

Trabajo Fin de Grado
Grado en Tecnologías Industriales

Caracterización de instalaciones de energía solar en viviendas multifamiliares.

Autor: Carlos Peláez Prieto

Tutor: Jose Julio Guerra Macho

Dep. Ingeniería Energética
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2016



Trabajo Fin de Grado
Grado en Tecnologías Industriales

Caracterización de instalaciones de energía solar en viviendas multifamiliares.

Autor:

Carlos Peláez Prieto

Tutor:

José Julio Guerra Macho

Catedrático de la Universidad.

Dep. de Ingeniería Energética
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2016

Proyecto Fin de Carrera: Caracterización de instalaciones de energía solar en viviendas multifamiliares.

Autor: Carlos Peláez Prieto

Tutor: Jose Julio Guerra Macho

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 mi familia

A mi novia

*A mis amigos, compañeros y
profesores*

Agradecimientos

Quiero dar las gracias a mis padres por haberme brindado la posibilidad de estudiar, por la educación que me han dado desde mis primeros pasos y en especial por su constante apoyo en cada mal momento o decepción. Sin ellos no hubiera sido posible llegar hasta este punto. También quiero acordarme de mi hermano con el que siempre se puede contar para cualquier cosa.

En segundo lugar e igualmente importante, debo agradecer a mi novia Rocío haberme aguantado día tras día durante la carrera y la realización de este trabajo, por saber sacarme una sonrisa en cada situación. Gracias a ella que no me he vuelto loco en mis estudios y cuya tenacidad y capacidad de esfuerzo me ha servido como ejemplo a seguir.

A mis amigos y compañeros de clase, que son capaces de hacer que cualquier momento sea divertido y memorable.

Y por último pero no menos importante, a mi tutor en la realización de este proyecto, Pepe, sin el cual no hubiera sido posible llevar a buen puerto este trabajo, por su paciencia y por la ayuda que me ha brindado cuando más dificultades presentaba el trabajo, y sobre todo por mostrar siempre una cara amable cada vez que entraba en su despacho. Una última mención al profesor Javier Pino por el tiempo que me ha dedicado durante la realización de este trabajo.

Resumen

En el presente proyecto se estudiarán las instalaciones solares para el calentamiento de agua caliente sanitaria en el sector residencial, más concretamente en el ámbito de las viviendas multifamiliares.

En el primer capítulo se hace un breve estudio y análisis de la situación que atraviesa las energías renovables y más concretamente la energía solar en el mundo. Posteriormente se analizará en mayor detalle el uso de la energía solar en el sector residencial en nuestro país. También se expondrá de manera simple la reglamentación vigente en España que afecta a la utilización de la energía solar en el parque de viviendas español.

En el segundo capítulo, se describirá una instalación solar genérica para la producción de agua caliente sanitaria y se harán una serie de clasificaciones en función de varios criterios. Posteriormente se analizará de manera individual todos los elementos de manera que componen una instalación solar de agua caliente sanitaria así como su funcionamiento. Se hará una descripción detallada sobre las principales configuraciones de instalaciones solares para la producción de ACS en edificios multivivienda. Y para finalizar el capítulo se presentará el programa utilizado en el tercer capítulo.

En el tercer capítulo se presenta el caso de referencia en el que se basará el análisis de sensibilidad. A continuación se procederá a realizar el análisis de sensibilidad presentando en primer lugar las variables a analizar y posteriormente se presentarán los resultados obtenidos.

Índice

Agradecimientos	ix
Resumen	xi
Índice	xiii
Índice de Tablas	xv
Índice de Figuras	xvii
1 Introducción	1
1.1. <i>Introducción</i>	1
1.2. <i>Objetivo del proyecto</i>	1
1.3. <i>Situación de las energías renovables en el mundo</i>	1
1.4. <i>Situación de la energía solar térmica en el mundo</i>	3
1.5. <i>Tendencia de la energía solar en el mundo</i>	4
1.6. <i>Distribución solar por tipo de sistema y aplicación</i>	6
1.6.1. Distribución por tipo de captador solar	7
1.6.2. Distribución por tipo de Sistema	8
1.6.3. Distribución por tipo de aplicación	8
1.7. <i>Situación de la energía solar en España</i>	9
1.7.1. Situación de la energía solar en el sector residencial español	11
1.8. <i>Normativa Vigente</i>	12
1.8.1. Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE).....	12
1.8.2. Código Técnico de la Edificación (CTE).....	13
1.8.3. Normas UNE	15
2 Descripción de las Instalaciones	17
2.1. <i>Introducción</i>	17
2.2. <i>Sistema solar térmico para producción de ACS</i>	17
2.3. <i>Clasificación de instalaciones solares</i>	18
2.3.1. En función del sistema de circulación	18
2.3.2. En función del sistema de intercambio	18
2.3.3. En función de la forma de acoplamiento.....	19
2.3.4. En función del sistema de energía auxiliar	19
2.4. <i>Elementos de una instalación solar para ACS</i>	21
2.4.1. Captador solar plano	21
2.4.2. Tuberías.....	25
2.4.3. Intercambiador de calor	27
2.4.4. Bombas de circulación	31
2.4.5. Calentador auxiliar	32

2.4.6.	Sistemas de seguridad.	34
2.5.	<i>Configuraciones en viviendas multifamiliares</i>	36
2.5.1.	Instalación con sistema de acumulación distribuido.....	36
2.5.2.	Instalación con intercambiador de consumo distribuido.	38
2.5.3.	Instalación centralizada con apoyo distribuido.	40
2.5.4.	Instalación con todo centralizado.	41
2.6.	<i>CHEQ4</i>	42
2.6.1.	Selección de la localidad.	42
2.6.2.	Selección de la tipología de la instalación.	43
2.6.3.	Demanda energética.	43
2.6.4.	Parámetros del sistema.	44
2.6.5.	Otros parámetros.....	46
2.6.6.	Resultados.	47
3	Análisis de sensibilidad	49
3.1	<i>Introducción</i>	49
3.2	<i>Caso base</i>	49
3.3	<i>Análisis de sensibilidad</i>	53
3.3.1.	Variación de la tipología de la instalación.	55
3.3.2.	Variación de la localidad.	56
3.3.3.	Variación de la longitud de distribución.....	61
3.3.4.	Variación del área de captadores.	66
3.3.5.	Variación de la orientación.....	74
3.3.6.	Variación de la inclinación.	78
3.3.7.	Variación de agrupación serie/paralelo.	85
3.3.8.	Variación del volumen de acumulación.	89
3.3.9.	Variación de la potencia del intercambiador doméstico	95
4	Resumen y conclusiones	97
4.1.	<i>Introducción</i>	97
4.2.	<i>Resumen y Conclusiones</i>	97
	Referencias	99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Espesores mínimos (mm) de aislante en tuberías interiores.	26
Tabla 2. Espesores mínimos (mm) de aislante en tuberías exteriores.	26
Tabla 3. Características del captador.	50
Tabla 4. Variación de la configuración.	55
Tabla 5. Variación localidad, todo centralizado.	57
Tabla 6. Variación localidad, apoyo distribuido.	58
Tabla 7. Variación localidad, acumulación distribuida.	59
Tabla 8. Variación localidad, intercambio distribuido.	60
Tabla 9. Variación de la longitud de distribución, todo centralizado.	62
Tabla 10. Variación de la longitud de distribución, apoyo distribuido.	63
Tabla 11. Variación de la longitud de distribución, acumulación distribuida.	64
Tabla 12. Variación de la longitud de distribución, Intercambio distribuido.	65
Tabla 13. Variación del área de captadores, todo centralizado.	67
Tabla 14. Variación del área de captadores, apoyo distribuido.	70
Tabla 15. Variación del área de captadores, acumulación distribuida.	71
Tabla 16. Variación del área de captadores, intercambio distribuido.	73
Tabla 17. Variación de la orientación, todo centralizado.	74
Tabla 18. Variación de la orientación, apoyo distribuido.	76
Tabla 19. Variación de la orientación, acumulación distribuida.	77
Tabla 20. Variación de la orientación, acumulación distribuida.	78
Tabla 21. Variación de la inclinación, todo centralizado.	80
Tabla 22. Variación de la inclinación, apoyo distribuido.	81
Tabla 23. Variación de la inclinación, acumulación distribuida.	83
Tabla 24. Variación de la inclinación, intercambio distribuido.	84
Tabla 25. Variación serie/paralelo, todo centralizado.	85
Tabla 26. Variación serie/paralelo, apoyo distribuido.	86
Tabla 27. Variación serie/paralelo, acumulación distribuida.	87
Tabla 28. Variación serie/paralelo, intercambio distribuido.	89
Tabla 29. Variación del volumen de acumulación, todo centralizado.	90
Tabla 30. Variación del volumen de acumulación, apoyo distribuido.	91

Tabla 31. Variación del volumen de acumulación, acumulación distribuida.	92
Tabla 32. Variación del volumen de acumulación, intercambio distribuido.	94
Tabla 33. Variación de la potencia del intercambiador doméstico.	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución del consumo energético de 1990 a 2006.	2
Figura 2. Diagrama de Sankey del sistema energético en la Unión Europea.	3
Figura 3. Porcentaje de renovables en consumo global.	4
Figura 4. Capacidad térmica instalada por cada 1000 habitantes.	5
Figura 5. Porcentajes de nueva potencia solar instalada en 2014.	5
Figura 6. Crecimiento del mercado solar en el año 2013 al 2014.	6
Figura 7. Porcentaje de captadores instalados según su tipo en 2014.	7
Figura 8. Porcentajes de nuevos captadores instalados según su tipo en 2014.	7
Figura 9. Porcentaje en función de tipo de sistema.	8
Figura 10. Porcentaje de uso por aplicación final.	9
Figura 11. Superficie instalada por CCAA.	9
Figura 12. Superficie instalada anual.	10
Figura 13. Distribución por segmentos de mercado.	10
Figura 14. Porcentajes de consumos energéticos en España (2014).	11
Figura 15. Esquema piramidal de la reglamentación.	14
Figura 16. Sistema solar de producción de ACS.	17
Figura 17. Sistema de termosifón (izquierda) y circulación forzada (derecha)	18
Figura 18. Instalación de transferencia directa (izquierda) e indirecta (derecha)	19
Figura 19. Sistema integrado de captador y acumulador.	20
Figura 20. Sistema instáneo, en acumulador secundario y en acumulador solar respectivamente.	20
Figura 21. Elementos de un captador solar plano.	22
Figura 22. Configuración en placa (izquierda), parrilla (centro) y serpentín (derecha).	22
Figura 23. Efecto invernadero.	24
Figura 24. Recta de rendimiento de captador solar plano.	25
Figura 25. Intercambiador de placas.	28
Figura 26. Intercambiador de carcasa y tubos.	29
Figura 27. Tipologías de interacumuladores.	29
Figura 28. Depósito de acumulación.	31
Figura 29. Esquema de una bomba centrífuga de rotor seco.	32

Figura 30. Calentador auxiliar instantáneo.	33
Figura 31. Calentador auxiliar en acumulador auxiliar.	33
Figura 32. Calentador auxiliar en acumulador solar.	34
Figura 33. Vaso de expansión cerrado.	34
Figura 34. Esquema de una válvula de seguridad.	35
Figura 35. Instalación con acumulación distribuida.	37
Figura 36. Instalación multifamiliar con intercambiador de consumo distribuido.	39
Figura 37. Instalación multifamiliar centralizada con apoyo distribuido.	40
Figura 38. Configuración con todo centralizado.	41
Figura 39. Selección de localidad en CHEQ4.	43
Figura 40. Selección de configuración en CHEQ4.	44
Figura 41. Selección de la demanda en CHEQ4.	45
Figura 42. Selección de los parámetros del primario y auxiliar en CHEQ4.	46
Figura 43. Selección de otros parámetros en CHEQ4.	47
Figura 44. Resultados en CHEQ4.	48
Figura 45. Esquema de la instalación de referencia.	49
Figura 46. Demanda del caso base	50
Figura 47. Circuito primario y sistema de apoyo del caso base.	51
Figura 48. Acumulación y distribución del caso base.	52
Figura 49. Resultados del caso base.	53
Figura 50. Fracción solar en función de la configuración.	56
Figura 51. Fracción solar en función de localidad, todo centralizado.	58
Figura 52. Fracción solar en función de localidad, apoyo distribuido.	59
Figura 53. Fracción solar en función de localidad, acumulación distribuida.	60
Figura 54. Fracción solar en función de localidad, intercambio distribuido.	61
Figura 55. Fracción solar en función de la longitud de distribución, todo centralizado.	62
Figura 56. Fracción solar en función de la longitud de distribución, apoyo distribuido.	63
Figura 57. Fracción solar en función de la longitud de distribución, acumulación distribuida.	65
Figura 58. Fracción solar en función de la longitud de distribución, intercambio distribuido.	66
Figura 59. Fracción solar en función de área de captadores, todo centralizado.	68
Figura 60. Resultados para 22 captadores	69
Figura 61. Fracción solar en función de área de captadores, apoyo distribuido.	70
Figura 62. Fracción solar en función de área de captadores, acumulación distribuida.	72
Figura 63. Fracción solar en función de área de captadores, intercambio distribuido.	73
Figura 64. Fracción solar en función de orientación, todo centralizado.	75

Figura 65. Fracción solar en función de orientación, apoyo distribuido.	76
Figura 66. Fracción solar en función de orientación, acumulación distribuida.	77
Figura 67. Fracción solar en función de orientación, intercambio distribuido.	79
Figura 68. Fracción solar en función de la inclinación, todo centralizado.	80
Figura 69. Fracción solar en función de la inclinación, apoyo distribuido.	82
Figura 70. Fracción solar en función de la inclinación, acumulación distribuida.	83
Figura 71. Fracción solar en función de la inclinación, intercambio distribuido.	84
Figura 72. Fracción solar en función de captadores en serie, todo centralizado.	86
Figura 73. Fracción solar en función de captadores en serie, apoyo distribuido.	87
Figura 74. Fracción solar en función de captadores en serie, acumulación distribuida.	88
Figura 75. Fracción solar en función de captadores en serie, intercambio distribuido.	89
Figura 76. Fracción solar en función de la acumulación, todo centralizado.	90
Figura 77. Fracción solar en función de la acumulación, apoyo distribuido.	92
Figura 78. Fracción solar en función de la acumulación, acumulación distribuida.	93
Figura 79. Fracción solar en función de la acumulación, intercambio distribuido.	94
Figura 80. Fracción solar en función de la potencia del intercambiador.	96

1 INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción.

En este primer capítulo, primeramente se fijará el objetivo del proyecto. A continuación se expondrá la evolución del consumo energético a niveles globales así como su situación en la actualidad en función de diferentes parámetros como tecnología de captadores o uso final de la energía. Posteriormente se analizará la situación estatal de la energía solar térmica en el sector residencial. A continuación se hará un recorrido por la normativa vigente que regula las instalaciones solares en el sector residencial como son el CTE, RITE y normas UNE.

1.2. Objetivo del proyecto.

El objetivo de este proyecto consistirá en primer lugar en plantear y analizar la situación de la energía solar en mundo y en España en particular. A continuación se analizarán las diferentes normativas que afectan a las instalaciones solares en el sector residencial.

A continuación se tratará de describir el funcionamiento de una instalación solar de manera general, para a continuación hacer una clasificación con diferentes criterios de instalaciones solares. El siguiente paso será la descripción de los componentes que forman una instalación solar de agua caliente sanitaria explicando su funcionamiento para comprender el total funcionamiento de una instalación solar de ACS. De cara al tercer capítulo, se van a analizar las configuraciones más utilizadas en las viviendas multifamiliares y se hará una guía sobre el programa utilizado, CHEQ4.

En el último capítulo se tratará mediante un análisis paramétrico de múltiples variables, identificar los parámetros que poseen una mayor influencia en las instalaciones de cara al cumplimiento de la contribución solar mínima. Se tratará en primer lugar de identificar cada variable y posteriormente analizar los resultados obtenidos buscando las causas que los provocan.

1.3. Situación de las energías renovables en el mundo.

Debido al aumento de población en el planeta, así como el aumento del consumo de energía “per cápita”, los diferentes países se ven obligados a la búsqueda de nuevas fuentes de energía para poder satisfacer el aumento de la demanda. Históricamente la principal fuente energética ha sido aquella proveniente de los combustibles fósiles, es decir, el petróleo y sus derivados, el carbón y el gas natural.

Si bien en un principio estos recursos se consideraban prácticamente ilimitados y se desconocía cual iba a ser finalmente su impacto medioambiental, la explosión

demográfica y el aumento exponencial de la demanda energética ha llevado a un abuso de estos combustibles fósiles que se ha traducido en dos problemas principales, el agotamiento de estos recursos y el deterioro medioambiental producido por emisiones derivadas de los hidrocarburos.

En la figura 1 se puede ver la evolución del consumo energético global de 1990 a 2006, tanto a nivel global como de manera individual en los países más importantes a nivel de consumo energético.

Es por ello que han surgido convenios y tratados, el más conocido el de Kioto que establece un calendario de reducción de emisiones para los países firmantes. De este modo se buscaron nuevas alternativas más sostenibles, comenzando el uso de las llamadas energías renovables. De todas estas nuevas fuentes energéticas se profundizará en la energía solar, objeto de estudio de este trabajo, que es la fuente de energía más abundante en el planeta y que de ser aprovechada completamente cubriría con creces la demanda de energía global.

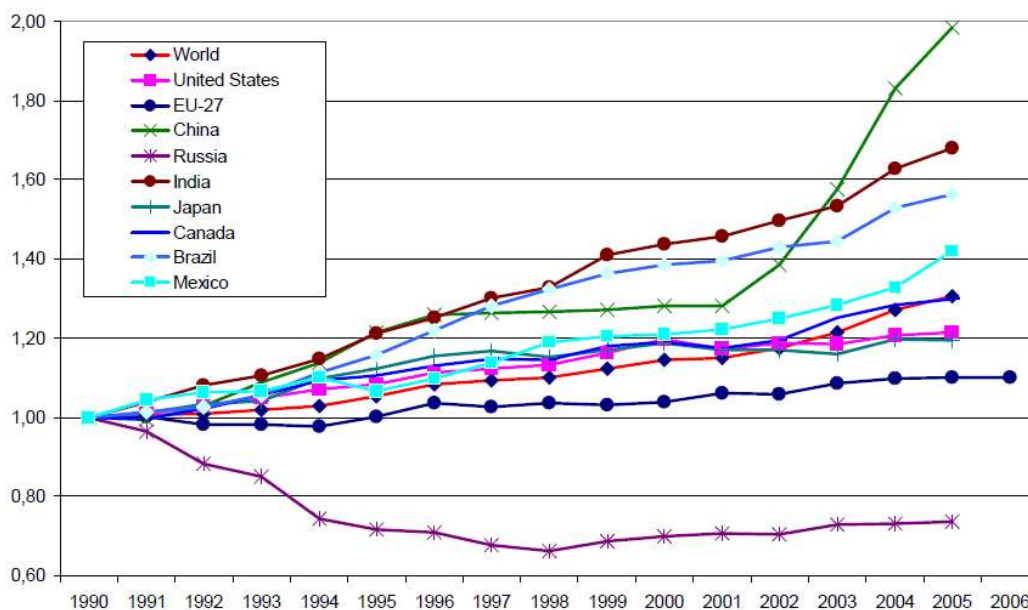


Figura 1. Evolución del consumo energético de 1990 a 2006.

Para visualizar el consumo energético en Europa y así poder analizar la situación actual de las energía renovables, se puede hacer uso de un diagrama de Sankey como el siguiente de la figura 2, donde se describen la procedencia de la energía consumida y el uso que se le da a esa energía.

En el diagrama se puede ver cómo las energías renovables representan un porcentaje del consumo total en torno al 15%, y que la mayor parte de esta producción de energía se destina a las centrales de producción de potencia. Sin embargo, si se habla de la utilización de las energías renovables sin transformación en centrales de potencia, el consumo en el

sector doméstico representa la mayor parte, doblando al uso que se le da en la industria.

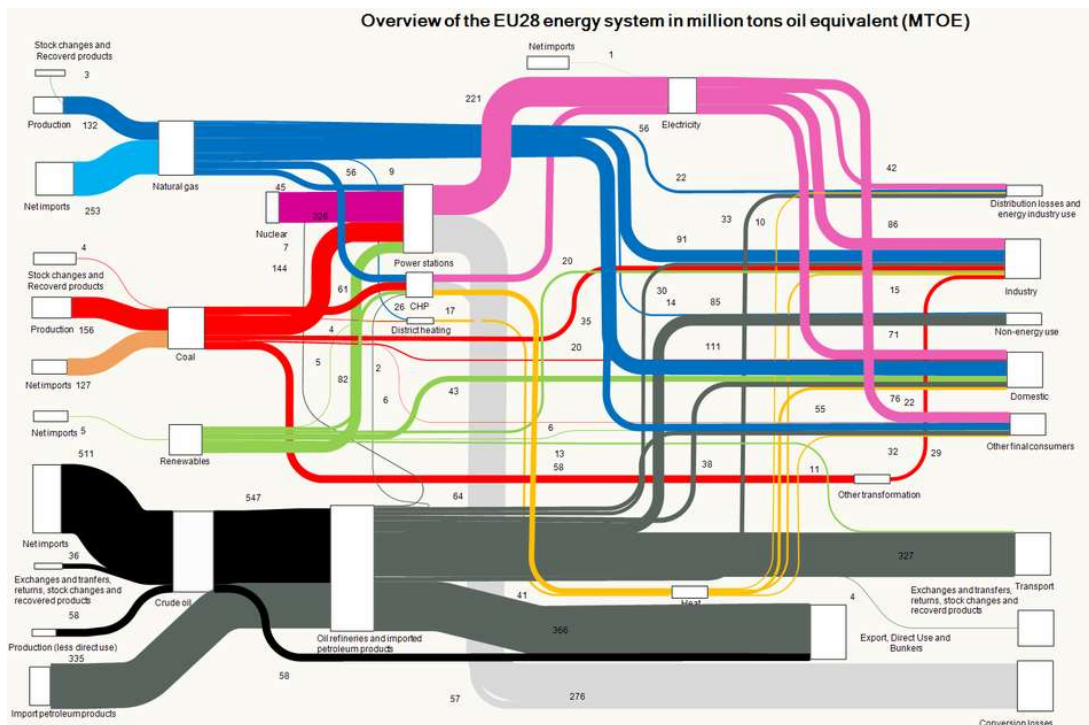


Figura 2. Diagrama de Sankey del sistema energético en la Unión Europea.

1.4. Situación de la energía solar térmica en el mundo.

Una vez analizado de manera breve la situación en el mundo y en Europa de las energías renovables, se procederá a entrar en detalle sobre la situación de la energía solar en el mundo.

La energía solar se basa en la captación de la radiación electromagnética solar que penetra en la atmósfera y su transformación en otro tipo de energía útil para las necesidades de consumo. De esta manera podemos distinguir las dos principales tecnologías de aprovechamiento de la energía solar:

- Energía solar térmica: Es aquella en la que la radiación solar se transforma en energía térmica que se utilizará en la mayor parte de ocasiones para calentar un fluido de trabajo. Será en la que se centre el presente trabajo.
- Energía solar fotovoltaica: En este caso la energía solar se transformará directamente en electricidad mediante células fotovoltaicas.

Hasta recientemente las instalaciones solares se medían en los metros cuadrados instalados en vez de en la energía que generaban y como resultado la energía solar térmica a menudo se excluía de las estadísticas energéticas oficiales. Mediante el uso de un factor estándar de conversión de 0.7 kWt por metro cuadrado de área de captador es posible comparar la

energía solar térmica con otras fuentes de energía. Este hecho fue desarrollado por Solar Heating & Cooling Programme de la Agencia Internacional de la Energía en colaboración con diferentes asociaciones solares.

En 2013 el consumo de energías renovables se encontraba en torno al 19.1% de toda el consumo de energía mundial como se puede apreciar en la figura 3. Dentro de las energías renovables se encuentra una división entre la biomasa y el resto de renovables. El dato que interesa de cara a situar el consumo de energía solar térmica en el mundo se trata del 4.1% del consumo mundial que conforma el grupo formado por la biomasa, la geotérmica y la solar térmica.

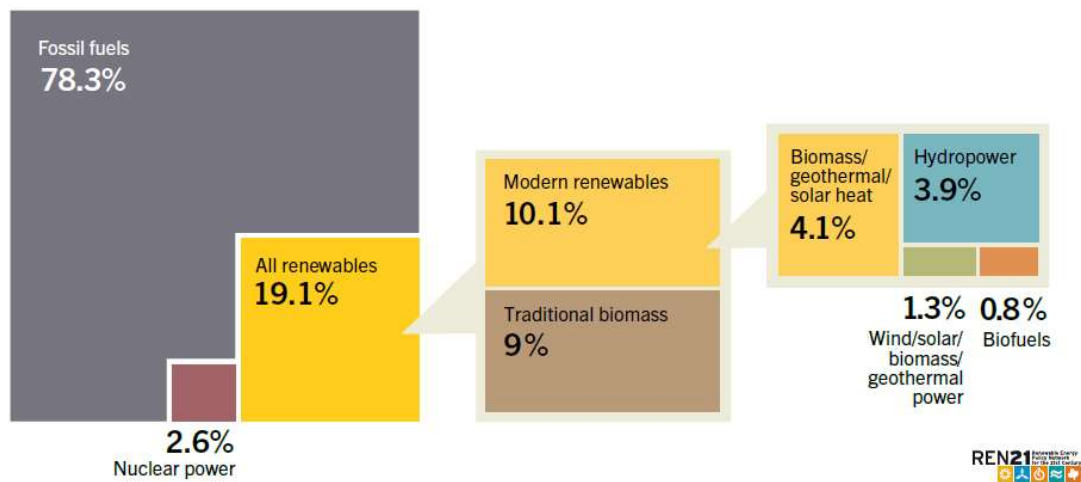


Figura 3. Porcentaje de renovables en consumo global.

A finales del 2014 se habían instalado 586.1 millones de metros cuadrados de captadores solares operativos en el mundo que eran capaces de proporcionar 410 GWt. La inmensa mayoría de esa energía era generada en China y Europa, con un 70.6% y 11.6% respectivamente. El siguiente país en importancia en capacidad solar instalada es Estados Unidos y Canadá con un con un 4.4%.

Resulta interesante analizar la densidad de captadores instalados por 1000 habitantes, de esta manera se pueden comparar diferentes países con independencia de su tamaño. Austria es el país con más capacidad instalada con unos 419 kWt/1000 habitantes, seguido de Chipre con 412 kWt/1000 habitantes e Israel completa el podio con 400 kWt/1000 habitantes. El resto de países con mayor ratio de capacidad por 1000 habitantes se puede ver en la figura 4, donde también se diferencia por tecnología utilizada. En la figura 4 se pueden apreciar los países con mayor capacidad instalada por cada 1000 habitantes.

1.5. Tendencia de la energía solar en el mundo.

En 2014 se instaló una capacidad a nivel mundial de 46.7 GWt que correspondió con 66.7 millones de metros cuadrados de captadores solares. Esto significó una disminución del 15.2% de nuevas instalaciones instaladas en comparación con el año anterior. Si se tiene

en cuenta que tanto en 2011, 2012 y 2013 la capacidad total de nuevos captadores instalados no hizo sino aumentar, estos datos significan un cambio de tendencia en el mercado.

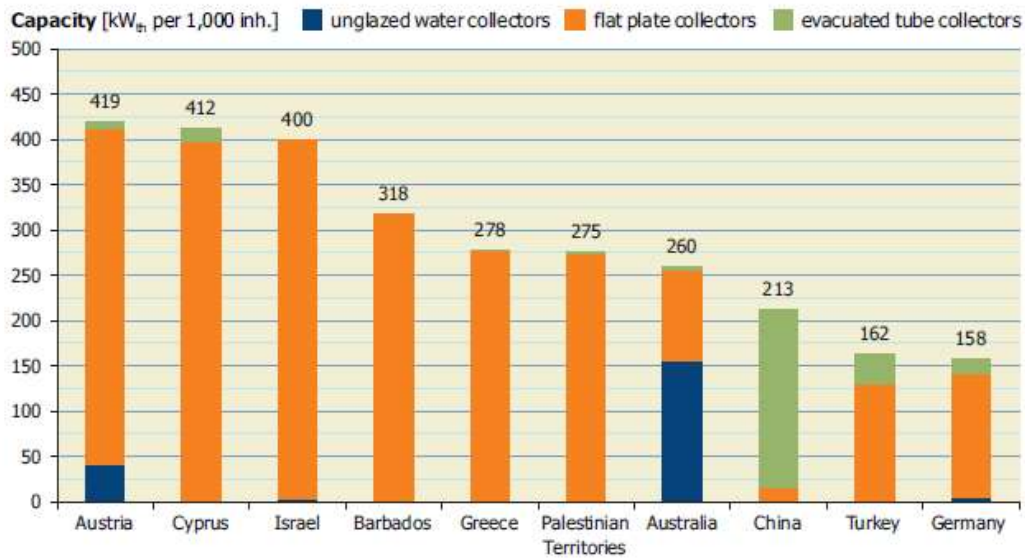
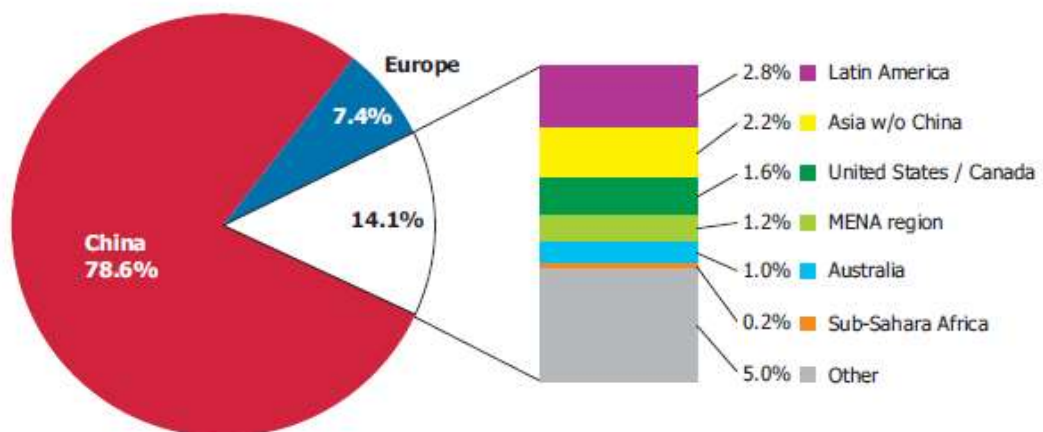


Figura 4. Capacidad térmica instalada por cada 1000 habitantes.

Las regiones que mas potencia instalaron en 2014 fueron China y Europa con unos 36.7 GWt y unos 3.4 GWt. Como se ve en la figura 5, el resto de regiones instalaron cantidades sensiblemente menores que los dos principales mercados.



- | | |
|--------------------|--|
| Sub-Sahara Africa: | Lesotho, Mauritius, Mozambique, South Africa, Zimbabwe |
| Asia w/o China: | India, Japan, Korea South, Taiwan, Thailand |
| Latin America: | Brazil, Chile, Mexico, Uruguay |
| Europe: | EU 28, Albania, Macedonia, Norway, Russia, Switzerland, Turkey |
| MENA region: | Israel, Jordan, Lebanon, Morocco, Palestinian Territories, Tunisia |

Figura 5. Porcentajes de nueva potencia solar instalada en 2014.

Para entender esta tendencia negativa del mercado, se puede realizar un análisis por países en que conviene centrarse en China por ser el mayor mercado a nivel mundial. En China, el ratio de crecimiento entre 2000 y 2011 estuvo en torno a al 23% de nuevas instalaciones. Sin embargo desde el 2011, ese crecimiento se ha ido estancando hasta que el periodo de 2012 a 2013 cayó un 17.6%, el primer ratio negativo de crecimiento en China.

A estos preocupantes datos sobre el mercado chino, hay que añadir que los mayores mercados en Europa como Austria, Alemania e Italia también tienen ratios negativos. De hecho entre los 10 países europeos con mayor potencia instalada, solo tres presentan ratios de crecimiento positivos, Grecia con 19%, España con un 9.9% y Dinamarca con un 72.3%.

Esta caída en los principales mercados de la energía solar térmica fue compensada parcialmente por el crecimiento en latinoamérica e India principalmente. En la figura 6 se puede ver el porcentaje instalado en relación con el año anterior en las principales regiones.

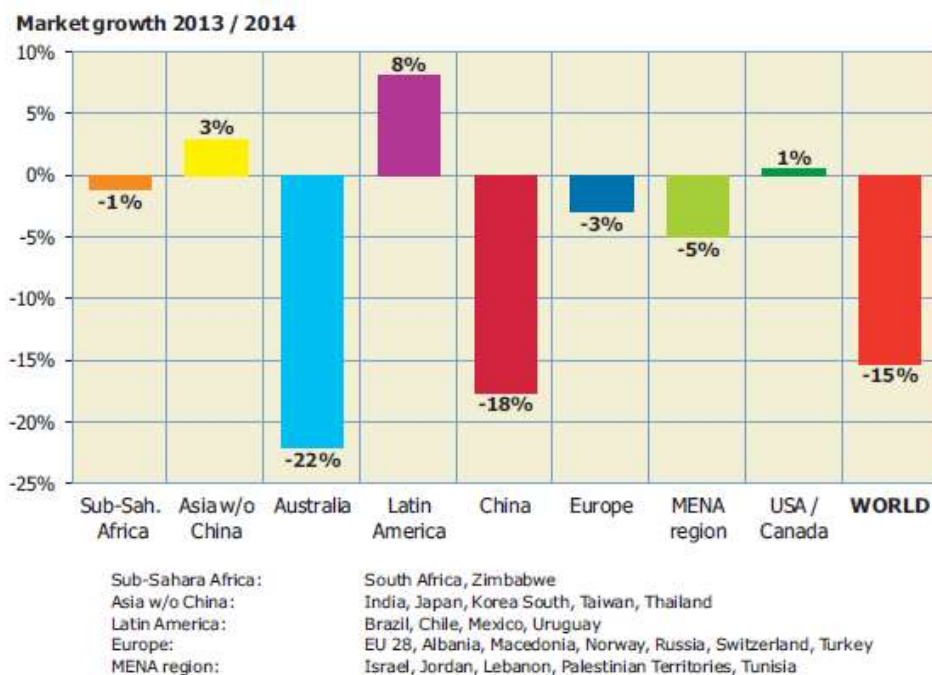


Figura 6. Crecimiento del mercado solar en el año 2013 al 2014.

1.6. Distribución solar por tipo de sistema y aplicación.

En la superficie solar instalada se puede diferenciar en base a diferentes criterios, por los tipos de captador utilizados para poder visualizar las diferencias en tecnología utilizadas por los diferentes países. Otro criterio de división es el tipo de sistema, forzado o de termosifón y por último en la aplicación principal de la energía térmica generada.

1.6.1. Distribución por tipo de captador solar

Los principales captadores utilizados a nivel mundial a finales del 2014 fueron los captadores de tubo de vacío que copan el mercado con el 71% de la potencia instalada y representaron el 78% de los nuevos captadores instalados. Los captadores planos con cubierta representaron el 22% del total de captadores utilizados y el 19% de las nuevas instalaciones. Los captadores planos sin cubierta representaron el 6% del total instalado y un 3% de la nueva potencia instalada.

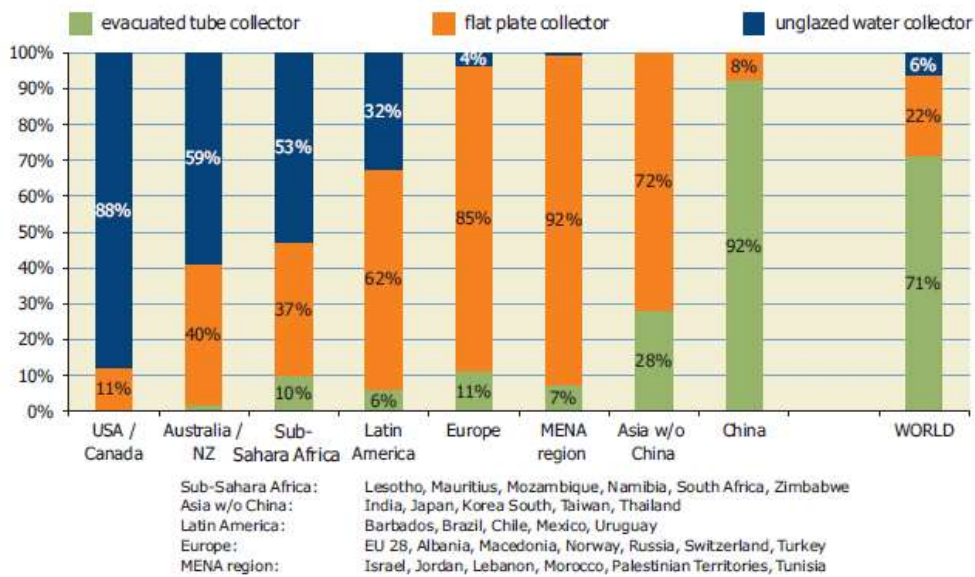


Figura 7. Porcentaje de captadores instalados según su tipo en 2014.

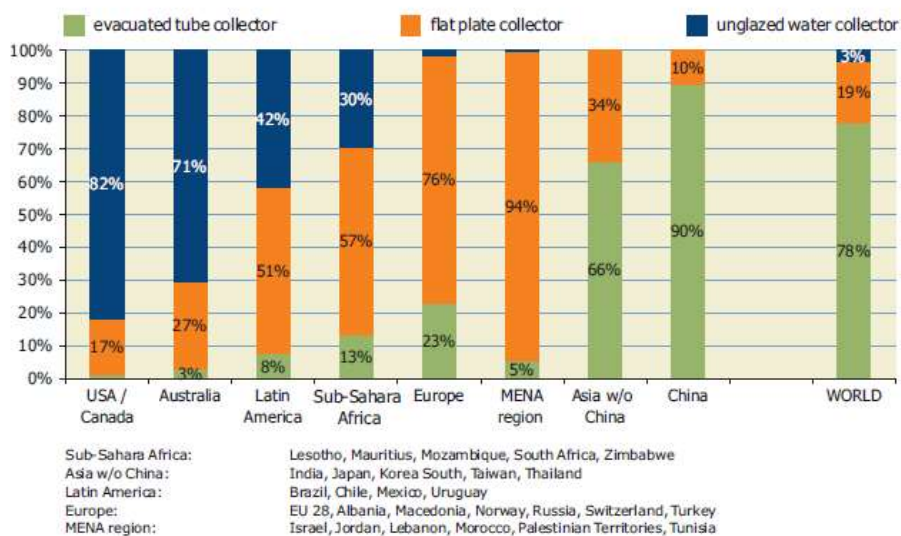


Figura 8. Porcentajes de nuevos captadores instalados según su tipo en 2014.

Estos datos vienen representados en las figuras 7 y 8. Se puede ver como la predominancia de los captadores de tubo de vacío viene marcada por el mercado Chino, donde el 92% de captadores son de este tipo. El mercado europeo y oriente próximo en cambio se caracteriza por el mayor uso de captadores planos con cubierta. Estados Unidos y Canadá en cambio representan los mayores mercados para los captadores planos sin cubierta. El resto de tecnologías como los captadores de aire, representan en su conjunto el 1% del total de la capacidad instalada a nivel mundial.

1.6.2. Distribución por tipo de Sistema.

Se pueden diferenciar dos tipos de sistema en las instalaciones solares, las instalaciones por termosifón y las instalaciones de circulación forzada que utilizan bombas. A nivel mundial un 78% de las instalaciones funcionaban por termosifón. En general los sistemas con termosifón se utilizan en mayor medida en climas cálidos como Africa, Latinoamérica o el sur de Europa. En estas regiones se suele utilizar captadores planos con cubierta, mientras que en China estos sistemas se suelen utilizar con captadores de tubos de vacío. En la figura 9 se puede apreciar los porcentajes de captadores en función del tipo de sistema.

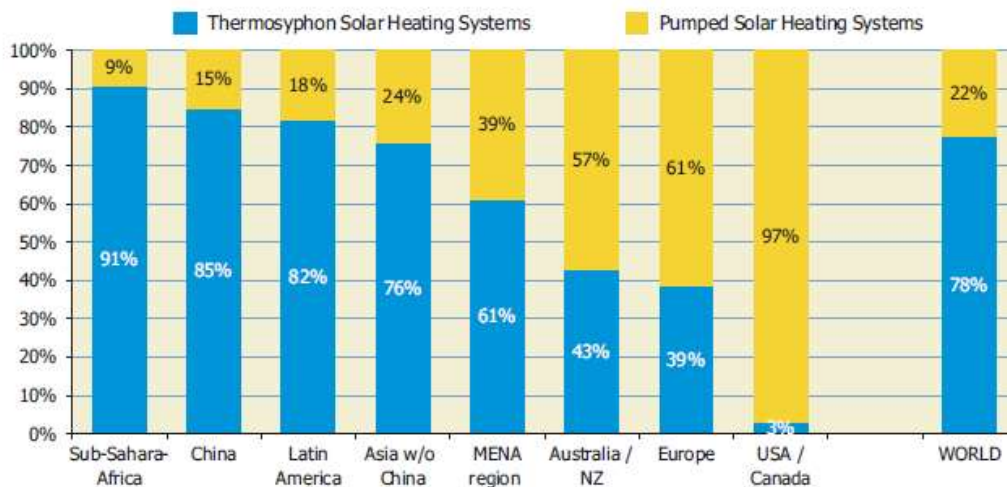


Figura 9. Porcentaje en función de tipo de sistema.

1.6.3. Distribución por tipo de aplicación.

Al final del 2014, los captadores solares que calentaban agua representaban unos 584 millones de metros cuadrados. El 6% de estos captadores se utilizaron para piscinas climatizadas, el 63% para el calentamiento de agua caliente sanitaria en viviendas unifamiliares, el 28% fue utilizado para el calentamiento de agua caliente sanitaria en sistemas mayores como viviendas multifamiliares, hospitales, hoteles o escuelas como se puede ver en la figura 10. El resto fue utilizado para otros usos como refrigeración solar.

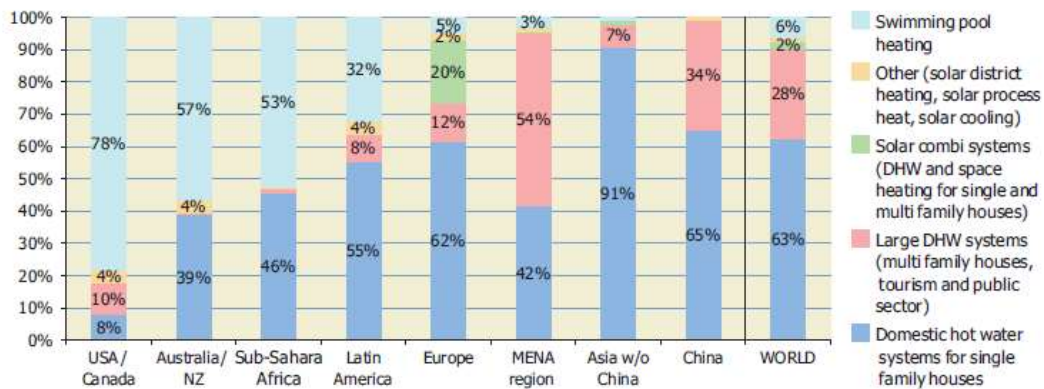


Figura 10. Porcentaje de uso por aplicación final.

Las nuevas instalaciones para el calentamiento de agua sumaron unos 67 millones de metros cuadrados. La única aplicación que mantiene una tendencia positiva de crecimiento fueron los sistemas de calentamiento de ACS de gran tamaño, ya que los sistemas de calentamiento de ACS para viviendas unifamiliares y de calentamiento de piscina mantuvieron tendencias negativas.

1.7. Situación de la energía solar en España.

España tenía en 2014 una superficie instalada de 3.450 millones de metros cuadrados de los cuales, la gran mayoría, 3.119 millones eran captadores solares planos con cubierta, capaces de aportar 2415 MWt. Estos datos la sitúan como uno de los países de referencia en el mercado europeo. Además hay que añadir que era uno de los tres únicos países en Europa con tendencia de crecimiento en potencia instalada positiva.

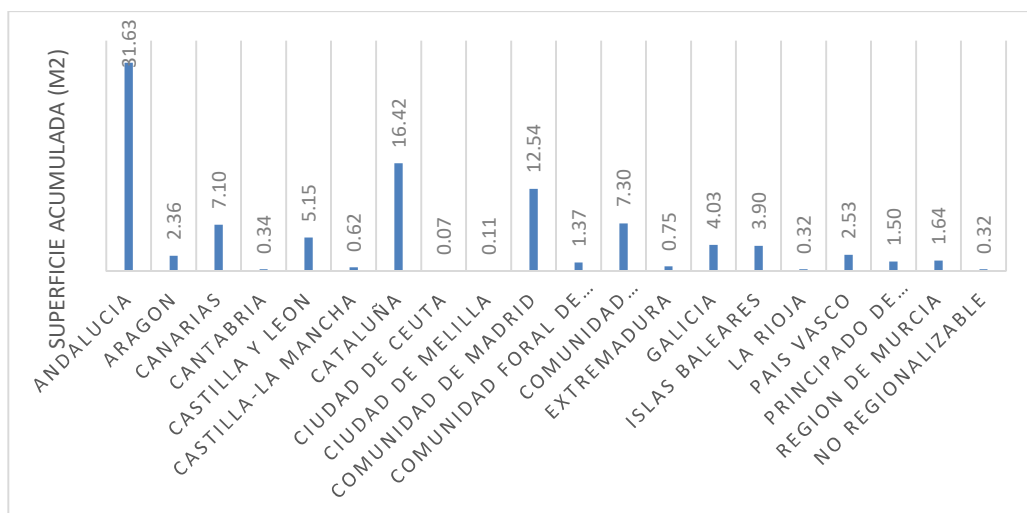


Figura 11. Superficie instalada por CCAA.

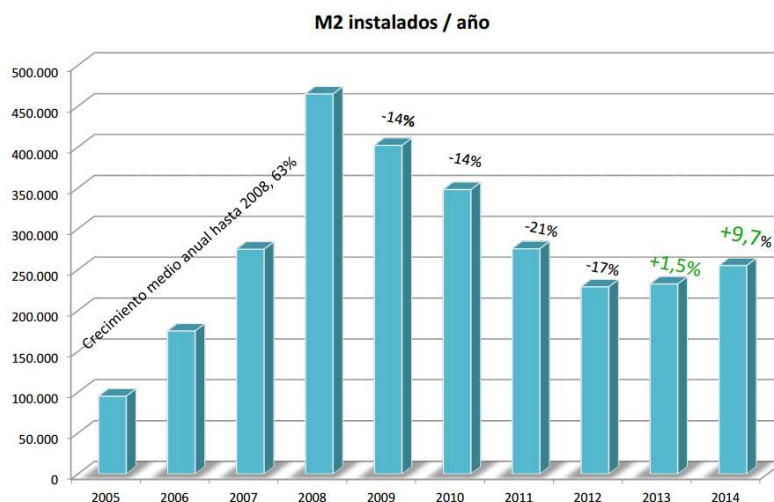


Figura 12. Superficie instalada anual.

Si se hace un análisis por comunidades autónomas se ve de inmediato como Andalucía representa un 31% de la superficie total instalada. Le siguen Cataluña y Madrid con un 16.42% y 12.54 respectivamente. Esta división territorial se puede ver en la figura 11.

Es digno de mención el hecho de que, por segunda vez desde 2009, la capacidad ha crecido, rompiendo así una tendencia sostenida a la baja que, en los últimos 4 años, había acumulado un descenso del mercado de más del 50%. Esta nueva tendencia positiva se puede ver en la figura 12. En esta recuperación influyen de manera fundamental dos aspectos, los captadores instalados por requerimiento del Código Técnico de la Edificación, las diferentes ayudas y subvenciones que otorgan las Comunidades Autónomas.

En 2014 se instalaron en España 255000 metros cuadrados de captadores, de los cuales un 66% fue debido a la aplicación del CTE, un 33% gracias a las ayudas de las Comunidades Autónomas y 1% debido al sector terciario e industrial como se ve en la figura 13.

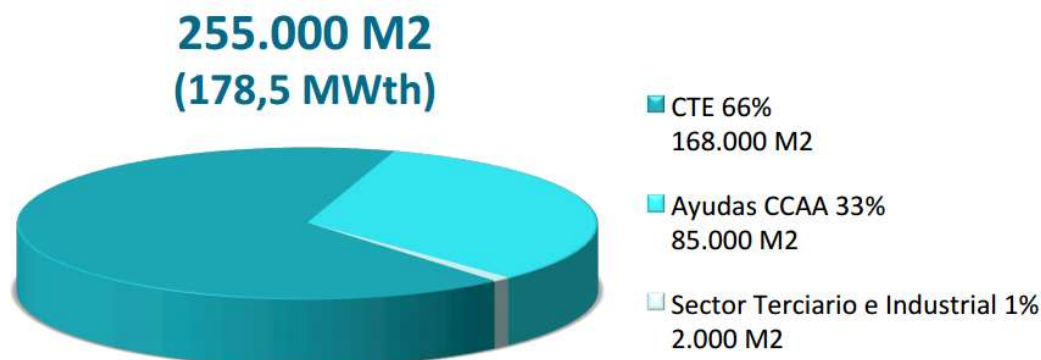


Figura 13. Distribución por segmentos de mercado.

1.7.1. Situación de la energía solar en el sector residencial español.

El consumo energético en España del sector residencial representa casi un 20% del consumo global como se ve en la figura 14, por lo que es fundamental la implementación de medidas que se traduzcan en una menor dependencia de combustibles fósiles en el sector.

Si se centra la mirada en el sector residencial, un vistazo rápido permite comprobar como la calefacción y el agua caliente sanitaria concentran la mayor parte del consumo energético del sector con un 46% y un 21% del consumo global respectivamente. Por lo que parece lógico que una reducción del consumo o una fuente alternativa a los combustibles fósiles. Entre las alternativas en uso destacan la biomasa y la energía solar térmica. La energía solar térmica se presenta como la principal alternativa a los combustibles fósiles en nuestro país debido principalmente a la pionera implantación de la sección HE4 en el Código Técnico de la Edificación (CTE) obliga a una contribución solar mínima de agua caliente sanitaria, es decir, que una fracción del consumo de energía para la producción de agua caliente sanitaria deberá ser producida mediante calentamiento solar. La sección HE4 es aplicable a edificios de nueva construcción como a la rehabilitación de los mismos.

Esta nueva sección cobra todo el sentido si se analiza la radiación solar en nuestro país en relación al resto de Europa, siendo Andalucía, Murcia y Extremadura las regiones con mayor radiación anual. La distribución geográfica de la capacidad instalada se centra prácticamente en las Comunidades Autónomas de Andalucía, Cataluña, Madrid, Valencia y Canarias con un 70% de la potencia total instalada en España.

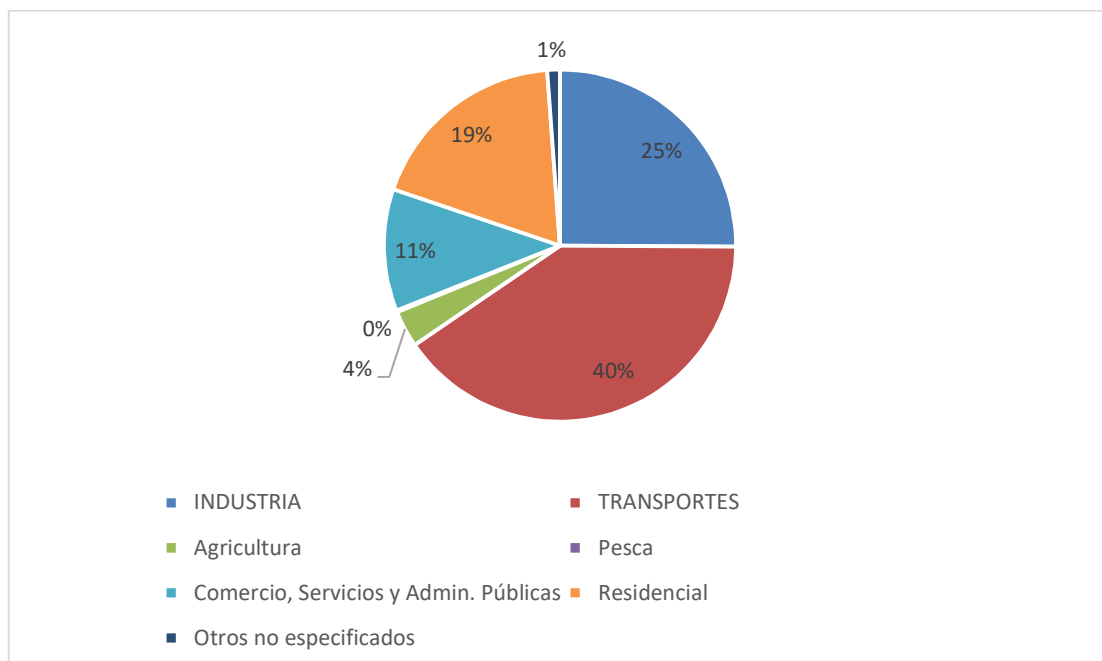


Figura 14. Porcentajes de consumos energéticos en España (2014).

1.8. Normativa Vigente.

En este apartado se va a tratar la normativa vigente que afecta a las instalaciones solares para el calentamiento de agua caliente sanitaria. Esta normativa se puede dividir en tres grandes secciones: el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE), el Código Técnico de la Edificación (CTE) y el conjunto de normas UNE relacionadas con las instalaciones solares.

1.8.1. Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE)

El Consejo de Ministros del 20 de Julio de 2007 aprobó el Real Decreto 1027/2007 por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios.

El Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios establece las condiciones que deben cumplir las instalaciones destinadas a atender la demanda de bienestar térmico e higiene a través de las instalaciones de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria, para conseguir un uso racional de la energía.

Las mayores exigencias en eficiencia energética que establece el Real Decreto se reflejan en:

- Mayor rendimiento energético en los equipos de generación de calor y frío, así como los destinados al movimiento y transporte de fluidos.
- Mejor aislamiento en los equipos y conducciones de los fluidos térmicos.
- Mejor regulación y control para mantener las condiciones de diseño previstas en los locales climatizados.
- Utilización de energías renovables disponibles, en especial la energía solar y la biomasa.
- Incorporación de subsistemas de recuperación de energía y el aprovechamiento de energías residuales.
- Sistemas obligatorios de contabilización de consumos en el caso de instalaciones colectivas. Desaparición gradual de combustibles sólidos más contaminantes.
- Desaparición gradual de equipos generadores menos eficientes.

Consta de dos partes:

La Parte I: Disposiciones generales, que contiene las condiciones generales de aplicación del RITE y las exigencias de bienestar e higiene, eficiencia energética y seguridad que deben cumplir las instalaciones térmicas.

La Parte II: Constituida por las Instrucciones técnicas (IT), que contiene la caracterización de las exigencias técnicas y su cuantificación, con arreglo al desarrollo actual de la técnica. La cuantificación de las exigencias se realiza mediante el establecimiento de niveles o valores límite, así como procedimientos expresados en forma de métodos de verificación o soluciones sancionadas por la práctica cuya utilización permite acreditar su cumplimiento.

1.8.2. Código Técnico de la Edificación (CTE)

El Código Técnico de la Edificación (CTE) es el marco normativo que establece las exigencias que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad establecidos en la Ley 38/1999 de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación (LOE).

Las exigencias básicas de calidad que deben cumplir los edificios se refieren a materias de seguridad (seguridad estructural, seguridad contra incendios, seguridad de utilización) y habitabilidad (salubridad, protección frente al ruido y ahorro de energía).

La primera parte está subdividida a su vez en varias secciones referidas cada una de ellas a las distintas áreas que deben regularse. En el ámbito de la seguridad nos encontramos las disposiciones referidas a la seguridad estructural, la seguridad en caso de incendios y la seguridad de utilización. Mientras, en el área de habitabilidad están incluidos los requisitos relacionados con la salubridad, la protección frente al ruido y el ahorro de energía.

La segunda parte se compone de los Documentos Básicos (DB), que son textos de carácter técnico que se encargan de trasladar al terreno práctico las exigencias detalladas en la primera parte del CTE. Cada uno de los documentos incluye los límites y la cuantificación de las exigencias básicas y una relación de procedimientos que permiten cumplir las exigencias. No obstante el proyectista o director de obra pueden, bajo su responsabilidad, optar por soluciones alternativas siempre que se justifique documentalmente que el edificio cumple las exigencias básicas del CTE porque sus prestaciones son al menos equivalentes a las que se obtendrían por la aplicación de los procedimientos especificados en los DB.

Los Documentos Básicos son los siguientes:

- **DB SE:** Seguridad estructural.

Constituye la base para cuya correcta aplicación son necesarios igualmente los siguientes cinco documentos:

- **DB SE-AE:** Acciones en la edificación
- **DB SE-A:** Estructuras de acero
- **DB SE-F:** Estructuras de fábrica
- **DB SE-M:** Estructuras de madera
- **DB SE-C:** Cimentaciones
- **DB SI:** Seguridad en caso de incendio
- **DB SUA:** Seguridad de utilización y accesibilidad
- **DB HE:** Ahorro de energía
- **DB HR:** Protección frente al ruido
- **DB HS:** Salubridad

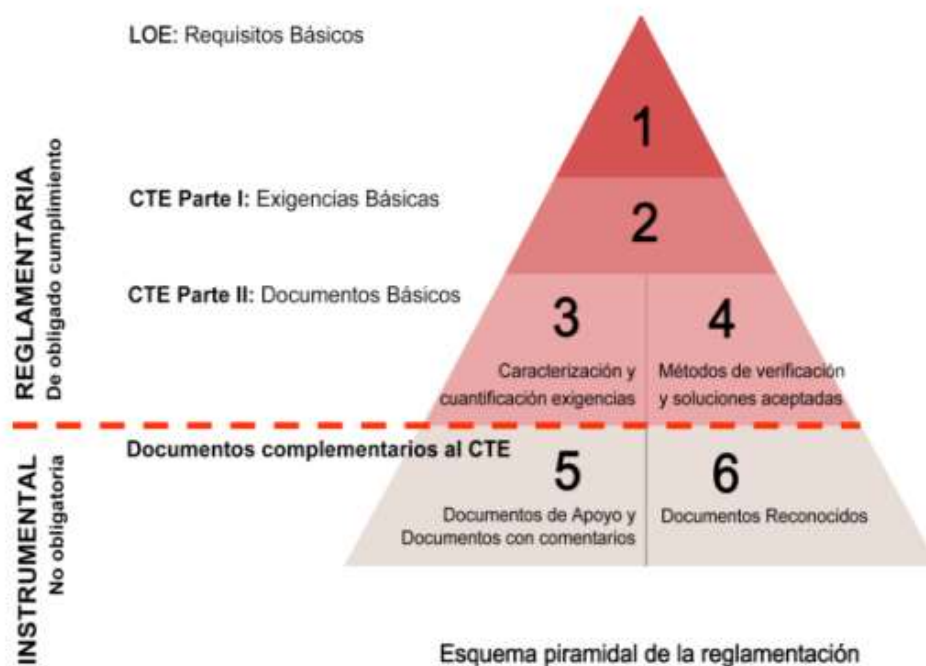


Figura 15. Esquema piramidal de la reglamentación.

En la figura 15 se puede ver la estructura que sigue el Código Técnico de la Edificación. Conviene hablar en particular de la sección HE4 del documento básico DB HE, pues afecta en gran medida a las instalaciones solares para calentamiento de ACS.

1.8.2.1 Sección HE4.

Esta sección establece una contribución mínima solar a la producción de ACS. En primer lugar se define el ámbito de aplicación de la misma, es decir, a todos los edificios de nueva construcción o rehabilitaciones en los que exista una demanda de ACS o climatización de piscina. Se presentan una serie de excepciones en los cuales se podrá prescindir de esa fracción solar o reducirla, por ejemplo en el caso de utilizar otras energías renovables.

En segundo lugar se establece la manera de caracterizar y cuantificar la fracción solar mínima exigida por la sección en función de la demanda, la zona climática. También se limitan las pérdidas máximas admisibles por la orientación y colocación de los captadores.

En el siguiente apartado se proporcionan los datos necesarios para el cálculo y dimensionamiento de la instalación. Se definen también los componentes que conforman una instalación, fluido de trabajo y otras situaciones a evitar como congelación del fluido, sobrecalentamientos, quemaduras, sobrepresiones o flujo inverso. A continuación se entra en detalle de los requisitos a cumplir por cada componente de la instalación.

1.8.3. Normas UNE

Las normas UNE son documentos técnicos que se aplican voluntariamente basados en la experiencia y desarrollo tecnológico y aprobado por un organismo de normalización reconocido. Permiten garantizar unos niveles de calidad y seguridad que permiten a cualquier empresa posicionarse mejor en el mercado y constituyen una importante fuente de información para los profesionales de cualquier actividad económica. Las normas UNE están creadas en los Comités Técnicos de Normalización (CTN) de la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR).

Relativas a las instalaciones solares térmicas, se encuentran las normas elaboradas por el comité AEN/CTN 94- Energía Solar Térmica, que constan de las siguientes normas:

- **UNE-EN ISO 22975-3:2015:** Relativa a componentes y materiales del captador y durabilidad del absorvedor
- **UNE-EN ISO 9806:2014:** Relativa a los captadores solares térmicos y los métodos de ensayo de los mismos.
- **UNE-EN 12977-1:2012:** Relativa a los requisitos generales para los calentadores de agua solares y las instalaciones solares combinadas.
- **UNE-EN 12977-2:2012:** Relativa a los métodos de ensayo para los calentadores de agua solares y las instalaciones solares combinadas.
- **UNE-EN 12977-3:2012:** Relativa a los métodos de ensayo del rendimiento de los acumuladores de agua de calentamiento solar.
- **UNE-EN 12977-3:2012:** Relativa a los métodos de ensayo del rendimiento para las instalaciones solares combinadas.
- **UNE-EN 12977-5:2012:** Relativa a los métodos de ensayo del rendimiento para los sistemas de regulación.
- **UNE-EN 12975-1:2006+A1:2011:** Relativa a los requisitos generales de los captadores solares
- **UNE 94041-1:2010:** Relativa a los sistemas de apoyo que utilizan combustibles líquidos y gaseosos de consumo calorífico nominal inferior o igual a 70 kW y volumen de acumulación inferior o igual a 300 l.
- **UNE-ISO 9459-2:2008:** Relativa a los métodos de ensayo exteriores para la caracterización y predicción del rendimiento anual de los sistemas solares de calentamiento de agua sanitaria.
- **UNE 94003:2007:** Relativa a los datos climáticos para el dimensionado de instalaciones solares térmicas.
- **UNE-EN 12976-1:2006:** Relativa a los requisitos generales de los sistemas prefabricados.
- **UNE-EN 12976-2:2006:** Relativa a los sistemas de ensayo de los sistemas prefabricados.
- **UNE 94002:2005:** Relativa al cálculo de la demanda de energía térmica en

instalaciones solares térmicas para la producción de ACS.

- **UNE-EN ISO 9488:2001:** Relativa al vocabulario a emplear en la energía solar.

2 DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES

2.1. Introducción.

En este segundo capítulo se explicará el funcionamiento de una instalación solar para la producción de agua caliente sanitaria general. Una vez explicado el funcionamiento de las instalaciones solares, se procederá a su clasificación según cuatro criterios. Posteriormente se entrará en más detalle en los componentes que conforman una instalación solar de ACS y se explicará el funcionamiento de cada uno. A continuación se tratará de explicar las cuatro configuraciones que más se dan en nuestro país en los edificios multivivienda. Por último se explicará en detalle el software que se utilizará en el capítulo 3, el CHEQ4.

2.2. Sistema solar térmico para producción de ACS.

Las instalaciones solares para la producción de ACS se basan en un esquema simple que se compone de un captador solar que calentará un fluido que podrá ser agua, aire u otro fluido térmico. Este fluido calentado será el encargado de transportar la energía térmica hacia un punto donde se acumulará para usar cuando exista una demanda de agua caliente sanitaria. Normalmente la demanda de energía se produce fundamentalmente en horas en las que la radiación no es suficiente para satisfacer esa demanda, por lo que para separar producción y demanda se utilizan acumuladores, que no son más que depósitos con gran inercia térmica. En la figura 16 se muestra el esquema básico de una instalación solar.

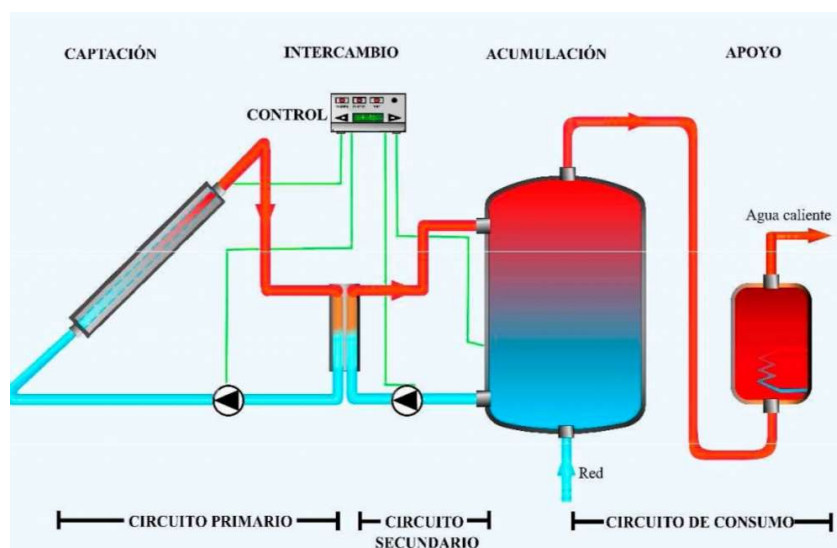


Figura 16. Sistema solar de producción de ACS.

Además para suplir la carencia de la radiación solar necesaria en determinados días o periodos del año, se debe instalar un sistema de apoyo como pueda ser una caldera convencional que permita el consumo de ACS a la temperatura deseada cuando no exista la radiación requerida. Los combustibles de esta caldera son los convencionales, como electricidad o combustibles fosiles.

2.3. Clasificación de instalaciones solares.

Existen numerosas clasificaciones que hacer a los sistemas solares de calentamiento de ACS. A continuación se van ver todos los criterios por los que se pueden clasificar los sistemas en función del sistema de impulsión del fluido, del sistema de intercambio, en función de la forma de acoplamiento y en función del sistema de energía auxiliar.

2.3.1. En función del sistema de circulación.

Esta clasificación se realiza en función de la fuerza motriz del fluido en la instalación solar. Existen dos tipos cuyos esquemas de principio se muestran en la figura 17:

Sistemas de circulación forzada. Donde se utiliza una bomba de impulsión que consume energía eléctrica externa para producir un salto de presión que mueva el fluido por el circuito. Este sistema se utiliza para instalaciones grandes o en climas fríos donde se puedan producir más pérdidas caloríficas.

Sistemas de circulación natural o termosifón. El movimiento del fluido viene determinado por la diferencia de densidades de los fluidos en función de la temperatura. Tiene la ventaja de no consumir electricidad adicional, pero su uso se ve restringido a instalaciones pequeñas y a climas cálidos.

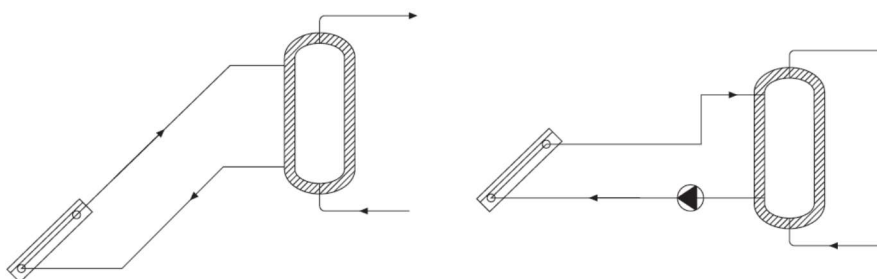


Figura 17. Sistema de termosifón (izquierda) y circulación forzada (derecha)

2.3.2. En función del sistema de intercambio.

Las instalaciones solares pueden tener dos maneras de transferir el calor que transporta el fluido que sale del campo de captadores al consumo. La figura 18 muestra los esquemas de los dos tipos.

Sistema de transferencia indirecta. Este sistema se caracteriza porque el fluido que

circula por los captadores no se mezcla con el agua de consumo en ningún momento. El calor se transfiere mediante un intercambiador que puede situarse en el depósito o de manera independiente.

Sistema de transferencia directa. En este tipo de sistema el fluido que circula por los captadores es el mismo fluido de consumo por lo que este sistema carece de intercambiadores. Es fundamentalmente empleado en sistemas de termosifón.

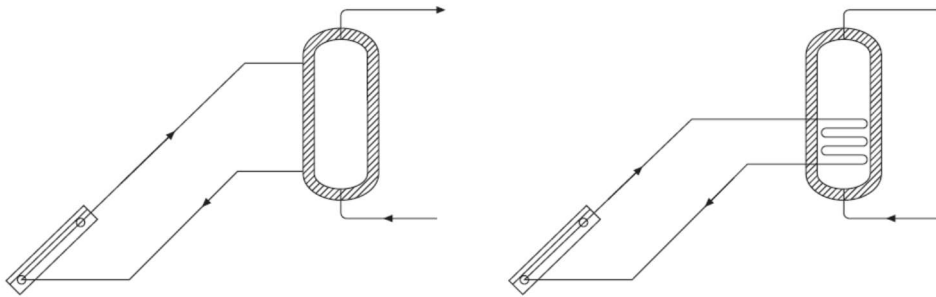


Figura 18. Instalación de transferencia directa (izquierda) e indirecta (derecha)

2.3.3. En función de la forma de acoplamiento.

Esta clasificación se refiere a la manera en que acoplan el captador solar y el acumulador. Existen tres configuraciones utilizadas para la producción de ACS:

Sistema partido. Esta configuración se caracteriza porque el captador y el acumulador están separados y se unen mediante una red de tuberías. Suele ser utilizado cuando el volumen de acumulación es grande y no puede situarse junto al captador. Una desventaja es que se generan pérdidas en el transporte del fluido.

Sistema compacto. En esta configuración el acumulador se encuentra situado junto al captador de manera que no existe una red de tuberías que los conecten, generalmente comparten la estructura de soporte. Se comercializan el captador y el acumulador juntos.

Sistema integrado. El acumulador y el captador solar forman un único elemento en el que la acumulación se produce en el interior del captador. Este sistema particular viene representado en la figura 19.

2.3.4. En función del sistema de energía auxiliar.

Esta clasificación divide los sistemas auxiliares en tres tipos, dependiendo de su situación en la instalación. En la figura 20 se muestran las tres tipologías que se explican a continuación.

Instantáneo. El sistema de apoyo es un elemento independiente que únicamente funciona cuándo hay demanda de ACS y la temperatura del agua que se dirige al punto de consumo es menor de la indicada. Si se dan estas dos condiciones, el sistema se activa y calienta de manera instantánea el agua.

En acumulador secundario. En este caso, el sistema de energía auxiliar calienta el fluido

contenido en un acumulador de menor tamaño que un acumulador solar. De esta manera el sistema auxiliar mantiene el agua del acumulador secundario a la temperatura de consumo en todo momento mediante un intercambiador situado en el mismo acumulador secundario.

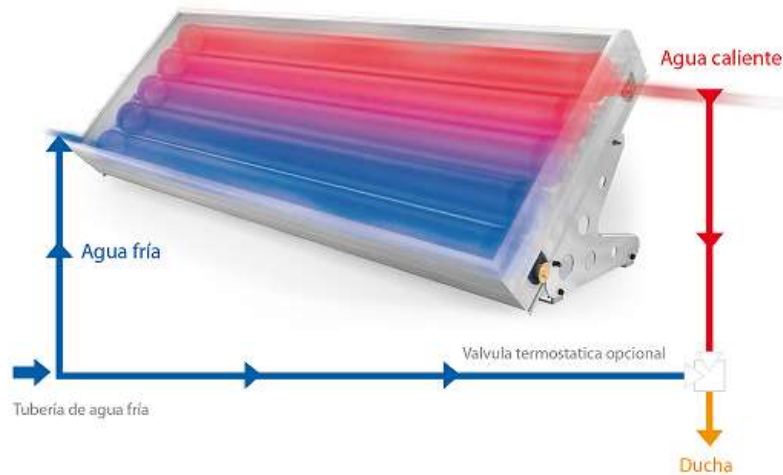


Figura 19. Sistema integrado de captador y acumulador.

En acumulador solar. En este caso el sistema auxiliar calienta el fluido contenido en el acumulador solar por medio de un intercambiador que calienta el fluido contenido.

Se puede diferenciar en el caso del sistema instantáneo y del sistema en el acumulador secundario entre la situación dentro de la instalación. Se puede tratar de un sistema de consumo único en cuyo caso ambos sistemas se denominan individuales. Si se trata de un consumo múltiple, el sistema auxiliar podrá estar situado en cada punto de consumo, tratándose de un sistema de apoyo distribuido, o que todos los puntos de consumo compartan un mismo sistema auxiliar en cuyo caso se denomina centralizado.

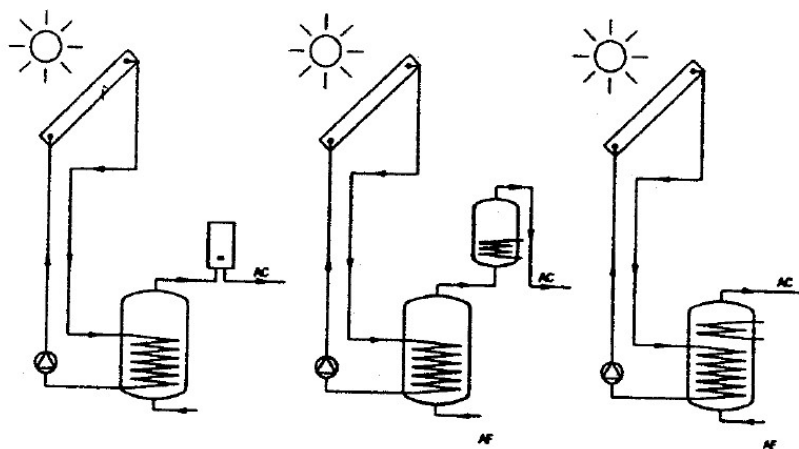


Figura 20. Sistema instáneo, en acumulador secundario y en acumulador solar respectivamente.

2.4. Elementos de una instalación solar para ACS.

En este apartado se describirá los principales elementos que forman una instalación solar así como sus configuraciones básicas y funcionamiento.

2.4.1. Captador solar plano.

El captador solar es el elemento principal cuya misión es transformar la energía solar, proveniente en forma de radiación solar en energía térmica. El modo de llevar a cabo este proceso es mediante el calentamiento de un fluido que circula por los tubos en el interior del captador.

Se van a estudiar los captadores solares utilizados para calentamiento de ACS, los cuales son llamados de baja temperatura o media temperatura debido a la temperatura de trabajo del fluido que circula por ellos. La baja temperatura se considera cuando el fluido se mantiene por debajo de los 60°C y la media temperatura se define cuando el fluido se mueve en el rango de temperaturas de 60°C a 250°C.

Para estas instalaciones se utilizan fundamentalmente tres tipos de captadores, los captadores solares planos con cubierta que como se ha visto en el capítulo 1 se utilizan principalmente en Europa. Otro tipo son los captadores de tubos de vacío utilizados principalmente en China y por último los captadores solares planos sin cubierta cuyo principal mercado es Estados Unidos y Canadá. Por estos motivos, este apartado se centrará en los captadores solares planos con cubierta que son los más utilizados en nuestro país.

2.4.1.1 Clasificaciones del captador solar plano.

Hay numerosas formas de clasificar el captador solar plano y a continuación se van a enumerar las más importantes.

Número de cubiertas: Puede carecer de cubierta, una cubierta o varias cubiertas.

Material de la cubierta: De vidrio o de plástico.

Material de la superficie absorbente: De cobre, acero, aluminio o caucho.

Tipo de tratamiento superficial del absorbedor: Superficie negra o selectiva.

Fluido caloportador: Captadores de agua o de aire.

Configuración de los tubos en el absorbedor: De placas, parrilla o serpentín.

2.4.1.2 Elementos del captador solar plano

El captador solar plano consta de las partes que se indican en la figura 21:

Cubierta. Es el elemento responsable de permitir el paso de la radiación hasta el absorbedor, retener el calor y actuar de aislante respecto a las condiciones ambientales del exterior del captador. Para cumplir estas funciones se utilizan materiales que sean resistentes a las condiciones ambientales como puede ser una tormenta de granizo, también deben tener una baja adherencia a la suciedad para no provocar sombras sobre la placa absorbidora. Estos materiales deben de tener a también una baja conductividad para limitar en la medida de lo posible las pérdidas térmicas por conducción. Pero la

característica más importante es que debe ser un material que permita la transmisión de radiación solar de onda corta pero sea opaca a la radiación de onda larga para provocar el efecto invernadero. Un material que cumple estas características es el vidrio templado que es el más utilizado, aunque también existen materiales plásticos que tienen un comportamiento similar pero son menos resistentes a las inclemencias del tiempo y presentan mayor tendencia a combarse con temperaturas altas.

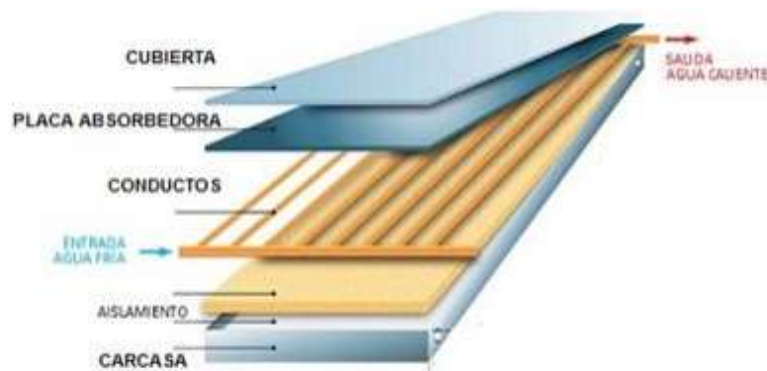


Figura 21. Elementos de un captador solar plano.

Placa absorbedora. Es el elemento que convierte la radiación solar en energía térmica mediante la absorción de la radiación. La configuración general de este componente, es una placa metálica sobre la que se sitúan unos tubos, ya sean soldados a la placa o embutidos, por los que circula un fluido caloportador. Los tubos recorrerán la superficie de la placa de manera que se aumente lo máximo posible la superficie del tubo en contacto con la placa metálica con el fin de que se transfiera el máximo de energía posible. Es por esto que las conductividades de todos los elementos del absorbedor, placa y tubos tengan un coeficiente de conductividad elevado. Los tubos se pueden colocar en tres configuraciones: en placas, en parrilla y en forma de serpentín (figura 22).

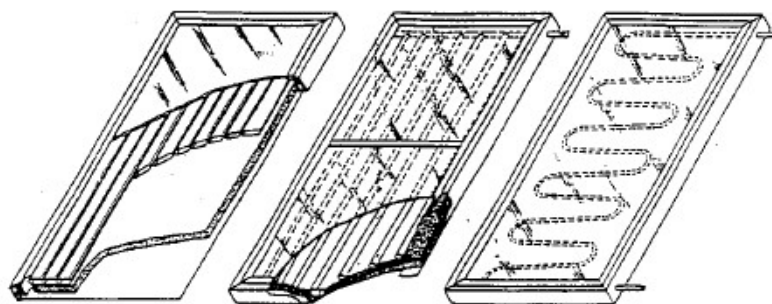


Figura 22. Configuración en placa (izquierda), parrilla (centro) y serpentín (derecha).

La placa encargada de absorber la radiación solar deberá tener una alta capacidad para absorber las ondas de radiación cortas provenientes de la radiación solar y al mismo tiempo emitir lo mínimo posible en onda larga. Estas dos características son una alta absorptividad y una baja emisividad. Por lo tanto es necesario tratar la placa metálica para favorecer este comportamiento, ya sea un tratamiento selectivo o una pintura negra.

Carcasa. Es aquello que da forma al captador, que fija su estructura y que soporta los anclajes que permiten colocar el captador con una cierta inclinación. Se suele fabricar en aluminio anodizado que se caracteriza por una mayor ligereza y con una buena resistencia a los agentes exteriores.

Aislamiento. El captador consta de un aislamiento inferior y lateral ya que son zonas que no están expuestas a la radiación solar la mayor parte del tiempo y por lo tanto son sensibles a las pérdidas de calor.

El material aislante ha de tener baja conductividad térmica como es lógico, y también debe mantener inalterables sus propiedades y no degradarse con el calor. El aislamiento posterior del captador puede llegar a alcanzar temperaturas similares a las de la placa absorbente, por lo que debe resistir sin descomponerse ni emitir gases que puedan ensuciar la parte interior de la cubierta.

Los materiales más utilizados como aislantes son las lanas minerales, espuma de poliuretano o poliestireno.

2.4.1.3 Funcionamiento de un captador solar plano.

El funcionamiento del captador solar plano se basa en el efecto invernadero que se genera en su interior. Este proceso empieza cuando la radiación incide sobre la cubierta y la mayor parte la energía incidente es transmitida por la cubierta hacia el absorbedor. El absorbedor absorbe una parte y aumenta su temperatura. Este calor se transfiere por conducción a los tubos por los que circula el fluido.

El resto de la energía que no se absorbe es emitida en forma de radiación térmica de onda larga, más concretamente en forma de radiación infrarroja. La cubierta es opaca a estas longitudes de onda por lo que la radiación emitida del absorbedor es completamente reflejada por la cubierta de vuelta al absorbedor. Este proceso se repite varias veces y es lo que se llama efecto invernadero que se aprecia en la figura 23. Entre la cubierta y el absorbedor existe una capa de aire que minimiza las pérdidas convectivas.

A continuación se realiza un balance energético en el captador solar para ver la energía útil que se cede al fluido. La energía útil se define como la energía en forma de radiación incidente menos las pérdidas térmicas al ambiente que se deben fundamentalmente a radiaciones infrarrojas, pérdidas por convección y pérdidas por conducción. Si se engloban las tres en un parámetro, obtenemos el coeficiente global de pérdidas (U_L) y las pérdidas consistirían en:

$$Q_u = \text{Energía incidente} - Q_{perd} = IA(\tau\alpha) - U_L(\overline{T_p} - T_a)$$

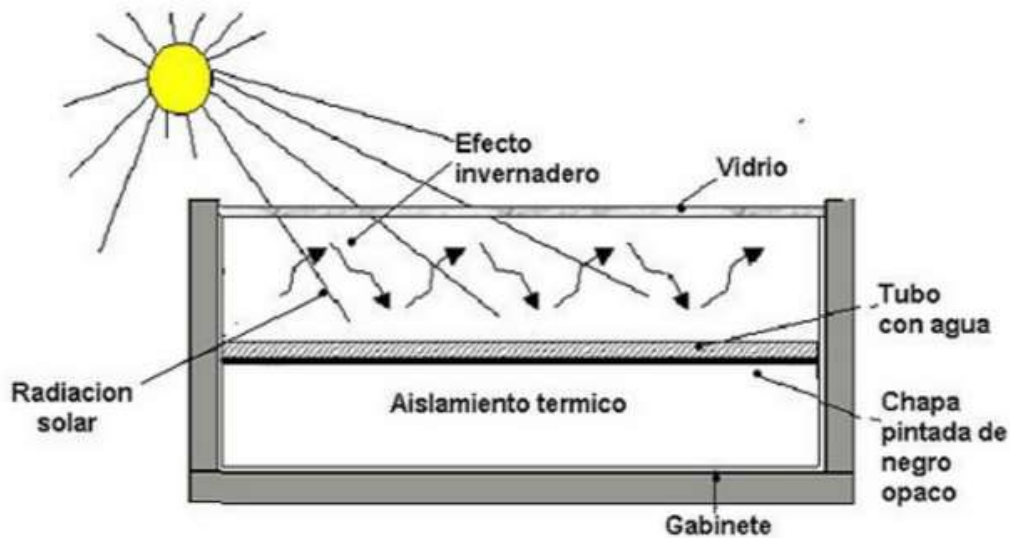


Figura 23. Efecto invernadero.

Donde,

I es la irradiación sobre el captador [W/m^2].

A es la superficie del captador [m^2].

$(\tau\alpha)$ es el producto transmitancia-absortancia.

U_L es el coeficiente global de pérdidas [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$].

$\overline{T_p}$ es la temperatura media del absorbedor [$^{\circ}\text{C}$].

T_a es la temperatura ambiente [$^{\circ}\text{C}$].

Debido a la dificultad de medir la temperatura media del absorbedor, las pérdidas se calculan en función de la temperatura de entrada del fluido al captador mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{perd}} = AF_R U_L (T_{fe} - T_a)$$

Donde,

F_R es el factor de evacuación del calor que representa la energía que capta el absorbedor entre la energía que captaría si todo el fluido se encontrara a la temperatura de entrada. Se puede entender como una magnitud parecida a la efectividad de un intercambiador de calor.

T_{fe} es la temperatura de entrada del fluido al captador [$^{\circ}\text{C}$].

De esta manera, el calor útil del captador quedará definido como:

$$Q_u = IAF_R(\tau\alpha) - AF_RU_L(T_{fe} - T_a)$$

Una vez definido el calor útil del captador es posible definir el rendimiento del captador como la relación entre la energía que capta el absorbedor y la energía que incide sobre el captador en forma de radiación:

$$\eta = \frac{Q_u}{IA} = F_R(\tau\alpha) - F_RU_L \frac{(T_{fe} - T_a)}{I}$$

El rendimiento se puede representarse en una gráfica frente al parámetro de las pérdidas de calor tal y como se indica en la figura 24. En la intersección con el eje vertical se obtiene el valor de $F_R(\tau\alpha)$, donde la temperatura de entrada del fluido coincide con la temperatura ambiente y lógicamente es el rendimiento máximo que puede tener el captador. En la intersección con el eje horizontal, el captador presenta un rendimiento nulo debido a una radiación muy baja o a una temperatura del fluido a la entrada muy elevada y que presenta pérdidas muy grandes.

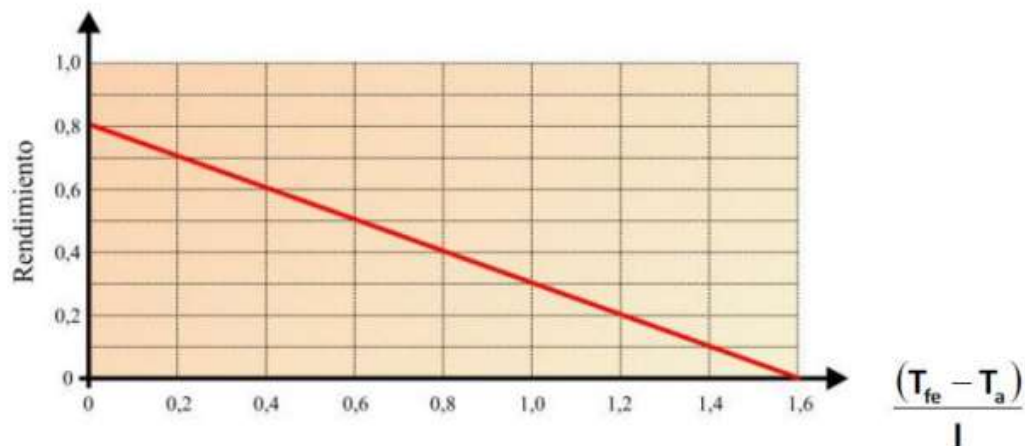


Figura 24. Recta de rendimiento de captador solar plano.

2.4.2. Tuberías.

El siguiente elemento que se va a estudiar se trata del conjunto de tuberías que transportan el fluido de un punto a otro de la instalación. Las tuberías deberán estar hechas de materiales que soporten como mínimo una presión de trabajo de 15 kg/cm² o superior si se indica, esto es debido a que debe soportar una presión normal de trabajo y los posibles golpes de arietes producidos por el cierre de válvulas. Los materiales pueden variar en

función de si se encuentran en el circuito primario, en el secundario o en el de consumo ya que sus requerimientos de trabajo pueden variar. Se suelen utilizar tuberías de cobre, acero inoxidable o galvanizado, aunque también se pueden utilizar materiales plásticos siempre y cuando soporten la temperatura máxima del circuito.

Dado que las tuberías del circuito secundario y de consumo deben transportar agua potable, se prohíbe el uso de cualquier material que pueda ser perjudicial para la salud humana como el aluminio o materiales con algún contenido en plomo.

Para evitar o limitar al máximo posible las pérdidas térmicas al ambiente, todos los tramos de tuberías deben ir recubiertos de una capa de material aislante cuyos requisitos proporciona el RITE. El RITE proporciona unas tablas que se muestran a continuación, tablas 1 y 2, donde se indica el espesor mínimo del aislante a emplear en función de la temperatura máxima del fluido que discurre por el interior y del diámetro exterior de la tubería.

Tabla 1. Espesores mínimos (mm) de aislante en tuberías interiores.

Diámetro exterior (mm)	Temperatura máxima del fluido (°C)		
	40-60	60-100	100-180
$D \leq 35$	25	25	30
$35 < D \leq 60$	30	30	40
$60 < D \leq 90$	30	30	40
$90 < D \leq 140$	30	40	50
$140 < D$	35	40	50

Tabla 2. Espesores mínimos (mm) de aislante en tuberías exteriores.

Diámetro exterior (mm)	Temperatura máxima del fluido (°C)		
	40-60	60-100	100-180
$D \leq 35$	35	35	40
$35 < D \leq 60$	40	40	50
$60 < D \leq 90$	40	40	50
$90 < D \leq 140$	40	50	60
$140 < D$	45	50	60

Adicionalmente el RITE fija una conductividad del aislamiento de referencia $k_{ref} = 0.04$

W/(mK) a 10°C. Si el aislamiento no cumple esta propiedad, se deberá corregir el espesor utilizando las siguientes relaciones:

Para superficies planas:

$$d = d_{ref} * \frac{k}{k_{ref}}$$

Para superficies de sección circular:

$$d = \frac{D}{2} \left[\exp \left(\frac{k}{k_{ref}} * \ln \frac{D + 2 * d_{ref}}{D} \right) - 1 \right]$$

Donde,

k_{ref} es la conductividad térmica de referencia a 10°C con un valor de 0.04 [W/(mK)].

k es la conductividad térmica del aislante empleado [W/(mK)].

d_{ref} es el espesor mínimo de referencia [mm].

d es el espesor del aislante empleado [mm].

D es el diámetro exterior de la tubería [mm].

2.4.3. Intercambiador de calor.

Un intercambiador es un dispositivo que permite y facilita en la medida de lo posible la transferencia de calor de un fluido caliente a otro fluido más frío. Esta transferencia de temperatura se produce simplemente al poner en contacto dos fluidos a dos temperaturas diferentes. Cabe resaltar que en las instalaciones de ACS no tienen lugar los cambios de fase.

El uso de intercambiadores tiene la principal ventaja de la posibilidad de utilizar de un fluido diferente al agua en el circuito primario, al que se le pueda añadir anticongelante para evitar el riesgo que presentan las heladas, además de mantener el circuito primario libre de depósitos minerales, como pueda ser la cal y evitar la corrosión.

Normalmente en instalaciones para viviendas, suele existir un intercambiador en el circuito primario aunque en ciertos tipos de instalaciones en viviendas multifamiliares también existen intercambiadores en el circuito de distribución o en cada subestación de consumo.

Los intercambiadores se pueden clasificar en dos tipos, los intercambiadores externos y los interacumuladores. Los intercambiadores externos son aquellos que forman un elemento independiente y a su vez presentan dos clases principales, los intercambiadores de placas, los más usados en el sector residencial, y los intercambiadores de haz de tubos. Los intercambiadores independientes su potencia se deberá calcular para las condiciones de trabajo en las horas centrales del día suponiendo una radiación solar de 1000 W/m² y

un rendimiento de conversión de la energía solar a térmica del 50% y cumpliendo la siguiente condición:

$$P \geq 500 * A$$

Donde,

P es la potencia mínima del intercambiador [W].

A es el área del campo de captadores [m²].

Intercambiadores de placas: Consisten en una serie de placas metálicas integradas con juntas estancas dispuestas de forma alternativa y atornilladas entre los bastidores de los extremos para formar canales entre los que fluyen los fluidos frío y caliente. Su principal ventaja frente a uno de carcasa y tubos por ejemplo, es la modularidad, son fácilmente desmontables y ampliables mediante la adición de nuevas placas para obtener una mayor superficie de transferencias. Además poseen un diseño compacto por lo que debido su uso en el sector residencial está muy extendido. Otras ventajas no menos importante es un mayor coeficiente de transferencia que otros tipos de intercambiadores lo que permite menores superficie de intercambio. Sin embargo, la existencia de juntas limita su uso a medias y bajas temperaturas, inconveniente que no afecta a la producción de ACS y limita también su presión máxima de trabajo.

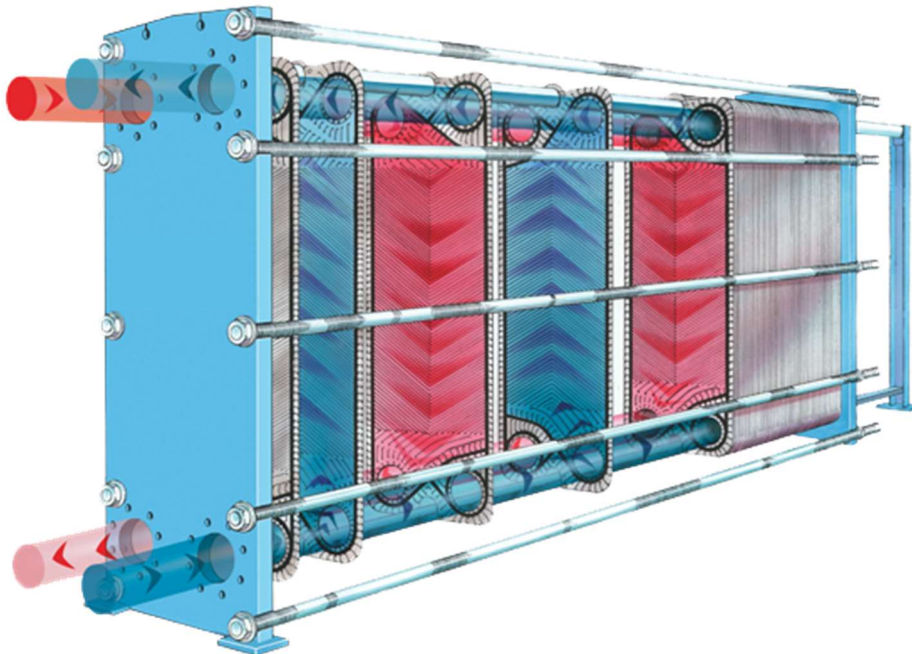


Figura 25. Intercambiador de placas.

Carcasa y tubos: Este tipo de intercambiador se compone de un haz de tubos en cuyo interior circula un fluido. Este haz de tubos se encuentra en el interior de una carcasa

cilíndrica. Dentro de la carcasa circula el otro fluido que cubre el haz de tubos por completo. En ciertas aplicaciones para mejorar la transferencia de calor, los tubos pueden ser aleteados. Los tubos se encuentran sujetos en sus extremos por placas tubulares que cuentan con agujeros donde se introducen los tubos y se fijan mediante soldadura o por expansión mecánica. Para guiar el flujo de del fluido que circula por la carcasa se hace uso de deflectores que además sirven de soporte a los tubos. Los fluidos pueden circular en el mismo sentido o en contraflujo.

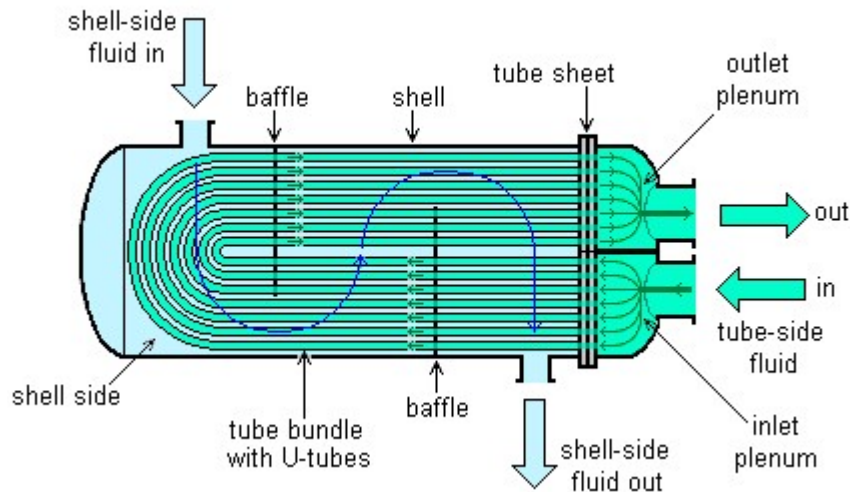


Figura 26. Intercambiador de carcasa y tubos.

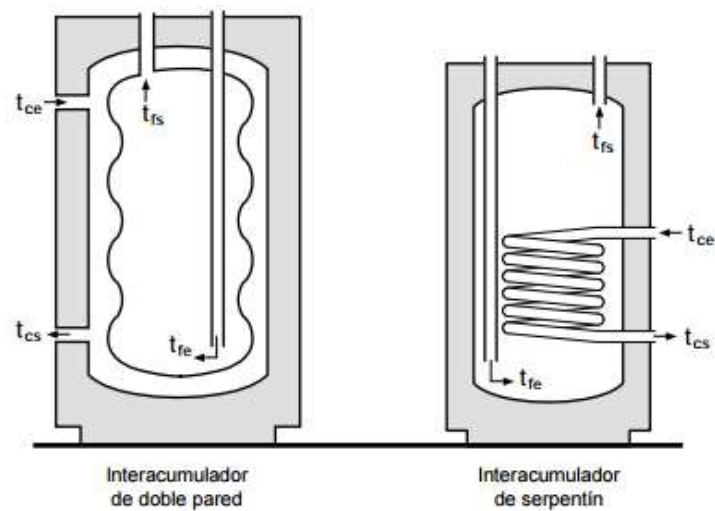


Figura 27. Tipologías de interacumuladores.

El otro tipo de intercambiadores son los interacumuladores, que no son más que intercambiadores unidos al acumulador. Se dimensionarán de manera que la relación entre

la superficie útil de intercambio y la superficie total de captación no sea inferior a 0.15. Se diferencian dos tipos fundamentales:

De doble envolvente: Consta de una envolvente exterior al acumulador entre cuyas paredes circula un fluido que calienta el volumen en el interior del acumulador. Esta configuración presenta pérdidas de carga muy reducidas y se suelen utilizar en instalaciones pequeñas. Se requiere un aislamiento exterior a la envolvente.

De serpentín: Se compone de un serpentín por el que circula el fluido caliente sumergido en el interior del acumulador. Se suele situar en la parte inferior del acumulador ya que es donde se encuentra el fluido con menor temperatura y de esta manera se produce un mayor intercambio de calor. Esta configuración presenta mayores pérdidas de carga pero se utiliza para instalaciones mayores.

Al haber en el mismo depósito un fluido con una diferencia de temperatura, el fluido que se encuentra más caliente al tener menor densidad que el fluido más frío, tiende a situarse en la parte superior del depósito mientras que la fría cae al fondo. Cuánto más alto es el acumulador, mayor es la estratificación que aparece en el fluido.

Existen maneras de favorecer este fenómeno como puede ser introducir el agua caliente por la parte superior del depósito y el agua fría por la parte inferior. Gracias a la estratificación, es fácil transportar el agua más fría del mismo al captador o intercambiador primario y el agua más caliente llevarla a consumo. Sin embargo, no es conveniente situar a la misma altura la entrada del fluido caliente y la salida a consumo del fluido caliente ya que se generaría un camino preferencial por el cual el fluido caliente no se cedería parte de su calor al resto del depósito y podría salir hacia el consumo a temperatura excesiva. De manera análoga ocurre con la entrada y salida de la parte fría del fluido.

En función de la situación del acumulador existen dos tipos de instalaciones:

Acumulación centralizada. Cuando solo existe un acumulador general para todos los puntos de consumos (viviendas).

Acumulación distribuida. Cuando cada punto de consumo dispone de un acumulador propio de menor volumen que uno centralizado.

Los acumuladores de ACS están diseñados para acumular la energía térmica en el fluido sin que exista cambio de fase. El principal problema de los acumuladores es que debido a su gran superficie externa, son propensos a sufrir de elevadas pérdidas de calor al ambiente por lo que requieren de aislamiento adicional como sucede en el caso de las tuberías. Además de tratar de evitar en la medida de lo posible los puentes térmicos en el mismo con superficies de apoyo por ejemplo.

Debido al gran volumen de acumulación que tienen los depósitos en las instalaciones centralizadas se debe tratar de emplazarlos en el interior para minimizar la diferencia de temperaturas. Su volumen deberá seguir la siguiente relación:

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

Donde,

V es el volumen del acumulador [l].

A es el área del campo de captadores [m²].

Otro inconveniente se da cuando el fluido de entrada caliente, lo hace a una temperatura excesiva lo que puede provocar presiones superiores a las que soporta el depósito por lo que se hace obligatorio la instalación de vasos de expansión que se tratarán más adelante.



Figura 28. Depósito de acumulación.

2.4.4. Bombas de circulación.

Las bombas son las encargadas de producir la fuerza impulsora que genere el movimiento de los fluidos de la instalación. Además de mover el fluido, deberán vencer las pérdidas de carga y en el caso de instalaciones en viviendas multifamiliares, deberán vencer la altura del edificio. En las instalaciones de ACS, sean solares o no, las bombas principalmente usadas son las bombas centrífugas. Existen varios tipos de bombas centrífugas pero todas tienen en común una entrada axial del fluido al rodete de la bomba.

Su funcionamiento se basa en los principios que rigen todas las turbomáquinas hidráulicas, un motor eléctrico acciona el eje de la bomba en el cual está el rodete. El fluido entra axialmente al rodete a través de la boca de aspiración, una vez en el rodete las paletas del mismo desvían el fluido en dirección radial. En este proceso actúan las fuerzas centrífugas que provocan que el líquido sufra un aumento de velocidad y de presión. Una vez que el fluido sale del rodete, se acumula en la caja espiral que tiene forma de caracola. La función de esta caja espiral es reducir ligeramente la velocidad del fluido transformando esa energía cinética en aumento de presión.

Dentro de las bombas existen fundamentalmente dos tipologías diferentes, las bombas de rotor húmedo y de rotor seco. Las bombas de rotor húmedo cuya principal característica es que el rotor del motor que se encuentra en el eje, gira inmerso en el fluido a transportar, de esta manera se lubrican los cojinetes y se refrigera el motor. Su principal uso es para

caudales no demasiado grandes de agua por lo que uso en viviendas multifamiliares queda prácticamente descartado.

Por otro lado se encuentran las bombas de rotor seco, que como su nombre indica, el fluido a bombear no entra en contacto con el motor. Su diseño permite mayores caudales volumétricos como los que se dan en las instalaciones multifamiliares. Suelen tener motores trifásicos normales con una velocidad fija, por lo que en el caso de requerir la impulsión de diferentes caudales deberán instalarse variadores de frecuencia que permitan modificar la velocidad del motor. Además su rendimiento es superior al de las bombas de rotor húmedo.



Figura 29. Esquema de una bomba centrífuga de rotor seco.

2.4.5. Calentador auxiliar.

Debido a que la radiación en ciertos períodos es insuficiente para poder calentar el agua a la temperatura de consumo o bien porque la demanda sea demasiado elevada para que la instalación solar pueda hacerle frente, se necesita la instalación de un sistema de apoyo que pueda proporcionar la energía necesaria en caso de déficit de energía solar. Los sistemas de apoyo o calentadores auxiliares pueden tener diversas fuentes de energía, como puede ser electricidad, gas natural o butano, o gasóleo.

Su funcionamiento se basa en introducir un combustible que generalmente mediante una combustión y gracias al poder calorífico de los combustibles, libera calor que se transfiere al fluido. Un caso aparte es el caso de los calentadores eléctricos que calientan el agua gracias a una resistencia que al paso de la corriente eléctrica disipa calor al fluido.

Los calentadores auxiliares pueden cumplir con su tarea de diferentes maneras, la primera sería como calentador instantáneo como se muestra en la figura 30. Este calentador de apoyo, calienta el caudal de agua de consumo en el momento que es requerida una mayor temperatura. Suelen estar instalados en cada subestación o vivienda y los más comunes son los de gas natural o butano. Su funcionamiento se basa en el paso del fluido por un serpentín que es calentado mediante una llama de combustión del combustible en su camino por el serpentín.

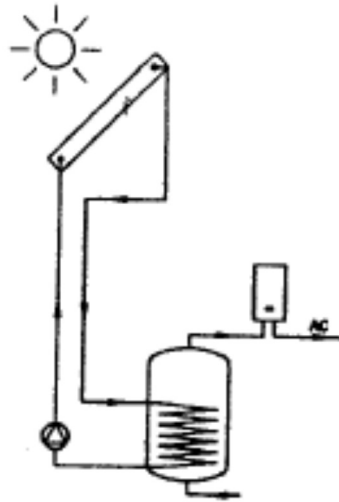


Figura 30. Calentador auxiliar instantáneo.

Otra tipología se basa en disponer de un acumulador auxiliar (figura 31) en el que mediante ayuda de un calentador auxiliar se mantenga el fluido acumulado a una temperatura de consumo constante durante todo instante de tiempo. El acumulador auxiliar puede ser centralizado o distribuido y su funcionamiento es análogo al acumulador principal.

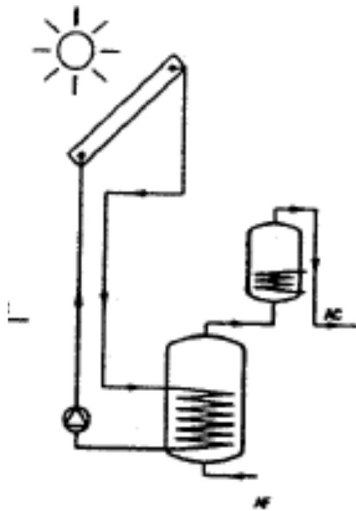


Figura 31. Calentador auxiliar en acumulador auxiliar.

Por último, el calentador auxiliar se puede instalar en el acumulador solar (figura 32), sin depósito auxiliar y de esta manera favorecer la estratificación del sistema calentando el fluido situado en la parte superior del acumulador. Dado que sólo se calienta el fluido superior que irá directamente a consumo, el calentador auxiliar no requerirá de mayor

potencia que en los casos anteriores ya que se instala junto a la salida de agua caliente.

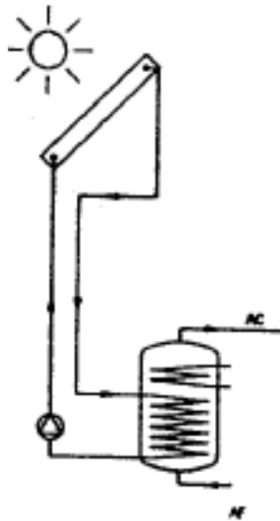


Figura 32. Calentador auxiliar en acumulador solar.

2.4.6. Sistemas de seguridad.

En toda instalación solar y especialmente en el primario por las temperaturas con las que se trabaja, se deben de instalar cierto elementos de seguridad para garantizar que tanto la instalación trabaje en condiciones óptimas y no se deteriore prematuramente. A continuación se describirán someramente los elementos de seguridad más importantes de las instalaciones solares.

Vaso de expansion.

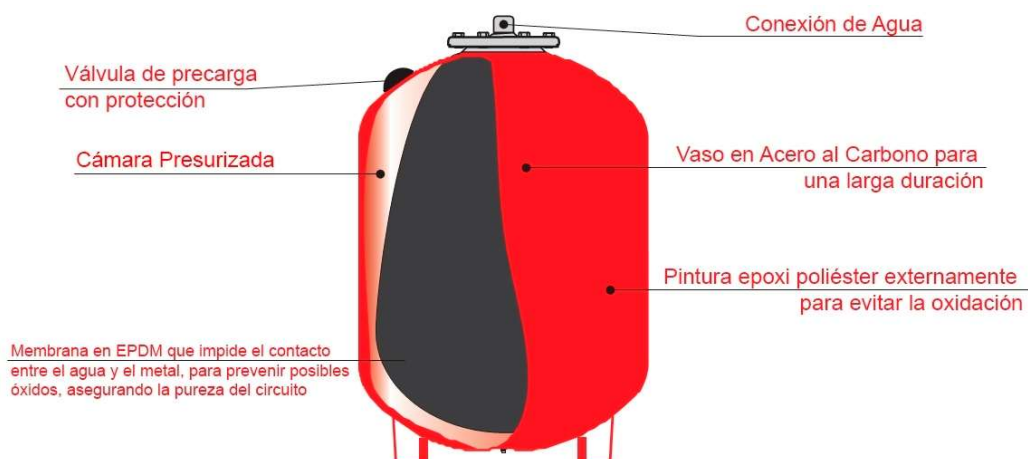


Figura 33. Vaso de expansión cerrado.

Los vasos de expansión sirven como medida de seguridad ante las sobrepresiones originadas por dilataciones del fluido que se calienta. Estas sobrepresiones pueden originar grietas o rotura en tuberías y acumuladores. Hay dos tipos de vaso de expansión, abierto y cerrado, siendo este último el más utilizado en las instalaciones de calefacción y ACS por lo que la explicación se centrará en él. En la figura 33 se puede ver un vaso de expansión cerrado.

Válvula de seguridad.

La válvula de seguridad (figura 34) son elementos que se tanto en el circuito primario como en el acumulador que permiten evacuar un caudal de fluido necesario para que no se sobrepase la presión fijada del elemento protegido. Hay diferentes tipos de válvulas según si abren de manera proporcional a la sobrepresión existente o abren totalmente e instantáneamente, de actuación directa o indirecta, etc.

Su funcionamiento se basa en la energía de la presión estática. Cuando en el sistema a proteger se produce un aumento de la presión interna hasta alcanzar la presión fijada en la válvula, la fuerza que ejerce el muelle es equilibrada por la fuerza producida por la presión sobre el área del disco de cierre. Si la presión interna sigue aumentando hará que la presión sea suficiente para levantar el disco de cierre y permita el paso del caudal. Una vez que la presión disminuye el muelle vuelve a cerrar el disco para evitar el paso de fluido.

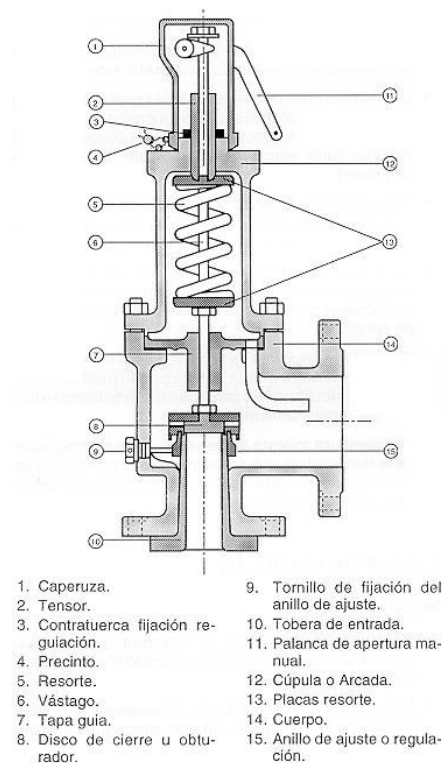


Figura 34. Esquema de una válvula de seguridad.

Disipadores de calor.

En los meses de mayor radiación solar y menor consumo como pueden ser los meses de

verano, puede ocurrir que la temperatura aumente tanto que se produzcan presiones altas e incluso la vaporización del fluido. Aunque existan válvulas de seguridad que prevengan daños por sobrepresiones, se produce una pérdida de fluido que habría que reponer además de que la vaporización suele producir incrustaciones de cal en las tuberías que las pueden dañar. Por lo tanto hay que procurar no llegar a ese punto.

Para ello se disponen de los disipadores de calor que son dispositivos que hacen circular el fluido por conductos para que disipe su calor en el aire. Se activan cuando el fluido alcanza una temperatura peligrosa que suele estar en torno a los 90°C. Existen varios tipos de disipadores donde unos dirigen el fluido a una unidad donde con la ayuda de ventiladores se refrigera el fluido, otro tipo en cambio se coloca en cada captador solar y disipan el calor generado en ese único captador actuando por gravedad gracias a la apertura de válvulas termostáticas.

Purgadores de aire.

Los purgadores de aire se emplean para eliminar de modo continuo el aire contenido en los circuitos hidráulicos de las instalaciones solares, ya que la formación de bolsas de aire o burbujas serían perjudiciales para la instalación. Se sitúan en aquellas zonas donde el aire pueda ser más perjudicial como es antes de las bombas de impulsión donde el aumento de velocidad y disminución de la presión en la aspiración favorece la formación de microburbujas y en el retorno y zona inferior del circuito primario.

Su funcionamiento se basa en un conjunto de mallas metálicas dispuestas a manera de radios. Estas mallas provocan movimientos turbulentos que favorecen la liberación de las microburbujas y su adhesión a las mallas. Las burbujas se unen entre sí hasta que el empuje hidrostático que experimentan vence a la fuerza con la que adhieren a la estructura. Debido al empuje ascienden hasta que se expulsan mediante una válvula automática de purga de aire provista de boya.

Fluido caloportador.

Aunque no es un elemento de seguridad en si, tiene una gran importancia en el correcto funcionamiento de la instalación y a la hora de evitar averías. El fluido ideal para transportar calor debería ser anticongelante para prevenir la congelación del mismo en las tuberías que puede ocasionar la aparición de grietas o roturas en el circuito hidráulico. Además no debería hervir ni ser corrosivo y tener una alta capacidad calorífica y un gran coeficiente de transmisión de calor. El fluido que más se aproxima a estas características ideales es una mezcla de 60% de agua y un 40% de glicol.

2.5. Configuraciones en viviendas multifamiliares.

En este apartado se van a analizar las cuatro configuraciones básicas en instalaciones de consumo múltiple más utilizadas en España.

2.5.1. Instalación con sistema de acumulación distribuido.

El esquema de principio de la instalación es que se muestra en la figura 35.

La instalación constará de un campo de captadores que mediante la radiación solar calentará un fluido caloportador, el más usado en los circuitos primarios es una mezcla de

agua y glicol, que mediante un circuito de tuberías circulará hasta un intercambiador de calor donde cederá el calor a otro fluido cuyo recorrido se detallará a posteriormente. El fluido que cede calor regresará al campo de captadores por otro tramo de tubería gracias a la impulsión que proporciona una bomba que suele ser controlada en función de dos factores, de la radiación incidente sobre el captador y de la diferencia de temperaturas que hay entre la salida del campo de captadores y la entrada del lado frío del intercambiador para que de esta manera el fluido solo circule en condiciones que garanticen una temperatura lo suficientemente elevada.

El control sobre la radiación incidente se suele realizar con una sonda en el campo de captación y cuando se supere un determinado valor de radiación incidente se cumple la primera condición. El control de temperatura suele activarse cuando la diferencia de temperaturas entre los dos puntos especificados supera un determinado valor y se desactiva cuando esa diferencia cae por debajo de otro valor, menor al primero, de manera que se crea una banda muerta.

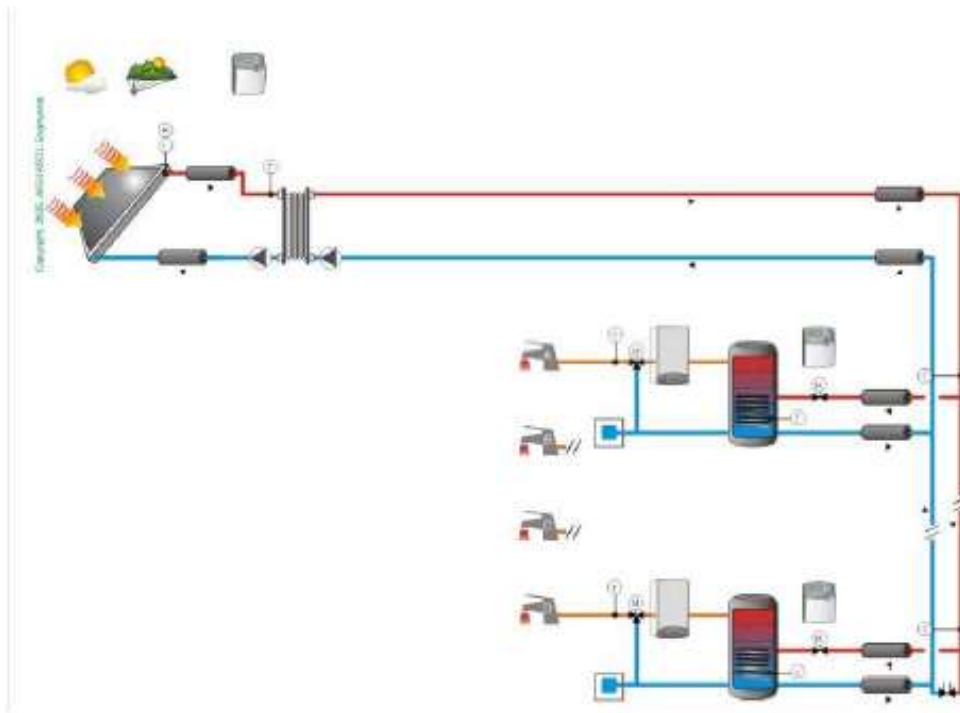


Figura 35. Instalación con acumulación distribuida.

El fluido que entra al intercambiador por el llamado lado frío que se tratará de agua, será distribuido mediante un tramo de tuberías que constarán de un tramo común a todas las viviendas, llamado circuito de distribución, a partir del cual se derivarán las tuberías que llevan el fluido caliente a cada vivienda o subestación. De esta manera el fluido llega a cada subestación donde se dispone de un interacumulador individual al cual llega el agua de la red y que es calentada para su posterior consumo. El movimiento de este fluido es provocado por una bomba que a su vez actúa al mismo tiempo que la bomba del primario para garantizar una transferencia de calor en el intercambiador primario.

El agua almacenada en el interacumulador se calienta gracias al agua caliente que llega proveniente del circuito de distribución mediante un serpentín alojado en el propio acumulador.

El caudal del fluido que circula por el serpentín se regula mediante una válvula de 2 vías que se encuentra a la entrada del acumulador y que actuará comparando la temperatura en el circuito de distribución con la salida del serpentín del interacumulador para garantizar que el agua contenida en el acumulador sea siempre calentada y no enfriada. Además mediante este control también se fijara una temperatura máxima del agua contenida en el depósito para evitar que se vaporice, de manera que si la temperatura en el interior del acumulador sobrepasa la temperatura límite, el control cerrará la válvula.

En el acumulador el agua se estratifica y de esta manera el agua que se encuentra en niveles superiores será la que se utilice como ACS debido a su mayor temperatura. Del extremo superior el agua se dirige a un calentador auxiliar que solo actúa para garantizar una temperatura que supere a la de consumo. Mediante una válvula termostática conectada al agua fría de red, se regula la temperatura del agua caliente que se encuentra por encima de la temperatura de consumo a la temperatura adecuada. En circuito de consumo de la instalación no se tienen en cuenta tuberías debido a que las longitudes son demasiado pequeñas como para tener influencia en los resultados. A pesar de que las longitudes son pequeñas, siempre existen pérdidas y por eso el sistema auxiliar siempre garantiza una temperatura superior a la de consumo.

Este tipo de instalación elimina el problema que presentan otras configuraciones centralizadas respecto a la medida individual del consumo de agua caliente. Pero como desventajas tiene que necesita de grandes espacios en las viviendas para todos los equipos y que en caso de no estar perfectamente aislados, las pérdidas globales en los interacumuladores pueden ser importantes.

2.5.2. Instalación con intercambiador de consumo distribuido.

El esquema de principio es el que se muestra en la figura 36.

El fluido frío entra al campo de captadores donde es calentado. Una red de tuberías lo transporta hasta un intercambiador independiente donde transfiere calor al fluido que circula por el circuito secundario. El movimiento del circuito primario viene generado por una bomba cuyo control difiere al caso anterior. Este control regulará la actuación de la bomba en base a la radiación exclusivamente, si la radiación incidente sobre el colector solar excede un determinado valor, el control activa la bomba. Cuando la radiación cae por debajo de otro valor, el control parará la bomba.

Esta instalación consta de un depósito de acumulación centralizado a continuación del intercambiador primario. El circuito comprendido entre el lado frío del intercambiador primario y el depósito de acumulación se denomina circuito secundario. El movimiento del agua en este circuito correrá a cargo de una bomba de impulsión cuyo control se efectuará comparando la temperatura de salida del campo de captadores con la temperatura en la parte inferior del acumulador. El acumulador a su vez tendrá una temperatura máxima admisible del fluido, si se sobrepasa este límite se parará la bomba del secundario.

El acumulador debe poseer un volumen necesario para cubrir toda la demanda del edificio.

Puede que debido a su tamaño no se pueda situar en la cubierta del edificio junto a los captadores solares, por lo que será necesario entonces considerar una red de tuberías en el circuito primario hasta la situación del intercambiador situado junto al acumulador que normalmente se instalará en el sótano o en la planta baja del edificio.

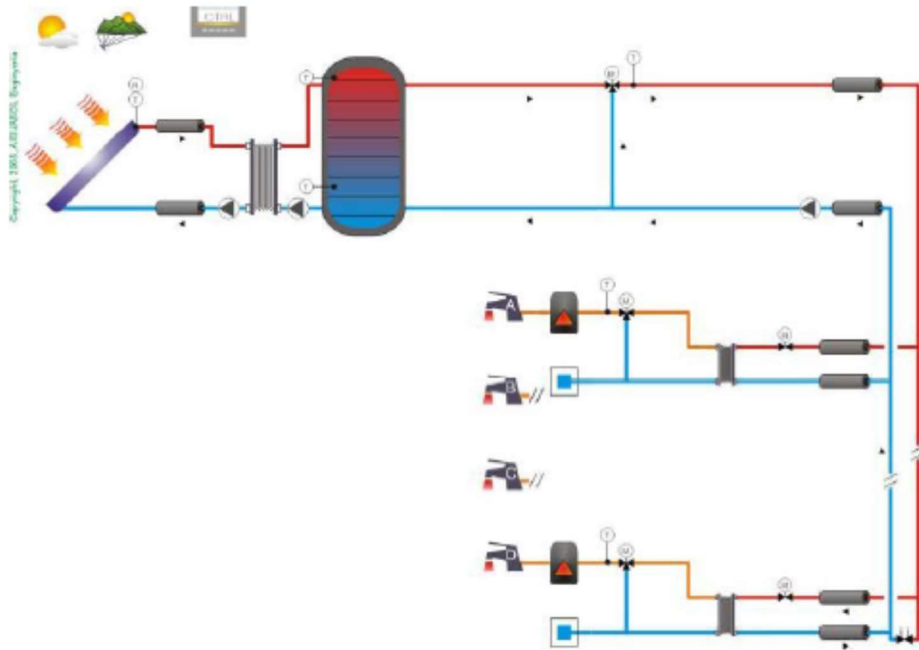


Figura 36. Instalación multifamiliar con intercambiador de consumo distribuido.

Una vez que el agua caliente sale del acumulador, se distribuye a través del edificio mediante el circuito de distribución. La impulsión en este circuito se efectúa a través de una bomba de control presostático que arrancará siempre que la temperatura en la zona superior de acumulador supere una cierta temperatura. Esta bomba será de control presostático por lo regulará el caudal manteniendo siempre una diferencia de presión entre impulsión y retorno constante.

Una vez distribuida el agua, en cada subestación existirá un intercambiador doméstico que permita al agua de distribución ceder calor al agua de consumo. Si la temperatura obtenida no es la requerida por la consigna, un calentador auxiliar arrancará para obtener la temperatura de consigna. En este caso, el equipo de apoyo auxiliar se encuentra situado tras la válvula termostática.

Esta configuración también presenta la ventaja de que se elimina la medida del reparto individual de agua caliente. Requiere de menor espacio en las viviendas pero a su vez habrá que dedicar zonas comunes del edificio para el acumulador centralizado. En este caso las pérdidas térmicas durante los periodos de funcionamiento de los circuitos serán las que cobren mayor importancia.

2.5.3. Instalación centralizada con apoyo distribuido.

El esquema de la instalación es el mostrado en la figura 37.

La instalación dispondrá de un circuito primario completamente análogo a la instalación anterior en cuanto a componentes. La mezcla de agua y glicol atraviesa el campo de captadores aumentando su temperatura. La red de tuberías lo transporta hasta un intercambiador donde transfiere calor al fluido que circula por el circuito secundario. Una bomba impulsa el fluido a la salida del intercambiador de vuelta al campo de captadores mediante un control de radiación exactamente igual a la instalación anterior.

El circuito secundario, simplemente se compone de una bomba que impulsa el agua hasta el acumulador centralizado del que consta la instalación. El control de esta bomba suele ser un controlador diferencial de temperatura en el que se compara la temperatura a la salida del campo de captadores y la temperatura en el fondo del acumulador.

El agua caliente que sale del acumulador centralizado se moverá hasta un intercambiador donde cederá su calor al circuito de distribución. En este circuito el movimiento del fluido vendrá dado por una bomba cuyo control consistirá en un control presostático que actuará siempre que la temperatura en la parte superior del acumulador supere un determinado valor.

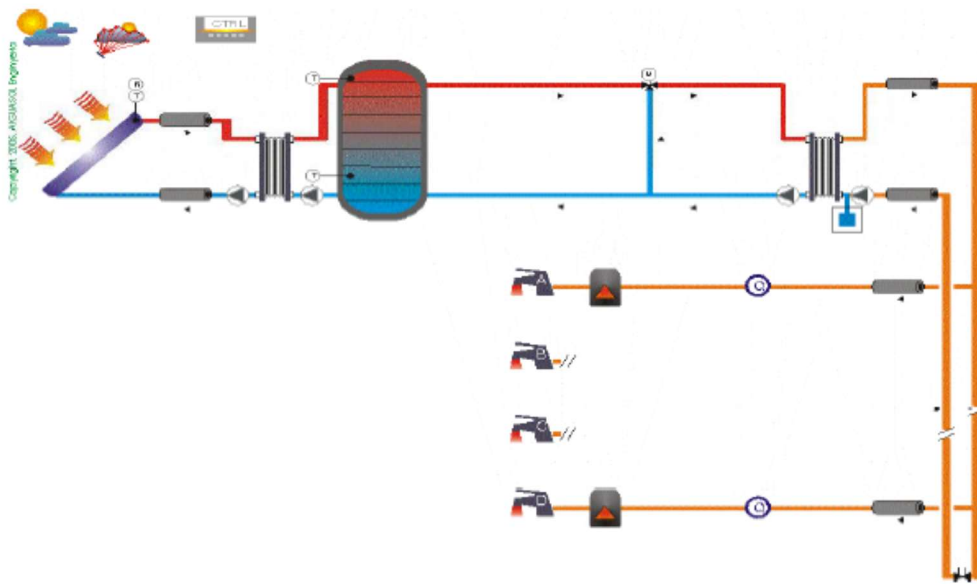


Figura 37. Instalación multifamiliar centralizada con apoyo distribuido.

En el lado de distribución del intercambiador, la instalación tendrá una acometida de agua fría común a todo el edificio. La bomba actuará siempre que exista demanda de agua caliente en la instalación. En este caso la recirculación del agua que no se desvíe a los puntos consumo, permitirá mantener caliente el agua de este circuito de distribución. Desde el circuito de distribución el agua pasa a las subestaciones donde antes del punto de

consumo se encuentra el sistema de calentamiento auxiliar que será el encargado de aumentar la temperatura hasta la temperatura demandada.

En esta instalación se hace necesario el uso de contadores de agua caliente en cada subestación debido a que el circuito de distribución no se trata de un circuito cerrado como en las configuraciones anteriores.

2.5.4. Instalación con todo centralizado.

El esquema de la instalación se puede ver en la figura 38.

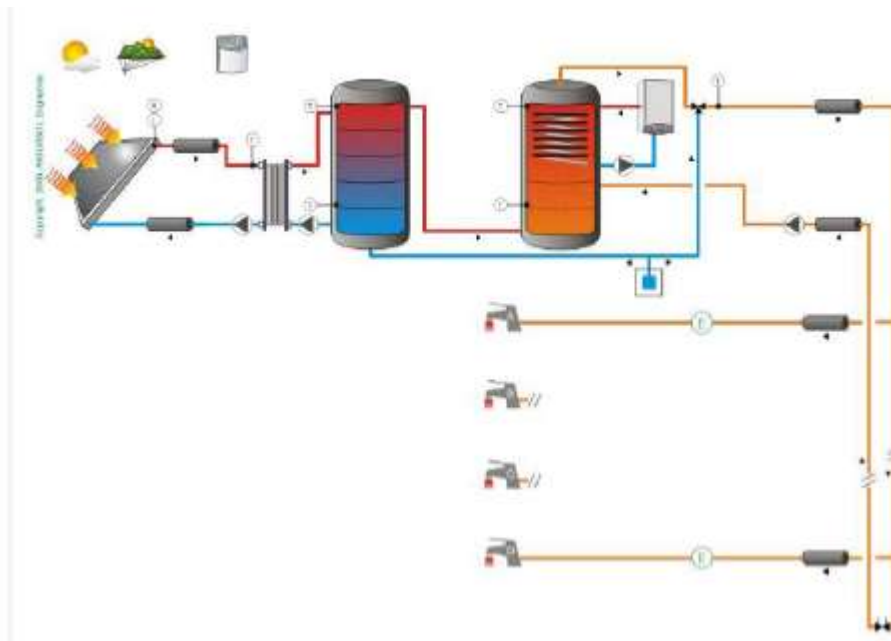


Figura 38. Configuración con todo centralizado.

Esta instalación posee un circuito primario y secundario iguales a las dos configuraciones anteriores. El fluido por el primario se calentará al atravesar el campo de captadores y mediante un circuito de tuberías llega a un intercambiador primario donde cede su calor al fluido que circula por el lado frío del intercambiador. La bomba del primario es regulada por un control de radiación incidente sobre el campo de captadores.

El fluido del secundario será impulsado por una bomba controlada por un control diferencial de temperaturas, cuya diferencia a controlar será la existente entre la salida del campo de captadores y el extremo inferior del acumulador solar. El acumulador solar centralizado estratificará el agua y la cederá a un interacumulador auxiliar. Este interacumulador auxiliar con serpentín en su interior mantendrá el agua a una temperatura ligeramente superior a la temperatura de distribución.

El circuito de apoyo auxiliar constará de un calentador de apoyo conectado a un circuito cerrado de cuya impulsión se encargará una bomba con un control de temperatura. Este control activará la bomba siempre que el fluido contenido en el interacumulador auxiliar caiga por debajo de una temperatura de consigna.

La acometida general del agua fría del edificio constará de una válvula termostática que guíe el flujo hacia la salida del acumulador auxiliar en caso de que la temperatura en el mismo sea demasiado alta. En caso contrario el agua fría de la red entrará en el acumulador solar por su extremo inferior.

El circuito de distribución con recirculación permite obtener la temperatura de consumo de manera instantánea. Las subestaciones deberán contar con contadores de agua caliente individuales debido a que la distribución no está formada por un circuito cerrado.

2.6. CHEQ4

CHEQ4 es un programa informático cuya principal función es validar el cumplimiento de la fracción solar mínima en una instalación solar, tal como se expone en la sección HE4 del Código Técnico de la Edificación. Ha sido desarrollado por AIGUASOL usando una nueva metodología de cálculo llamada Metasol. El informe generado por el programa, en caso de ser positivo, certifica el cumplimiento de HE4 por parte de la instalación y vale como acreditación.

El método MetaSol combina la precisión y flexibilidad de la simulación dinámica de programas como TRANSOL, la rapidez y simplicidad de métodos estáticos como FChart, manteniendo presente las características del mercado español y la normativa aplicable.

A diferencia del caso F-Chart, las condiciones de contorno (radiación, temperatura ambiente, temperatura del agua de red, demanda, etc.) se fijan de acuerdo a la normativa española. Además, en lugar de fijar la configuración del sistema, se han escogido siete configuraciones diferentes, que incluyen sistemas para viviendas unifamiliares, bloques de pisos y sistemas para piscinas cubiertas. Estos cubren la mayor parte de sistemas instalados en España, si bien no la totalidad de las posibilidades de sistema solar; en ocasiones, se debe escoger una configuración de sistema similar a la instalada, que en cualquier caso, mejorará la precisión en comparación con métodos estáticos desarrollados para el cálculo de sistemas de viviendas unifamiliares.

La metodología de cálculo Metasol se basa en las curvas obtenidas a partir de los resultados obtenidos en más de 69000 simulaciones dinámicas realizadas en TRNSYS. Se han modelizado todas las configuraciones en TRNSYS y luego se ha llevado a cabo una variación de parámetros con el objetivo de cumplir todo el rango de escenarios posibles. Finalmente mediante un complejo tratamiento estadístico, se han determinado las variables más importantes y se han obtenido 2 curvas características por configuración. En los apartados siguientes apartados se va a proceder a explicar de manera detallada el uso y funcionamiento del CHEQ4.

2.6.1. Selección de la localidad.

Una vez iniciado un nuevo proyecto, el programa ofrece una primera pantalla (figura 39) donde se determina la situación de la instalación. El usuario deberá seleccionar tanto la provincia como la localidad donde se sitúa la instalación. CHEQ4 dispone de una amplia base de datos con los datos meteorológicos de gran parte de los municipios españoles.

Una vez seleccionada la localidad, el programa mostrará la zona climática a la que pertenece dicha localidad. Estas zonas climáticas vienen determinadas en la sección HE4

del CTE, y dictaminan la fracción solar mínima que debe tener la instalación. Además mostrará la irradiación media global mensual, la temperatura diaria media del agua de la red y la temperatura diaria media del ambiente.

Existe un último parámetro a introducir en este apartado que es la altura de la instalación en caso de que se encuentre a una altura diferente de la localidad, de manera que el programa corregirá automáticamente las temperaturas de agua de red y ambiente.

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

Provincia: Sevilla Municipio: Sevilla Zona climática: Zona V Latitud: 37° 22'

Mapa provincia

	Rad(MJ/m2)	T.Red (°C)	T.Amb (°C)
Enero	9.8	11.0	10.7
Febrero	13.2	11.0	11.9
Marzo	18.1	13.0	14.0
Abril	22.1	14.0	16.0
Mayo	25.2	16.0	19.6
Junio	28.4	19.0	23.4
Julio	29.2	21.0	26.8
Agosto	25.9	21.0	26.8
Septiembre	20.8	20.0	24.4
Octubre	14.5	16.0	19.5
Noviembre	10.5	13.0	14.3
Diciembre	8.4	11.0	11.1
Promedio	18.8	15.5	18.2

Altura municipio seleccionado (m): 12

Altura de la instalación (m): 12

Localización

Configuración

Demanda

Solar/Apoyo

Otros parámetros

Resultados

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

Figura 39. Selección de localidad en CHEQ4.

2.6.2. Selección de la tipología de la instalación.

El siguiente punto a definir es la configuración de la instalación como se muestra en la figura 40. El programa ofrece 8 configuraciones diferentes, las más habituales en nuestro país. Debido a esto el programa no es fiable si se trata de simular una instalación con una configuración diferente a las que ofrece el programa. Al elegir una configuración, el programa selecciona las curvas que modelan las pérdidas y ganancias de la instalación.

Las instalaciones se dividen en dos grandes grupos, de consumo único para casas unifamiliares y de consumo múltiple para edificios multivivienda.

2.6.3. Demanda energética.

El siguiente apartado del programa (figura 41) consiste en introducir los datos necesarios para hacer posible el cálculo de la demanda de agua caliente de la instalación. En función

de si la instalación es de consumo único o de consumo múltiple los parámetros a introducir variarán.

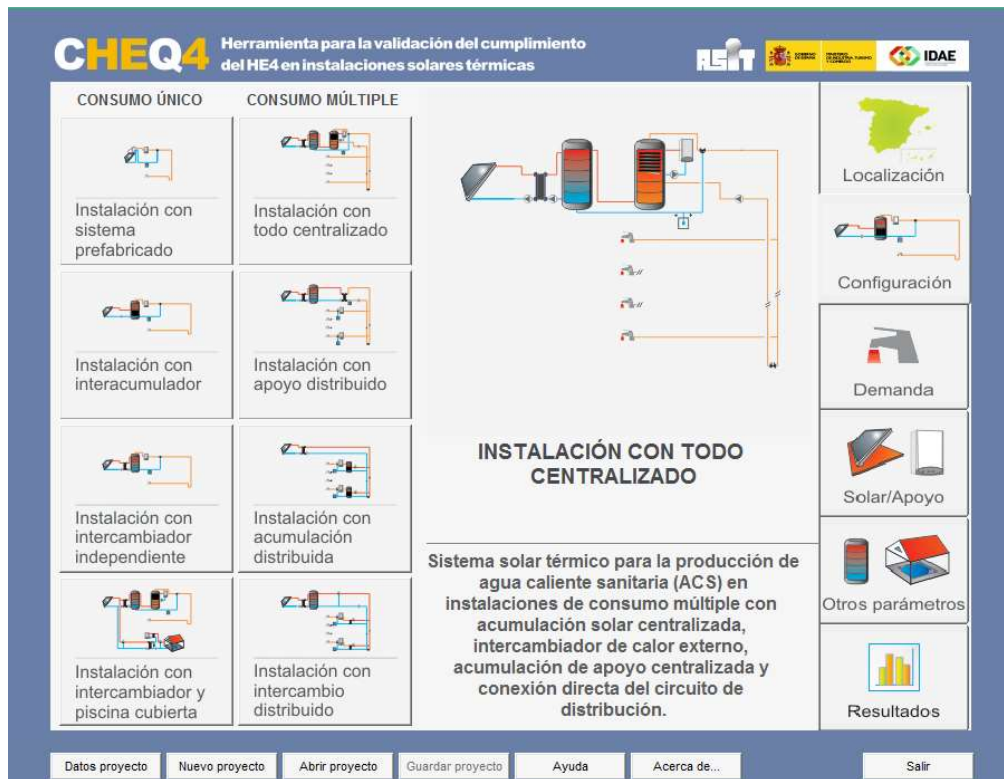


Figura 40. Selección de configuración en CHEQ4.

Si se trata de una instalación de consumo único, se deberá seleccionar la aplicación final del agua caliente sanitaria ya que el consumo variará dependiendo de uso. También habrá que seleccionar el número de personas que utilizarán la instalación.

El siguiente apartado será el correspondiente a las instalaciones de consumo múltiple. Para ello será posible definir diferentes tipos de vivienda en función de su número de dormitorios. El consumo por persona en viviendas multifamiliares se ha considerado de 28 l/día a 60°. Se permiten hasta cuatro tipos diferentes de viviendas.

Existe además otro apartado llamado consumo total donde será posible agregar otra demanda diaria que no se haya cubierto en los apartados anteriores. Este valor se sumará al resultado proveniente de los apartados anteriores.

Por último habrá que especificar la ocupación mensual de la vivienda en forma de porcentaje. Mediante la introducción de estos datos, el programa mostrará la contribución solar mínima exigida por la norma en función del sistema de apoyo que seleccione el usuario.

2.6.4. Parámetros del sistema.

En este apartado que se puede ver en la figura 42, el usuario deberá especificar los parámetros necesarios para definir el campo de captación, el circuito primario y secundario y el sistema de apoyo que utilice la instalación. En primer lugar, se debe

introducir el modelo de captador. CHEQ4 dispone de una amplia base de datos con la mayor parte de los captadores en el mercado. Se deberá seleccionar la empresa fabricante del captador y el modelo de captador. Una vez seleccionado estos dos parámetros, el programa mostrará una tabla con los datos más importantes de dicho modelo.

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

Localización

Configuración

Demanda

Solar/Apoyo

Otros parámetros

Resultados

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

CONSUMO ÚNICO

Aplicación: [dropdown]

Número de...: [input]

Demanda calculada (l/día a 60 °C): [input]

CONSUMO MÚLTIPLE

	Viviendas	Dormitorios	Personas	Litros/día
Tipo A	24	3	96.0	2,285
Tipo B	0	0	0.0	0
Tipo C	0	0	0.0	0
Tipo D	0	0	0.0	0
Demanda calculada (l/día a 60 °C)	2,285			

CONSUMO TOTAL

Otras demandas (l/día a 60°C): [input]

Demanda total (l/día a 60°C): 2,285

OCUPACIÓN ESTACIONAL (%)

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

CONTRIBUCIÓN SOLAR MÍNIMA EXIGIDA

Caso general FS 60%

Caso piscina FS 70%

Figura 41. Selección de la demanda en CHEQ4.

Una vez definido el captador, habrá que definir el campo de captadores mediante la introducción de cinco parámetros. Estos parámetros son el número de captadores, el número de captadores en serie, ya sea en la misma batería o en diferentes baterías. Debido a que el caudal del campo de captadores depende del directamente del caudal primario, el programa intentará conservar el caudal de test del captador y por lo tanto el especificará un determinado caudal del campo que variará dependiendo el número de captadores en serie. Otros parámetros es el porcentaje de pérdidas por sombras, la orientación del campo respecto al eje norte-sur, la inclinación con respecto a la horizontal.

El siguiente apartado se refiere al circuito primario y secundario. Los parámetros a introducir son el caudal del circuito primario, aunque este parámetro viene dado automáticamente por el programa en función del campo de captadores, el porcentaje de anticongelante en el fluido primario, la longitud equivalente del circuito primario incluyendo impulsión y retorno y el espesor y tipo de aislante utilizado en las tuberías.

Por último hay que especificar el tipo del sistema de apoyo así como su combustible.

2.6.5. Otros parámetros.

En esta pestaña que se muestra en la figura 43, se deben especificar los parámetros que permitan una correcta definición del sistema de acumulación ya sea centralizado o individual, de las redes de distribución y consumo así como de la piscina cubierta si ésta existiera.

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

CAPTADORES

Empresa: Fercofloor
 Marca/Modelo: FC 2.2M

Datos de ensayo

Área (m2)	1.99
n0 (-)	0.788
a1 (W/m2K)	3.911
a2 (W/m2K2)	0.01
Qtest(I/hm2)	72
k50	0.94
Laboratorio	CENER
Certificación	NPS-16314

AVISO:
 Verificar la existencia y vigencia de la certificación del captador seleccionado.

CAMPO DE CAPTADORES

Núm. captadores: 8 Captadores en serie: 1 Pérdidas sombras (%): 0
 Orientación (°): 0 Inclinación (°): 37 Área total captadores (m2): 15.92

CIRCUITO PRIMARIO / SECUNDARIO

Caudal prim.(l/h): 1.146 Anticongelante (%): 30 Long. circuito (m): 30
 Diám. tubería (mm): 17 Esp. aislante (mm): 30 Aislante: genérico

SISTEMA DE APOYO

Tipo de sistema: Caldera convencional
 Tipo de combustible: Gas natural

Localización
 Configuración
 Demanda
 Solar/Apoyo
 Otros parámetros
 Resultados

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

Figura 42. Selección de los parámetros del primario y auxiliar en CHEQ4.

En primer lugar solo es necesario especificar el volumen total de litros en instalaciones de acumulación centralizada. En caso de que la acumulación fuera distribuida, será necesario indicar el volumen de acumulación para cada tipo de vivienda definida anteriormente.

A continuación es necesario definir la red de distribución y de las subestaciones mediante los parámetros de longitud del circuito total, el diámetro interior de la tubería, el tipo y espesor de aislante. Estos mismos parámetros se deberán definir para el circuito de la subestaciones. Además en ambos circuitos si la instalación lo requiere se puede definir la temperatura de impulsión del fluido.

Por último si la instalación posee piscina cubierta, en el último apartado se puede definir las características de la misma.

2.6.6. Resultados.

En esta ventana que se puede ver en la figura 44, además de si la instalación cumple la norma HE4, se muestran los valores anuales de:

Figura 43. Selección de otros parámetros en CHEQ4.

- Fracción solar (%): Fracción entre los valores anuales de la energía solar aportada exigida y la demanda bruta energética anual.
- Demanda neta (kWh): Demanda energética anual sin tener en cuenta las pérdidas en acumulación y en distribución.
- Demanda bruta (kWh): Demanda energética anual teniendo en cuenta las pérdidas en acumulación y en distribución.
- Aportación solar al sistema (kWh): Energía solar aportada por la instalación.
- Consumo de energía primaria auxiliar (kWh): Energía aportada por la instalación auxiliar de apoyo para satisfacer la demanda total.
- Reducción de las emisiones de CO₂ asociada a la utilización del sistema solar térmico (kg).

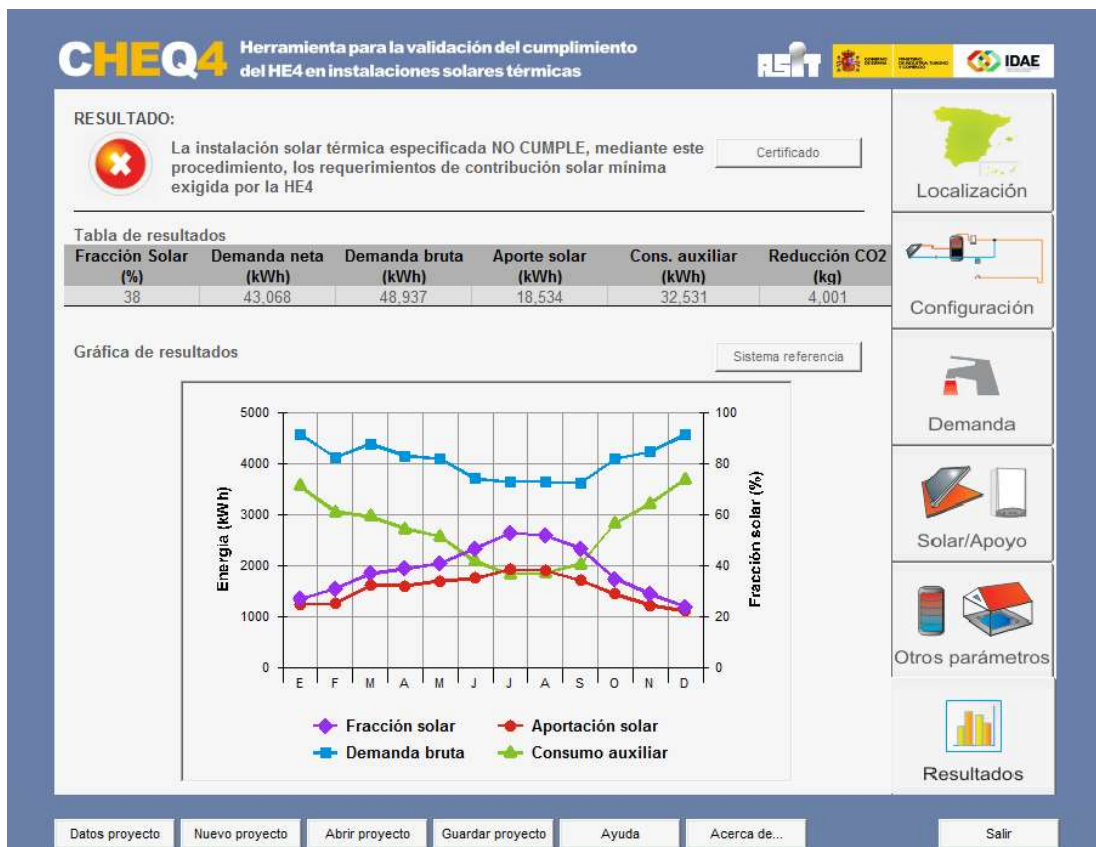


Figura 44. Resultados en CHEQ4.

3 ANALISIS DE SENSIBILIDAD

3.1 Introducción.

En este apartado se va a proceder a exponer el caso base sobre el que se va a trabajar durante el análisis de sensibilidad. Posteriormente se va a explicar los parámetros que se van a estudiar y se realizará el análisis de sensibilidad de los parámetros mencionados, así como un análisis de los resultados obtenidos. Por último se presentarán las conclusiones del proyecto.

3.2 Caso base.

La instalación que se utilizará como caso base a partir del cual se realice el análisis de sensibilidad será una instalación solar para la producción de agua caliente sanitaria de consumo múltiple denominada con todo centralizado. Esto significa que posee un intercambiador externo, acumulación centralizada, acumulación de apoyo centralizada, sistema de apoyo conectado con intercambiador interno o resistencia eléctrica y conexión directa del circuito de distribución. El esquema se puede visualizar en la figura 45.

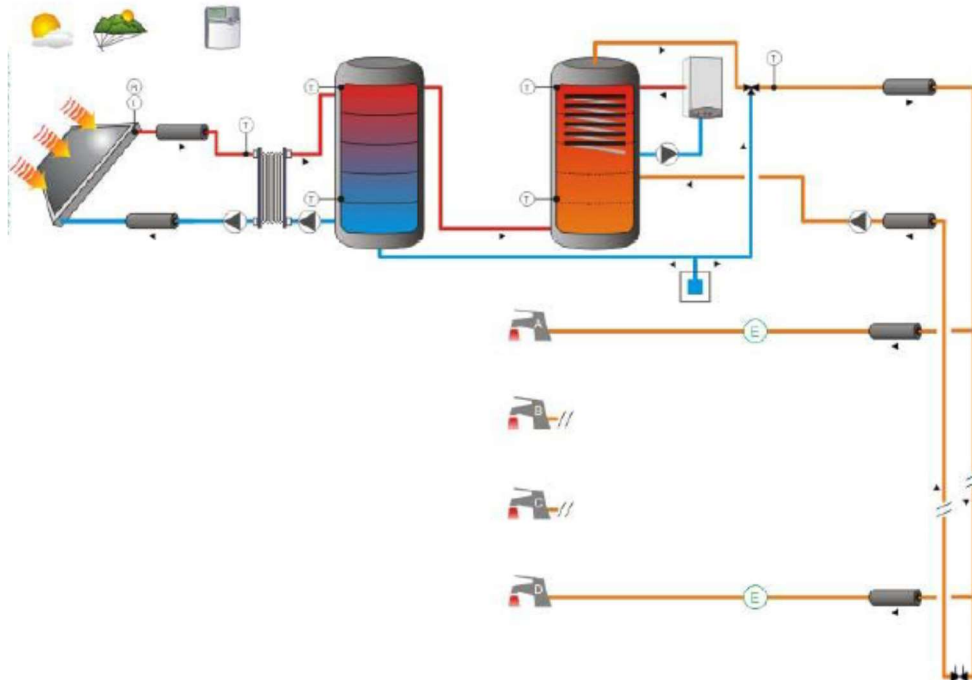


Figura 45. Esquema de la instalación de referencia.

Estará situada en la localidad de Sevilla. Su ocupación será de 96 personas distribuidas en

24 viviendas de 3 habitaciones cada una. Esto conlleva un consumo de ACS diario de 2285 litros a 60°C. La ocupación estacional será del 100% durante todo el año. Se puede ver esta ventana en la figura 46.

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

CONSUMO ÚNICO

Aplicación:

Número de...:

Demanda calculada (l/día a 60 °C):

CONSUMO MÚLTIPLE

	Viviendas	Dormitorios	Personas	Litros/día
Tipo A	<input type="text" value="24"/>	<input type="text" value="3"/>	96.0	2,285
Tipo B	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	0.0	0
Tipo C	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	0.0	0
Tipo D	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	0.0	0
Demanda calculada (l/día a 60 °C)		2,285		

CONSUMO TOTAL

Otras demandas (l/día a 60°C):

Demanda total (l/día a 60°C): 2,285

OCUPACIÓN ESTACIONAL (%)

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

CONTRIBUCIÓN SOLAR MÍNIMA EXIGIDA

Caso general FS 60%

Caso piscina FS 70%

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

Figura 46. Demanda del caso base

El modelo del captador será CO 2010 SV de la empresa Frigicoll que tiene un área de 2 metros cuadrados. Todos los captadores estarán en paralelo. Se tendrá una superficie de captación de 28 metros cuadrados sin pérdidas por sombras en la instalación. Además se considerará una orientación sur, es decir, 0° y una inclinación de 37°. Los datos del captador son los siguientes correspondientes en la tabla 3.

Tabla 3. Características del captador.

Área (m ²)	2
Eficiencia óptica del captador (-)	0.747
Coefficiente de pérdidas lineal (W/m ² K)	3.791
Coefficiente de pérdidas lineal (W/m ² K ²)	0.022
Caudal del captador en condiciones de diseño(kg/hm ²)	75

Las características del circuito primario será de un fluido caloportador con una cantidad de anticongelante propilenglicol del 30%. Por este circuito circularán 2100 litros cada hora y tendrá una longitud de 30 metros y 23 mm de diámetro interior. El aislante será genérico cuyo coeficiente de pérdidas lineal es de 0.043W/mK y un espesor de 30mm. Como sistema de apoyo se utilizará una caldera convencional cuyo combustible es gas natural. Se puede ver estos parámetros introducidos en la figura 47.

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

CAPTADORES

Empresa: Frigicoll
 Marca/Modelo: CO 2010 SV

AVISO:
 Verificar la existencia y vigencia de la certificación del captador seleccionado.

Datos de ensayo

Área (m2)	2
n0 (-)	0.747
a1 (W/m2K)	3.791
a2 (W/m2K2)	0.022
Qtest(l/hm2)	75
k50	0.96
Laboratorio Certificación	CENER GPS-8427

CAMPO DE CAPTADORES

Núm. captadores: 14 Captadores en serie: 1 Pérdidas sombras (%): 0
 Orientación (°): 0 Inclinación (°): 37 Área total captadores (m2): 28.00

CIRCUITO PRIMARIO / SECUNDARIO

Caudal prim.(l/h): 2.100 Anticongelante (%): 30 Long. circuito (m): 30
 Diám. tubería (mm): 23 Esp. aislante (mm): 30 Aislante: genérico

SISTEMA DE APOYO

Tipo de sistema: Caldera convencional
 Tipo de combustible: Gas natural

Localización
Configuración
Demanda
Solar/Apoyo
Otros parámetros
Resultados

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

Figura 47. Circuito primario y sistema de apoyo del caso base.

El volumen del sistema de acumulación será de 75 l/m² de captador. El circuito de distribución constará de una longitud de 40 metros con un diámetro de tubería de 34.96 mm. El aislante será el mismo que en el circuito primario con un espesor de 30 mm. Se tomará una temperatura de impulsión en este circuito de 55°C. El circuito de consumo de cada subestación tendrá 16 m de longitud y 20 mm de diámetro. El aislante seguirá siendo el mismo que en el resto de la instalación con el mismo espesor. Estos datos los podemos ver en la figura 48.

Una vez introducidos todos los datos del caso base, se pueden visualizar los resultados que ofrece el programa. Las variables que contempla el programa se han descrito en el capítulo 2. Nos ofrecerá los resultados en base anual y en base mensual por lo que para el análisis de este caso de referencia se utilizarán la evolución mensual que ofrece el programa.

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

VOLUMEN DE ACUMULACIÓN
 Volumen total (l)
 Vol/Área (l/m²) 75.00

VOLUMEN ACUMULACIÓN SUBESTACIONES
 Tipo A (l) Tipo C (l)
 Tipo B (l) Tipo D (l)
 Volumen total (l) 0 Vol/Área (l/m²)

DISTRIBUCIÓN
 Long. circuito (m)
 Diám. tubería (mm)
 Esp. aislante (mm) T. imp. (°C)
 Aislante

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

PISCINA CUBIERTA
 Altura (m) Temp. ambiente (°C)
 Apertura diaria (h) Temp. piscina (°C)
 Superficie lámina (m²) Renov. volumen día (%)
 Humedad relativa (%) Ocupación (pers/m²)

Localización
Configuración
Demanda
Solar/Apoyo
Otros parámetros
Resultados

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

Figura 48. Acumulación y distribución del caso base.

En la figura 49 se puede ver la pantalla de resultados del caso base. Como apreciar, la instalación cumple la contribución solar mínima requerida por la sección HE4 que es un 60% para esta instalación en concreto. Si se atiende a la evolución de la fracción solar durante todo el año, se puede ver como en los meses más desfavorables de invierno como son Enero y Diciembre, la contribución solar se sitúa en torno al 40% mientras que en los meses con mayor radiación solar, la fracción solar representa supera hasta el 80% de la demanda. Dado que la instalación en ningún mes llega al 100% de la fracción solar, es susceptible de mejora desde un punto de vista energético.

La demanda bruta como es lógico, presenta su mínimo en los meses estivales mientras que en los meses más fríos esa demanda aumenta. Hay que resaltar que no se ha tenido en cuenta la variación del factor de ocupación que modificaría este parámetro debido a que en un edificio situado en una zona de veraneo vería la demanda aumentada al aumentar su ocupación. Ocurriría lo contrario un edificio que en verano sus residente se fueran de vacaciones, vería su demanda bruta reducida en gran medida.

Por último, si se analizan la aportación solar y el consumo auxiliar, se ve que el consumo auxiliar varía en función de la aportación solar y de la demanda bruta de la instalación. En los meses que la demanda bruta cae, hace falta un menor consumo auxiliar y si además la

aportación solar aumenta por una mayor irradiación solar, provoca que la caída del consumo auxiliar sea muy acusada.

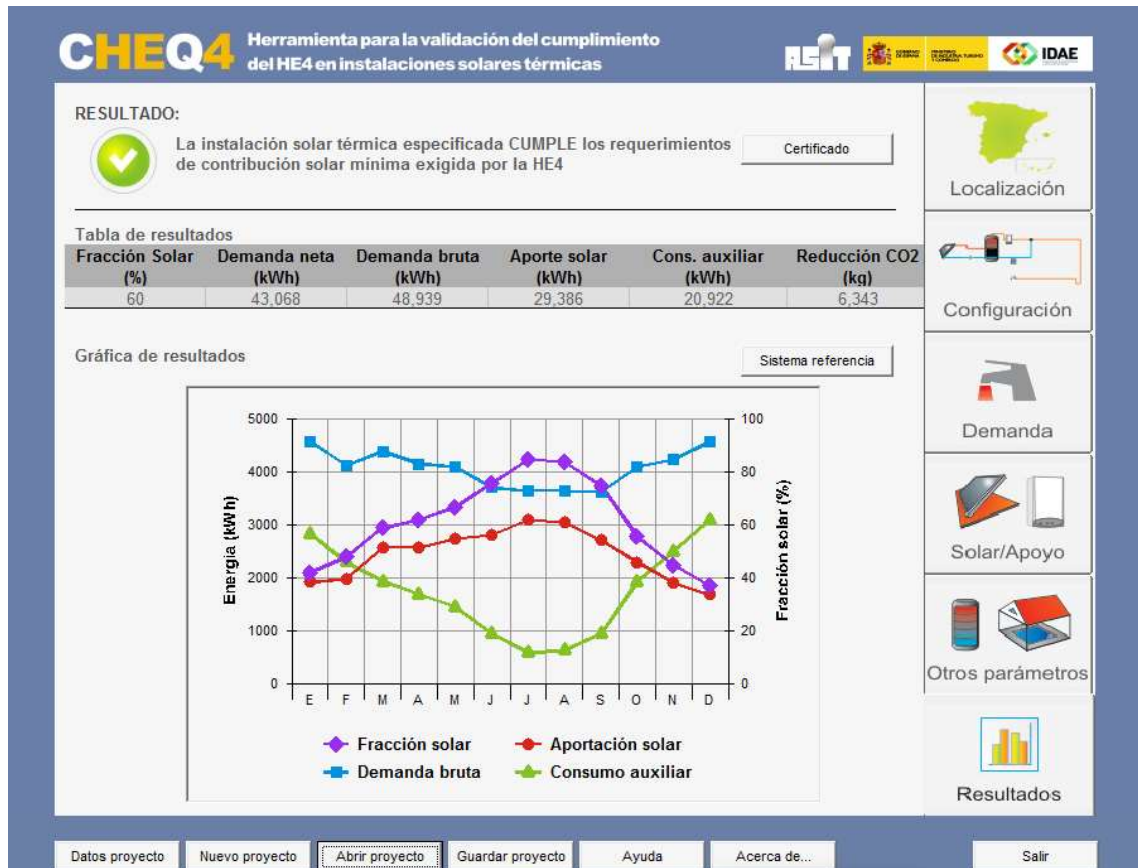


Figura 49. Resultados del caso base.

3.3 Análisis de sensibilidad.

Tomando como referencia el caso base, se va a realizar un análisis de sensibilidad variando un parámetro y manteniendo el resto de variables constantes para ver la evolución y la influencia que tienen en el comportamiento de la instalación. Los parámetros que van a estar sujetos a este análisis de sensibilidad son los que se exponen a continuación:

Configuración de la instalación: En este análisis se variará entre las diferentes tipologías de instalaciones de consumo múltiple que se pueden simular en CHEQ4. Estas tipologías son: Instalación con todo centralizado, instalación con apoyo distribuido, instalación con acumulación distribuida e instalación con intercambio distribuido.

Localidad: Se tomará una ciudad situada en cada zona climática. Estas ciudades serán: Bilbao (Zona I), Barcelona (Zona II), Madrid (Zona III), Valencia y Salamanca, (Zona IV) y Sevilla (Zona V).

Longitud del circuito de distribución (Ldist): De esta manera se verá la influencia de la

longitud en las tuberías en las pérdidas de la instalación. Variará de la siguiente manera, 0 m, 20 m, 40 m, 60 m, 80 m, 100 m.

Área de captadores (Acap): Se trata de variar el área de captación mediante el aumento y disminución del número de captadores. Los valores que se tomarán para el análisis serán 0 m², 8 m², 12 m², 16 m², 20 m², 24 m², 28 m², 32 m², 36 m², 44 m², 52 m², 60 m².

Orientación (Orient): De esta forma también se varía la radiación captada. Dado que en el caso base, la orientación de 0° significa orientación sur, se analizarán los valores -45°, -30°, -15°, 0°, 15°, 30°, 45°.

Inclinación de los captadores (Incl): Mediante la variación de este parámetros se varía la radiación captada por el campo. La inclinación variará según los valores 10°, 15°, 20°, 25°, 30°, 37°, 40°, 45°, 50°.

Agrupación serie/paralelo (S/P): Los valores entre los que se puede variar este parámetro vienen definidos por el número de captadores ya que el número de captadores en serie debe ser un divisor del número de captadores. De esta manera se variará entre 1, 2, 7, 14.

Volumen de acumulación (Vol): Dado que la norma obliga a que el volumen de acumulación esté comprendido entre 50 l/m² y 180 l/m², se han tomado los siguientes valores, 51 l/m², 64 l/m², 75 l/m², 92 l/m², 106 l/m², 120 l/m², 134 l/m², 148 l/m², 162 l/m², 179 l/m².

Potencia del acumulador doméstico (Pex): Se estudiará la influencia de la potencia de los intercambiadores domésticos en las instalaciones con intercambio distribuido. El rango de variación vendrá limitado por el CHEQ4 que permite un intervalo máximo de 5 kW a 50 kW. Los valores serán 5 kW, 10kW, 20 kW, 25 kW, 30 kW, 40 kW, 50 kW.

En el análisis se han mantenido todos los parámetros constantes, de manera que en la instalación con acumulación distribuida se ha seleccionado un volumen en los acumuladores de cada subestación de manera que el volumen global acumulado en toda la instalación sea de 75 l/m². En la instalación con intercambio distribuido, la potencia del intercambiador doméstico que se ha tomado como 25 kW. Este parámetro como se verá influye en la fracción solar de la instalación de manera que se estudiará brevemente en el subapartado 3.3.9.

Se van a analizar los valores en base anual de los resultados que se obtienen en el CHEQ4, la fracción solar, la demanda neta, la demanda bruta, la aportación solar, el consumo auxiliar y la reducción de la producción de CO₂ por parte del sistema auxiliar. Además se van a introducir dos variables adicionales, las pérdidas que se producen en la red de transporte en kWh/año y en porcentaje sobre la demanda neta.

Las pérdidas vienen dadas por la siguiente ecuación:

$$\text{Pérdidas transporte} = \text{Demanda Bruta} - \text{Demanda Neta}$$

Los resultados vendrán detallados en tablas donde se analizarán los siguientes parámetros:

HE4. Reflejará si la instalación cumple con la sección HE4 de CTE.

FS [%]. Fracción solar.

E_{dn} [kWh/año]. La demanda neta.

E_{db} [kWh/año]. La demanda bruta.

E_{as} [kWh/año]. El aporte solar de la instalación.

E_{aux} [kWh/año]. El consumo del equipo auxiliar.

E_{per} [kWh/año]. Las pérdidas en el transporte desde el equipo auxiliar hasta el consumo.

Perd [%E_{dn}]. El porcentaje de las pérdidas en el transporte respecto a la demanda neta.

RedCO₂ [kg/año]. La reducción de CO₂ anual en kilogramos de CO₂.

3.3.1. Variación de la tipología de la instalación.

En este caso se va a estudiar las diferencias que originan las diferentes configuraciones disponibles para la instalación en el CHEQ4 para viviendas con consumo múltiple. Como se ha visto anteriormente, estas configuraciones son cuatro, todo centralizado, con apoyo distribuido, con acumulación distribuida y con intercambio distribuido.

Los resultados obtenidos son los reflejados en la tabla 4.

Tabla 4. Variación de la configuración.

HE4	Configuración	FS	E _{dn}	E _{db}	E _{as}	E _{aux}	E _{per}	Perd	RedCO ₂
		(%)	(kWh/año)					(% E _{dn})	(kg/año)
Cumple	Todo centralizado	60	43068	48939	29386	20922	5871	13.63	6343
Cumple	Apoyo distribuido	56	43068	43068	23954	20453	0	0	5171
Cumple	Acumulación distribuida	50	43068	43068	21636	22932	0	0	4670
Cumple	Intercambio distribuido	58	43068	43068	24988	19346	0	0	5394

El primer punto que llama la atención es que solo se contabilizan pérdidas en la instalación con todo centralizado. Esto es debido a que en el resto de instalaciones el equipo auxiliar se encuentra en la subestación de consumo y por lo tanto las pérdidas en el transporte son tan pequeñas que se consideran despreciables. Por desde el punto de vista de pérdidas térmicas la instalación menos eficiente es en la que todo está centralizado.

Si se atiende al aporte solar, la que presenta un mayor valor, es la que tiene todo

centralizado que produce 4398 kWh/año más que la que tiene intercambio distribuido. Sin embargo estudiando el consumo auxiliar se ve como existen dos configuraciones, con apoyo distribuido e intercambio distribuido, que a pesar de tener menor aportación solar, presentan un consumo auxiliar menor que la instalación con todo centralizado. Esto se debe fundamentalmente a lo explicado sobre las pérdidas en el transporte que implican que la demanda bruta sea menor en estas dos instalaciones. De manera que desde un punto de vista del ahorro en la factura del gas en el consumo auxiliar anual, la que más interesante sería la que tiene el intercambio distribuido.

La instalación con la acumulación distribuida es la instalación más desfavorable en relación a todos los parámetros estudiados por lo que no se utilizaría esta configuración en salvo casos especiales como que no se disponga de espacio para la instalación de un acumulador centralizado en el edificio.

En la figura 50 se visualiza la fracción solar en cada instalación.

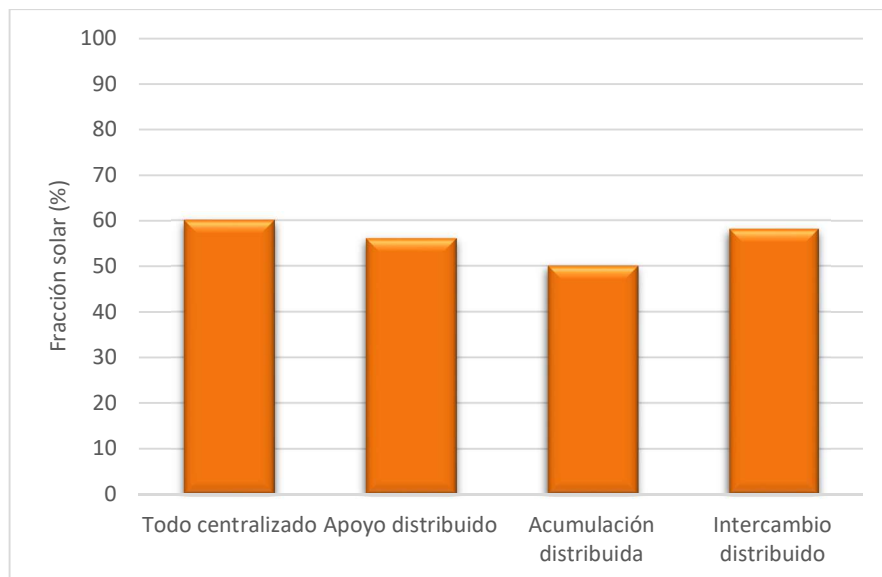


Figura 50. Fracción solar en función de la configuración.

La única instalación que cumple con la contribución solar mínima es la que tiene todo centralizada a pesar de ser la única que presenta pérdidas en el transporte. Estas pérdidas son compensadas por la mayor aportación solar. La siguiente con mayor fracción solar es la de intercambio distribuido con un 58% de la fracción solar, resulta curioso este caso ya que una configuración con menor consumo auxiliar que la de todo centralizado no se podría instalar.

3.3.2. Variación de la localidad.

En este apartado se pretende mostrar la influencia de la zona climática en la aportación solar. La zona climática influirá notablemente en la irradiación solar así como en el mínimo de contribución solar que debe tener la instalación. Por lo tanto se podrá ver como a pesar de que una instalación en ciertas ciudades tenga una menor fracción solar, es capaz

de cumplir dicho requisito.

3.3.2.1 Instalacion con todo centralizado.

Las ciudades seleccionadas en el apartado 3.3 han proporcionado los siguientes resultados:

Tabla 5. Variación localidad, todo centralizado.

HE4	Localidad	FS	Edn	Edb	Eas	Eaux	Eper	Perd	RedCO2
		(%)	(kWh/año)					(% Edn)	(kg/año)
Cumple	Bilbao (I)	39	45740	51949	20039	34144	6209	13.57	4326
Cumple	Barcelona (II)	51	44766	50870	26141	26459	6104	13.64	5643
Cumple	Madrid (III)	54	45485	51671	27677	25674	6186	13.60	5974
Cumple	Valencia (IV)	56	43960	49948	28097	23381	5988	13.62	6065
Cumple	Sevilla (V)	60	43068	48939	29386	20922	5871	13.63	6343

Como se puede ver en la tabla 5, la demanda neta varía en función de la localidad ya depende en gran medida de la temperatura del agua de red que variará dentro de una ciudad a otra. Atendiendo a las pérdidas de transporte es en las zonas más cálidas y por lo tanto con menor diferencia de temperatura entre el interior de las tuberías y el exterior, donde las pérdidas son menores en cómputo global. Sin embargo si se analiza el porcentaje de pérdidas en función de la demanda neta, se ve que es en Bilbao donde se produce un menor porcentaje de pérdidas debido a que la demanda aumenta con respecto a otras ciudades en mayor medida que las pérdidas.

Dado que las zonas climáticas se dividen en función de la radiación solar global media diaria anual sobre superficie horizontal, donde la zona I, es la que menos radiación recibe, es perfectamente lógico lo que muestran los resultados. Las ciudades situadas en las zonas IV y V son las que más aportación solar producen y las que menos consumo auxiliar tienen.

En cuanto a la fracción solar, que se puede ver en la figura 51, se ve como Bilbao es la única que baja del 50% de fracción solar situándose en un 39%. A pesar de que este valor pueda parecer bajo, esta instalación cumple la contribución solar mínima en todas estas localidades debido a los diferentes requisitos. En las zonas climáticas I y II, la fracción solar mínima es del 30%, en la zona III 40%, en la zona IV 50% y en la zona V un 60%. Menos en Sevilla, en el resto de localidades la instalación cumple de manera holgada con la norma.

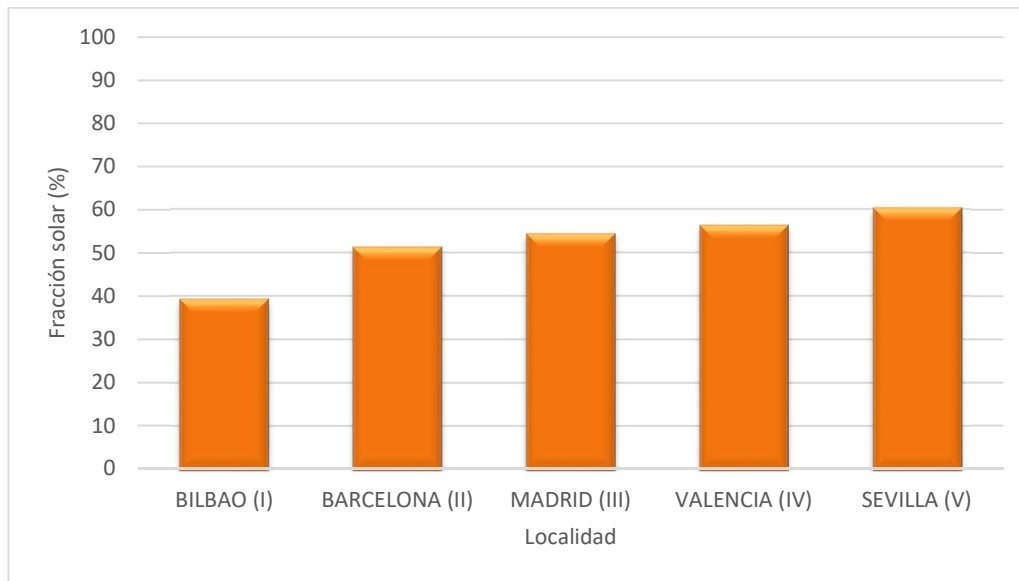


Figura 51. Fracción solar en función de localidad, todo centralizado.

3.3.2.2 Instalación con apoyo distribuido.

Los resultados obtenidos son los siguientes mostrados en la tabla 6:

Tabla 6. Variación localidad, apoyo distribuido.

HE4	Localidad	FS	Edn	Edb	Eas	Eaux	RedCO2
		(%)	(kWh/año)				(kg/año)
Cumple	Bilbao (I)	36	45740	45740	16664	31112	3597
Cumple	Barcelona (II)	48	44766	44766	21536	24856	4649
Cumple	Madrid (III)	50	45485	45485	22705	24375	4901
Cumple	Valencia (IV)	52	43960	43960	23053	22371	4976
No cumple	Sevilla (V)	56	43068	43068	23954	20453	5171

Como se puede apreciar en la tabla, el aporte solar es menor en las zonas que tienen menor radiación solar. En Madrid, Barcelona y Valencia las diferencias no son muy grandes, de unos 1200 kWh anuales. Destaca Bilbao por la poca radiación. Si se miden los consumos auxiliares, la diferencia entre Sevilla y Bilbao es de 10659 kWh anuales mientras que las diferencias entre los aportes solares es de 7290. Esto se debe a una mayor demanda en Bilbao debido a factores como la temperatura del agua de red que es menor que en Sevilla y la temperatura exterior es menor.

En la figura 52 se pueden ver las

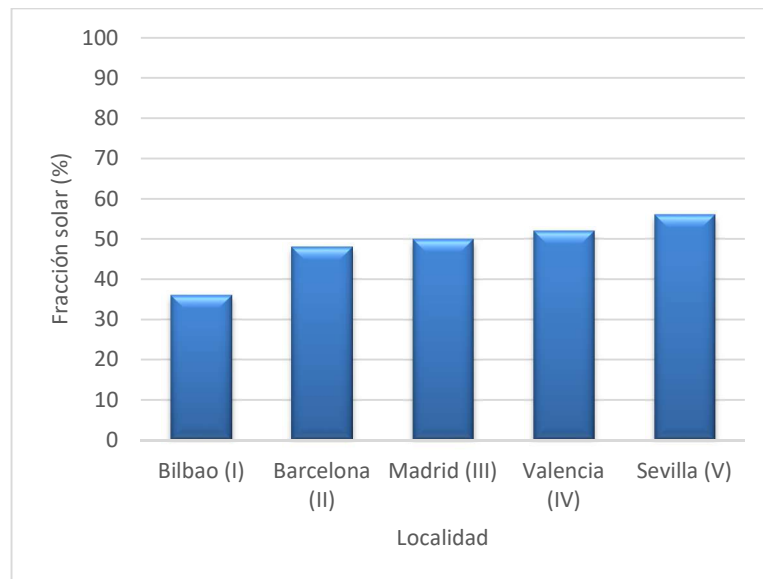


Figura 52. Fracción solar en función de localidad, apoyo distribuido.

3.3.2.3 Instalación con acumulación distribuida.

Los resultados obtenidos para la acumulación distribuida son los siguientes:

Tabla 7. Variación localidad, acumulación distribuida.

HE4	Localidad	FS	Edn	Edb	Eas	Eaux	RedCO2
		(%)	(kWh/año)				(kg/año)
Cumple	Bilbao (I)	37	45740	45740	16700	31073	3605
Cumple	Barcelona (II)	45	44766	44766	20238	26245	4369
No cumple	Madrid (III)	47	45485	45485	21232	25952	4583
No cumple	Valencia (IV)	48	43960	43960	21175	24380	4571
No cumple	Sevilla (V)	50	43068	43068	21636	22932	4670

Se puede ver como según se aumenta la zona climática, aumenta el aporte solar. Sin embargo, la diferencia entre las zonas no es tan acusada como en otras configuraciones. En Valencia se puede ver que el aporte solar es menor que en Madrid pero por el contrario, el consumo auxiliar es menor por debido a una menor demanda. Esto conlleva a una mayor

fracción solar con un menor aporte solar.

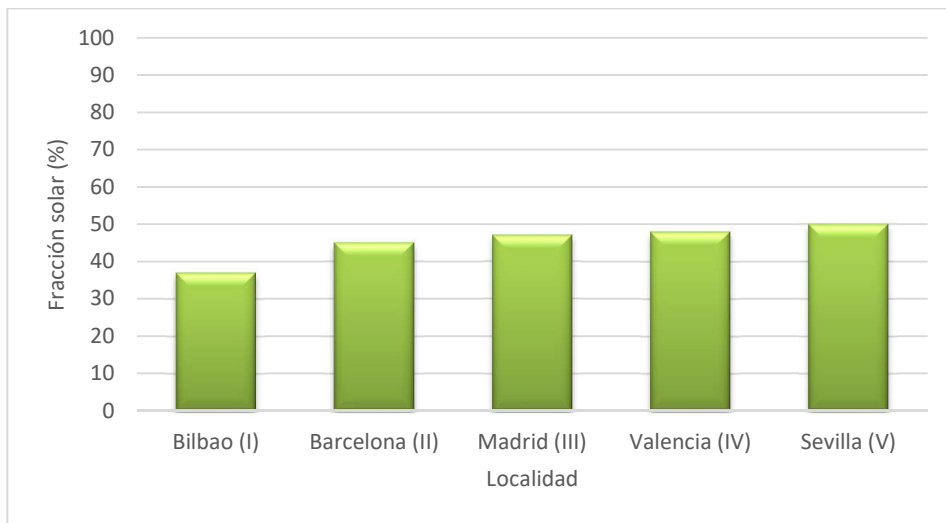


Figura 53. Fracción solar en función de localidad, acumulación distribuida.

Analizando las fracciones solares, solo en Bilbao y Barcelona podría esta configuración cumplir con la contribución solar mínima exigida, manteniendo estos parámetros. Un caso a destacar es Sevilla donde necesitaría aumentar un 10% su fracción solar para cumplir con la normativa.

3.3.2.4 Instalación con intercambio distribuido.

Los resultados que ofrece CHEQ4 son los siguientes:

Tabla 8. Variación localidad, intercambio distribuido.

HE4	Localidad	FS	Edn	Edb	Eas	Eaux	RedCO2
		(%)	(kWh/año)				(kg/año)
Cumple	Bilbao (I)	38	45740	45740	17540	30174	3786
Cumple	Barcelona (II)	50	44766	44766	22441	23888	4844
Cumple	Madrid (III)	52	45485	45485	23661	23352	5108
Cumple	Valencia (IV)	55	43960	43960	24006	21351	5182
No cumple	Sevilla (V)	58	43068	43068	24988	19346	5394

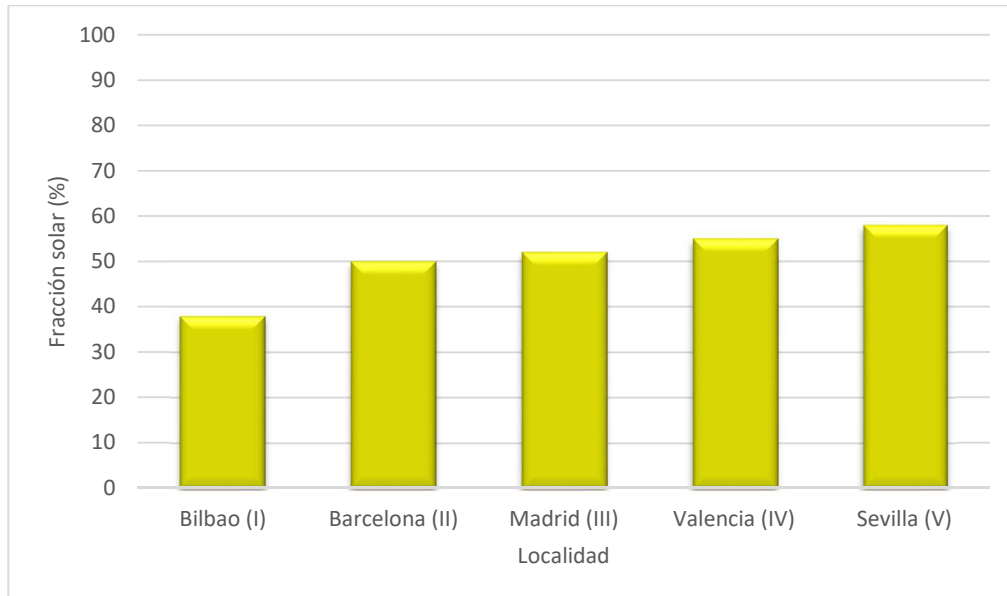


Figura 54. Fracción solar en función de localidad, intercambio distribuido.

Esta configuración muestra el mismo comportamiento que el resto en cuanto a la localización, siendo la ciudad de la zona climática V donde más aporte solar se produce aunque con una diferencia de 982 kWh anuales con respecto a Valencia. Esta diferencia en el aporte solar junto con una disminución de la demanda en Sevilla provoca una diferencia del 3% en la fracción solar entre las dos ciudades con mayor valor de este parámetro

Sin embargo, debido a los diferentes requerimientos en cuanto a contribución solar mínima, la instalación cumple la sección HE4 en todas las ciudades menos en Sevilla.

3.3.3. Variación de la longitud de distribución.

En este apartado, se va a estudiar la longitud del circuito de distribución para poder analizar la influencia de las pérdidas de transporte en la instalación. En la instalación de referencia las pérdidas se sitúan en torno al 13% y como se ha visto en los apartados anteriores, no presentan variaciones significativas en los análisis de sensibilidad. En este estudio paramétrico, dado que CHEQ4 no permite una longitud nula, se va a tomar el valor 0.01 m como un valor suficientemente aproximado al 0.

3.3.3.1 Instalación con todo centralizado

En la tabla 9 se pueden ver los resultados obtenidos.

Se ve de manera clara el aumento en las pérdidas en el transporte, un aumento en torno al 4% por cada 20 metros adicionales. Este aumento de las pérdidas implica un aumento de la demanda bruta por cada metro extra que se añade a la instalación.

Tabla 9. Variación de la longitud de distribución, todo centralizado.

HE4	Ldist	FS	Edn	Edb	Eas	Eaux	Eper	Perd	RedCO2
	(m)	(%)	(kWh/año)					(% Edn)	(kg/año)
Cumple	0.01	64	43068	45296	29190	17234	2228	5.17	6301
Cumple	20	62	43068	47117	29291	19074	4049	9.40	6323
Cumple	40	60	43068	48939	29386	20922	5871	13.63	6343
No cumple	60	58	43068	50761	29476	22775	7693	17.86	6363
No cumple	80	56	43068	52582	29560	24634	9514	22.09	6381
No cumple	100	54	43068	54404	29641	26497	11336	26.32	6398

Se produce también un aumento aunque muy leve de la aportación solar. Esta mejora de la aportación solar es insuficiente para cubrir el aumento de las pérdidas y como se verá posteriormente el comportamiento de la instalación se verá empeorado.

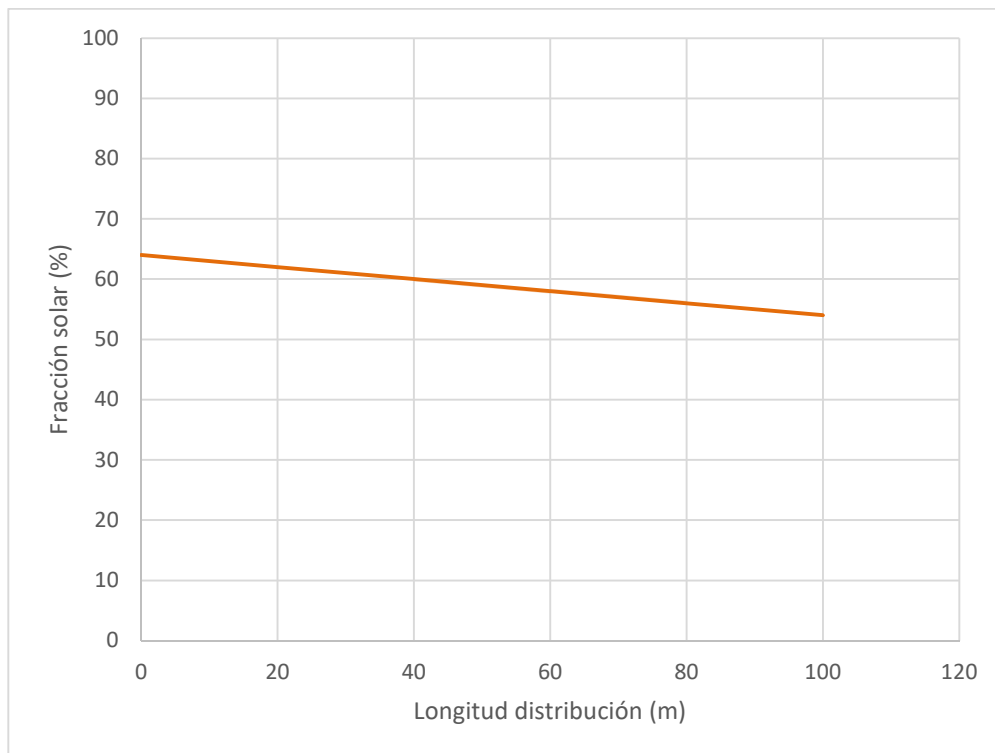


Figura 55. Fracción solar en función de la longitud de distribución, todo centralizado.

Como se ve en la figura 55, la evolución de la fracción solar sigue una tendencial lineal descendente, por cada 10 metros la fracción solar disminuye un 1%. Lo que conlleva a que por debajo de 40 metros la fracción solar cumpla sobradamente la normativa vigente, mientras que un aumento de esos 40 metros provocaría unas pérdidas que no permitieran el uso de la instalación.

3.3.3.2 Instalación con apoyo distribuido.

Los resultados que proporciona CHEQ4 son los siguientes mostrados en la tabla 10.

Tabla 10. Variación de la longitud de distribución, apoyo distribuido.

HE4	Ldist	FS	Edn	Edb	Eas	Eaux	RedCO2
	(m)	(%)	(kWh/año)				(kg/año)
No cumple	0.01	57	43068	43068	24483	19886	5285
No cumple	20	56	43068	43068	24209	20180	5226
No cumple	40	56	43068	43068	23954	20453	5171
No cumple	60	55	43068	43068	23716	20707	5119
No cumple	80	55	43068	43068	23494	20944	5071
No cumple	100	54	43068	43068	23285	21168	5026

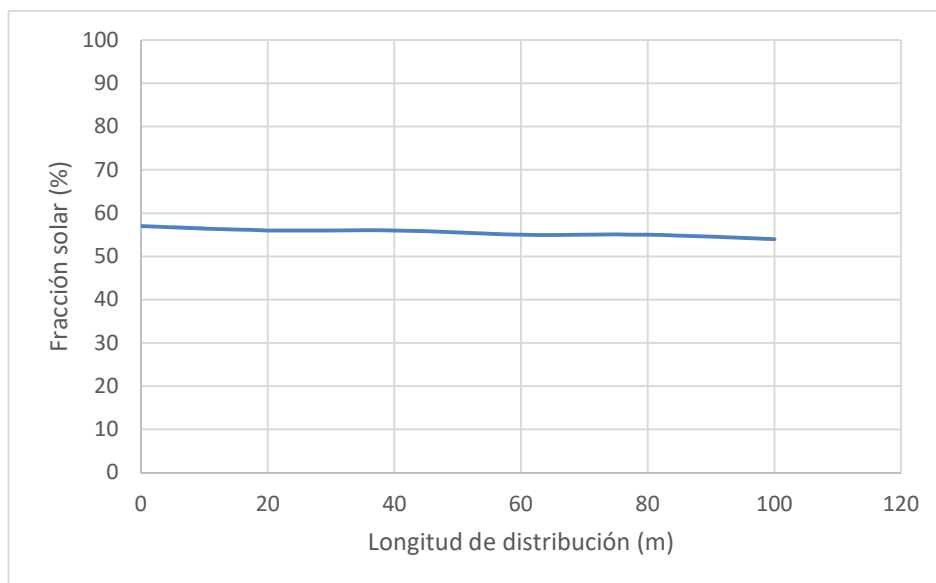


Figura 56. Fracción solar en función de la longitud de distribución, apoyo distribuido.

En esta configuración la longitud de distribución no tiene demasiada influencia ya que ésta afectaba directamente a las pérdidas en transporte en la instalación con todo centralizado. En esta ocasión, el consumo auxiliar aumenta 1282 kWh anuales aumentando en 100 metros la longitud de distribución.

La fracción solar, como se ve en la figura 56, cae en 3 puntos porcentuales durante todo el análisis. Esta caída se debe a las pérdidas internas de la instalación que no se ven reflejadas de manera explícita en el CHEQ4.

3.3.3.3 Instalación con acumulación distribuida.

Los resultados obtenidos en el CHEQ4 se muestran en la tabla 11.

Tabla 11. Variación de la longitud de distribución, acumulación distribuida.

HE4	Ldist	FS	Edn	Edb	Eas	Eaux	RedCO2
	(m)	(%)	(kWh/año)				(kg/año)
No cumple	0.01	51	43068	43068	21761	22799	4697
No cumple	20	50	43068	43068	21697	22868	4683
No cumple	40	50	43068	43068	21636	22932	4670
No cumple	60	50	43068	43068	21580	22993	4658
No cumple	80	50	43068	43068	21527	23049	4647
No cumple	100	50	43068	43068	21447	23103	4636

En esta configuración de instalación solar, se aprecia como la longitud del circuito de distribución no tiene influencia en el comportamiento de la instalación. Si se aumenta la longitud de 0.01 metros a 100 metros se tiene una caída de 314 kWh en todo un año, una cantidad prácticamente despreciable.

Si se analiza la fracción solar en la figura 57, es aún más claro que la variación de la longitud de distribución no tiene relevancia alguna ni en el aporte solar ni en el consumo auxiliar. Tan solo un 1% es lo que varía la fracción solar en el intervalo de 100 metros.

3.3.3.4 Instalación con intercambio distribuido.

Los resultados obtenidos con CHEQ4 se pueden visualizar en la tabla 12 y en la figura 58.

El aporte solar decae a medida que se aumenta la longitud del circuito de distribución a

razón de aproximadamente 200 kWh anuales por cada incremento de 20 metros. Se ve por lo tanto que en esta configuración la influencia de la longitud de distribución. La solución del caso base resulta en un 58% de fracción solar. Este resultado se puede aumentar hasta un 59% reduciendo la longitud hasta los 20 metros, de esta manera se conseguirá la misma fracción solar que si no existiese tubería de distribución.

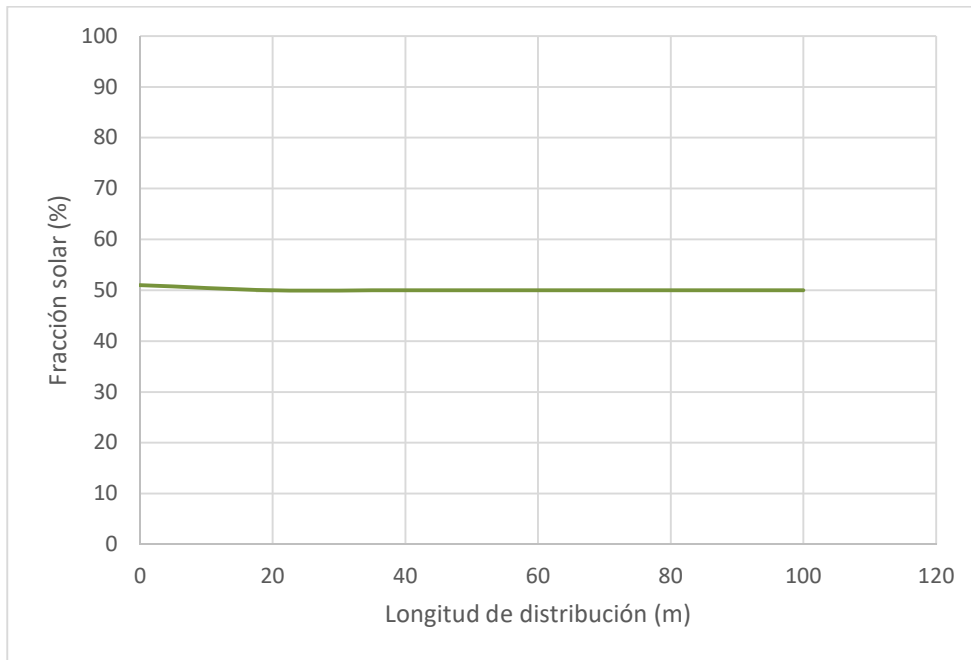


Figura 57. Fracción solar en función de la longitud de distribución, acumulación distribuida.

Tabla 12. Variación de la longitud de distribución, Intercambio distribuido.

HE4	Ldist	FS	Edn	Edb	Eas	Eaux	RedCO2
	(m)	(%)	(kWh/año)				(kg/año)
No cumple	0.01	59	43068	43068	25529	18767	5511
No cumple	20	59	43068	43068	25248	19067	5450
No cumple	40	58	43068	43068	24988	19346	5394
No cumple	60	57	43068	43068	24746	19605	5342
No cumple	80	57	43068	43068	24519	19847	5293
No cumple	100	56	43068	43068	24307	20075	5247

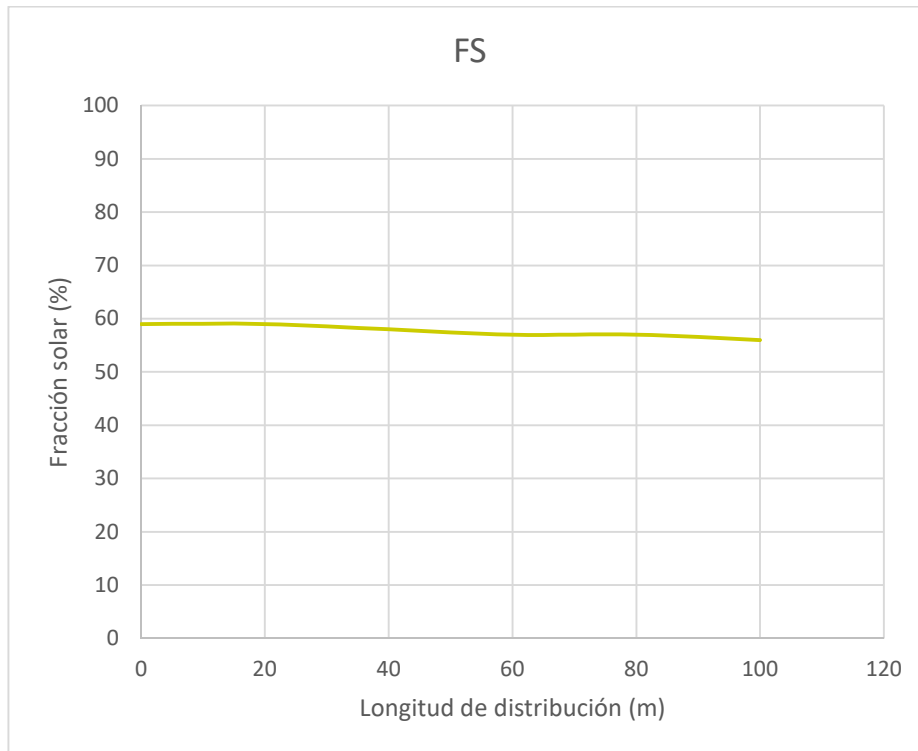


Figura 58. Fracción solar en función de la longitud de distribución, intercambio distribuido.

3.3.4. Variación del área de captadores.

Mediante la variación de este parámetro se busca analizar como evoluciona la fracción solar de la instalación en función del área de captación. En principio cabe suponer que la según se aumente el área de captación la fracción solar y el aporte solar aumentará pero sin saber a priori que evolución sigue este aumento.

3.3.4.1 Instalación todo centralizado.

La simulación en CHEQ4 según el rango de valores descritos en apartado 3.3 ha ofrecido los siguientes resultados que se ven en la tabla 13.

Se puede ver como la demanda neta de la instalación no varía en función del número de captadores de la instalación. La demanda bruta en cambio si varía levemente ya que si se aumenta el número de captadores se capta mayor radiación y las temperaturas de los fluidos serán mayores. Por lo tanto, la diferencia de temperaturas entre el ambiente y el fluido será mayor según aumente el área de captación y originará mayores pérdidas. Como se puede apreciar, las pérdidas en la distribución aumentan en la misma medida que lo hace la demanda bruta.

Tabla 13. Variación del área de captadores, todo centralizado.

HE4	Acap	FS	Edn	Edb	Eas	Eaux	Eper	Perd	RedCO2
	(m2)	(%)	(kWh/año)				(% Edn)	(kg/año)	
No cumple	0	0	43068	43068	0	43068	0	0	0
No cumple	8	21	43068	48935	10309	41330	5867	13.62	2225
No cumple	12	29	43068	48936	14381	36974	5868	13.62	3104
Cumple	16	37	43068	48937	18275	32809	5869	13.63	3945
Cumple	20	45	43068	48938	22146	28667	5870	13.63	4780
Cumple	24	53	43068	48938	25868	24686	5870	13.63	5584
Cumple	28	60	43068	48939	29386	20922	5871	13.63	6343
Cumple	32	67	43068	48939	32669	17409	5871	13.63	7052
Cumple	36	73	43068	48940	35564	14312	5872	13.63	7677
Cumple	44	81	43068	48941	39556	10042	5873	13.64	8538
Cumple	52	86	43068	48942	42261	7149	5874	13.64	9122
Cumple	60	90	43068	48942	44121	5159	5874	13.64	9524

Analizando la aportación solar y el consumo del equipo auxiliar, como es lógico al aumentar el área de captación se transforma una mayor cantidad de radiación solar en energía térmica y por lo tanto el consumo auxiliar que debe aportar la demanda que la aportación solar no es capaz de cubrir, disminuye a medida que aumenta esta.

Si se representa la fracción solar en una gráfica en función del número de captadores, se obtiene lo representado en la figura 59. Se puede apreciar como a medida que se aumenta el número de captadores la fracción solar aumenta con una tendencia lineal linealmente hasta llegar a los 18 captadores aproximadamente. A partir de este punto el aumento de la fracción solar sufre una desaceleración cada vez mayor según aumenta el número de captadores.

Esto se debe a que en los tres últimos casos analizados, en ciertos meses la fracción solar llega al 100% o incluso lo supera, por lo que aumentar el número de captadores no tendrá influencia algunas en esos meses. A medida que se aumenta el campo de captación, se cubrirá toda la demanda exclusivamente con aportación solar mas meses pero teniendo que instalar mayor número de captadores, por eso la grafica continua aproximándose al 100% pero cada vez con menos pendiente.

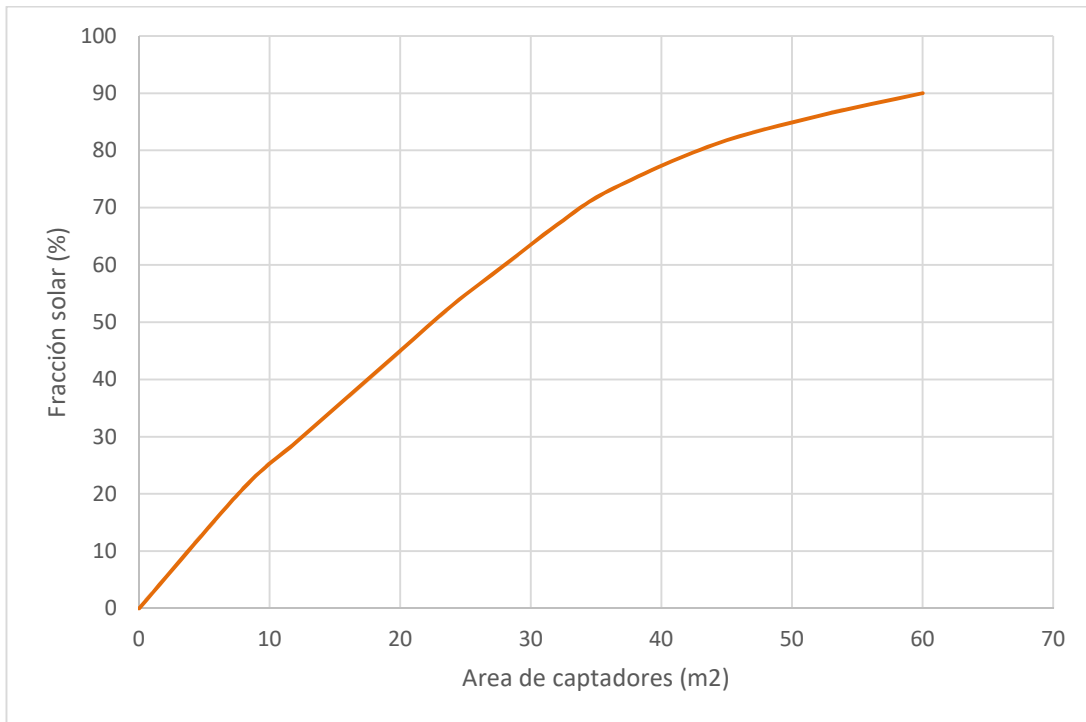


Figura 59. Fracción solar en función de área de captadores, todo centralizado.

Como ejemplo, se muestra en la figura 60, la pantalla de CHEQ4 para 22 captadores donde se refleja la fracción solar del 100% en ciertos meses. Como se ha comentado, el CHEQ4 solo indica un aporte solar hasta el 100%, sin embargo es razonable suponer que esa aportación solar supere ese valor durante algún mes. En el HE4 se indica que con independencia del uso al que se destine la instalación, en el caso de que en algún mes del año la contribución solar real sobrepase el 110% de la demanda energética o en más de tres meses seguidos el 100 %, se adoptarán cualquiera de las siguientes medidas:

- Dotar a la instalación de la posibilidad de disipar dichos excedentes (a través de equipos específicos o mediante la circulación nocturna del circuito primario)
- Tapado parcial del campo de captadores. En este caso el captador está aislado del calentamiento producido por la radiación solar y a su vez evacua los posibles excedentes térmicos residuales a través del fluido del circuito primario (que seguirá atravesando el captador)
- Vaciado parcial del campo de captadores. Esta solución permite evitar el sobrecalentamiento, pero dada la pérdida de parte del fluido del circuito primario, debe ser repuesto por un fluido de características similares debiendo incluirse este trabajo en ese caso entre las labores del contrato de mantenimiento.
- Desvío de los excedentes energéticos a otras aplicaciones existentes.

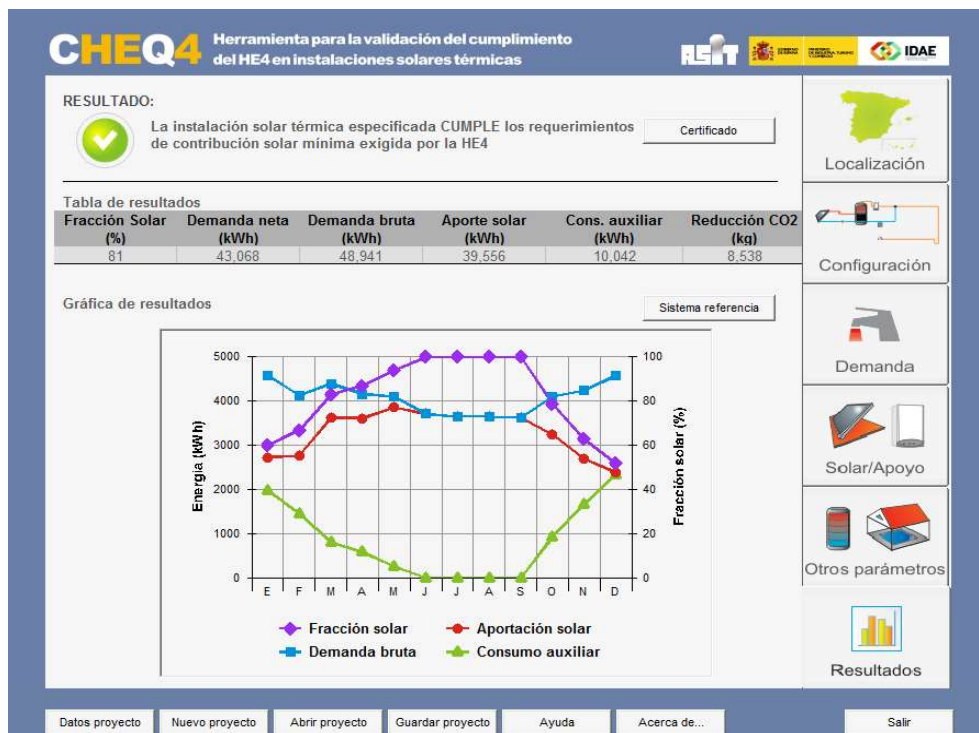


Figura 60. Resultados para 22 captadores

3.3.4.2 Instalación con apoyo distribuido.

En esta instalación dado que las pérdidas en transporte se contabilizan desde el equipo de apoyo auxiliar hasta el punto de consumo, no se van a tener en cuenta ya que serán nulas al tener el auxiliar en cada subestación de consumo. Los resultados obtenidos en CHEQ4 son los mostrados en la tabla 14 y en la figura 61.

Se puede ver como el aporte solar aumenta con el área de captación pero en menor medida que en la instalación con todo centralizado. En relación a la energía aportada por el equipo auxiliar va disminuyendo a medida que aumenta el área de captación.

Si se analiza la evolución de la fracción solar en función del aumento del área de captación, se puede ver como la pendiente de la curva va disminuyendo a medida que se aumenta el número de captadores de manera que llega un punto en el que la instalación sufre el fenómeno explicado en el apartado anterior, se satura al tener un área de captación de 60 metros cuadrados. Cada metro cuadrado que se aumente la instalación a partir de los 50 metros cuadrados, será menos rentable que el área instalada hasta ese punto.

Este peor aprovechamiento de la radiación solar, si se compara con la instalación de todo centralizado, hace que se necesite de una mayor área de captación para cumplir con las exigencias de la contribución solar mínima.

Tabla 14. Variación del área de captadores, apoyo distribuido.

HE4	Acap	FS	Edn	Edb	Eas	Eaux	RedCO2
	(m2)	(%)	(kWh/año)				(kg/año)
No cumple	0	0	43068	43068	0	43068	0
No cumple	8	20	43068	43068	8692	36782	1876
No cumple	12	28	43068	43068	12116	33119	2615
No cumple	16	36	43068	43068	15383	29623	3321
No cumple	20	43	43068	43068	18498	26290	3993
No cumple	24	50	43068	43068	21363	23225	4611
No cumple	28	56	43068	43068	23954	20453	5171
Cumple	32	61	43068	43068	26269	17975	5670
Cumple	36	66	43068	43068	28340	15760	6117
Cumple	44	74	43068	43068	31829	12027	6871
Cumple	52	79	43068	43068	34091	9606	7359
Cumple	60	83	43068	43068	35628	7961	7691

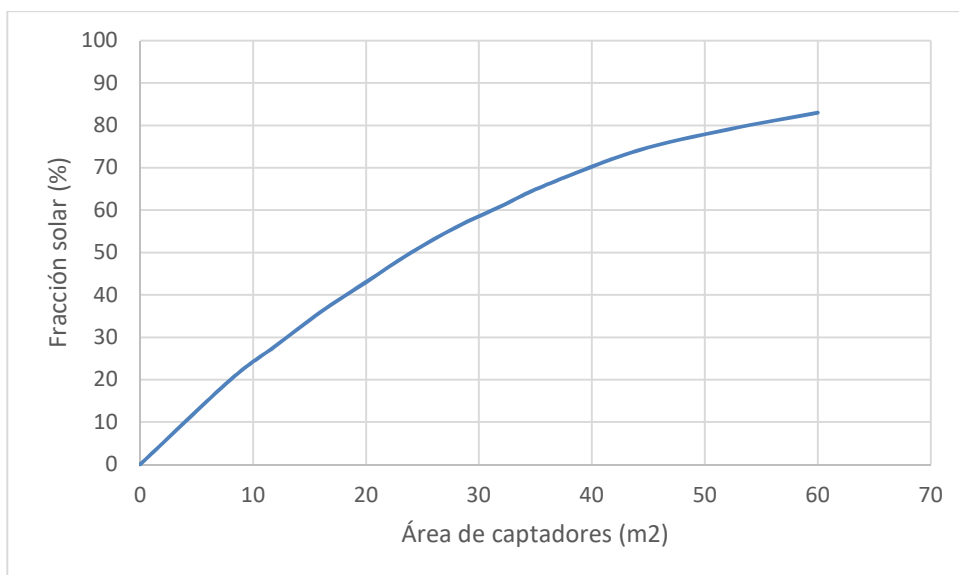


Figura 61. Fracción solar en función de área de captadores, apoyo distribuido.

3.3.4.3 Instalación con acumulación distribuida.

Los resultados obtenidos de la variación de este parámetro son los obtenidos en la tabla 15.

Tabla 15. Variación del área de captadores, acumulación distribuida.

HE4	Acap	FS	Edn	Edb	Eas	Eaux	RedCO2
	(m2)	(%)	(kWh/año)				(kg/año)
No cumple	0	0	43068	43068	0	43068	0
No cumple	8	22	43068	43068	9571	35843	2066
No cumple	12	29	43068	43068	12533	32673	2705
No cumple	16	35	43068	43068	15060	29969	3251
No cumple	20	40	43068	43068	17406	27459	3757
No cumple	24	45	43068	43068	19573	25140	4225
No cumple	28	50	43068	43068	21636	22932	4670
No cumple	32	55	43068	43068	23567	20867	5087
No cumple	36	59	43068	43068	25336	18974	5469
Cumple	44	66	43068	43068	28570	15513	6167
Cumple	52	73	43068	43068	31271	12624	6750
Cumple	60	78	43068	43068	33543	10192	7241

El aumento del área de captación aumenta el aporte solar y reduce las emisiones de CO₂. Con un área de captación de de 60 metros cuadrados se llega a aportar 33543 kWh anuales, lo que significa una cantidad menor que en los demás casos estudiados. El menor aporte solar que tiene esta configuración para la misma radiación incidente que el resto de instalaciones hace que necesite más de 36 metros cuadrados para tener la contribución solar mínima a la ACS.

En este caso no se produce saturación en ningún mes para el rango de variación estudiado, por lo que la fracción solar aumenta de manera casi constante a excepción el aumento de 52 a 60 metros cuadrados que ya empieza a mostrar una disminución en la pendiente.

Este comportamiento se puede ver en la figura 62.

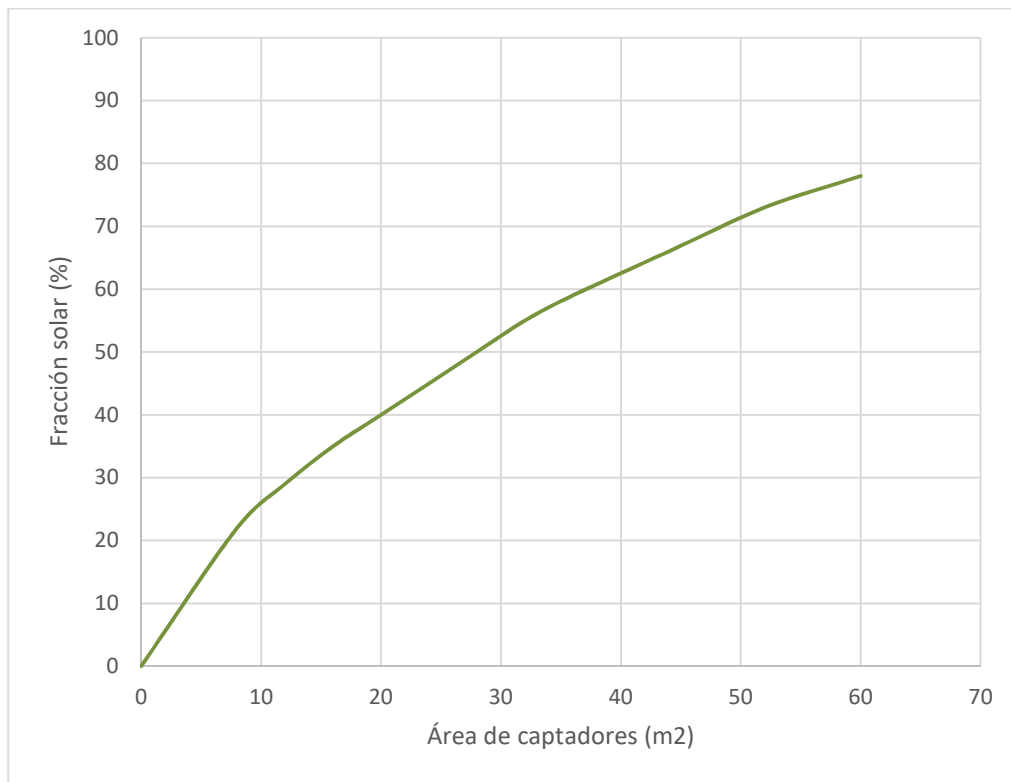


Figura 62. Fracción solar en función de área de captadores, acumulación distribuida.

3.3.4.4 Instalación con intercambio distribuido.

Los resultados obtenidos para la última configuración analizada se muestran en la tabla 16.

En este caso la instalación aporta hasta unos 38038 kWh en un año para 60 metros cuadrados. Desde el caso base se necesitarían aumentar unos 2 metros cuadrados de captación para cumplir el código HE4, es decir con incorporar un panel adicional se cumpliría la norma.

Esta configuración sufre de saturación cuando se aumenta el área a partir de 44 metros cuadrados. Que tiene una fracción solar del 100 % en los meses de verano, por lo que cualquier aumento de área provocará que la fracción supere ese máximo y no aporte nada al calentamiento de ACS.

La tendencia de la fracción solar se muestra en la figura 63 y es claramente ascendente en relación con el área pero a medida que se aumentan los captadores, este incremento de la fracción solar disminuye. Esta pérdida de pendiente se aprecia especialmente a partir de los 44 metros cuadrados que es cuando se produce la saturación de la instalación.

Tabla 16. Variación del área de captadores, intercambio distribuido.

HE4	Acap	FS	Edn	Edb	Eas	Eaux	RedCO2
	(m ²)	(%)	(kWh/año)				(kg/año)
No cumple	0	0	43068	43068	0	43068	0
No cumple	8	22	43068	43068	9505	35913	2052
No cumple	12	30	43068	43068	12864	32319	2777
No cumple	16	37	43068	43068	16023	28939	3459
No cumple	20	44	43068	43068	19152	25591	4134
No cumple	24	51	43068	43068	22155	22378	4782
No cumple	28	58	43068	43068	24988	19346	5394
Cumple	32	64	43068	43068	27635	16514	5965
Cumple	36	70	43068	43068	30112	13864	6500
Cumple	44	79	43068	43068	33872	9841	7312
Cumple	52	84	43068	43068	36286	7257	7833
Cumple	60	88	43068	43068	38038	5383	8211

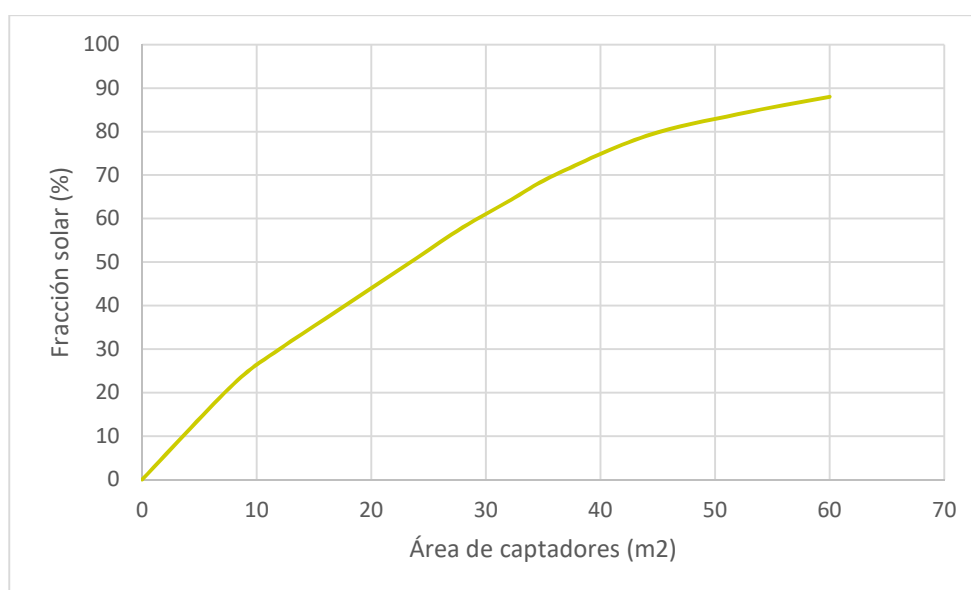


Figura 63. Fracción solar en función de área de captadores, intercambio distribuido.

3.3.5. Variación de la orientación.

La sección HE4 del CTE, establece que la orientación óptima es el sur. En este apartado se va a analizar las consecuencias de una desviación de la orientación en dirección este como en dirección oeste. La variable que se va a ver afectada es la radiación captada por la instalación y si el sur es la orientación óptima, cualquier variación de la misma cabe pensar que la fracción solar va a disminuir.

3.3.5.1 Instalación todo centralizado

El análisis de sensibilidad en CHEQ4 otorga los siguientes resultados, mostrados en la tabla 17:

Tabla 17. Variación de la orientación, todo centralizado.

HE4	Orient	FS	Edn	Edb	Eas	Eaux	Eper	Perd	RedCO2
	(°)	(%)	(kWh/año)				(% Edn)	(kg/año)	
No cumple	-45	59	43068	48939	29023	21304	5871	13.63	6266
Cumple	-30	60	43068	48939	29504	20795	5871	13.63	6369
Cumple	-15	61	43068	48939	29669	20619	5871	13.63	6404
Cumple	0	60	43068	48939	29386	20922	5871	13.63	6343
No cumple	15	58	43068	48939	28512	21856	5871	13.63	6155
No cumple	30	55	43068	48939	26847	23638	5871	13.63	5795
No cumple	45	49	43068	48939	23844	26850	5871	13.63	5147

Como se puede apreciar en la tabla, se produce un máximo de la aportación solar para una orientación de -15° con respecto al sur. En el supuesto punto óptimo, es decir los 0° , la aportación solar es de 29386 kWh/año, ligeramente menor que en el máximo. La variación de este parámetro no afecta en absoluto a las pérdidas en el transporte y por lo tanto la demanda bruta es la misma en todos los casos.

En cambio cuando la orientación se desvía hacia el oeste, se ve como la aportación solar decae mucho más acusadamente. De hecho cualquier orientación suroeste implica que la instalación no cumple la contribución solar mínima. Entre 15° este y oeste existe una diferencia de hasta 1157 kWh/año.

La fracción solar, que se visualiza en la figura 64, de la instalación varía entre un 61% y un 59% cuando la orientación es sureste, lo cual aunque es una variación pequeña, implica en una orientación de -45° que no cumpla la normativa. Si se orienta desde los 0° hasta los 45° , se produce una disminución de la fracción solar mas reseñable, de un 11%. Una cantidad importante ya que la instalación con la orientación este se mueve en torno al 60%, mientras que en esta orientación cae hasta un 49%.

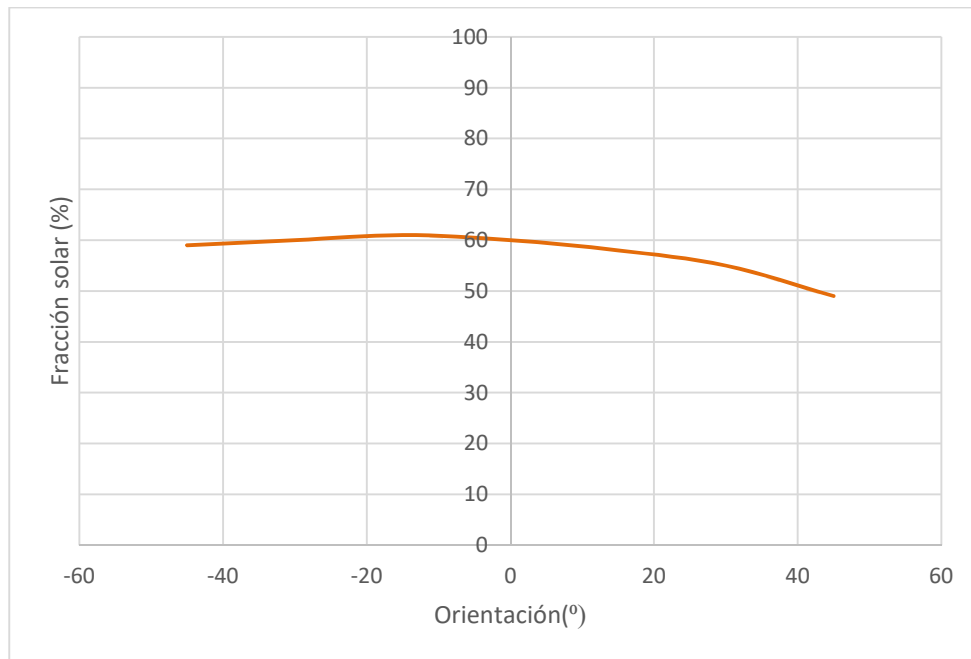


Figura 64. Fracción solar en función de orientación, todo centralizado.

3.3.5.2 Instalación con apoyo distribuido.

Los resultados obtenidos por la variación de campo de captadores se pueden ver en la tabla 18.

Como puede verse en la columna del aporte solar, en una orientación hacia el este, el aporte solar de la instalación varía menos de 500 kWh anuales. El aporte solar tiene su máximo en una orientación de -15° respecto al sur. Este comportamiento cambia ya que desde la orientación sur hacia el oeste, el aporte solar cae de manera más acusada.

Lo comentado con respecto a la orientación solar se ve reflejado en la figura 65. La fracción solar se ve prácticamente constante desde los -45° hasta la orientación sur, variando tan solo en un uno por ciento. Sin embargo aunque la orientación sureste no genera grandes cambios en el comportamiento de la instalación, la orientación suroeste provoca una caída de la fracción solar que aumenta según se aleja del sur. De manera que una instalación orientada hacia el suroeste deja de ser viable a excepción de que sea la única orientación posible como puede ser la situación de un tejado de una vivienda a dos aguas.

Tabla 18. Variación de la orientación, apoyo distribuido.

HE4	Orient	FS	Edn	Edb	Eas	Eaux	RedCO2
	(°)	(%)	(kWh/año)				(kg/año)
No cumple	-45	55	43068	43068	23617	20813	5098
No cumple	-30	56	43068	43068	24013	20389	5184
No cumple	-15	56	43068	43068	24162	20230	5216
No cumple	0	56	43068	43068	23954	20453	5171
No cumple	15	54	43068	43068	23276	21177	5024
No cumple	30	51	43068	43068	21970	22575	4742
No cumple	45	45	43068	43068	19594	25117	4230

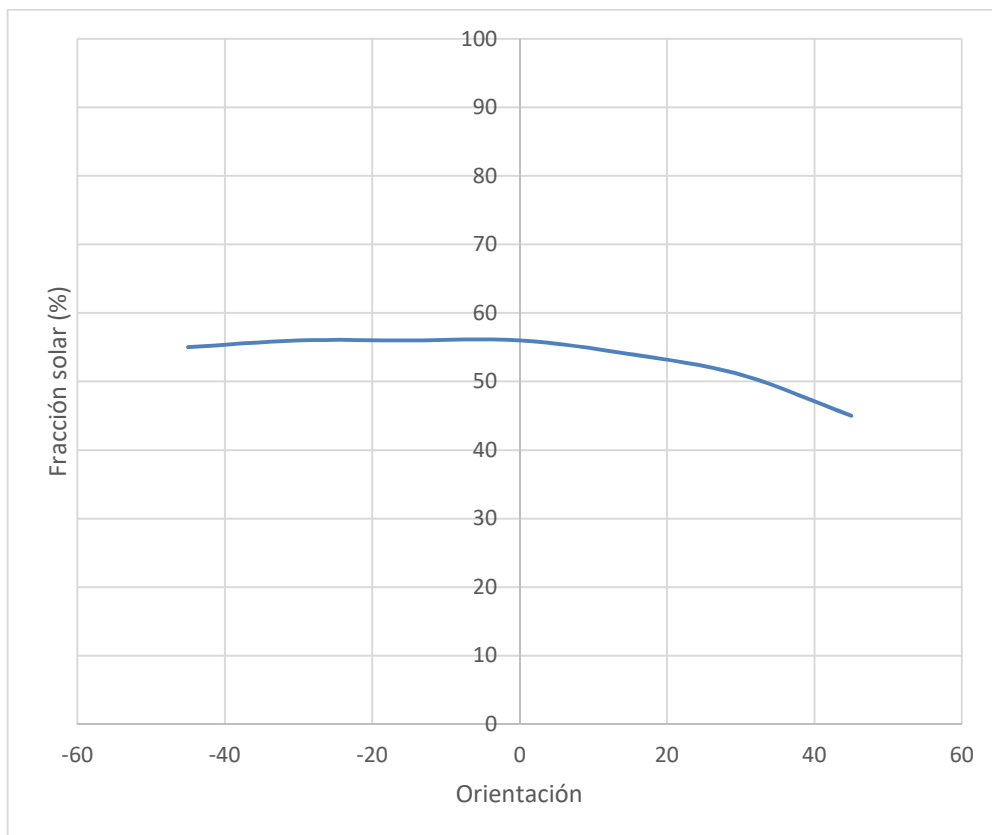


Figura 65. Fracción solar en función de orientación, apoyo distribuido.

3.3.5.3 Instalación con acumulación distribuida.

En la siguiente tabla 19 se reflejan los resultados obtenidos en las simulaciones.

Tabla 19. Variación de la orientación, acumulación distribuida.

HE4	Orient	FS	Edn	Edb	Eas	Eaux	RedCO2
	(°)	(%)	(kWh/año)				(kg/año)
No cumple	-45	50	43068	43068	21356	23232	4610
No cumple	-30	50	43068	43068	21662	22905	4676
No cumple	-15	51	43068	43068	21782	22776	4702
No cumple	0	50	43068	43068	21636	22932	4670
No cumple	15	49	43068	43068	21142	23461	4564
No cumple	30	47	43068	43068	20182	2488	4357
No cumple	45	43	43068	43068	18433	26360	3979

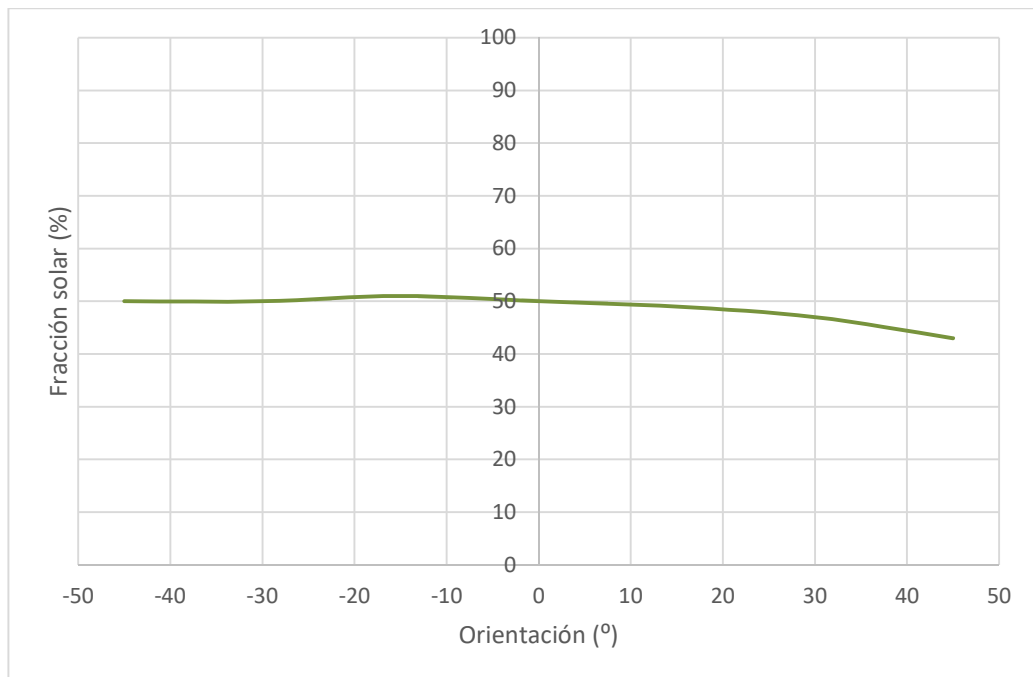


Figura 66. Fracción solar en función de orientación, acumulación distribuida.

La orientación sureste no afecta significativamente al aporte auxiliar ya que a lo largo del año, la orientación este tan solo pierde 426 kWh con respecto a la orientación que más aportación solar tiene, 15° sureste. La orientación suroeste, como se ha visto en análisis en otras configuraciones provoca un empeoramiento en la aportación solar del sistema.

La fracción solar, que se representa en la figura 66 presenta un máximo de 51% para la orientación de 30° lo que significa una mejora con respecto al caso base aunque no se suficiente para cumplir la normativa. La tendencia cuando se orienta hacia el oeste es descendente, aumentando su pendiente según se aleja de la orientación sur.

3.3.5.4 Instalación con intercambio distribuido.

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla 20.

Tabla 20. Variación de la orientación, acumulación distribuida.

HE4	Orient	FS	Edn	Edb	Eas	Eaux	RedCO2
	(°)	(%)	(kWh/año)				(kg/año)
No cumple	-45	57	43068	43068	24690	19665	5330
No cumple	-30	58	43068	43068	25077	19251	5413
No cumple	-15	59	43068	43068	25213	19105	5443
No cumple	0	58	43068	43068	24988	19346	5394
No cumple	15	56	43068	43068	24286	20097	5242
No cumple	30	53	43068	43068	22945	21533	4953
No cumple	45	48	43068	43068	20251	24126	4430

Al igual que en el resto de configuraciones, existe una orientación preferente en cuanto al aporte solar y fracción solar. Esta orientación es la sureste, variando muy poco, menos de 600 kWh anuales pero se traduce en una variación del 2% en la fracción solar, que no basta para poder cumplir la normativa aunque se quede en el límite con un 59%.

Todo lo contrario ocurre cuando se varía la orientación de sur hacia el oeste, ya que se produce una pérdida muy acusada de aportación solar que se traduce en un 10% al llegar a los 45°. Este comportamiento se puede apreciar en la figura 67.

3.3.6. Variación de la inclinación.

En este apartado se pretende estudiar la influencia de la inclinación del campo de

captadores en la aportación solar del mismo. La inclinación que permite la norma es aquella que provoque unas pérdidas menores al 10% en los casos generales. En el caso de esta instalación, para cualquier configuración de las estudiadas, cualquier inclinación inferior a 9° provoca unas pérdidas mayores del 10% y por lo tanto no se pueden estudiar en el CHEQ4. En cambio, una orientación límite de 90° no conlleva pérdidas mayores de ese 10%.

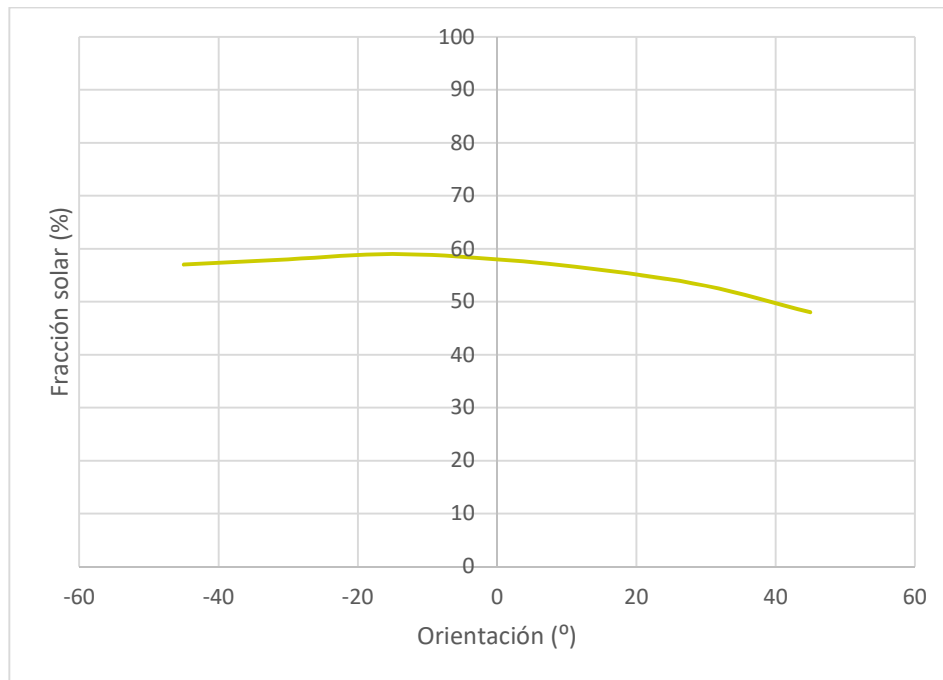


Figura 67. Fracción solar en función de orientación, intercambio distribuido.

La inclinación óptima dependerá de cuando se estima que será el período de utilización de la instalación. En el caso de que la demanda sea constante, la inclinación óptima será igual a la latitud geográfica de la población en la que se sitúa la instalación. Si la demanda preferente sucede en verano, la inclinación será la latitud geográfica menos 10° y si por el contrario, la demanda preferente se sitúa en invierno, la inclinación óptima será la latitud geográfica más 10° .

3.3.6.1 Instalación todo centralizado

En la tabla 21 se ven los valores obtenidos durante el análisis de sensibilidad.

Sevilla se encuentra en una latitud de 37° , por lo que se ha incluido en el análisis de sensibilidad, los valores óptimos para demanda preferente en verano y en invierno. Si se analizan los datos, se ve que la mayor aportación solar, que es de 29521 kWh/año se produce para una inclinación de 30° y no de 37° que es ligeramente menor. Por lo que en ese caso, la orientación óptima se debería considerar la de consumo preferente en verano ya que es mayor que la de demanda constante durante el año.

Tabla 21. Variación de la inclinación, todo centralizado.

HE4	Incl	FS	Edn	Edb	Eas	Eaux	Eper	Perd	RedCO2
	(°)	(%)	(kWh/año)				(% Edn)	(kg/año)	
No cumple	10	57	43068	48939	27876	22537	5871	13.63	6017
No cumple	15	58	43068	48939	28562	21803	5871	13.63	6165
No cumple	20	59	43068	48939	29064	21266	5871	13.63	6274
Cumple	27	60	43068	48939	29463	20839	5871	13.63	6360
Cumple	30	60	43068	48939	29521	20777	5871	13.63	6373
Cumple	37	60	43068	48939	29386	20922	5871	13.63	6343
Cumple	40	60	43068	48939	29211	21108	5871	13.63	6306
No cumple	47	58	43068	48939	28534	21833	5871	13.63	6159
No cumple	50	57	43068	48939	28129	22267	5871	13.63	6072

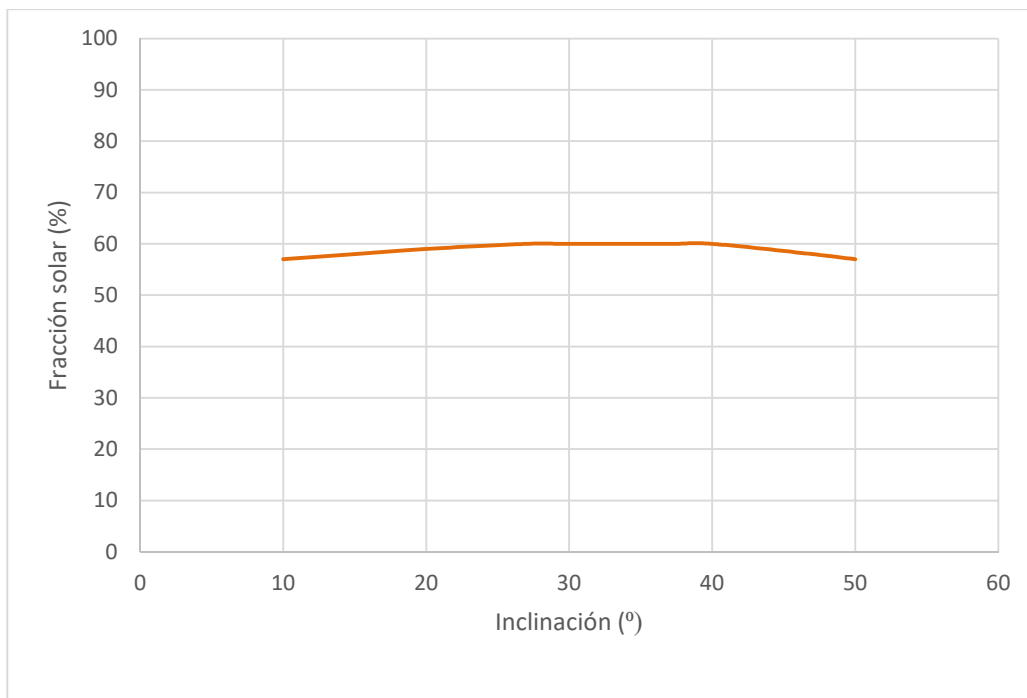


Figura 68. Fracción solar en función de la inclinación, todo centralizado.

Desde el punto de vista de las demandas brutas y pérdidas en transporte, la inclinación del captador no afecta en absoluto a estas dos variables que se mantienen constantes durante toda la simulación. En la figura 68 se representa la fracción solar en función de la inclinación del campo de captadores.

Como se ve en la grafica, ningún valor supera el 60% de contribución solar mínima por lo que se puede deducir que a pesar de que el óptimo se encuentre en torno a los 30°, las diferencias son tan escasas que no se ven reflejadas en la fracción solar. También se aprecia, que la inclinación óptima para una demanda preferente en invierno que sería de 47°, no sería rentable ya que durante el resto del año en el que la radiación solar es mayor, la instalación no produce el aporte solar necesario para el cumplimiento de la normativa.

3.3.6.2 Instalación apoyo distribuido.

Los resultados obtenidos en la instalación de apoyo distribuido se muestran en la tabla 22.

Tabla 22. Variación de la inclinación, apoyo distribuido.

HE4	Incl	FS	Edn	Edb	Eas	Eaux	RedCO2
	(°)	(%)	(kWh/año)				(kg/año)
No cumple	10	52	43068	43068	22609	21891	4880
No cumple	15	54	43068	43068	23180	21281	5004
No cumple	20	55	43068	43068	23604	20827	5095
No cumple	27	56	43068	43068	23958	20448	5172
No cumple	30	56	43068	43068	24020	20381	5185
No cumple	37	56	43068	43068	23954	20453	5171
No cumple	40	55	43068	43068	23833	20581	5145
No cumple	47	54	43068	43068	23339	21111	5038
No cumple	50	53	43068	43068	23036	21435	4982

En la variación de este parámetro se ve una evolución en el aporte solar y consumo auxiliar similar al caso anterior donde la mayor aportación solar se produce en torno a los 30 grados de inclinación. Una vez la variable se aleja de ese punto máximo la aportación solar cae pero sin ser una caída grande, en torno a los 1400 kWh en un año completo.

La fracción solar presenta un comportamiento constante en un intervalo de los 27 grados

a los 37 grados. En la figura 69 se muestra la evolución de la fracción solar. Una vez la inclinación se aleja de este intervalo central, la fracción solar disminuye en torno al 4% entre el punto óptimo y el punto más desfavorable. Si se compara con la instalación anterior se ve como el comportamiento sigue la misma tendencia pero se produce una menor variación.

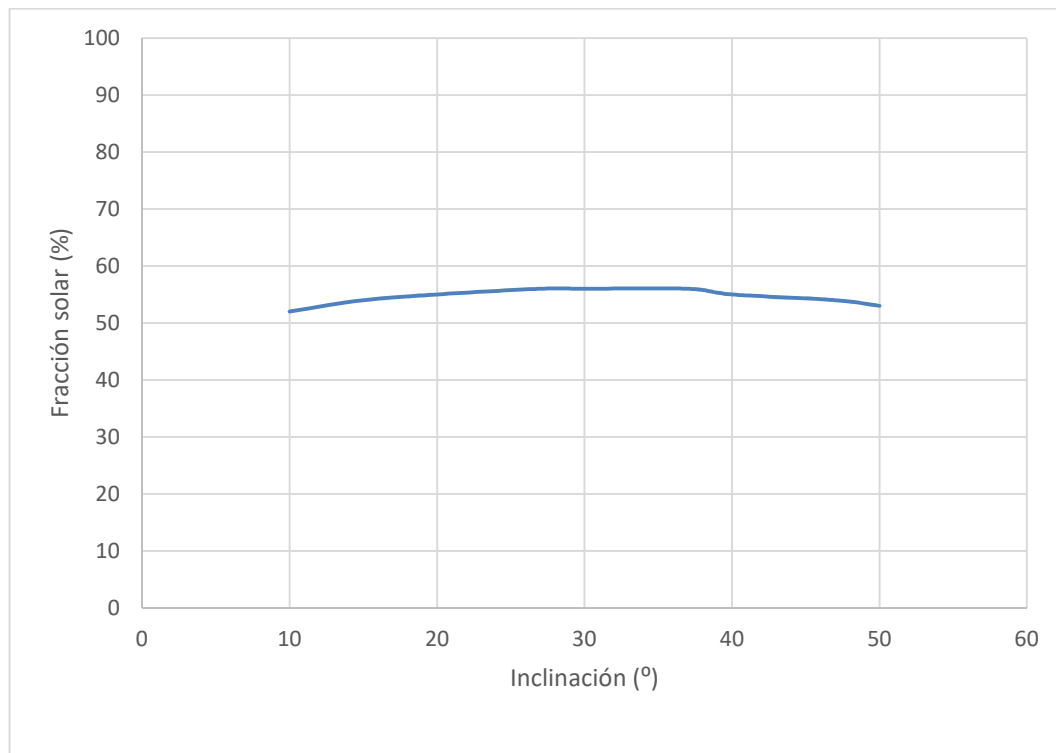


Figura 69. Fracción solar en función de la inclinación, apoyo distribuido.

3.3.6.3 Instalación con acumulación distribuida.

Los resultados que muestra el CHEQ4 se refleja en la tabla 23.

La tabla refleja una variación del aporte solar de 1115 kWh anuales entre el punto óptimo situado en una inclinación de 30° y los 10° que son el límite para cumplir con la restricción de pérdidas por inclinación que establece la norma.

En esta configuración se puede ver como en un intervalo de 20° la fracción solar permanece constante siendo prácticamente indiferente variar la inclinación en ese intervalo. La instalación presenta un valor constante de un 50% para el intervalo de los 20° a los 40° y la caída máxima que presenta es para un valor de 10° en la inclinación y la fracción solar presenta un valor del 48%.

Este comportamiento de la fracción solar frente a la inclinación se puede ver en la figura 70.

Tabla 23. Variación de la inclinación, acumulación distribuida.

HE4	Incl	FS	Edn	Edb	Eas	Eaux	RedCO2
	(°)	(%)	(kWh/año)				(kg/año)
No cumple	10	48	43068	43068	20548	24097	4436
No cumple	15	49	43068	43068	20992	23622	4531
No cumple	20	50	43068	43068	21323	23267	4603
No cumple	27	50	43068	43068	21607	22963	4664
No cumple	30	50	43068	43068	21663	22904	4676
No cumple	37	50	43068	43068	21636	22932	4670
No cumple	40	50	43068	43068	21557	23017	4653
No cumple	47	49	43068	43068	21216	23382	4580
No cumple	50	49	43068	43068	21002	23611	4534

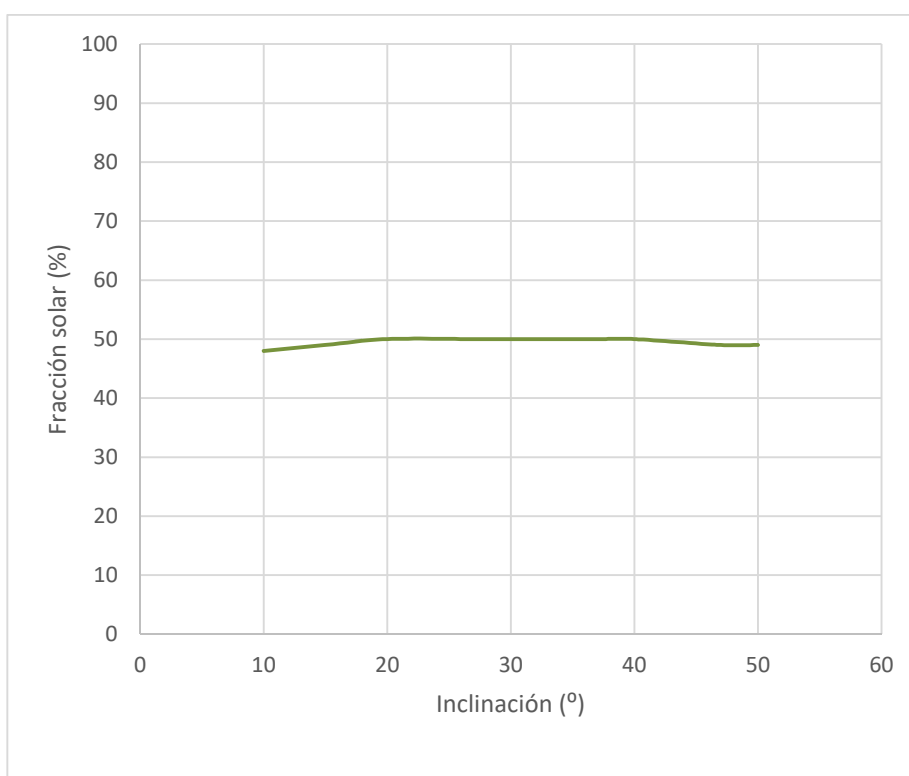


Figura 70. Fracción solar en función de la inclinación, acumulación distribuida.

3.3.6.4 Instalación con intercambio distribuido.

Los resultados obtenidos en CHEQ4 se muestran a continuación, en la tabla 24.

Tabla 24. Variación de la inclinación, intercambio distribuido.

HE4	Incl	FS	Edn	Edb	Eas	Eaux	RedCO2
	(°)	(%)	(kWh/año)				(kg/año)
No cumple	10	55	43068	43068	23742	20608	5125
No cumple	15	56	43068	43068	24301	20082	5246
No cumple	20	57	43068	43068	24711	19643	5334
No cumple	27	58	43068	43068	25040	19290	5405
No cumple	30	58	43068	43068	25090	19237	5416
No cumple	37	58	43068	43068	24988	19346	5394
No cumple	40	58	43068	43068	24850	19493	5364
No cumple	47	56	43068	43068	24311	20070	5248
No cumple	50	56	43068	43068	23988	20416	5178

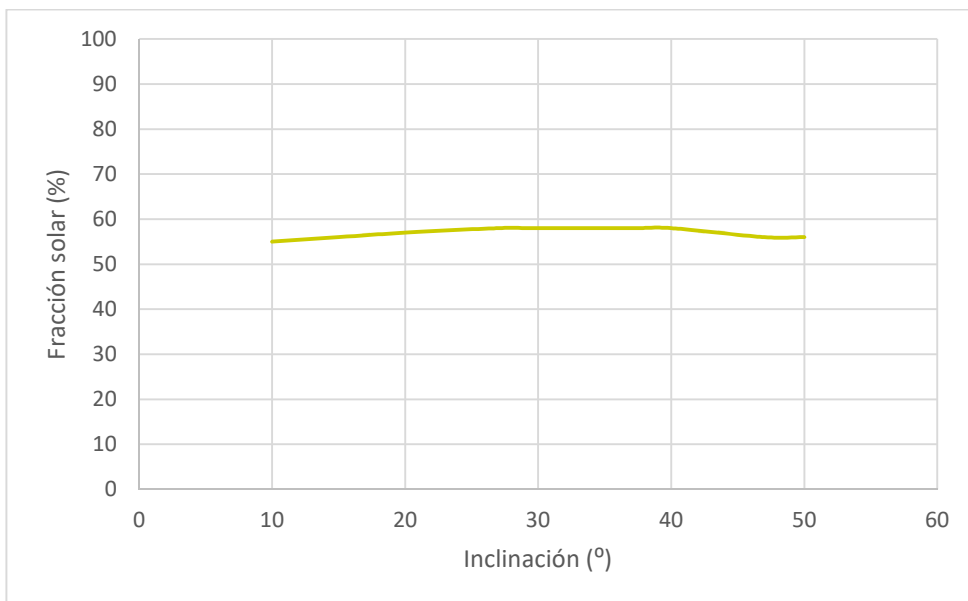


Figura 71. Fracción solar en función de la inclinación, intercambio distribuido.

La inclinación del campo de captación hace que los valores de la aportación solar se muevan en un rango desde los 23742 kWh y 25090 kWh anuales. Respecto al caso base, ningún ángulo es capaz de mejorar la fracción solar, figura 71, pero si que se puede empeorar hasta 3 puntos porcentuales eligiendo la peor inclinación permitida para esta instalación. Nuevamente la inclinación que produce una mayor aportación solar se encuentra 7° grados desviada con respecto a la considerada óptima para una demanda constante durante todo el año.

3.3.7. Variación de agrupación serie/paralelo.

Se va a analizar la manera en la que las diferentes agrupaciones en serie y en paralelo influyen en el comportamiento de la instalación. Cuanto más captadores en serie se coloquen, mayores temperaturas del fluido se obtienen a la salida del campo de captación pero los captadores disminuyen su rendimiento conforme aumenta la temperatura de trabajo del fluido.

3.3.7.1 Instalación todo centralizado.

La tabla 25 muestra los resultados obtenidos en CHEQ4.

Tabla 25. Variación serie/paralelo, todo centralizado.

HE4	S/P	FS	Edn	Edb	Eas	Eaux	Eper	Perd	RedCO2
		(%)	(kWh/año)					(% Edn)	(kg/año)
Cumple	1	60	43068	48939	29386	20922	5871	13.63	6343
No cumple	2	55	43068	48939	27060	23410	5871	13.63	5841
No cumple	7	34	43068	48937	16883	34298	5869	13.62	3644
No cumple	14	19	43068	48935	9435	42265	5867	13.62	2037

Se puede apreciar como el aporte solar cae a medida que aumenta el número de captadores en serie haciendo que la instalación solo cumpla el mínimo de la aportación solar cuando únicamente existen captadores en paralelo. Esto se debe a la caída del rendimiento expuesta anteriormente. Para compensar esta caída de la fracción solar, se produce un aumento del consumo auxiliar y por lo tanto un aumento de las emisiones de CO2.

Las pérdidas térmicas disminuyen a medida que aumenta el número de captadores en serie y por lo tanto también provoca una disminución de la demanda bruta. Los captadores en serie tienen la principal ventaja en reducir las pérdidas térmicas en el transporte debido a que es posible utilizar una menor área de la tubería. Sin embargo como se ve en la figura 72, la caída en el rendimiento de los captadores es tan acusada que en la práctica no se recomienda utilizar más de 3 captadores en serie.

Se puede ver como a medida que se aumenta el número de captadores en serie, la fracción solar disminuye de manera acusada. También se puede ver como pierde pendiente a medida que aumenta el número de captadores en serie. La única configuración viable desde el punto de vista de la fracción solar es la de instalar todos los captadores en paralelo ya que la pérdida de rendimiento es el factor dominante en este análisis en comparación con el beneficio de la disminución de las pérdidas en el transporte.

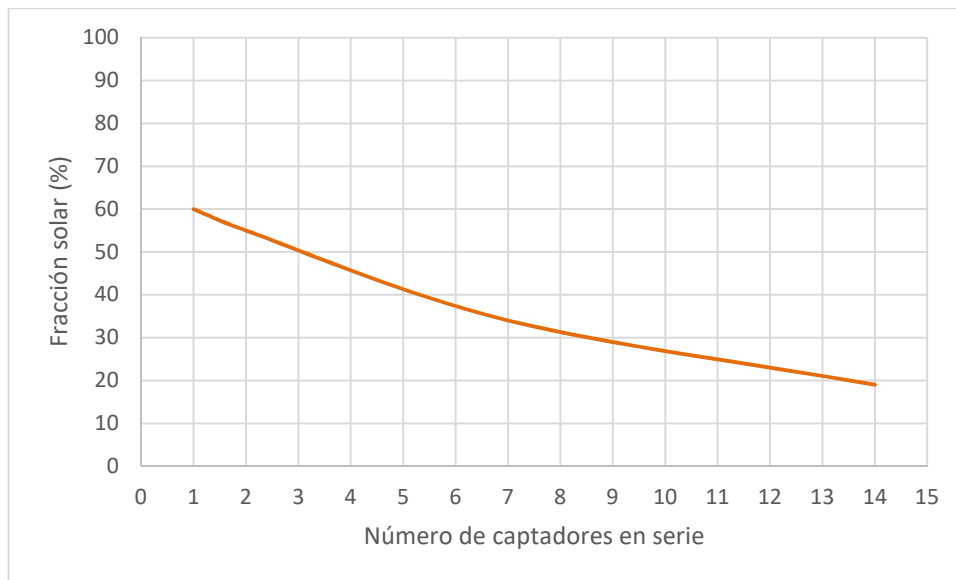


Figura 72. Fracción solar en función de captadores en serie, todo centralizado.

3.3.7.2 Instalación con apoyo distribuido.

En la tabla 26 se pueden ver los resultados obtenidos cuando se trata de una instalación con apoyo distribuido.

Tabla 26. Variación serie/paralelo, apoyo distribuido.

HE4	S/P	FS	Edn	Edb	Eas	Eaux	RedCO2
		(%)	(kWh/año)				(kg/año)
No cumple	1	56	43068	43068	23954	20453	5171
No cumple	2	51	43068	43068	22031	22510	4756
No cumple	7	31	43068	43068	13532	31604	2921
No cumple	14	17	43068	43068	7379	38188	1593

Se puede ver como la mejor configuración en cuanto a conseguir el máximo aporte solar o el menor consumo auxiliar es con todos los captadores en paralelo ya que la diferencia entre tener todos los captadores en serio y todos en paralelo es más de 16000 kWh cada año, una cantidad nada despreciable.

La fracción solar, mostrada en la figura 73, cae en consonancia con el aporte solar cuando se aumentan el número de captadores en serie. Cae de manera importante pasando de un 56% hasta un 17% por lo que se puede concluir que en instalaciones similares a la estudiada no es recomendable instalar captadores en serie.

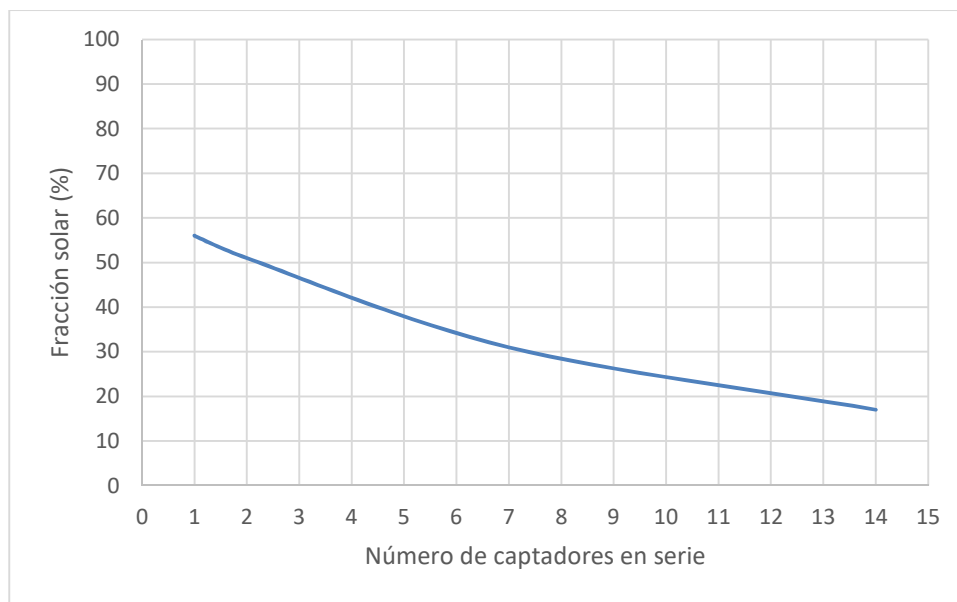


Figura 73. Fracción solar en función de captadores en serie, apoyo distribuido.

3.3.7.3 Instalación con acumulación distribuida.

Tabla 27. Variación serie/paralelo, acumulación distribuida.

HE4	S/P	FS	Edn	Edb	Eas	Eaux	RedCO2
		(%)	(kWh/año)				(kg/año)
No cumple	1	50	43068	43068	21636	22932	4670
No cumple	2	47	43068	43068	20233	24434	4368
No cumple	7	32	43068	43068	13969	31137	3015
No cumple	14	20	43068	43068	8543	36942	1844

Los resultados obtenidos con CHEQ4 son los mostrados en la tabla 27.

Tal y como se ve en la tabla de resultados, sucede lo mismo que en las otras configuraciones, a medida que se aumenta la agrupación en serie de captadores, el rendimiento cae. Aunque para los 14 captadores en serie, el aporte solar es mayor que en la instalación con apoyo distribuido.

En cuanto a la fracción solar, que se puede visualizar en la figura 74, tiene una caída entre la configuración todos en paralelo y todos en serie de un 30%, la menor caída de las instalaciones estudiadas. Ello se refleja en una curva con una pendiente más horizontal que el resto.

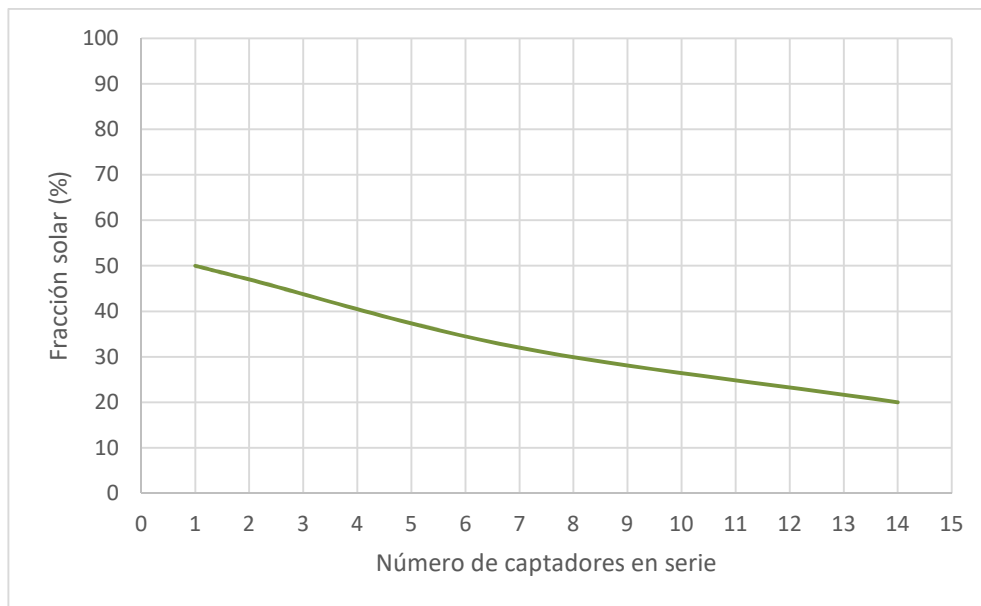


Figura 74. Fracción solar en función de captadores en serie, acumulación distribuida.

3.3.7.4 Instalación con intercambio distribuido.

Los resultados obtenidos mediante CHEQ4 se pueden ver en la tabla 28.

La agrupación en serie se muestra una vez más como una opción a descartar en las condiciones en las que se encuentra la instalación del caso base. Cada vez que se aumenta el número de captadores en serie, el aporte solar cae de manera muy acusada. Cuando se instalan los 14 captadores en serie la fracción solar cae un 39% respecto a la configuración en paralelo.

La fracción solar se puede ver en la figura 75. Al igual que en el resto de configuraciones, la agrupación en serie no es una opción viable para este tipo de configuraciones.

Tabla 28. Variación serie/paralelo, intercambio distribuido.

HE4	S/P	FS	Edn	Edb	Eas	Eaux	RedCO2
		(%)	(kWh/año)				(kg/año)
No cumple	1	58	43068	43068	24988	19346	5394
No cumple	2	53	43068	43068	22943	21534	4952
No cumple	7	33	43068	43068	14380	30697	3104
No cumple	14	19	43068	43068	8284	37220	1788

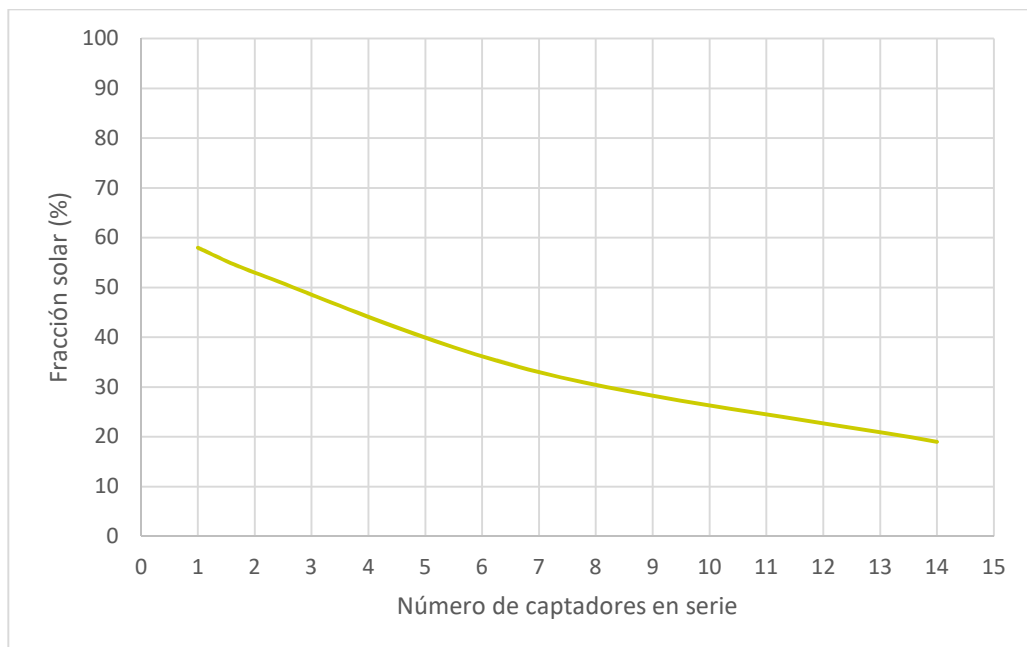


Figura 75. Fracción solar en función de captadores en serie, intercambio distribuido.

3.3.8. Variación del volumen de acumulación.

En este apartado se va a analizar la influencia del volumen de acumulación respecto a los metros cuadrados de captación en los parámetros de la instalación. En este caso, la norma indica que el volumen de acumulación debe de estar contenido entre los valores de 50 y 180 l/m². De esta manera se ha dividido ese rango de valores en partes iguales a excepción del caso base para realizar un barrido completo.

3.3.8.1 Instalación con todo centralizado.

La tabla 29 muestra los resultados obtenidos en el CHEQ4.

Tabla 29. Variación del volumen de acumulación, todo centralizado.

HE4	Vol	FS	Edn	Edb	Eas	Eaux	Eper	Perd	RedCO2
	(l/m2)	(%)	(kWh/año)					(% Edn)	(kg/año)
No cumple	51	59	43068	48939	28824	21523	5871	13.63	6222
No cumple	64	60	43068	48939	29127	21199	5871	13.63	6287
Cumple	75	60	43068	48939	29386	20922	5871	13.63	6343
Cumple	92	61	43068	48939	29791	20489	5871	13.63	6431
Cumple	106	62	43068	48939	30128	20128	5871	13.63	6503
Cumple	120	62	43068	48939	30469	19763	5871	13.63	6577
Cumple	134	63	43068	48939	30815	19393	5871	13.63	6652
Cumple	148	64	43068	48939	31164	19020	5871	13.63	6727
Cumple	179	65	43068	48939	31951	18178	5871	13.63	6897

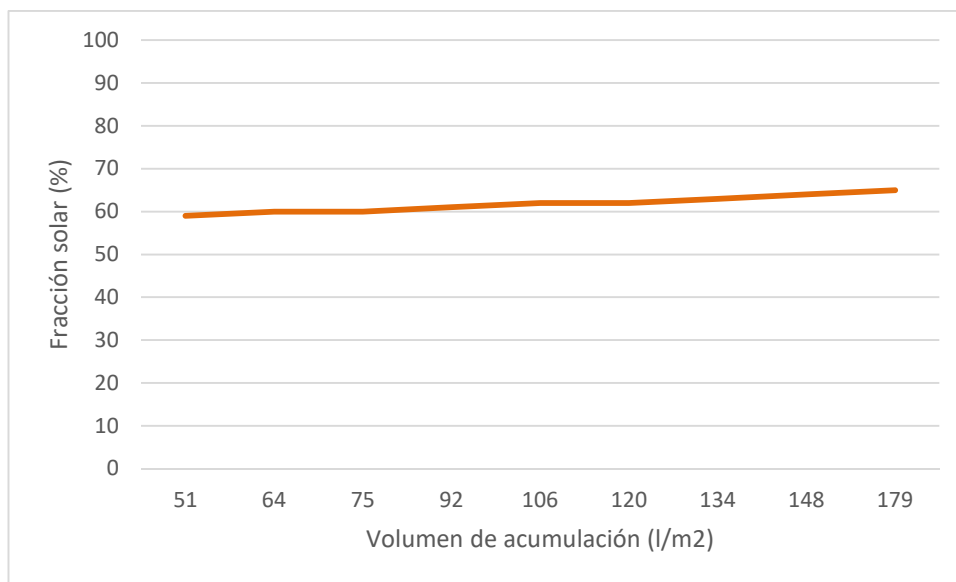


Figura 76. Fracción solar en función de la acumulación, todo centralizado.

Como se puede apreciar en la tabla de resultados, una variación del volumen de acumulación no influye en manera alguna sobre las pérdidas, por lo que la demanda neta y bruta se mantienen constantes durante todo el análisis. Por lo tanto la única influencia

que tiene la variación de este parámetro se refleja en la aportación solar, ya que cuando se aumenta el volumen de acumulación también lo hace la aportación solar.

Sin embargo, esta variación no es demasiado acusada y esto se refleja en el gráfico de la fracción solar, en la figura 76, que se mantiene prácticamente constante con una suave tendencia ascendente.

A pesar de ser casi constante la fracción solar, es suficiente para que las dos instalaciones con menor volumen de acumulación no puedan cumplir la sección HE4 del CTE fundamentalmente debido a que la instalación de referencia se ha seleccionado en el límite de la misma.

3.3.8.2 Instalación con apoyo distribuido.

Los resultados obtenidos son los siguientes que se muestran en la tabla 30.

Tabla 30. Variación del volumen de acumulación, apoyo distribuido.

HE4	Vol	FS	Edn	Edb	Eas	Eaux	RedCO2
	(l/m ²)	(%)	(kWh/año)				(kg/año)
No cumple	51	56	43068	43068	24137	20257	5210
No cumple	64	56	43068	43068	24035	20365	5188
No cumple	75	56	43068	43068	23954	20453	5171
No cumple	92	55	43068	43068	23836	20579	5145
No cumple	106	55	43068	43068	23747	20674	5126
No cumple	120	55	43068	43068	23665	20762	5108
No cumple	134	55	43068	43068	23590	20842	5092
No cumple	148	55	43068	43068	23522	20915	5077
No cumple	179	54	43068	43068	23399	21047	5051

La diferencia entre los dos extremos del intervalo de volumen que permite la norma se traduce en menos de 1000 kWh en un año, por lo que esta variable apenas tiene influencia en los parámetros estudiados.

La fracción solar, en la figura 77, sigue prácticamente una línea recta con una mínima pendiente descendente. De hecho si la instalación tiene una longitud de distribución prácticamente nula la fracción solar no aumenta y se mantiene en un 56%. Por lo tanto, en cuanto a un análisis de sensibilidad basado en el CHEQ4, ésta es una variable que no tiene apenas influencia en la instalación.

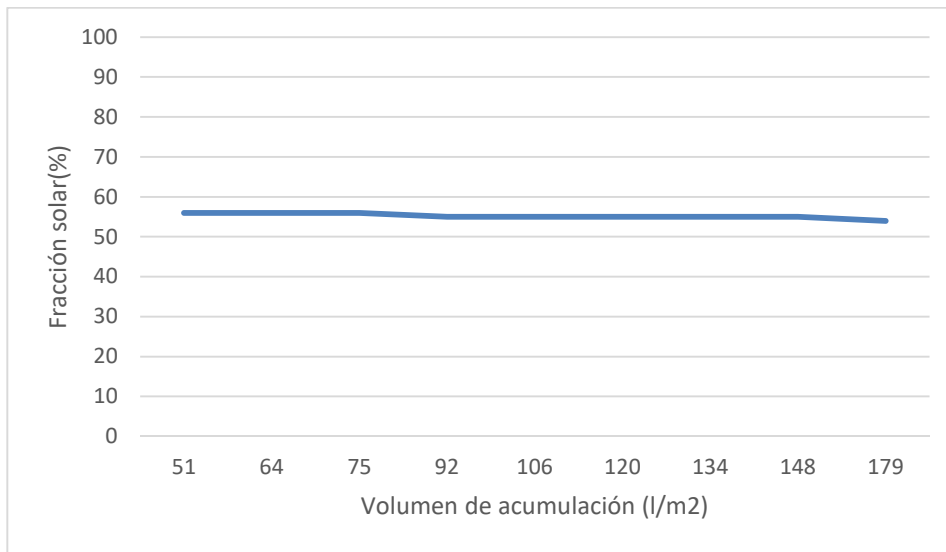


Figura 77. Fracción solar en función de la acumulación, apoyo distribuido.

3.3.8.3 Instalación con acumulación distribuida.

Los resultados obtenidos para una instalación con acumulación distribuida se presentan en la tabla 31.

Tabla 31. Variación del volumen de acumulación, acumulación distribuida.

HE4	Vol	FS	Edn	Edb	Eas	Eaux	RedCO2
	(l/m2)	(%)	(kWh/año)				(kg/año)
No cumple	51	51	43068	43068	21971	22575	4743
No cumple	64	51	43068	43068	21763	22797	4698
No cumple	75	50	43068	43068	21636	22932	4670
No cumple	92	50	43068	43068	21441	23142	4628
No cumple	106	50	43068	43068	21322	23268	4603
No cumple	120	49	43068	43068	21217	23382	4580
No cumple	134	49	43068	43068	21093	23514	4553
No cumple	148	49	43068	43068	21005	23608	4534
No cumple	179	48	43068	43068	20831	23794	4497

La disminución del aporte de energía solar según se aumenta el volumen de acumulación es de 1140 kWh anuales, lo cual es una cantidad baja. Si se mira el consumo auxiliar, a medida que se aumenta el volumen, aumenta el consumo del equipo auxiliar 1219 kWh anuales. Se puede ver como el consumo auxiliar aumenta en mayor medida que el aporte solar debido a las pérdidas internas de la instalación.

La fracción solar que se muestra en la figura 78, varía un 3% entre los dos valores límite que permite la sección HE4. Se puede ver como en este caso el volumen de acumulación tiene un poco más de influencia que en la instalación con apoyo distribuido, aunque la curva tiene una pendiente casi nula.

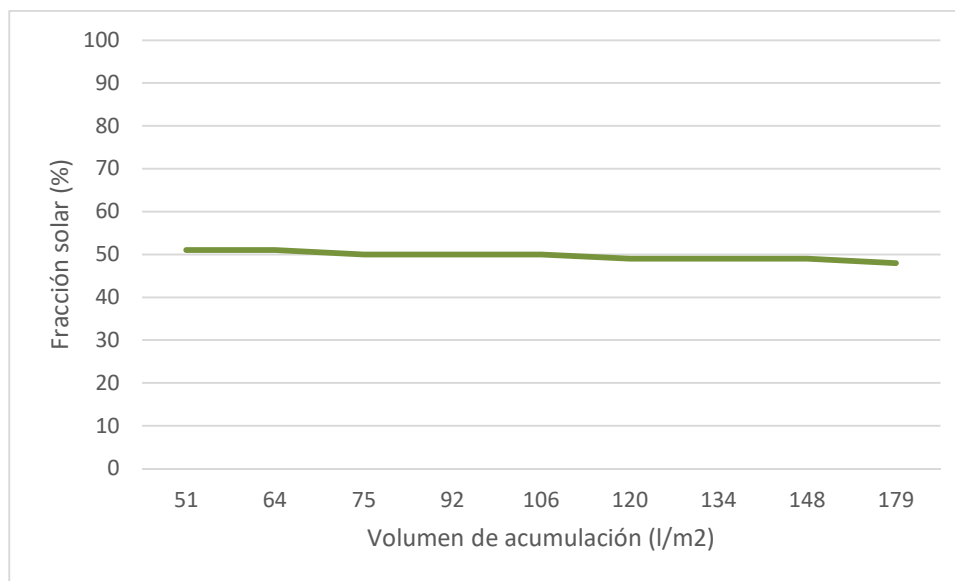


Figura 78. Fracción solar en función de la acumulación, acumulación distribuida.

3.3.8.4 Instalación con intercambio distribuido.

Los resultados para esta instalación se pueden ver en la tabla 32.

La variación del aporte solar en cálculos anuales es de apenas 48 kWh, lo que se puede catalogar de despreciable. De esta manera se puede afirmar que respecto a las magnitudes estudiadas en el CHEQ4, el volumen de acumulación no tiene ninguna influencia en el comportamiento de la instalación.

Es tan pequeña la variación del aporte solar que la fracción solar se mantiene en un 58% durante todo el intervalo de simulación como se puede ver en la figura 79. Por lo tanto la elección de un volumen de acumulación dentro del intervalo que permite la norma respecto al área de captación, atenderá a otros criterios como minimizar pérdidas térmicas del depósito de acumulación o falta de espacios comunes para la instalación de grandes acumuladores.

Tabla 32. Variación del volumen de acumulación, intercambio distribuido.

HE4	Vol	FS	Edn	Edb	Eas	Eaux	RedCO2
	(l/m ²)	(%)	(kWh/año)				(kg/año)
No cumple	51	58	43068	43068	24979	19356	5392
No cumple	64	58	43068	43068	24984	19350	5393
No cumple	75	58	43068	43068	24988	19346	5394
No cumple	92	58	43068	43068	24995	19339	5395
No cumple	106	58	43068	43068	25000	19333	5396
No cumple	120	58	43068	43068	25005	19328	5398
No cumple	134	58	43068	43068	25010	19322	5399
No cumple	148	58	43068	43068	25016	19316	5400
No cumple	179	58	43068	43068	25027	19304	5402

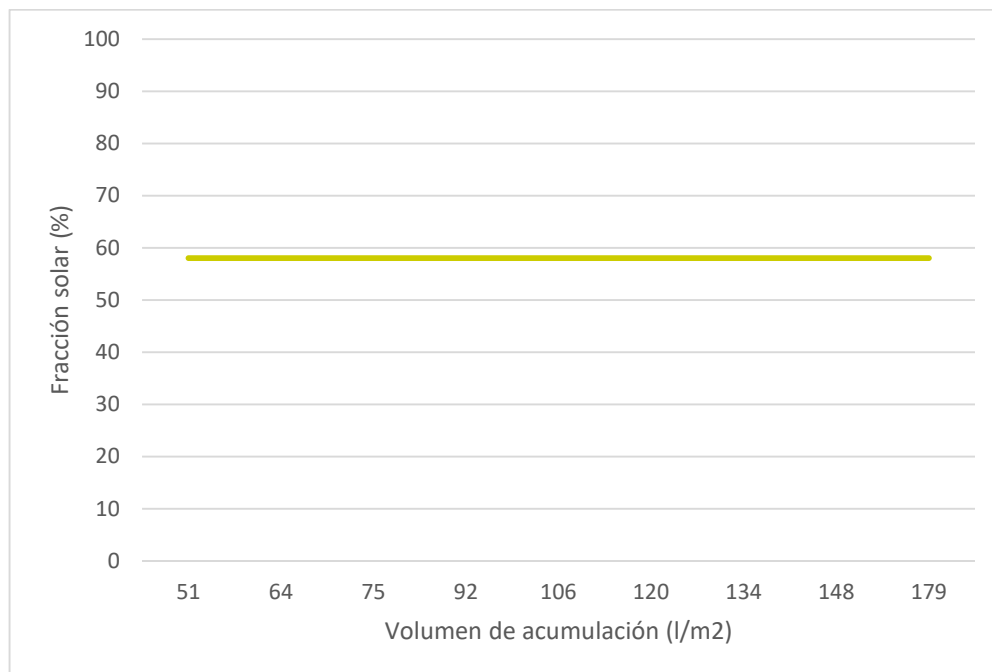


Figura 79. Fracción solar en función de la acumulación, intercambio distribuido.

3.3.9. Variación de la potencia del intercambiador doméstico

En este subapartado se va a analizar brevemente la influencia de la potencia del intercambiador doméstico en la fracción solar para una instalación con intercambio distribuido. A priori es razonable pensar que a medida que se aumenta la potencia del intercambiador aumentará el calor intercambiador y por lo tanto mejorará el comportamiento de la instalación.

Este comportamiento se ve reflejado en la tabla 33 en la cual se ha prescindido de representar las pérdidas porque como se ha expuesto anteriormente, éstas van a ser despreciables. Los intercambiadores permitidos en el CHEQ4 pueden variar desde una potencia de 5 kW hasta una potencia de 50 kW.

Tabla 33. Variación de la potencia del intercambiador doméstico.

HE4	Pex	FS	Edn	Edb	Eas	Eaux	RedCO2
	(kW)	(%)	(kWh/año)				(kg/año)
No cumple	5	50	43068	43068	21484	23095	4637
No cumple	10	53	43068	43068	22928	21550	4949
No cumple	20	57	43068	43068	24470	19900	5282
No cumple	25	58	43068	43068	24988	19346	5394
No cumple	30	59	43068	43068	25420	18884	5487
Cumple	40	61	43068	43068	26115	18140	5637
Cumple	50	62	43068	43068	26668	17548	5757

En la tabla anterior se ve reflejado el comportamiento predicho al inicio del subapartado, a medida que se aumenta la potencia, aumenta la aportación solar del sistema y por lo tanto disminuye el consumo auxiliar, permitiendo que aumente la fracción solar del sistema como se aprecia en la figura 80.

Cuanto mayor es la potencia, aumenta la fracción solar hasta el punto de que los intercambiadores de mayor potencia pueden cumplir la condición de la fracción solar mínima. La elección de la potencia de los intercambiadores domésticos puede influir de manera tan importante en la instalación que entre el intercambiador con menor potencia y el que tiene mayor potencia existe un 12% de diferencia en la fracción solar aportada.

Por lo que si se utiliza un intercambiador lo suficientemente grande para cumplir la

fracción solar, la instalación con apoyo distribuido presentará un mejor comportamiento que la instalación con todo centralizado.

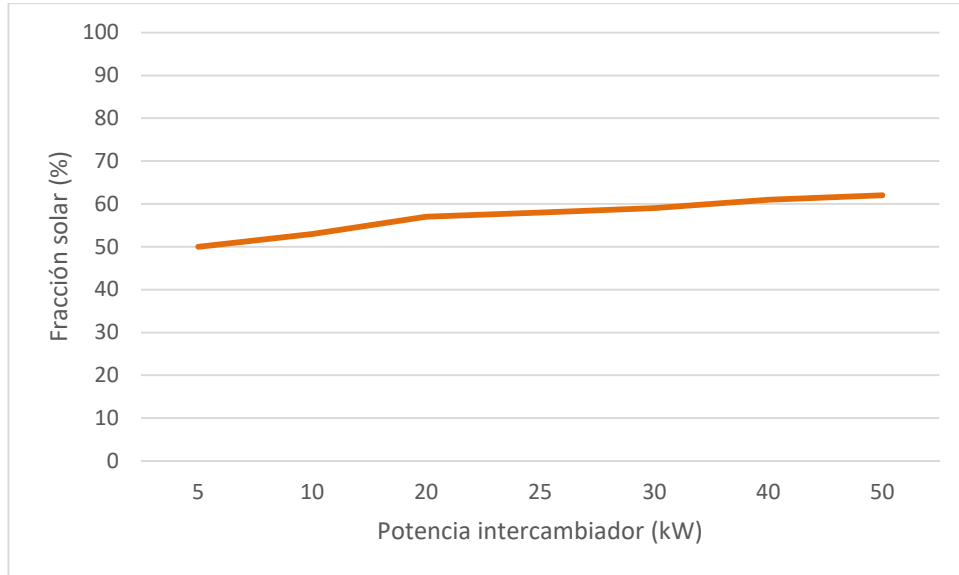


Figura 80. Fracción solar en función de la potencia del intercambiador.

4 RESUMEN Y CONCLUSIONES

4.1. Introducción.

En este capítulo se realizará un resumen de lo expuesto en cada capítulo, sintetizando los puntos más importantes y dando una conclusiones generales sobre los resultados obtenidos durante la realización del presente proyecto.

4.2. Resumen y Conclusiones.

En primer lugar se ha analizado la situación global de la energía solar, viendo que es una de las energías renovables más utilizadas en el sector residencial a nivel mundial. Las instalaciones en viviendas multifamiliares representan un 28% del total de las instalaciones solares instaladas, pero como dato positivo cabe resaltar que este tipo de instalaciones sigue experimentando crecimiento con respecto a nuevas instalaciones.

También se ha analizado el mercado español, uno de los 3 países de los 10 países con mayor superficie instalada de Europa que ha aumentado la superficie instalada, lo que refleja que la salud del mercado solar para el calentamiento de ACS en nuestro país se está recuperando de la crisis económica. Uno de los principales responsables es el Código Técnico de la Edificación donde se obliga a una contribución solar mínima a la demanda de ACS. Tras analizar el mercado español, se ha procedido a estudiar las diferentes normativas que afectan a las instalaciones solares para la producción de ACS, en particular se destacó la importancia de la sección HE4 del CTE.

En el segundo capítulo se ha realizado un estudio de las instalaciones solares en la edificación para la producción de ACS. Se ha estudiado sus tipologías básicas y sus diferentes configuraciones. A continuación, se ha procedido a detallar los numerosos elementos que las conforman. Se ha realizado un tutorial sobre el programa que se ha utilizado en el capítulo 3, el CHEQ4 así como una explicación detallada sobre las diferentes configuraciones más utilizadas en nuestro país.

Por último en el capítulo tres se ha procedido a exponer un caso base sobre el que se realizará un análisis de sensibilidad de una serie de parámetros. El análisis se ha realizado para las cuatro configuraciones explicadas haciendo uso del CHEQ4.

Los resultados obtenidos se pueden resumir de la siguiente manera:

Variación de la superficie de captación. Sin duda se trata del parámetro cuyo aumento conlleva que la fracción solar aumente en consonancia. Sin embargo no se puede aumentar indefinidamente ya que se puede producir el fenómeno de la saturación en la instalación si se supera la demanda del edificio en algunos meses. El comportamiento es en líneas generales similar en todas las configuraciones.

Variación de la orientación. Este parámetro no tiene una gran influencia siempre que se varíe en el intervalo de los -45° a los 0° . Si se orienta del intervalo de 0° a 45° la fracción solar cae según se aleja de la orientación sur. Por lo tanto se concluye que hay que evitar

la orientación suroeste en la localidad de Sevilla.

Variación de la inclinación. La inclinación se ha demostrado que apenas tiene influencia mientras se mueva en un intervalo de los 20° a los 40° pues la fracción solar apenas varía en ese rango. Si la inclinación se aumenta o disminuye saliendo de ese intervalo entonces se observa una mayor caída de la fracción solar sin ser muy acusada en ningún caso.

Variación de la agrupación serie-paralelo. Ha quedado claro en todas las simulaciones que la agrupación en serie es una configuración a evitar pues conforme se aumentan los captadores en serie la fracción solar disminuye de manera considerable.

Variación de la localidad. Se ha demostrado como la localidad donde se sitúa la instalación influye de manera decisiva en el comportamiento de la misma. De manera general se puede concluir que las poblaciones situadas en una zona climática superior, van a conseguir una fracción solar mayor. Sin embargo, se ha realizado un ejemplo entre dos ciudades de la misma zona climática donde se ve que incluso dentro de la misma zona climática los resultados pueden ser dispares.

Variación de la configuración. Los resultados obtenidos muestran como la instalación tiene una mayor fracción solar en la configuración de todo centralizado pero también presenta mayores pérdidas en el transporte. La instalación con acumulación distribuida presenta los peores resultados por lo que su instalación no se recomienda. Las instalación con intercambio distribuido y la instalación con apoyo distribuido presentan una fracción solar un 2% y 4% mas baja que la instalación con todo centralizado respectivamente. Se puede concluir por tanto que la instalación con mejor comportamiento es la que tiene todo centralizado, mientras que la tiene acumulación distribuida se debe evitar su instalación si las otras opciones son viables.

Variación de la longitud de distribución. Se puede ver como éste es un parámetro que solo tiene relevancia en la instalación con todo centralizado pues afecta directamente a las pérdidas en el transporte, ocasionando una disminución de la fracción solar según se aumenta la longitud. En el resto de configuraciones es un parámetro que no tiene una influencia reseñable en el comportamiento de la instalación.

Variación del volumen de la acumulación. Se ha observado que este parámetros es el que tiene menos relevancia en el comportamiento de la instalación por lo que su aumento no provoca un aumento destacable de la fracción solar. Como ejemplo, se obtiene que para la instalación con intercambio distribuido la fracción solar no presenta ningún cambio en todo el intervalo analizado.

Variación de la potencia del intercambiador doméstico. En el caso de las instalaciones con intercambio distribuido, existe un último parámetro a variar que se revela de gran importancia a la hora de aumentar la fracción solar. Se ha visto que según aumenta la potencia, la fracción solar experimenta una mejoría destacable.

Referencias

[1] Asociación Española de Normalización y Certificación, AENOR, (Junio 2005). UNE 94002. Instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria. Cálculo de la demanda de energía térmica.

[2] Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía, IDAE. Manual de usuario para CHEQ4.

<http://cheq4.idae.es/userfiles/file/Manual%20de%20usuario%20CHEQ4.pdf>

[3] Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía, IDAE. Metodología de cálculo Metasol.

http://www.cheq4.idae.es/userfiles/file/Metodologia_de_calculo_MetaSol.pdf

[4] Solar Heat Worldwide. <http://www.iea-shc.org/solar-heat-worldwide>

[5] Asociación Solar de la Industria Térmica, ASIT. Guía ASIT de la energía solar térmica.

http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/Reconocidos/Guia_Asit_de_la_energia_solar_termica.pdf

[6] Documento Básico HE. Ahorro de energía.

<http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DBHE.pdf>

[8] Enerdata. <http://www.enerdata.net/>

[9] Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios, RITE.

<http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reglamento/RDecreto-1027-2007-Consolidado-9092013.pdf>