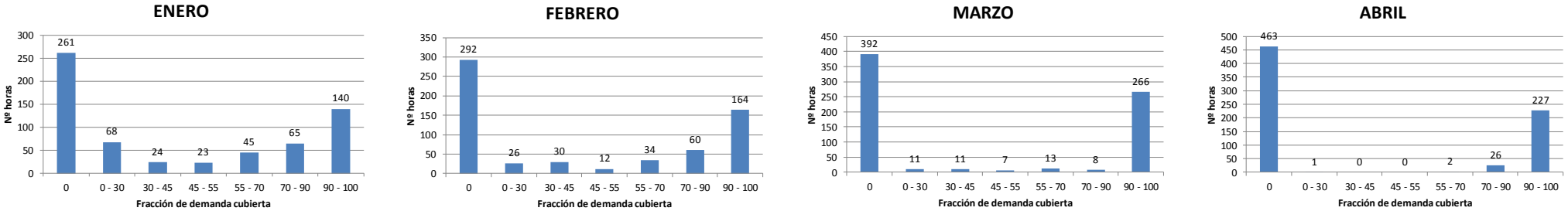
(Fuente: Elaboración propia)

ENERO			
f	Nº horas	Todo el mes	Cuando funciona
0	261	42%	0%
0 - 30	68	11%	19%
30 - 45	24	4%	7%
45 - 55	23	4%	6%
55 - 70	45	7%	12%
70 - 90	65	10%	18%
90 - 100	140	22%	38%
TOTAL	744	100%	100%

FEBRERO			
f	Nº horas	Todo el mes	Cuando funciona
0	292	47%	0%
0 - 30	26	4%	8%
30 - 45	30	5%	9%
45 - 55	12	2%	4%
55 - 70	34	6%	10%
70 - 90	60	10%	18%
90 - 100	164	27%	50%
TOTAL	672	100%	100%

MARZO			
f	Nº horas	Todo el mes	Cuando funciona
0	392	55%	0%
0 - 30	11	2%	3%
30 - 45	11	2%	3%
45 - 55	7	1%	2%
55 - 70	13	2%	4%
70 - 90	8	1%	3%
90 - 100	266	38%	84%
TOTAL	744	100%	100%

ABRIL			
f	Nº horas	Todo el mes	Cuando funciona
0	463	64%	0%
0 - 30	1	0%	0%
30 - 45	0	0%	0%
45 - 55	0	0%	0%
55 - 70	2	0%	1%
70 - 90	26	4%	10%
90 - 100	227	32%	89%
TOTAL	720	100%	100%



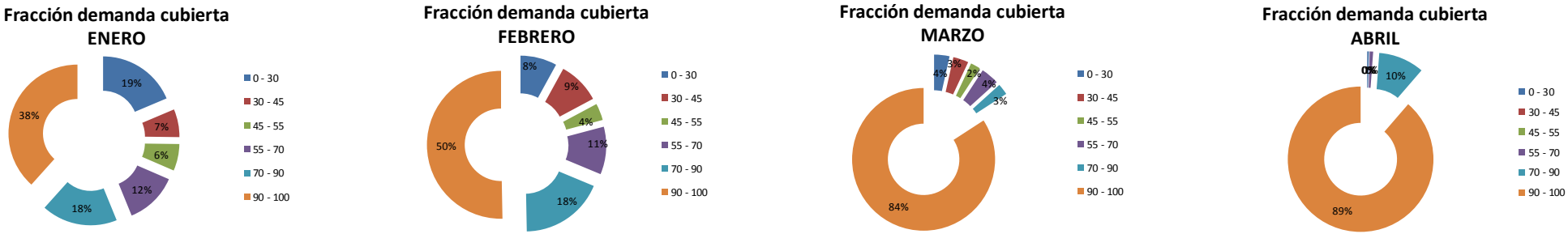


Figura 0-7.- Fracción de demanda cubierta primer cuatrimestre del año (6 m^2 y 0.4 m^3)

(Fuente: Elaboración propia)

MAYO			
f	Nº horas	Todo el mes	Cuando funciona
0	485	65%	0%
0 - 30	1	0%	0%
30 - 45	0	0%	0%
45 - 55	1	0%	0%
55 - 70	0	0%	0%
70 - 90	27	4%	10%
90 - 100	230	31%	89%
TOTAL	744	100%	100%

JUNIO			
f	Nº horas	Todo el mes	Cuando funciona
0	388	55%	0%
0 - 30	23	3%	7%
30 - 45	10	1%	3%
45 - 55	4	1%	1%
55 - 70	12	2%	4%
70 - 90	52	7%	16%
90 - 100	219	31%	68%
TOTAL	720	100%	100%

JULIO			
f	Nº horas	Todo el mes	Cuando funciona
0	344	48%	0%
0 - 30	41	6%	11%
30 - 45	13	2%	4%
45 - 55	9	1%	2%
55 - 70	14	2%	4%
70 - 90	77	11%	21%
90 - 100	212	30%	58%
TOTAL	744	100%	100%

AGOSTO			
f	Nº horas	Todo el mes	Cuando funciona
0	351	49%	0%
0 - 30	27	4%	7%
30 - 45	25	4%	7%
45 - 55	14	2%	4%
55 - 70	15	2%	4%
70 - 90	102	14%	27%
90 - 100	189	27%	51%
TOTAL	744	102%	100%

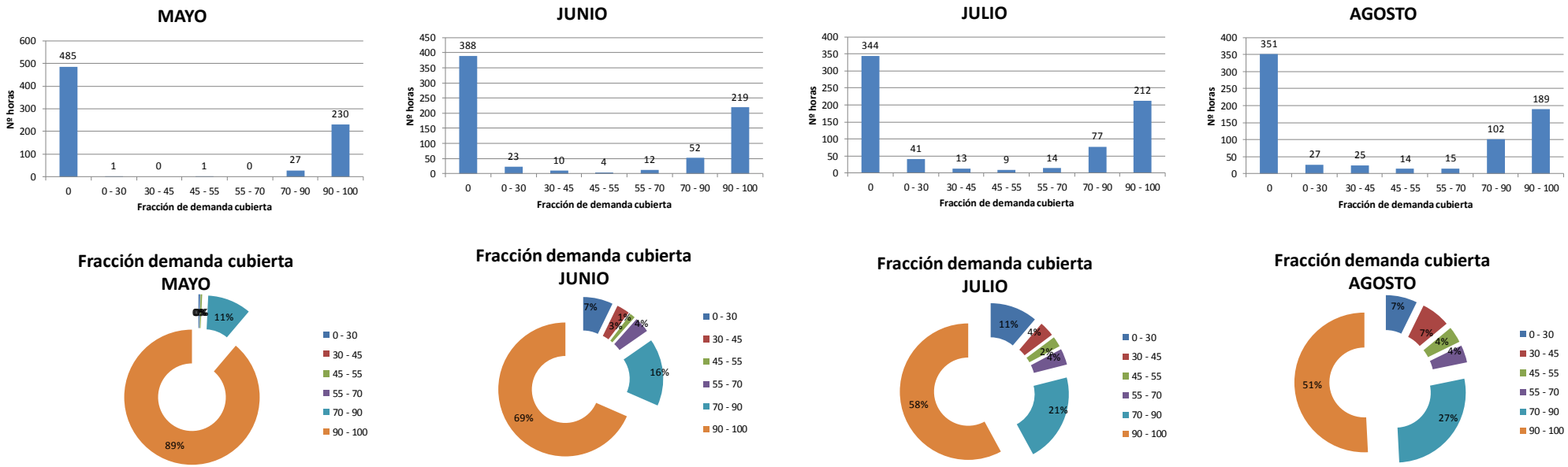


Figura 0-8.- Fracción de demanda cubierta segundo cuatrimestre del año (6 m^2 y 0.4 m^3)

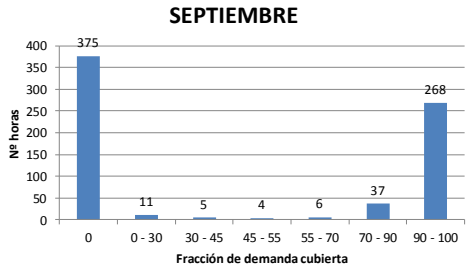
(Fuente: Elaboración propia)

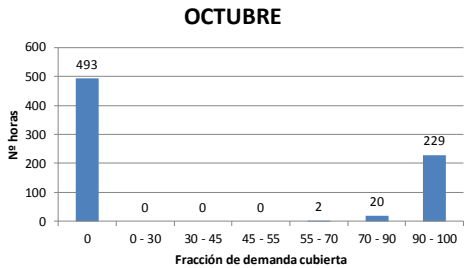
SEPTIEMBRE			
f	Nº horas	Todo el mes	Cuando funciona
0	375	53%	0%
0 - 30	11	2%	3%
30 - 45	5	1%	2%
45 - 55	4	1%	1%
55 - 70	6	1%	2%
70 - 90	37	5%	11%
90 - 100	268	38%	81%
TOTAL	720	100%	100%

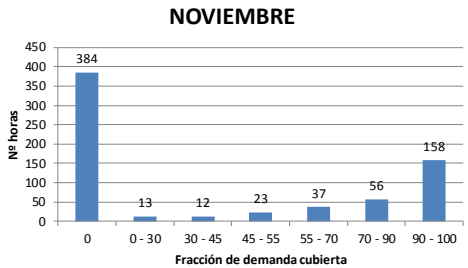
OCTUBRE			
f	Nº horas	Todo el mes	Cuando funciona
0	493	66%	0%
0 - 30	0	0%	0%
30 - 45	0	0%	0%
45 - 55	0	0%	0%
55 - 70	2	0%	1%
70 - 90	20	3%	8%
90 - 100	229	31%	91%
TOTAL	744	100%	100%

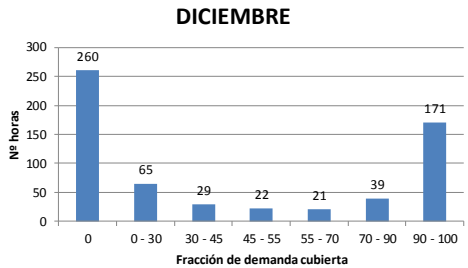
NOVIEMBRE			
f	Nº horas	Todo el mes	Cuando funciona
0	384	56%	0%
0 - 30	13	2%	4%
30 - 45	12	2%	4%
45 - 55	23	3%	8%
55 - 70	37	5%	12%
70 - 90	56	8%	19%
90 - 100	158	23%	53%
TOTAL	720	100%	100%

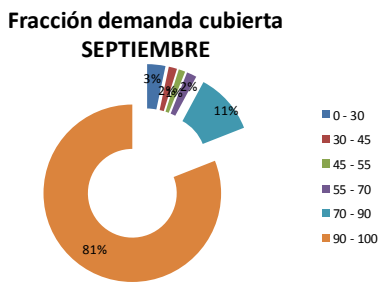
DICIEMBRE			
f	Nº horas	Todo el mes	Cuando funciona
0	260	43%	0%
0 - 30	65	11%	13%
30 - 45	29	5%	5%
45 - 55	22	4%	3%
55 - 70	21	3%	8%
70 - 90	39	6%	7%
90 - 100	171	28%	63%
TOTAL	744	100%	100%

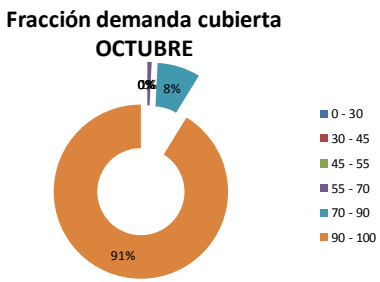


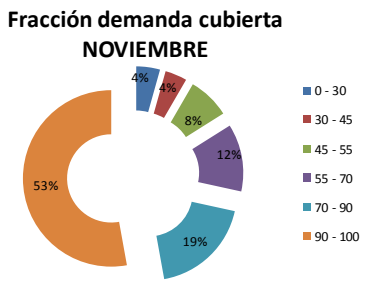












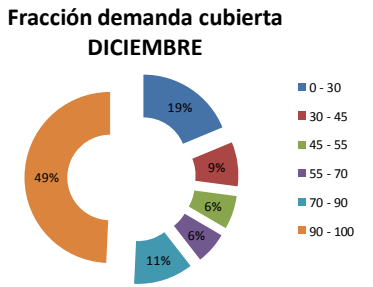


Figura 0-9.- Fracción de demanda cubierta tercer cuatrimestre del año (6 m^2 y 0.4 m^3)

(Fuente: Elaboración propia)

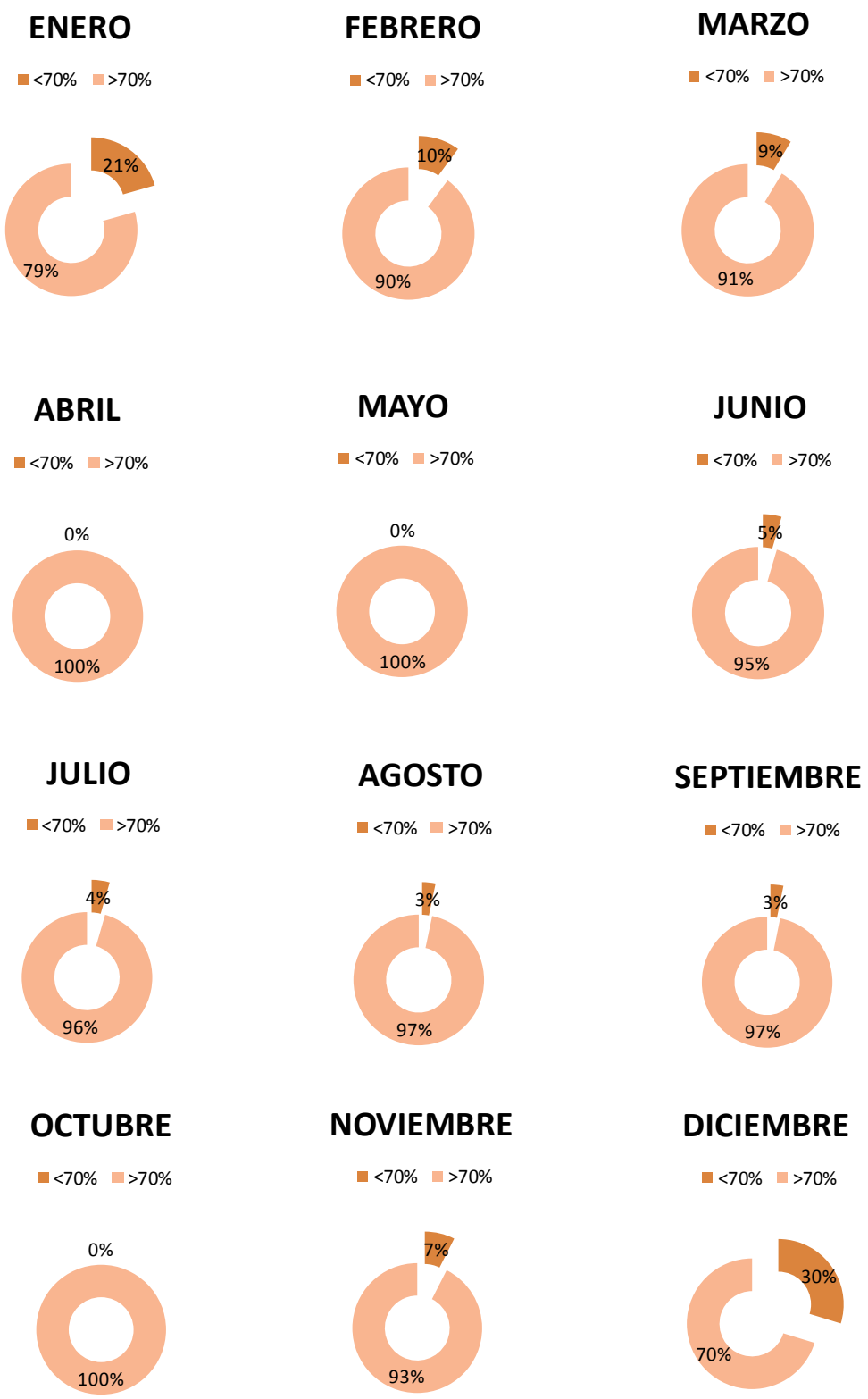


Figura 0-10.- Fracción de demanda cubierta en función del 70% (12 m^2 y 1.4 m^3)

(Fuente: Elaboración propia)

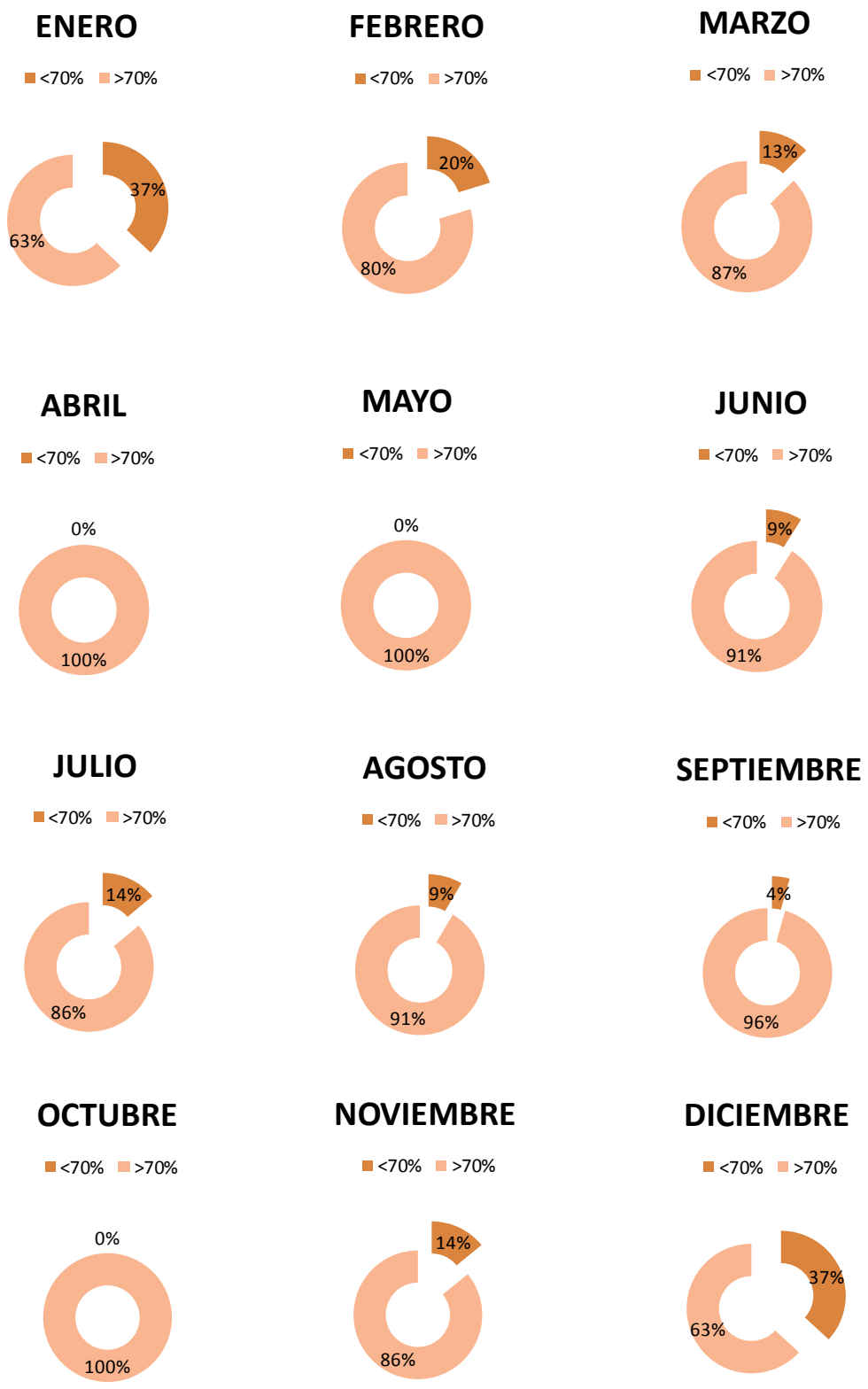


Figura 0-11.- Fracción de demanda cubierta en función del 70% (8 m^2 y 0.8 m^3)

(Fuente: Elaboración propia)

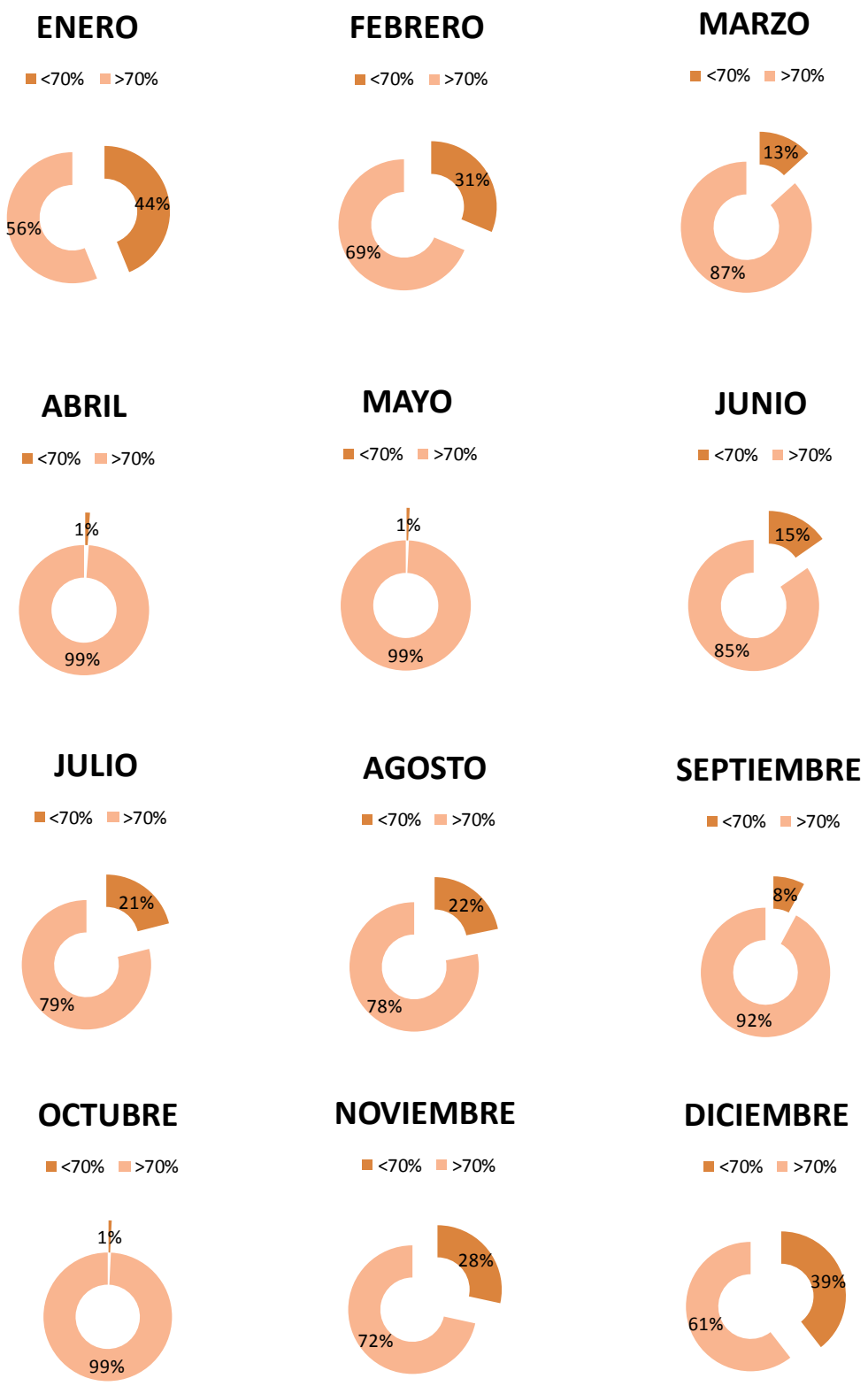


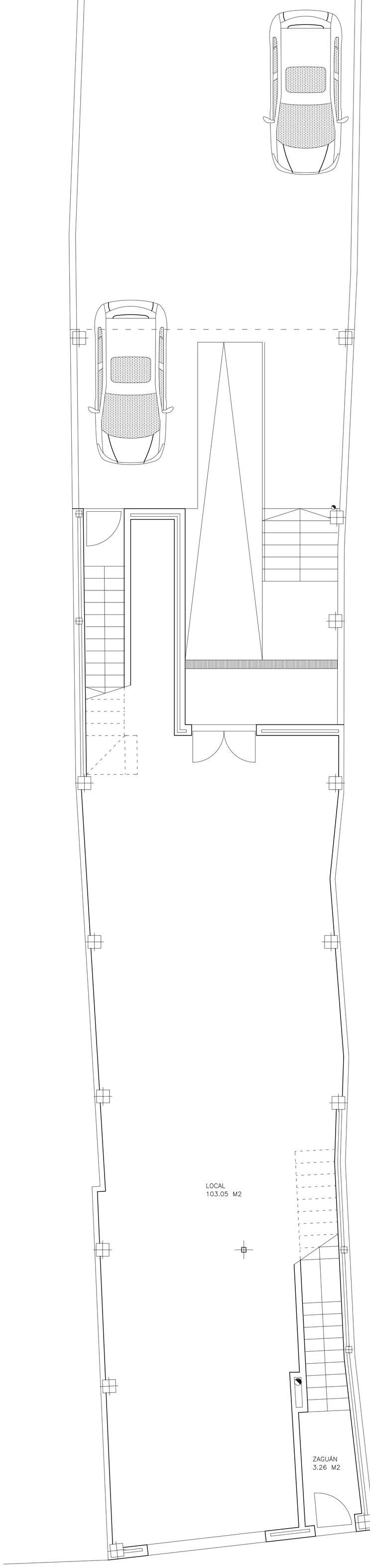
Figura 0-12.- Fracción de demanda cubierta en función del 70% (6 m^2 y 0.4 m^3)

(Fuente: Elaboración propia)

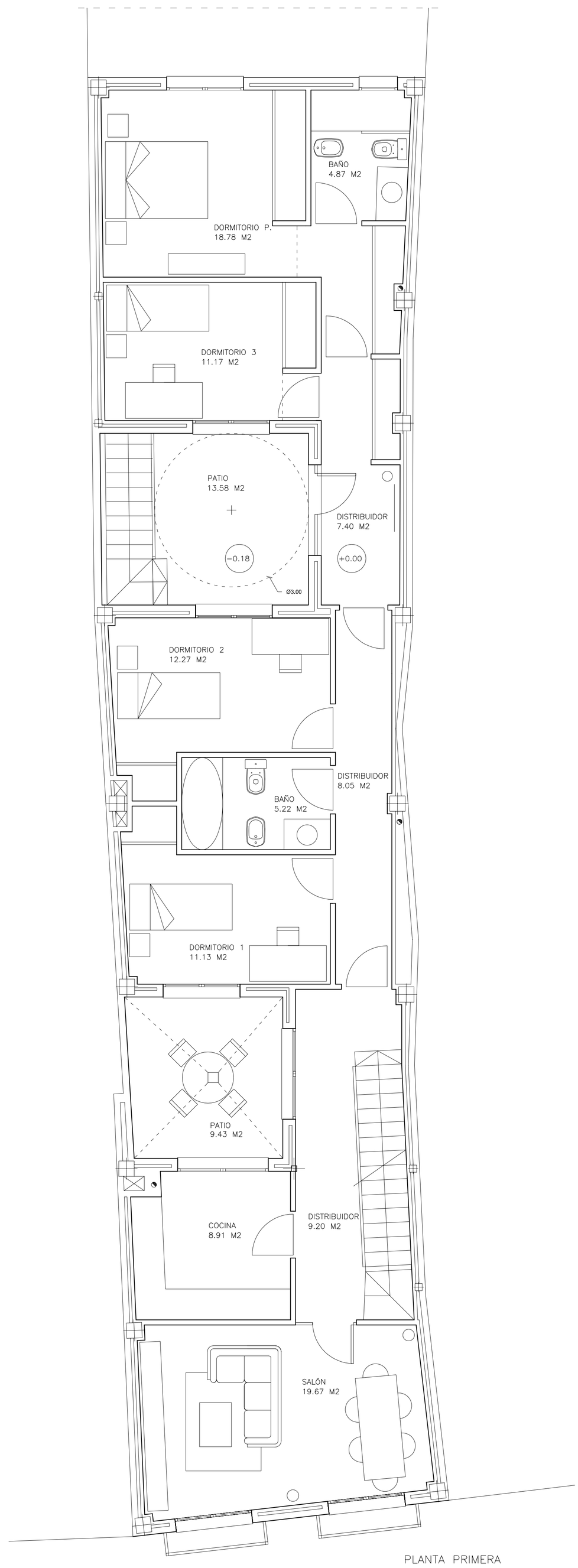
ANEXO II

En este anexo se adjuntan los planos de la vivienda a la que se le ha realizado el estudio de agua caliente sanitaria y climatización solar.

	LOCAL		VIVIENDA	
	SUP. ÚTIL	SUP. CONST.	SUP. ÚTIL	SUP. CONST.
PLANTA BAJA	103.05 m2	110.76 m2	3.26 m2	15,39 m2
PLANTA PRIMERA			116.67 m2	147.23 m2
PLANTA CASTILLETE			8.10 m2	16.02 m2
	103.05 m2	110.76 m2	128,03 m2	178,64 m2



PLANTA BAJA



PLANTA PRIMERA

MA1103 MAYO 2012

PROYECTO DE LOCAL SIN USO Y VIVIENDA UNIFAMILIAR ENTRE MEDIANERAS

C/ NUEVA, 53

MAIRENA DEL ALJARAFE. SEVILLA

EL PROMOTOR
DOMINGO ORTEGA FERNÁNDEZ

ARQUITECTO
FCO. MANUEL LÓPEZ GONZÁLEZ

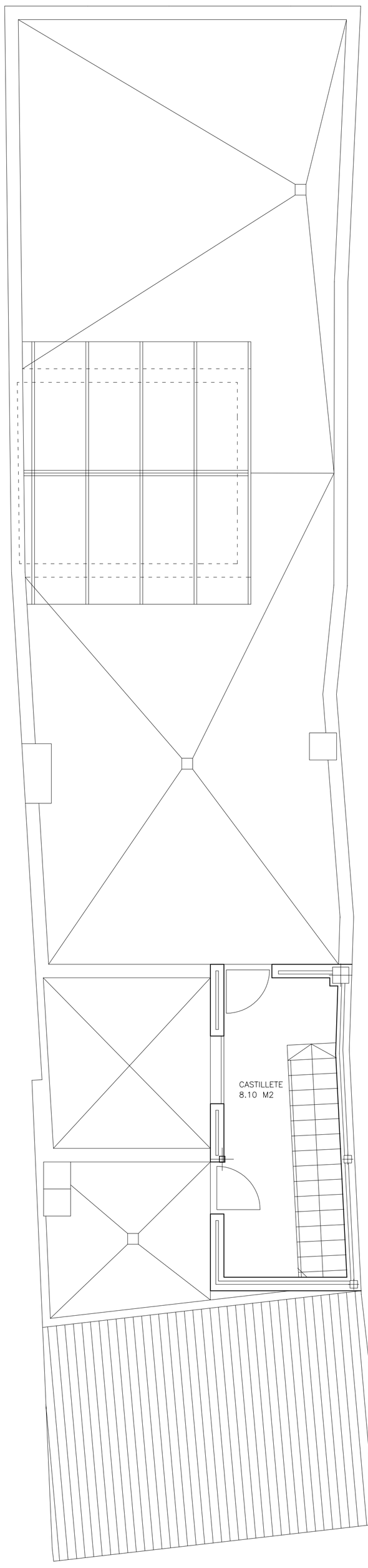
Fco. Manuel López González. ARQUITECTO - C/ ANDALUCÍA, 10 BAJO. 41928 PALOMARES DEL RÍO. SEVILLA

PLANTA BAJA Y PRIMERA

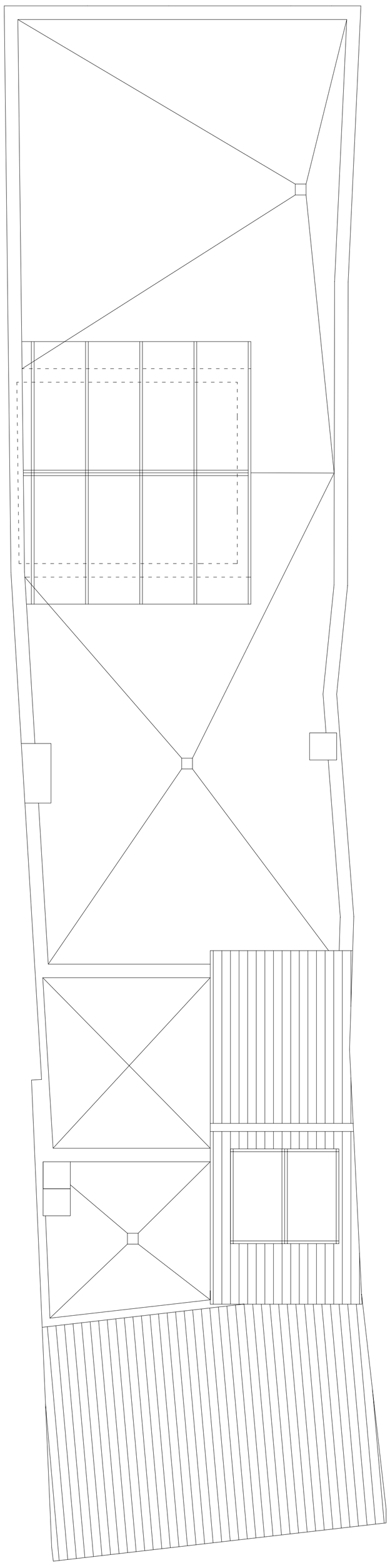
ESCALA 1/50

04

	LOCAL		VIVIENDA	
	SUP. ÚTIL	SUP. CONST.	SUP. ÚTIL	SUP. CONST.
PLANTA BAJA	103.05 m2	110.76 m2	3.26 m2	15,39 m2
PLANTA PRIMERA			116.67 m2	147.23 m2
PLANTA CASTILLETE			8.10 m2	16.02 m2
	103.05 m2	110.76 m2	128,03 m2	178,64 m2



PLANTA AZOTEA



PLANTA DE CUBIERTAS

MA1103 MAYO 2012

PROYECTO DE LOCAL SIN USO Y VIVIENDA UNIFAMILIAR ENTRE MEDIANERAS

C/ NUEVA, 53

MAIRENA DEL ALJARAFE. SEVILLA

EL PROMOTOR
DOMINGO ORTEGA FERNÀNDEZ

ARQUITECTO
FCO. MANUEL LÓPEZ GONZÁLEZ

Fco. Manuel López González. ARQUITECTO - C/ ANDALUCÍA, 10 BAJO, 41928 PALOMARES DEL RÍO. SEVILLA

PLANTAS DE AZOTEA Y CUBIERTAS

ESCALA 1/50

05

06

ESCALA 1/75 1/50

ALZADO Y SECCIÓN

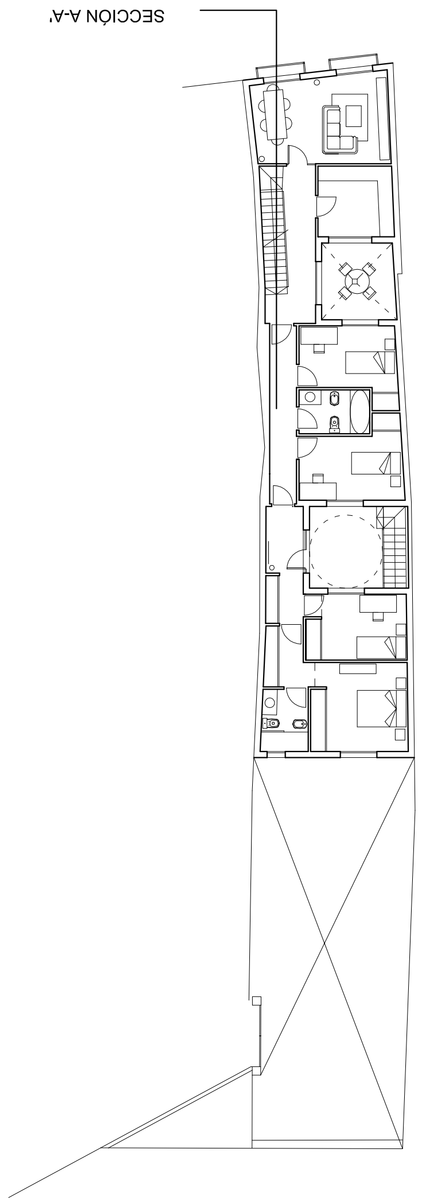
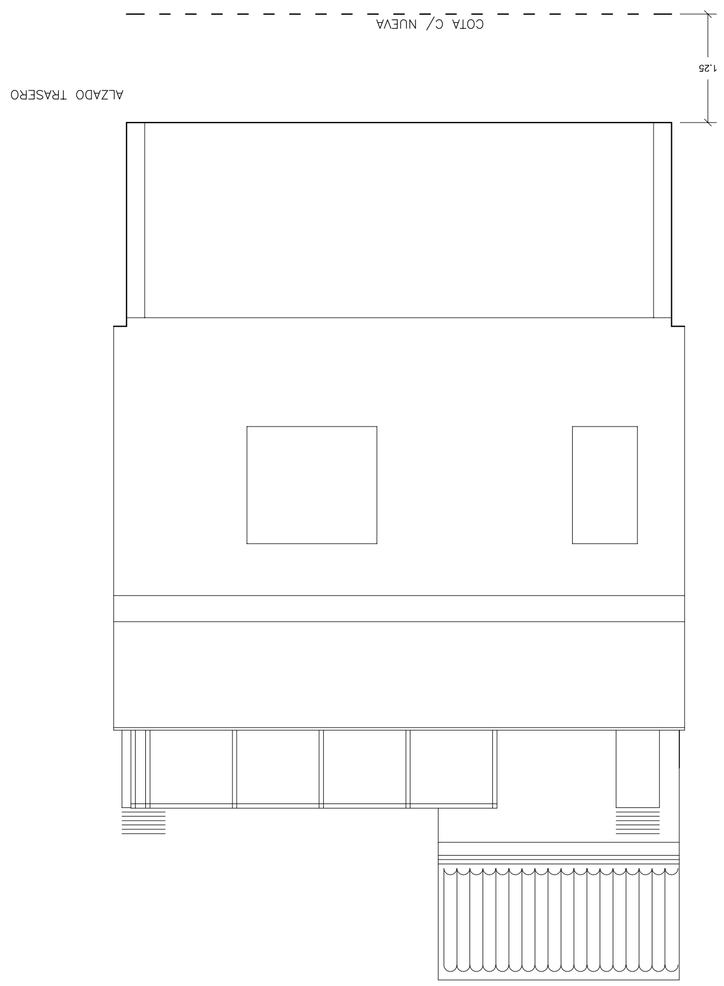
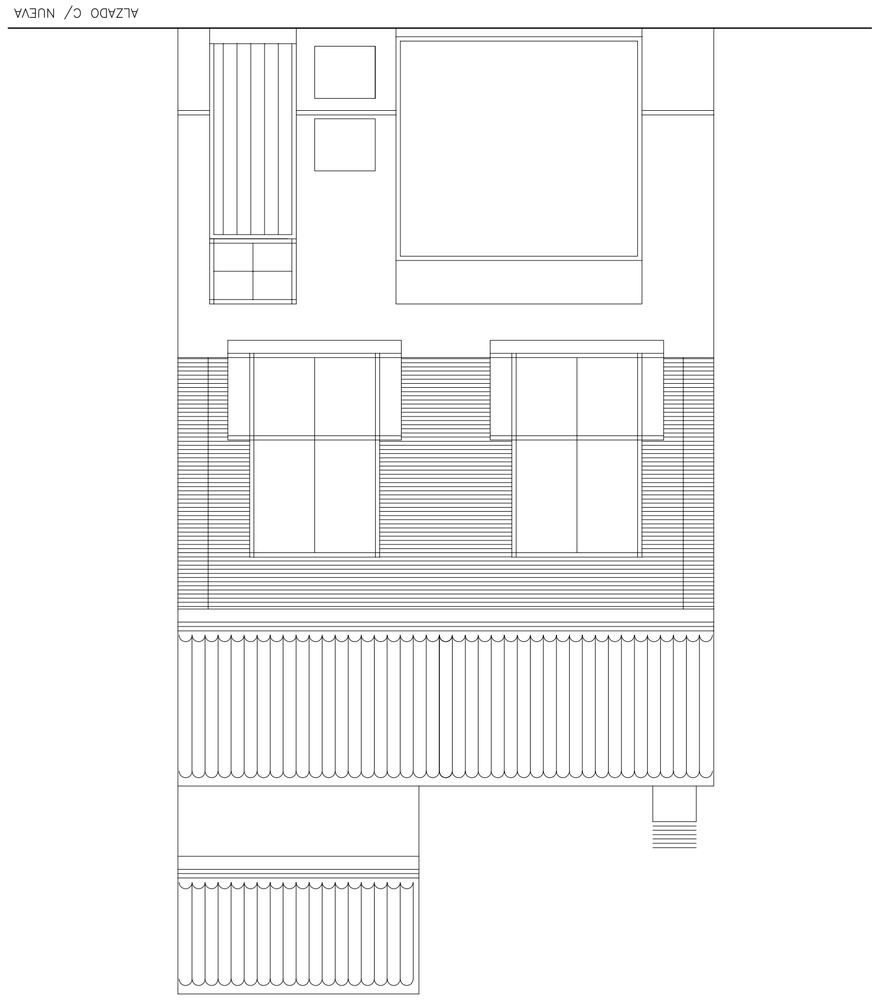
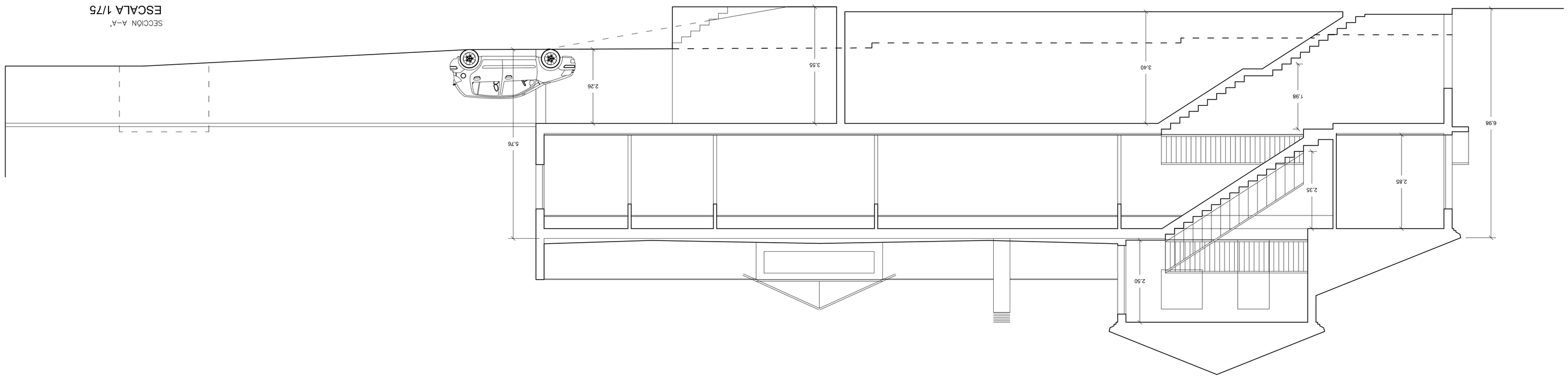
Foto Manuel Lopez Gonzalez. ARQUITECTO C/ AMENALUCIA, 16 BAJO. 41928 PALOMARES DEL RIO, SEVILLA

ARQUITECTO
FCO. MANUEL LÓPEZ GONZÁLEZ

EL PROMOTOR
DOMINGO ORTEGA FERNÁNDEZ

PROYECTO DE LOCAL SIN USO Y VIVIENDA UNIFAMILIAR ENTRE MEDIANERAS

C/ NUEVA, 53

MAIRENA DEL ALJARAFE. SEVILLA

MA1103 MAYO 2012