

Trabajo Fin de Máster
Master Universitario en Ingeniería Industrial

Análisis comparativo de métodos de cálculo simplificados en instalaciones de energía solar térmica a baja temperatura

Autor:

Francisco Javier Salvá Becerra

Tutor:

José Julio Guerra Macho
Catedrático de Universidad

Alfredo Iranzo Paricio

Departamento Ingeniería Energética
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2020

Índice

Índice de Figuras	6
Índice de gráficas	8
Índice de tablas.....	9
1. Introducción.....	10
1.1 Introducción.....	10
1.2 La producción de agua caliente sanitaria por energía solar	10
1.3 Esquema básico de los sistemas de energía solar para ACS	12
1.4 Clasificación de los sistemas de energía solar para ACS	14
1.5 Acoplamiento captador solar-depósito de acumulación.....	15
1.6 Protección contra heladas	17
2. Descripción de los programas de simulación	19
2.1 Introducción.....	19
2.2 Programa CHEQ4.....	19
2.2.1 Metodología de cálculo MetaSol.....	19
2.2.2 Pantallas	20
2.3 Programa ACSOL	35
2.3.1 Metodología de cálculo ACSOL	36
2.3.2 Pantallas:	36
3. Estudio de casos	47
3.1 Introducción.....	47
3.2 Datos de entrada	47
3.3 Definición de los casos.....	50
3.4 Simulación de los casos.....	51
3.5 Análisis de resultados	56
4. Resumen y conclusiones.....	62
5. Bibliografía.....	63
ANEXOS.....	64

Índice de Figuras

Figura 1: Aplicaciones de la energía solar térmica.	11
Figura 2: Superficie instalada en España 2006 – 2017 (ASIT, 2017)	12
Figura 3: Energía solar.	12
Figura 4: Esquema de la instalación.....	13
Figura 5: Instalación con acumulador	14
Figura 6: Esquema instalación por circulación forzada	15
Figura 7: Depósito con intercambiador de calor	17
Figura 8: Conexión de depósitos en serie.....	18
Figura 9: Conexión de depósitos en paralelo	18
Figura 10: Diferentes tipo de acumuladores.....	19
Figura 11: Datos del proyecto	21
Figura 12: Localización.....	21
Figura 13: Configuración.	22
Figura 14: Instalación para consumo único con sistema prefabricado.....	23
Figura 15: Instalación para consumo único con interacumulador.....	24
Figura 16: Instalación para consumo único con intercambiador independiente.	24
Figura 17: Instalación para consumo único con intercambiador y piscina cubierta.....	24
Figura 18: Instalación para consumo múltiple con todo centralizado.....	25
Figura 19: Instalación para consumo múltiple, acumulación centralizada y apoyo distribuido..	25
Figura 20: Instalación para consumo múltiple con acumulación distribuida.	26
Figura 21: Instalación para consumo múltiple con intercambio distribuido.	26
Figura 22: Demanda con consumo único.	27
Figura 23: Demanda con consumo múltiple.....	28
Figura 24: Parámetros del sistema. Solar/Apoyo.	29
Figura 25: Base de dato de materiales aislantes.	30
Figura 26: Cálculo de longitud equivalente.	31
Figura 27: Otros parámetros del sistema.	32
Figura 28: Circuito y distribución.	33
Figura 29: Circuito de distribución de las subestaciones.	33
Figura 30: Resultados.....	34
Figura 31: Revisión normativa.....	35
Figura 32: Instalaciones para consumo múltiple.....	37
Figura 33: Instalación de calefacción y ACS.	37
Figura 34: Instalación con piscina y ACS.	37
Figura 35: Pantalla presentación del programa ACSOL	38
Figura 36: Pantalla principal (Main).	39
Figura 37: Pantalla condiciones exteriores.....	39
Figura 38: Pantalla circuito primario (1).....	40
Figura 39: Pantalla circuito primario (2).....	41
Figura 40: Pantalla circuito primario (3).....	41
Figura 41: Pantalla circuito secundario.	42
Figura 42: Pantalla terciario (1).	43
Figura 43: Pantalla terciario (2).	43
Figura 44: Pantalla terciario.	44
Figura 45: Pantalla de control de la instalación.	45
Figura 46: Pantalla consumo y emisiones.	45
Figura 47: Pantalla simulación.	46

Figura 48: Diferentes opciones de resultados.....	46
Figura 49: Catálogo del captador solar.....	50
Figura 50: Contribución solar mínima según HE4 en %.....	51

Índice de gráficas

Gráfica 1: Contribución solar CHEQ4-ACSOL.....	56
Gráfica 2: Demanda neta CHEQ4-ACSOL.....	57
Gráfica 3: Pérdidas CHEQ4-ACSOL.....	57
Gráfica 4: Evolución de la fracción solar para sistemas con todo centralizado	58
Gráfica 5: Evolución de la fracción solar para sistemas con apoyo distribuido.....	58
Gráfica 6: Evolución de la fracción solar para sistemas con acumulación distribuida.	59
Gráfica 7: Evolución de la fracción solar con la longitud de tuberías de distribución.....	59
Gráfica 8: Evolución de la fracción solar por sistema para misma longitud de tubería.	60
Gráfica 9: Evolución de la fracción solar por sistema para mismo número de captadores.	60

Índice de tablas

Tabla 1: Datos de entrada CHEQ4.....	48
Tabla 2: Datos de entrada ACSOL.....	49
Tabla 3: Datos de entrada caso base y variaciones en CHEQ4.....	52
Tabla 4: Datos de entrada caso base y variaciones en ACSOL.....	53
Tabla 5: Identificación de los casos.	61

1. Introducción

1.1 Introducción

Como trabajo de fin de máster se presenta el diseño de diferentes instalaciones de energía solar con dos programas: CHEQ4 y ACSOL. Ambos son programas muy intuitivos y que se pueden descargar de forma gratuita vía online. El primero de ellos se puede descargar en la página oficial de IDAE y el segundo también online.

El principal objetivo es comparar los resultados que obtenemos con cada uno de los programas para, de ellos, sacar conclusiones al respecto del uso de ambos. Estos, deben ser cuanto menos similares puesto que vamos a introducir los mismos datos en ambos programas. Por supuesto, habrá que adaptar los datos según el programa, puesto que no piden los mismos datos de entrada cada uno de ellos exactamente.

Se presenta como un tema de especial interés, puesto que el diseño de instalaciones mediante estos programas es muy sencillo e intuitivo si se tienen unos conocimientos básicos de diseño de instalaciones. Se gana tiempo lo que implica directamente un aumento del estudio del número de posibilidades. En este proyecto, por ejemplo, se estudian ciento ochenta casos posibles.

La elección de este tema se debe al importante valor que tienen las energías renovables en el mundo, entre ellas la energía solar. Hoy en día, es una de las energías renovables más empleadas y está en continuo auge. Además, nuestro país tiene muy buenos recursos para este tipo de energía por la radiación solar que incide en nuestra superficie.

Existen varios tipos de aprovechamiento de energía solar, pero el más común es el que se emplea para agua caliente sanitaria, por ser más simple y existir varias posibilidades. Ese será el que se proponga para las instalaciones objeto de estudio en el proyecto.

El trabajo consistirá en una presentación de ambos programas con sus diferentes pantallas y exigencias, para después pasar de lleno al cálculo y comparación de las instalaciones. En la primera parte, se explica el procedimiento a seguir para hacer un correcto uso de los programas, a modo de tutorial. Posteriormente, se consideran los datos de entrada, así como los resultados obtenidos. Finalmente, se realizará un análisis de lo obtenido para sacar conclusiones

1.2 La producción de agua caliente sanitaria por energía solar

Debido al aumento exponencial del consumo de energía, relacionado con el desarrollo tecnológico de las sociedades y las afecciones ambientales que conllevan, la utilización de energías renovables es, hoy por hoy, una exigencia inevitable, tanto desde el punto de vista social como técnico.

La necesidad de incorporar estas nuevas fuentes de energía, principalmente se resumen en tres motivos: los efectos medioambientales (por ejemplo, las emisiones de gases efecto invernadero que están provocando el cambio climático del planeta), el aumento de la población mundial y el uso desmesurado de los recursos con el fin de obtener y mantener las fuentes de energía actualmente más utilizadas.

El término “energía renovable” se puede definir como aquella energía que se produce de forma continua, es inagotable a escala humana y es una fuente de abastecimiento energético respetuosa con el medio ambiente. Son fuentes de energía que están presentes en la naturaleza gracias a procesos que son naturales. Por este motivo, estas fuentes son las asociadas al agua, al aire, al sol, al calor de la tierra, etc. Así pues, se pueden englobar en este concepto, entre otras, energías tales como la eólica, hidráulica, biomasa, geotérmica, y la que en este proyecto se pretende desarrollar, la energía solar.

Dentro de la energía solar tenemos las aplicaciones de energía solar a baja temperatura, siendo las más extendidas en edificación las instalaciones para producción de agua caliente sanitaria (ACS). Las instalaciones solares térmicas permiten la generación de agua caliente en los edificios y viviendas, aprovechando la radiación solar que es captada por los paneles, y convertida en energía térmica. El resultado consiste en edificios que se comportan de manera auto-suficiente, para cubrir en este caso, la mayor parte de la demanda de ACS de sus ocupantes.

Una manera ecológica y sostenible, de obtener agua caliente sanitaria en los edificios, es mediante el aprovechamiento de la radiación solar, utilizando para ello una instalación solar térmica. Dicha instalación se encarga de captar la radiación solar incidente, a través de unos paneles -captadores- solares térmicos en los que se calienta un líquido, obteniendo así energía térmica útil. Dicho líquido es utilizado para transportar dicha energía térmica, al sistema de intercambio o de acumulación, y de ahí al punto de consumo.

La necesidad de instalar sistemas que utilicen la energía solar para el calentamiento de agua, se ha traducido en el desarrollo de nuevas soluciones y tecnologías que aprovechen este recurso energético. Tanto los fabricantes de equipos de calefacción y agua caliente sanitaria (ACS) como los productores de paneles y colectores solares han debido ponerse al día para adaptar sus equipos, y hacer que unos y otros confluyan hacia un mismo fin: el aprovechamiento del Sol como fuente de energía inagotable. “Un sistema solar térmico es una instalación que permite utilizar la inagotable fuente de energía natural del Sol para producir ACS.

Es por esto, que cada vez son más los edificios y viviendas que cuentan con este tipo de instalación, como podemos ver en la figura 1.

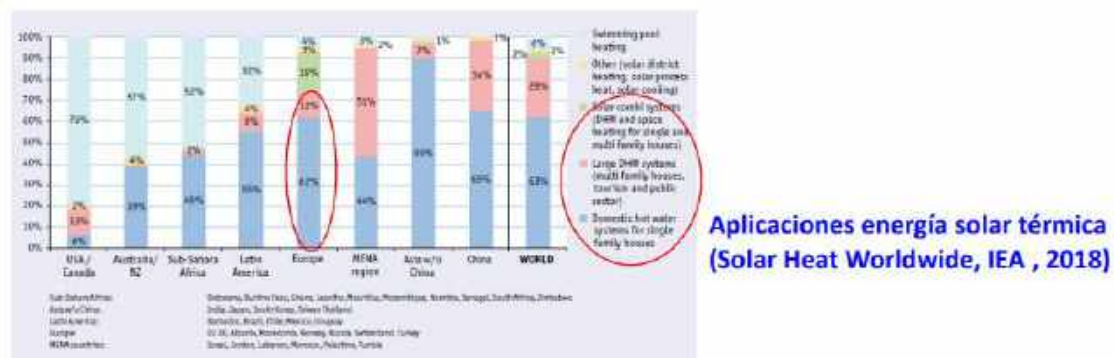


Figura 1: Aplicaciones de la energía solar térmica.

En cuanto a nuestro país, España, se ha notado un gran crecimiento de este tipo de instalación en los últimos años. La concienciación de la gente con este tema y los avances tecnológicos del sector han conseguido que pueda ser accesible para todos los públicos. Lo cual es muy positivo, puesto que como bien se ha dicho antes es una energía renovable a la vez de económica. En las siguientes figuras se puede ver la evolución que ha sufrido en nuestro país.

Como se puede ver en la figura 2, protagonizó un gran crecimiento alrededor de 2008. En los años posteriores, se siguieron instalando, aunque no con el boom que tuvieron, debido fundamentalmente a la crisis de la construcción. Durante los últimos años, el mercado anual en España se ha estabilizado en torno a los 250.000 m² de captadores solares planos aproximadamente. Pero, como es lógico, cada vez se acumulan más instalaciones de este tipo puesto que tienen una gran vida útil. También es importante destacar que este tipo de instalaciones necesita de un mantenimiento cuidadoso, cosa que no todos los usuarios hacen, lo que puede disminuir su rendimiento y durabilidad.

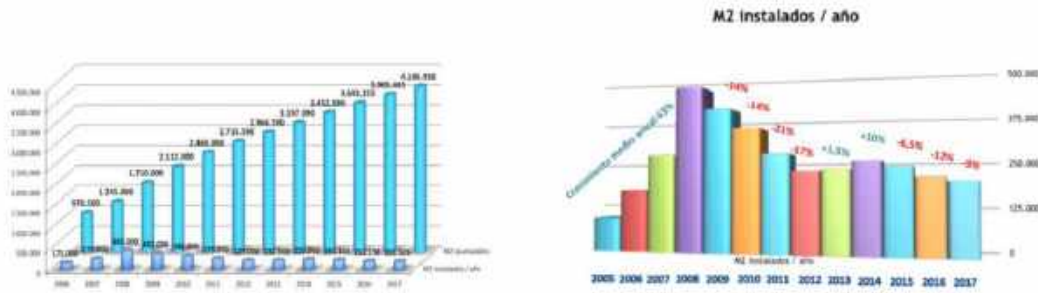


Figura 2: Superficie instalada en España 2006 - 2017 (ASIT, 2017)

Además, España es uno de los países pioneros en la utilización de la energía solar de esta forma. Es lógico, puesto que es uno de los países de los que más horas de sol disfruta, así como de los que incide éste con más fuerza. En este aspecto se puede decir que España es pionera en Europa, aunque cada vez más está llegando a todos los rincones del continente, en muchos de ellos combinando este tipo de instalación con una instalación auxiliar para la ausencia de sol.

1.3 Esquema básico de los sistemas de energía solar para ACS

La radiación solar se trasladan en línea recta, los fotones al llegar a la atmósfera sufren difusiones y dispersiones, esta luz difundida finalmente llega también a la superficie, y al haber cambiado muchas veces de dirección al atravesar la atmósfera, lo hace como si proviniese de toda la bóveda celeste. A esta radiación se le conoce con el nombre de radiación difusa.

Por tanto, la radiación que llega a la superficie de la Tierra depende básicamente de: la radiación que llega directamente del Sol y que no ha sufrido ningún cambio en su dirección de propagación (radiación directa) y la radiación difusa, que es el resultado de múltiples reflexiones y refracciones de la radiación directa en la atmósfera (debido a la presencia de nubes, moléculas de dióxido de carbono, agua, etc.).

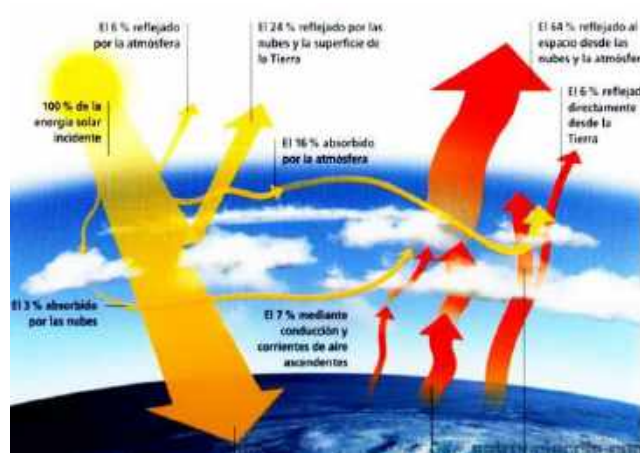


Figura 3: Energía solar.

Finalmente, cabe destacar que la intensidad de energía solar disponible en un punto determinado de la Tierra depende, de forma complicada pero predecible, del día del año, de la hora y de la latitud. Además, la cantidad de energía solar que puede recogerse depende de la orientación del dispositivo receptor.

Todo esto se tiene que tener en cuenta a la hora del diseño de la instalación, puesto que se mejorará el rendimiento de esta. Hay muchos parámetros medidos a día de hoy que proporcionan información precisa a la hora del diseño.

El objetivo de un sistema de energía solar es captar la radiación solar incidente con la máxima eficiencia y aportar el mayor porcentaje de la demanda posible, Para ello los sistemas de energía solar se configuran mediante un conjunto de subsistemas (Figura 4).

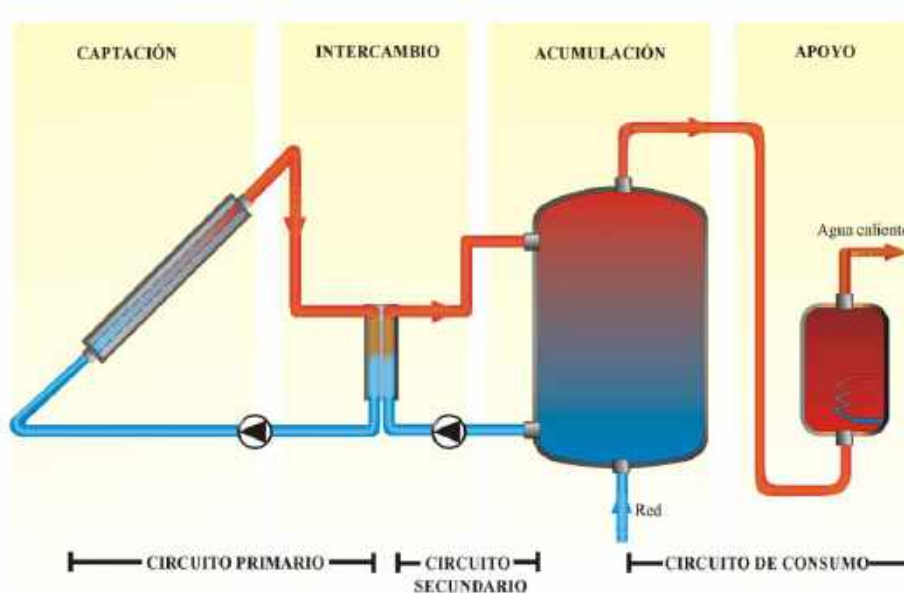


Figura 4: Esquema de la instalación.

- Sistema de captación: formado por uno o varios captadores solares que se sitúan en la parte exterior y más alta del edificio, convenientemente orientados a los rayos solares. Es la parte de la instalación que transforma la radiación solar incidente en energía térmica del fluido que circula por su interior.
- Sistema de acumulación o acumulador: encargado de almacenar el agua caliente obtenida para su posterior uso.
- Sistema de intercambio o intercambiador: realiza la transferencia de calor entre los fluidos que circulan por circuitos diferentes. Puede ir instalado dentro o fuera del acumulador. En la instalación mostrada en la figura el intercambiador de calor es externo al depósito acumulador.
- Sistema de transporte o de circulación: formado por las tuberías dotadas de aislamiento térmico y de los elementos de impulsión (bomba de agua) y otros accesorios, como vaso de expansión, purgadores de aire, válvulas, etc.
- Sistema auxiliar de apoyo: para complementar el aporte de calor en aquellos periodos de escasa radiación solar, o bien, cuando la demanda de agua caliente sea superior a la que el sistema solar pueda proporcionar por su diseño.

Cabe destacar que también suele haber un sistema de control y regulación que asegura el correcto funcionamiento del conjunto de componentes que conforman el sistema termosolar.

1.4 Clasificación de los sistemas de energía solar para ACS

→ Por el sistema de circulación, se clasifican en sistemas por termosifón y sistemas de convección forzada.

Las instalaciones por termosifón funcionan sin bomba de circulación, El principio de funcionamiento se resume en la figura 5.

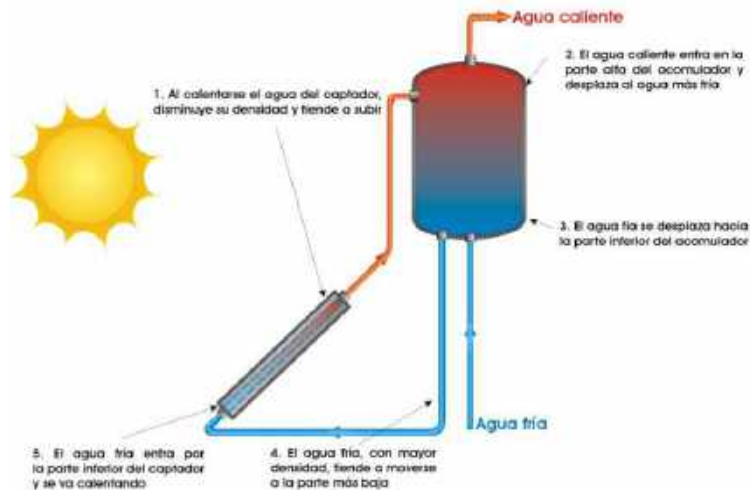


Figura 5: Instalación con acumulador.

Como principales ventajas se tienen la sencillez y fiabilidad, la capacidad de autorregulación, el menor coste con respecto a los sistemas por circulación forzada y que no necesita bomba de circulación, entre otras cosas. En cuanto a los inconvenientes; necesita un diseño y montaje muy cuidadoso que minimice las pérdidas de carga, no permite controlar la temperatura máxima en captadores, posibilidad de flujo invertido, escasa estética del sistema y difícil integración arquitectónica, entre otras cosas. Se suele usar en instalaciones individuales. En las instalaciones por circulación forzada, la principal diferencia es que este tipo de instalaciones tiene una bomba auxiliar para ayudar a la circulación del fluido por el circuito. Un esquema sencillo de estos sistemas se representa en la figura 6.

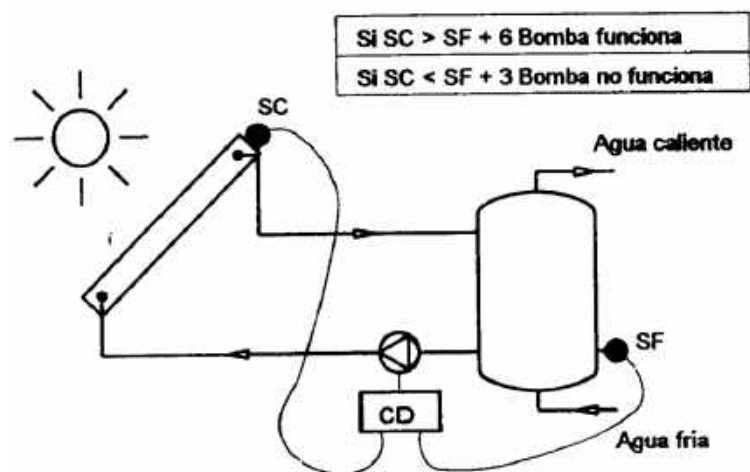


Figura 6: Esquema instalación por circulación forzada.

Como principales ventajas se tienen; el control más preciso del sistema, se permite controlar la temperatura máxima en captadores, no se produce flujo invertido y la mejor estética del sistema e integración arquitectónica. En cuanto a los inconvenientes se tienen los siguientes; mayor coste que los sistemas por termosifón, necesidad de bomba de circulación y por tanto consumo de energía eléctrica para mover el fluido. Se suele usar en instalaciones colectivas o individuales.

- ➔ Por el sistema de intercambio: Instalaciones de transferencia indirecta: intercambiador exterior o interacumulador e instalaciones de transferencia directa.
- ➔ Por la forma de acoplamiento: Sistema compacto, Sistema integrado y sistema partido.
- ➔ Por el sistema de energía auxiliar: Instantáneo (individual, distribuido, centralizado). En acumulador secundario (individual, distribuido, centralizado). En acumulador solar.

1.5 Acoplamiento captador solar-depósito de acumulación

En una instalación de energía solar térmica, la acumulación de energía es necesaria debido al desfase que existe entre la radiación solar y el consumo.

La función de la acumulación es independizar el circuito de captación solar (oferta) del circuito de consumo (demanda). La acumulación desempeña el papel de un volante de inercia en un sistema mecánico. Su objetivo es almacenar la energía solar captada para poder suministrarla posteriormente cuando existe demanda (configuración en serie).

Se puede prescindir de la acumulación si se adopta como criterio de diseño aportar la energía solar captada sólo cuando esté disponible en el subsistema de captación. Este criterio se aplica cuando la demanda de energía de la instalación es prácticamente constante durante las horas de disponibilidad del recurso renovable.

La introducción del subsistema de acumulación en una instalación de energía solar conlleva que se puede satisfacer una determinada fracción de la demanda con diferentes tamaños de la instalación (superficie de captación y volumen de acumulación). El tamaño de la instalación por tanto no es único y el dimensionado final es el resultado de un proceso de optimización.

Requisitos del depósito de acumulación:

- Calor específico elevado del medio de acumulación
- Pérdidas térmicas bajas (superficie exterior reducida y buen nivel de aislamiento)
- Buena estratificación de temperaturas en el acumulador
- Vida útil al menos equivalente al del captador solar
- Bajo coste y disponibilidad del medio de acumulación
- Buenas propiedades medioambientales del medio de acumulación y del acumulador.
- Capacidad de soportar las temperaturas y presiones de trabajo.

El medio de acumulación depende básicamente del fluido de trabajo en el captador solar:

- Captadores de agua: Depósito de agua. Se utiliza en las instalaciones de ACS
- Captadores de aire: Acumulador en lecho de rocas.

Los depósitos de agua caliente pueden incorporar un intercambiador de calor. En este caso se denominan interacumuladores (Figura 7).

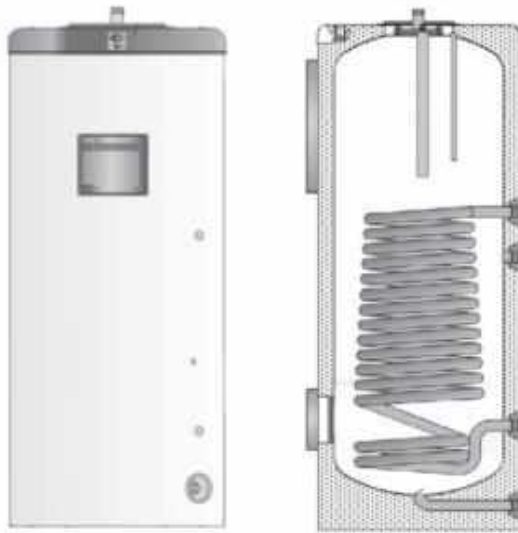


Figura 7: Depósito con intercambiador de calor.

En caso de que exista más de un depósito en la instalación, se pueden conectar en serie o en paralelo (Figuras 8 y 9). El criterio es mejorar el rendimiento del captador solar y reducir consumo del sistema auxiliar.

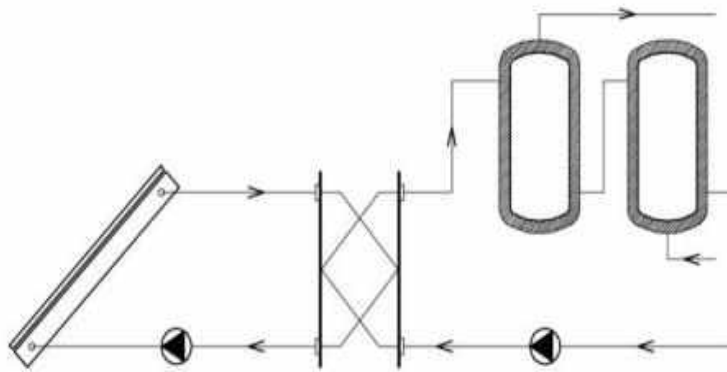


Figura 8: Conexión de depósitos en serie.

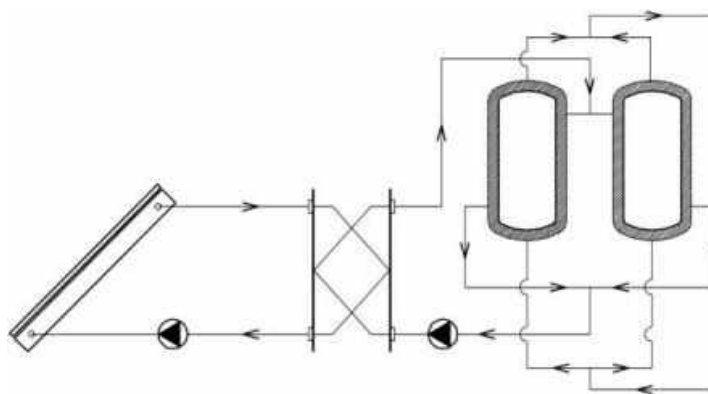


Figura 9: Conexión de depósitos en paralelo.

Por último, los depósitos de agua caliente se denominan de forma diferente en función de sus características y situación en la instalación (Figura 10).

Acumulador de inercia: se utiliza en grandes instalaciones, y es independiente del circuito de ACS. Al trabajar en circuito cerrado la protección frente a la corrosión es menos exigente y la presión de trabajo independiente de la presión del agua de red.

Acumulador de precalentamiento solar y acumulador del sistema convencional: resistentes a la corrosión debido a la presencia de oxígeno (trabaja en circuito abierto). La presión de trabajo es igual a la de suministro del agua de red.

Acumulador solar de ACS: mismos requerimientos que el acumulador de precalentamiento solar, con el que coincide si no existe acumulador de inercia.

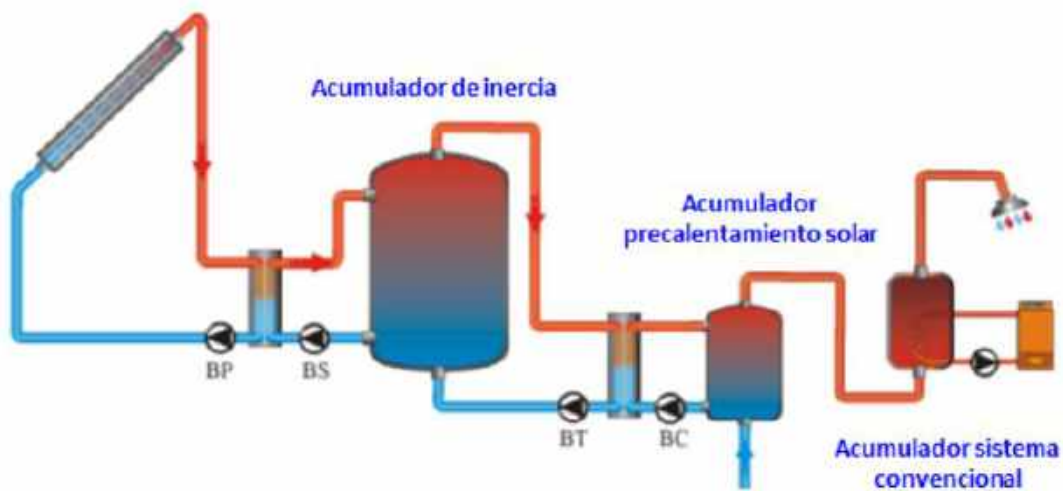


Figura 10: Diferentes tipos de acumuladores.

1.6 Protección contra heladas

Es importante que la instalación esté protegida contra heladas puesto que esto puede acabar con ella. Hay que tener siempre claro que estará a la intemperie. A continuación, se muestran los medios más usados para proteger instalaciones con sus características principales.

→ Anticongelante:

Limitaciones: Solo en sistemas indirectos.

Fiabilidad: Media/alta, siempre que esté bien dosificado.

Mantenimiento: Medio/alto. Renovación anticongelante, fugas.

Operación: Válido para todas las zonas.

Uso: Zonas con riesgo de heladas frecuentes.

Coste: Medio/alto.

→ Recirculación circuito primario:

Limitaciones: Solo en sistemas con circulación forzada.

Fiabilidad: Alta. Posible error en sensores. Corte suministro eléctrico.

Mantenimiento: Muy bajo.

Operación: No válido en zonas con temperaturas muy bajas (disminuye el rendimiento).

Uso: Zonas con riesgo de heladas no muy frecuentes.
Coste: Bajo.

➔ Drenaje automático de la instalación:

Limitaciones: Solo en sistemas indirectos.
Fiabilidad: Baja (problemas de vaciado/llenado). Eliminación de aire.
Mantenimiento: Alto.
Operación: Válido para todas las zonas.
Uso: No se recomienda.
Coste: Alto.

➔ Resistencia en captadores:

Limitaciones: Ninguna
Fiabilidad: Media/alta. Posible error en sensores. Corte suministro eléctrico
Mantenimiento: Bajo
Operación: Válido en zonas con riesgo de heladas poco frecuentes
Uso: Zonas con riesgo de heladas poco frecuentes
Coste: Bajo

2. Descripción de los programas de simulación

2.1 Introducción

En este capítulo se describen los programas CHEQ4 y ACSOL. Ambos programas permiten el dimensionado de las instalaciones de energía solar para producción de agua caliente sanitaria y ambos se han desarrollado a partir de TRNSYS, un programa de simulación dinámico en base horaria, que simula componentes antes que sistemas.

Para cada programa se describe las diferentes pantallas de entrada de datos, como paso previo al análisis de los casos a simular y con el objetivo final de garantizar que las variables de entrada en los diferentes casos son iguales en ambos programas, Para ello hay que garantizar que utilizan la misma base de datos meteorológica y de consumo, que los sistemas simulados coinciden en ambos programas, que una misma característica como es el caso del modificador del ángulo de incidencia de los captadores solares tiene el mismo valor en cada programa aunque se evalúen de diferente manera y que en general se puedan establecer las deferencias en las variables de entrada de ambos programas.

A partir del análisis desarrollado en este apartado se define en el capítulo siguiente la metodología adoptada para la definición de las variables de entrada de los programas de simulación.

2.2 Programa CHEQ4

Es una herramienta para validar el cumplimiento de la contribución solar mínima de agua caliente sanitaria en instalaciones solares térmicas, determinado conforme a la sección HE4 del Código Técnico de la Edificación.

Con esta aplicación, el IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) y ASIT (Asociación Solar de la Industria Térmica) quieren ofrecer a todos los actores implicados en las labores de control y verificación del cumplimiento de la contribución solar mínima del diseño de instalaciones solares térmicas, así como a los propios diseñadores, una nueva forma rápida y precisa de comprobar el correcto dimensionado de dichas instalaciones.

Esta herramienta utiliza como motor la nueva metodología de cálculo MetaSol. CHEQ4 es una herramienta que permite validar el cumplimiento de la contribución solar mínima correspondiente del dimensionado de las instalaciones solares, siempre que estas queden suficientemente representadas dentro de su ámbito de aplicación (configuración elegida, etc.). No obstante, no se trata de una herramienta de diseño. (Su correcta aplicación es suficiente para acreditar el cumplimiento, desde el punto de vista energético, de los requisitos establecidos en la sección HE4. El no cumplimiento de la contribución solar mínima mediante este procedimiento no invalida la posibilidad de demostrar su cumplimiento mediante otros procedimientos)

2.2.1 Metodología de cálculo MetaSol

MetaSol es una metodología de cálculo basada en curvas obtenidas a partir de los resultados de más de 69.000 simulaciones dinámicas realizadas con TRNSYS. Todas las configuraciones de

CHEQ4 han sido modelizadas con TRNSYS y simuladas posteriormente para una gran variedad de escenarios. Finalmente, mediante un complejo tratamiento estadístico, se han determinado cuales eran las variables más significativas y se ha podido obtener un total de 14 curvas, dos por configuración, que permiten predecir las ganancias y pérdidas de cada uno de los sistemas.

Gracias a este proceso, es posible obtener la gran precisión, que solo se puede alcanzar mediante la simulación dinámica, con una metodología de cálculo estática cuasi instantánea. A diferencia de otros métodos de cálculo basados en curvas, CHEQ4 está especialmente diseñado para las tipologías de instalaciones más habituales y la climatología de nuestro país.

El programa incorpora una base de datos de los diferentes fabricantes de captadores solares que se comercializan en España, así como la base de datos de consumos de agua caliente sanitaria y datos climáticos de acuerdo a lo establecido en el Código Técnico de la Edificación.

Una vez actualizada la base de datos de captadores solares y definido el proyecto, el programa se estructura en seis pantallas que permiten definir los parámetros básicos de la instalación.

2.2.2 Pantallas

El programa CHEQ4 incorpora las siguientes pantallas:

- Datos del proyecto
- Localización
- Configuración
- Demanda
- Solar/Apoyo
- Otros parámetros
- Resultados

A continuación se describe el contenido de cada una de estas pantallas

a) Datos del proyecto

En la figura 1 se muestra la ventana “Datos del proyecto”, que permite al usuario especificar datos generales del proyecto y de su autor. Dichos parámetros figurarán en el informe de resultados y permitirán a terceros identificar el proyecto en cuestión.



Figura 11: Datos del proyecto.

Los campos que se deben cumplimentar son:

- Nombre del proyecto: nombre del proyecto que se desea certificar.
- Comunidad: comunidad autónoma en la que se ubicará la instalación (opcional).
- Localidad: localidad en la que se ubicará la instalación.
- Dirección: calle y número en la que se ubicará la instalación.
- Nombre: nombre del autor del proyecto
- Empresa o institución: nombre de la empresa o institución responsable del proyecto.
- Email: dirección de correo electrónico de contacto
- Teléfono: teléfono de contacto.

Es posible acceder en cualquier momento a la ventana “Datos del proyecto” mediante el botón “Datos del proyecto”, que se encuentra en la parte inferior de la ventana principal de CHEQ4.

b) Localización

Las condiciones ambientales y climatológicas son algunos de los factores más importantes a considerar durante el diseño de cualquier instalación solar térmica. Estos condicionarán la demanda, la ganancia y las pérdidas energéticas de dicha instalación.

En CHEQ4 todos los parámetros ambientales y climatológicos del sistema se definen en la pestaña "Localización" (Figura 2). El usuario únicamente debe seleccionar una localización para la instalación (provincia y municipio) y su altura absoluta respecto al nivel del mar. Automáticamente, el programa mostrará la zona climática a la que pertenece dicho municipio (según HE4), su latitud y su altura de referencia.

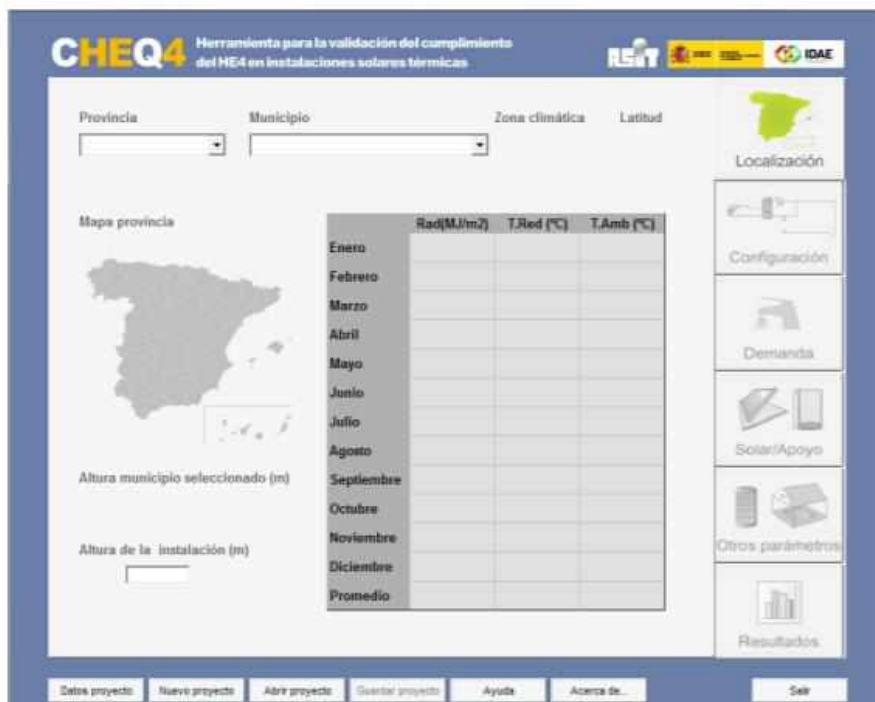


Figura 11: Localización.

El programa también mostrará una tabla con los siguientes datos: irradiación global media mensual sobre la horizontal (según Atlas de Radiación Solar en España de la AEMET), temperatura diaria media mensual del agua de red (según UNE 94002) y temperatura ambiente diaria media mensual (según UNE 94003).

Si la altura del emplazamiento de la instalación no coincide con la altura de la capital de provincia, el programa corregirá de forma automática las temperaturas de agua de red y ambiente, según la metodología especificada en la UNE 94002 y en la UNE 94003.

c) Configuración del sistema

Una de las principales características de CHEQ4 y de su metodología de cálculo MetaSol es que ambos han sido especialmente diseñados para predecir correctamente el comportamiento de las tipologías de instalaciones más habituales en nuestro país. Otras metodologías habitualmente utilizadas, son válidas únicamente para una determinada configuración de sistema, para determinadas aplicaciones, por lo que la utilización de este tipo de métodos para analizar el comportamiento de sistemas para los cuales no han sido definidos, puede conducir a importantes desviaciones.

CHEQ4 utiliza como motor la nueva metodología de cálculo MetaSol, que consiste en un conjunto de curvas, dos por configuración, que permiten predecir las ganancias y pérdidas de cada uno de los sistemas.

La pestaña “Configuración” (Figura 3), permite al usuario seleccionar el tipo de instalación que más se ajuste al sistema que desea validar. Internamente, CHEQ4 seleccionará las curvas MetaSol correspondientes a dicha instalación y cuáles son los parámetros que la definen.

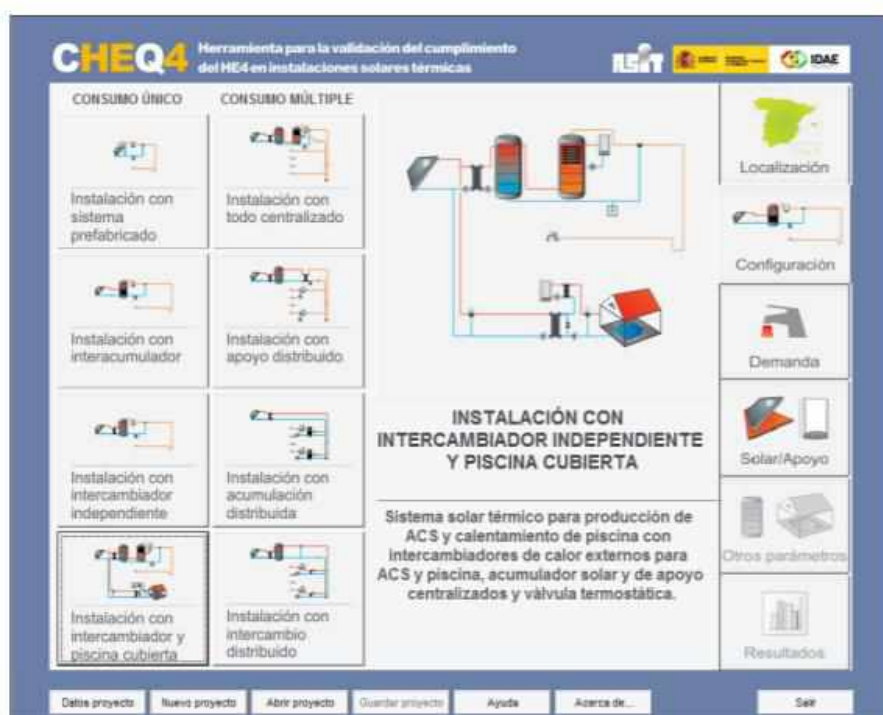


Figura 12: Configuración.

Las diferentes configuraciones disponibles se encuentran agrupadas según sean para “Consumo único” o “Consumo múltiple”. Las configuraciones de consumo múltiple están asociadas a viviendas y las configuraciones de consumo único a otros edificios (hoteles, hospitales, residencias, etc.) o viviendas unifamiliares. A continuación, se describen dichas configuraciones.

Instalación para consumo único con sistema prefabricado (Figura 14)

Sistema solar térmico prefabricado para la producción de agua caliente sanitaria (ACS) en instalaciones de consumo único con válvula termostática. En este tipo de instalaciones, es posible definir un sistema apoyo tipo “Termo eléctrico”, que consiste en un acumulador conectado en serie con una resistencia eléctrica en su interior. La selección del sistema de apoyo de este tipo se realiza en el apartado “Sistema de apoyo” de la pestaña “Solar/Apoyo”.

Para el cálculo de instalaciones con sistemas prefabricados, se ha adaptado MetaSol a la normativa de ensayos vigente para este tipo de sistemas (UNE-EN 12976-2).

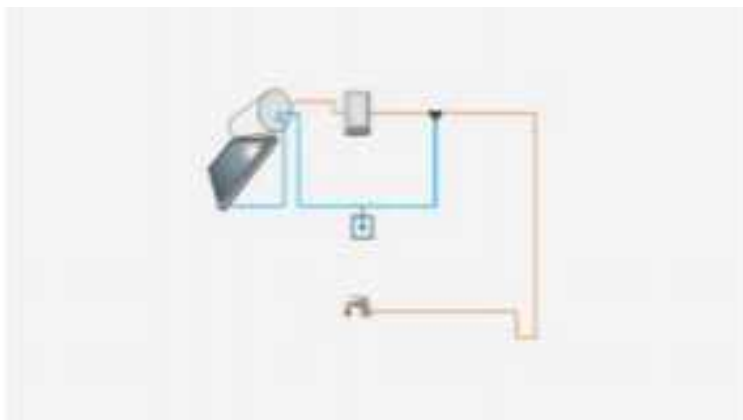


Figura 13: Instalación para consumo único con sistema prefabricado.

Instalación para consumo único con interacumulador (Figura 15)

Sistema solar térmico para la producción de agua caliente sanitaria (ACS) en instalaciones de consumo único con acumulador solar, intercambiador interno, sistema de apoyo conectado en serie y válvula termostática.

Instalación para consumo único con intercambiador independiente (Figura 16)

Sistema solar térmico para la producción de agua caliente sanitaria (ACS) en instalaciones de consumo único con acumulador solar, intercambiador externo, sistema de apoyo conectado en serie y válvula termostática.

Instalación para consumo único con intercambiador independiente y piscina cubierta (Figura 17)

Sistema solar térmico para la producción de agua caliente sanitaria (ACS) y el calentamiento de una piscina cubierta con intercambiadores de calor externos para ACS y piscina, acumulador solar y de apoyo centralizados, sistema de apoyo conectado con intercambiador interno o resistencia eléctrica y válvula termostática.

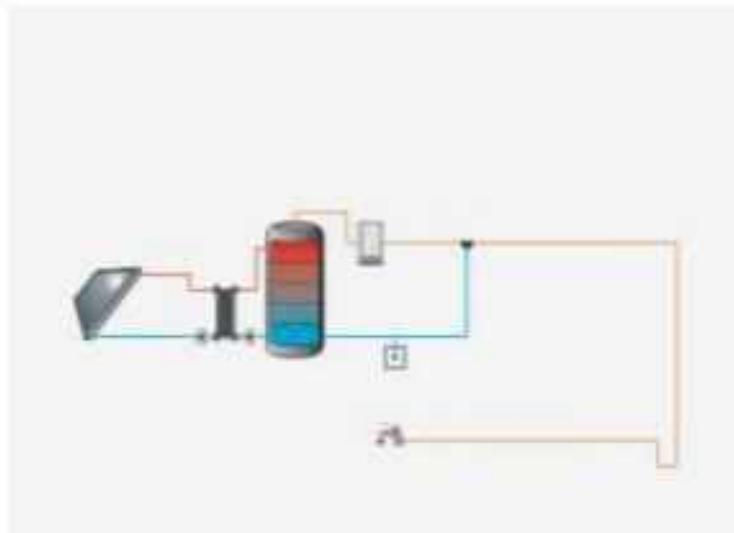


Figura 14: Instalación para consumo único con interacumulador.

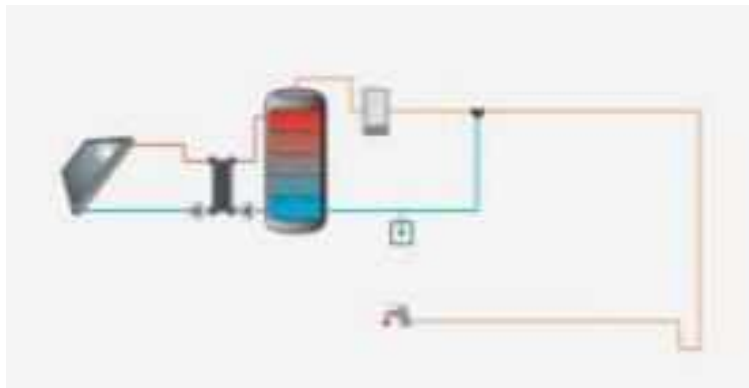


Figura 15: Instalación para consumo único con intercambiador independiente.

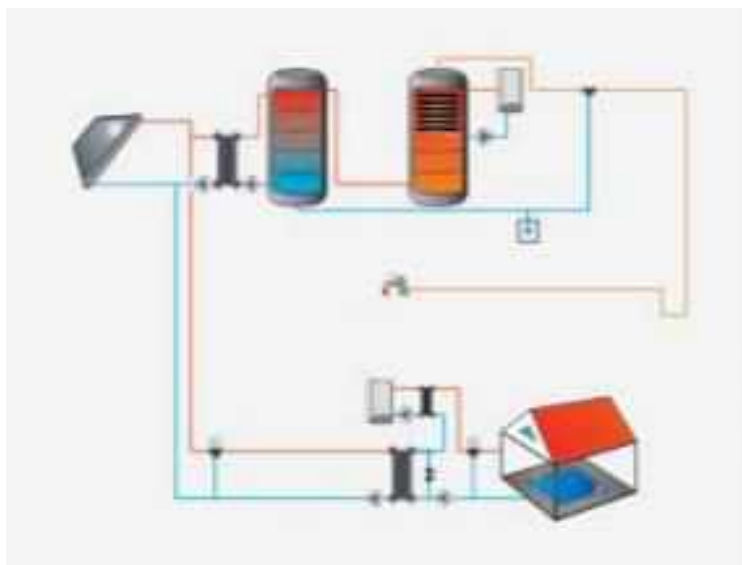


Figura 16: Instalación para consumo único con intercambiador y piscina cubierta.

Instalación para consumo múltiple con todo centralizado (Figura 18)

Sistema solar térmico para la producción de agua caliente sanitaria (ACS) en instalaciones de consumo múltiple con acumulación solar centralizada, intercambiador de calor externo, acumulación de apoyo centralizada, sistema de apoyo conectado con intercambiador interno o resistencia eléctrica y conexión directa del circuito de distribución. Esta tipología de instalación también es válida para el cálculo de sistemas con interacumulador.

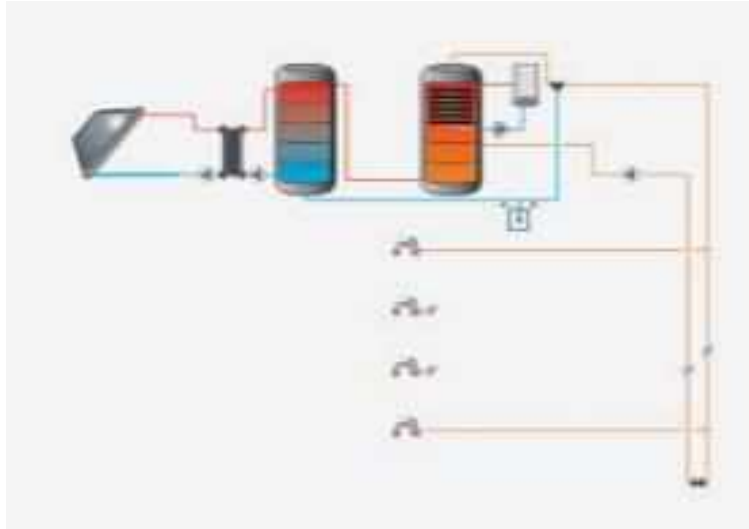


Figura 17: Instalación para consumo múltiple con todo centralizado

Instalación para consumo múltiple, acumulación centralizada y apoyo distribuido (Figura 19)

Sistema solar térmico para la producción de agua caliente sanitaria (ACS) en instalaciones de consumo múltiple con acumulación solar centralizada e intercambiador de calor externo, intercambiador de calor centralizado para la preparación de ACS, sistemas de apoyo instantáneos en serie y válvulas termostáticas. Esta tipología de instalación también es válida para el cálculo de sistemas con circuito de distribución abierto. No obstante, se deberá prestar especial atención en el correcto diseño y dimensionado del circuito de distribución.

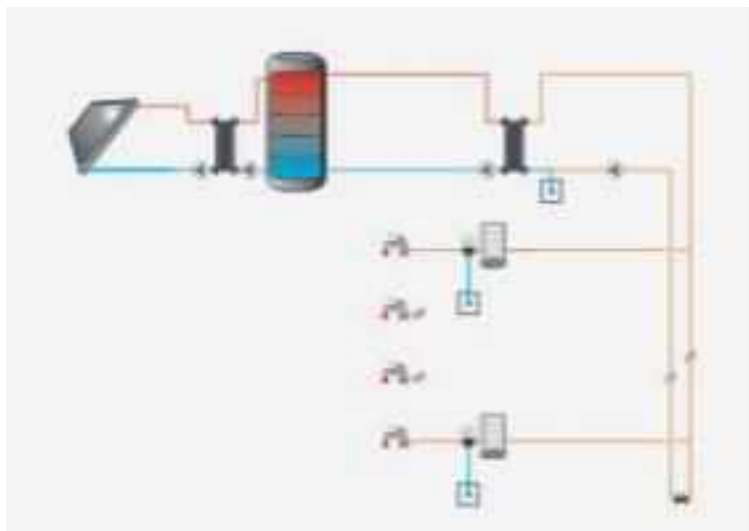


Figura 18: Instalación para consumo múltiple, acumulación centralizada y apoyo distribuido.

Instalación para consumo múltiple con acumulación distribuida (Figura 20)

Sistema solar térmico para la producción de agua caliente sanitaria (ACS) en instalaciones de consumo múltiple, interacumuladores individuales por vivienda, sistema de apoyo instantáneo en serie y válvulas termostáticas. Es posible definir un sistema apoyo tipo “Termo eléctrico”, que consiste en un acumulador conectado en serie con una resistencia eléctrica en su interior.

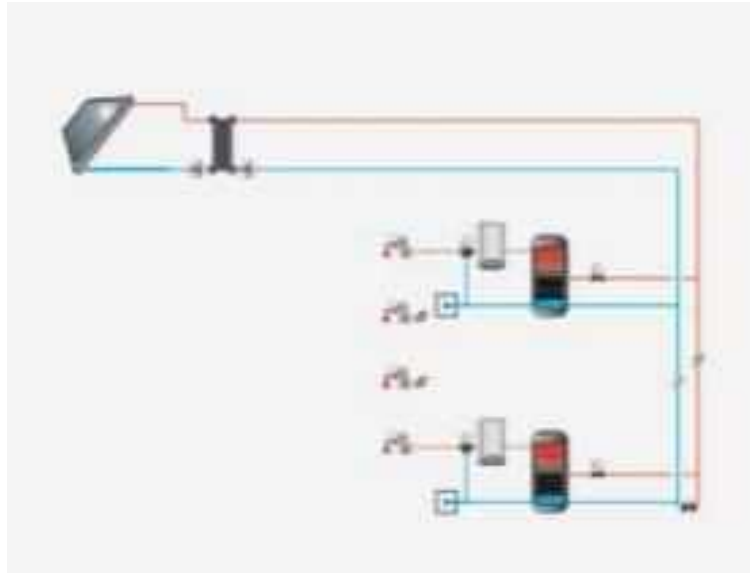


Figura 9: Instalación para consumo múltiple con acumulación distribuida.

Instalación para consumo múltiple con intercambio distribuido (Figura 21)

Sistema solar térmico para la producción de agua caliente sanitaria (ACS) en instalaciones de consumo múltiple con acumulación solar centralizada e intercambiador de calor externo, con intercambiadores de consumo distribuido, sistemas de apoyo instantáneos en serie y válvulas termostáticas. Es posible definir un sistema apoyo tipo “Termo eléctrico”.

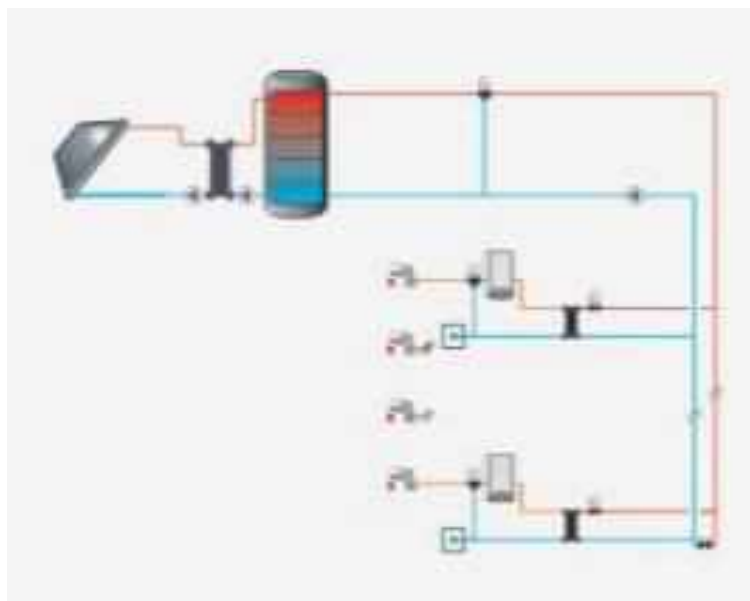


Figura 10: Instalación para consumo múltiple con intercambio distribuido.

d) Demanda energética del sistema:

En la pestaña "Demanda" el usuario debe especificar la demanda total de agua caliente sanitaria del edificio. Los parámetros necesarios variaran en función de si se trata de una instalación de Consumo único o de Consumo múltiple.

Consumo único

El cálculo de la demanda en instalaciones de consumo único (Figura 22) se realiza en función del tipo de aplicación final (según HE4-4.1.1). El usuario únicamente debe seleccionar el tipo de aplicación y el número de personas.

Consumo múltiple

En el caso de bloque de viviendas, se deberá especificar el número de viviendas y número de dormitorios. Se ha considera un consumo en viviendas multifamiliares de 28 (l/día a 60°C) por persona (según HE4-4.1.1.1). El número de personas por dormitorio y el factor de centralización también están especificados según la norma (HE4-4.1.4 y HE4-4.1.5). Como se puede ver en la figura 23, la pantalla es la misma que para consumo único.

Otras demandas:

En el apartado "Consumo total" es posible especificar otras demandas diarias, que no se hayan podido incluir en ninguno de los apartados anteriores. El valor de dichas demandas se sumará directamente al valor previamente calculado en los apartados anteriores.

Ocupación estacional:

En el apartado "Ocupación estacional" es posible especificar el porcentaje de ocupación estacional mensual de la instalación.

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

CONSUMO ÚNICO

Aplicación: Vivienda

Número de personas: 4

Demanda calculada (l/día a 60°C): 112

CONSUMO MÚLTIPLE

	Viviendas	Dormitorios	Personas	Litros/litro
Tipo A	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
Tipo B	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
Tipo C	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
Tipo D	<input type="text"/>	<input type="text"/>		

Demanda calculada (l/día a 60°C):

CONSUMO TOTAL

Otras demandas (l/día a 60°C):

Demanda total (l/día a 60°C): 112

OCUPACIÓN ESTACIONAL (%)

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
100	100	100	100	100	100	100
50	50	50	50	50	50	50
100	100	100	100	100	100	100

CONTRIBUCIÓN SOLAR MÍNIMA EXIGIDA

Caso general FS 30%

Caso piscina FS 30%

Localización

Configuración

Demanda

Solar/Apoyo

Otros parámetros

Resultados

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

Figura 11: Demanda con consumo único.

Figura 12: Demanda con consumo múltiple.

Contribución solar mínima exigida

En el apartado “Contribución solar mínima exigida”, se muestra la contribución solar mínima exigida en función del consumo total de agua caliente y de la localidad geográfica, según HE4-2.2.1.2 y HE4-2.2.1.3.

e) Solar/Apoyo

Todos los parámetros que definen el sistema y que son necesarios para la metodología de cálculo MetaSol se encuentran distribuidos en las pestañas “Solar/Apoyo” y “Otros parámetros”. En "Solar/Apoyo" el usuario debe especificar todos aquellos parámetros que son comunes a todos los tipos de configuraciones. Se muestra en la figura 14.

Captadores

En este apartado el usuario debe seleccionar el captador concreto que figure en el proyecto. CHEQ4 incorpora una extensa base de datos con la mayoría de los captadores homologados que actualmente existen en el mercado. El usuario únicamente debe especificar la “Empresa” comercializadora del producto y su “Marca o Modelo”. Automáticamente, se mostrarán los principales datos correspondientes al captador seleccionado:

- Área (m²)
- Factor óptico a_0
- Factor lineal de pérdidas a_1 (W/m² K)
- Factor cuadrático de pérdidas a_2 (W/m² K²)
- Caudal de ensayo Q_{test} (l/h m²)
- K_{50}
- Laboratorio y certificación

El usuario debe asegurarse de que dispone de la última versión de la base de datos. Es posible comprobar la versión del programa y de la base de datos que se está utilizando haciendo clic en el botón “Acerca de...”, situado en la parte inferior de la ventana.

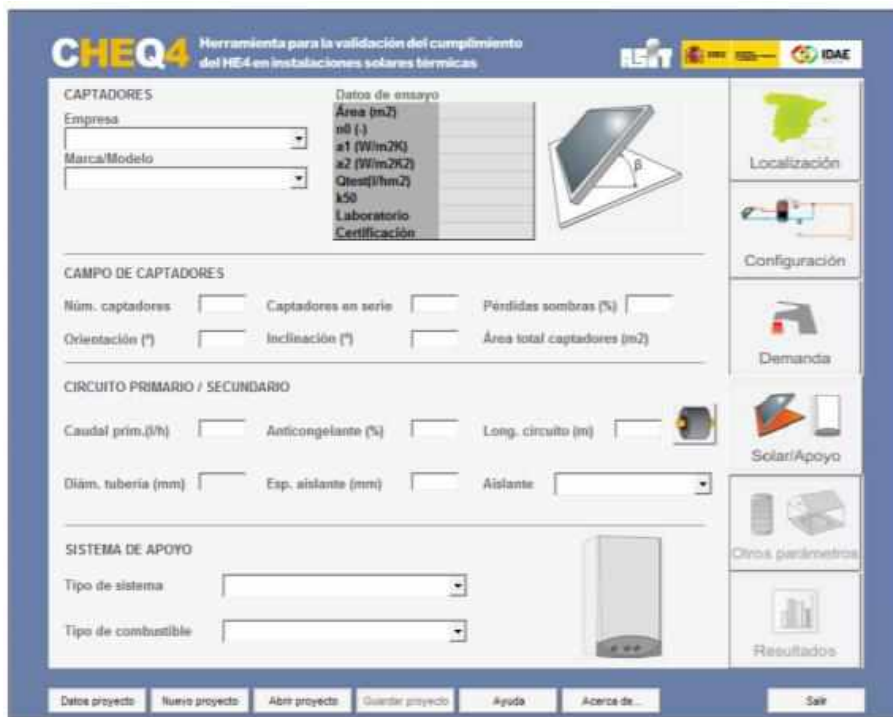


Figura 13: Parámetros del sistema. Solar/Apoyo.

Campo de captadores

Para una correcta parametrización del campo de captadores será necesario especificar los siguientes parámetros:

- Número de captadores: número de captadores que se han proyectado para la instalación solar térmica. Si la configuración seleccionada es una “instalación con sistema prefabricado”, en lugar del número de captadores, se deberá especificar el “número de elementos” o de sistemas prefabricados.
- Número de captadores en serie: número total de captadores en serie por los que tiene que circular el fluido caloportador, ya sea en la misma o en diferentes baterías.
- Pérdidas por sombra (%): porcentaje de pérdidas anuales por sombra.
- Orientación (°): orientación del campo de captadores respecto al eje norte-sur (considerando el este como negativo y el oeste como positivo).
- Inclinación (°): inclinación del campo de captadores respecto de la horizontal.
- Área total de captadores (m²): área total de captación de la instalación que lo calcula en función del área de cada captador y del número de captadores

Circuito primario/secundario:

El circuito solar, que comprende el primario y secundario (cuando éste existe), está definido por los siguientes parámetros:

- Caudal del circuito primario o caudal de campo (l/h). El programa especifica por defecto, un valor para este parámetro en función del caudal de ensayo, el número de captadores y el número de captadores conectados en serie. No obstante, dicho valor también puede ser directamente definido por el usuario, dentro de un rango establecido respecto el valor original predefinido.
- Anticongelante (%): porcentaje de anticongelante en el fluido caloportador.
- Longitud equivalente del circuito primario (m): longitud total del circuito primario incluyendo impulsión y retorno.
- Diámetro de la tubería (mm): la calcula el programa en función del caudal del circuito
- Espesor (mm) y tipo de aislante utilizado: se indica el espesor de aislante en mm y se elige el tipo de aislamiento de una base de datos de aislantes

Base de datos de materiales aislantes

El programa dispone de una base de datos con las conductividades térmicas de los principales materiales aislantes. Estos valores se utilizan para el cálculo de los coeficientes de pérdidas térmicas, tanto en tuberías, como en acumuladores. Se puede observar en la figura 25 los diferentes valores que toma el coeficiente de conductividad térmica.

Cálculo de longitudes del circuito equivalente

En la mayoría de los casos, los circuitos hidráulicos no están constituidos por tuberías de un único diámetro. En estos casos, para facilitar el cálculo de la longitud equivalente, se ha incorporado una sencilla herramienta que permite al usuario definir los diferentes tramos, que constituyen el circuito. El usuario puede especificar el número de tramos, sus diámetros interiores (mm), el espesor del aislante (mm) y la longitud de cada tramo (m).

lambda (W/m-K)	Denominación
0.043	genérico
0.036	lana de vidrio
0.037	poliestireno
0.038	lana mineral
0.024	espuma de poliuretano
0.042	espuma elastomérica
0.054	silicato de calcio
0.038	espuma de polietileno

Figura 14: Base de dato de materiales aislantes.

Para acceder a dicha herramienta, solamente hay que hacer clic en el icono de la tubería, que se encuentra al lado de los campos “Long. circuito”, y aparecerá la pantalla de la figura 26.

Figura 15: Cálculo de longitud equivalente.

Sistema de apoyo

El uso de la energía solar térmica supone una importante reducción de las emisiones de CO₂ a la atmosfera. Dicha reducción de emisiones dependerá del tipo de sistema de apoyo seleccionado y del combustible que utilice. En CHEQ4 el usuario puede seleccionar los siguientes tipos de sistema de apoyo y combustibles:

- Caldera convencional (gas natural, gasóleo o GLP)
- Caldera de condensación (gas natural, gasóleo o GLP)
- Caldera de baja temperatura (gas natural, gasóleo o GLP)
- Caldera de biomasa (biomasa)
- Caldera eléctrica (electricidad)

En algunas configuraciones (Instalación con sistema prefabricado, Instalación con acumulación distribuida o Instalación con intercambio distribuido) también es posible utilizar un sistema de apoyo tipo “Termo eléctrico”. Este tipo de sistema consiste básicamente en un acumulador conectado en serie con una resistencia eléctrica en su interior.

f) Otros parámetros del sistema

En la pestaña "Otros parámetros" el usuario debe especificar aquellos parámetros que son propios de cada configuración y que están relacionados con el sistema de acumulación y con el sistema de distribución a consumo. Los campos no correspondientes al tipo de instalación seleccionada aparecerán inactivos y de color gris. Se puede apreciar la pantalla de entrada de datos en la figura 27.

Volumen de acumulación

En CHEQ4 es necesario editar un único parámetro para definir el volumen total en litros de la instalación solar compuesta por uno o varios acumuladores solares centralizados. Este apartado es válido, tanto para acumuladores solares en instalaciones de consumo único, como para acumuladores centralizados en instalaciones de consumo múltiple.

Para una correcta parametrización de las instalaciones con acumulación distribuida es necesario especificar en este caso el volumen de los acumuladores (l) de las diferentes tipologías de vivienda (Tipo A, B, C y D). Esta información aparece como “Volumen de acumulación de las subestaciones” en la zona derecha de la pantalla.



Figura 16: Otros parámetros del sistema.

En cualquier caso, el programa comprueba que el ratio litros/m² de captación se encuentra dentro del rango contemplado en el HE4.

Distribución

El circuito de distribución agrupa todas las tuberías situadas a partir de la sala de máquinas (normalmente después del acumulador, en el caso de que exista) y distribuyen el agua caliente sanitaria hasta el punto de consumo y, en su caso, recirculan. En el caso de consumo múltiple se considerará que el circuito de distribución corresponderá a la general de distribución sin incluir las derivaciones individuales a viviendas.

Para definir el circuito de distribución es necesario especificar la longitud total de las tuberías (impulsión y retorno o recirculación en su caso), el diámetro de la tubería (mm), el tipo de aislante y su espesor (mm). Un ejemplo de este tipo de circuitos de distribución es la figura 28, donde cada color representa un sentido del fluido.

Al igual que en el caso de circuito primario, existe a disposición del usuario la herramienta de cálculo de longitud equivalente.

En aquellas configuraciones que así lo requieran, también se deberá especificar la temperatura de impulsión (°C) o la potencia de los intercambiadores de consumo distribuido (kW).

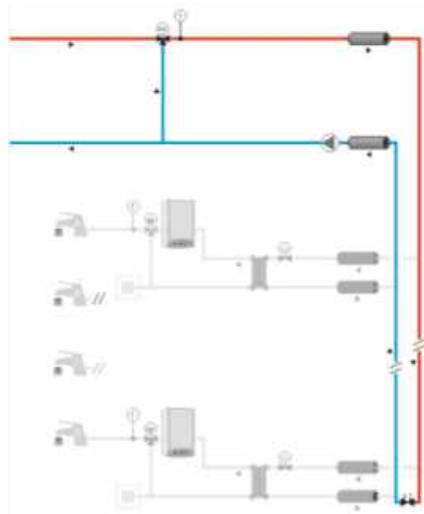


Figura 17: Circuito y distribución.

Distribución subestaciones

El circuito de distribución de las subestaciones agrupa todas las tuberías situadas entre el ramal de distribución general y las derivaciones a las diferentes viviendas (Figura 29).

Para definir el circuito de distribución de las subestaciones es necesario especificar la longitud de las tuberías total (impulsión y retorno), desde el bajante (distribución vertical) hasta la subestación (vivienda, para el caso de una vivienda), el diámetro interior de la tubería (mm), el tipo de aislante y su espesor (mm). Al igual que en el caso de circuito primario existe a disposición del usuario la herramienta de cálculo de longitud equivalente.

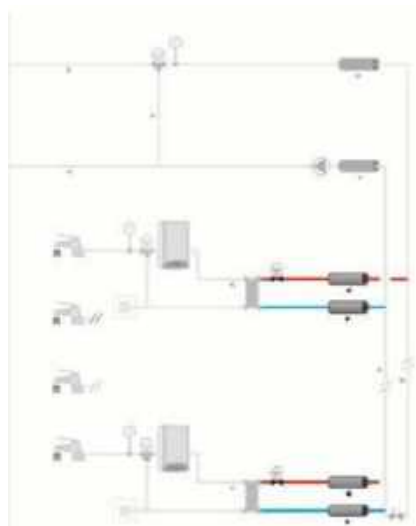


Figura 18: Circuito de distribución de las subestaciones.

En la zona inferior de la pantalla se introducen los parámetros necesarios para definir la instalación de calentamiento del agua de piscinas, que está fuera del alcance de este trabajo.

g) Resultados

La última pestaña de CHEQ4 (Figura 30), corresponde al cálculo y visualización de los resultados. Al acceder a esta pestaña, el programa calcula las ganancias y pérdidas de la instalación. Un indicador situado en la parte superior izquierda de la ventana permite al usuario conocer rápidamente si el sistema especificado cumple o no cumple con los requerimientos de contribución solar mínima exigida por el HE4 (según HE4-2.2.1.1 y HE4-2.2.1.2).

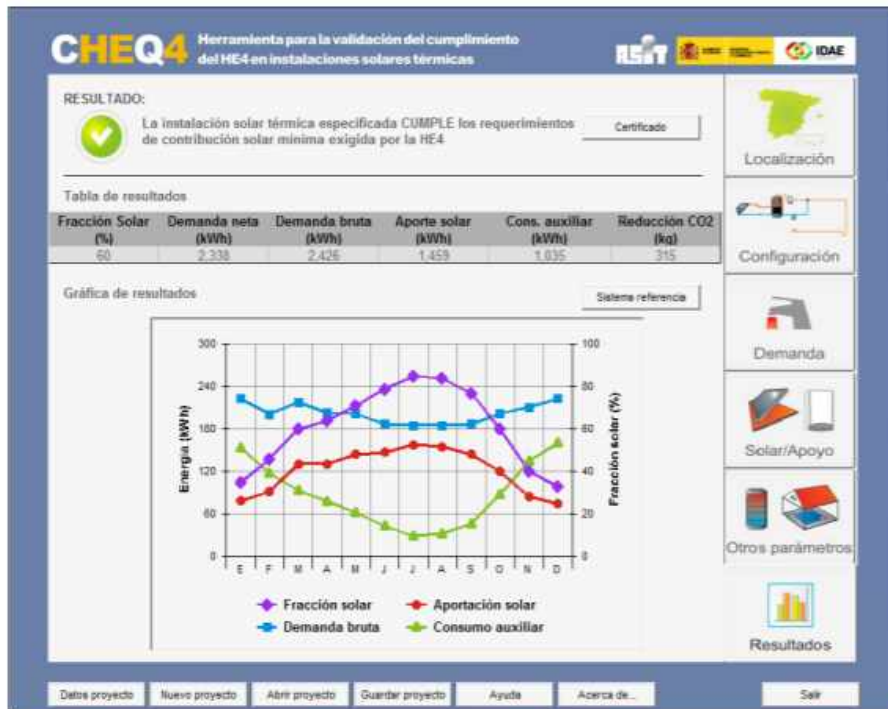


Figura 19: Resultados.

En el apartado “Tabla de resultado” se muestran los valores anuales de los siguientes indicadores y resultados:

- Fracción solar (%): Fracción entre los valores anuales de la energía solar aportada exigida y la demanda 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)

También se muestran gráficamente los valores mensuales de fracción solar, demanda bruta, fracción solar y consumo auxiliar.

Si no se cumple el ratio litros/m2 de captación el programa indica que hay que modificar los parámetros de la instalación para cumplir el ratio exigido en HE4 (Figura 21).

Si la fracción solar supera como mínimo tres meses seguidos el 100%, aparece una pantalla en la que se indica que no se cumple la normativa y propone adoptar alguna de las medidas propuestas (Figura 31).

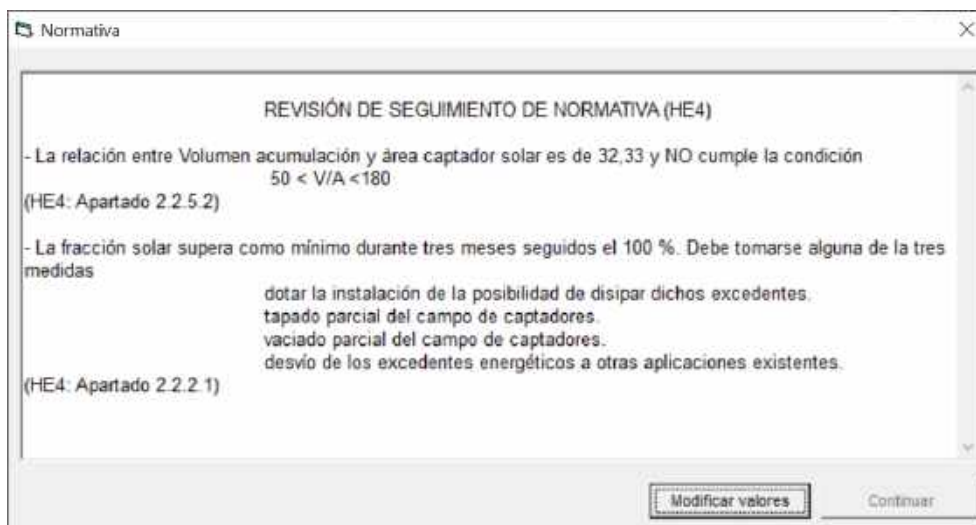


Figura 20: Revisión normativa

Si la instalación proyectada cumple con las exigencias de la normativa, se puede generar el certificado correspondiente pulsando el botón situado en la parte superior de la pantalla.

Es posible guardar todos los datos del proyecto haciendo clic en el botón “Guardar proyecto”, situado en la parte inferior de la ventana.

2.3 Programa ACSOL

ACSOL es una colección de programas para calcular las prestaciones de sistemas solares térmicos de baja temperatura. En esta versión se incluyen los cuatro esquemas de principio más habituales en aplicaciones multifamiliares para producción de ACS:

- Acumulación centralizada.
- Acumulación distribuida.
- Acumulación mixta centralizada-distribuida.
- Acumulación centralizada e intercambiador individual.

Y dos esquemas procedentes de versiones anteriores del programa, en los que se han modificado algunos detalles menores:

- ACSOL-1: Instalación solar básica compuesta por un campo de captadores, un acumulador central, un sistema auxiliar y un consumidor.
- Instalación centralizada con intercambiador individual y válvula

Y dos instalaciones adicionales: una instalación para producción de CAS y calefacción y una instalación solar (PACSOL) que sirve a una piscina cubierta y a un sistema de preparación de ACS para duchas, por ejemplo en un polideportivo.

El programa responde a la creciente demanda de instalaciones solares térmicas, obligatorias tras la aprobación del Código Técnico de la Edificación y más concretamente el documento HE-4. Su función básica es calcular las prestaciones sobre las que el HE-4 establece exigencias:

- Contribución solar (aquí denominada fracción solar)
- Horas en sobrecalentamiento
- Rendimiento del campo de captadores (relacionada con la anterior)
- Pérdidas de radiación

ACSOL ofrece más posibilidades: puede utilizarse para afinar diseños, estudiar el efecto de cualquier parámetro sobre las prestaciones o comparar diferentes tipologías entre sí. Es también muy interesante como software de prácticas para enseñanza.

2.3.1 Metodología de cálculo ACSOL

El motor de cálculo de ACSOL es el conocido software de simulación TRNSYS, de la Universidad de Wisconsin-Madison.

ACSOL contiene un modelo matemático detallado para cada esquema de principio y una base de datos de condiciones meteorológicas, acumuladores, perfiles de consumo, etc. A través de menús de entrada el usuario aporta información adicional sobre el sistema que desea estudiar: área de captación, tipo de captador, volúmenes, consumos, perfiles de uso, configuración de los obstáculos, método de control, etc. Una vez definido el caso a simular, el ordenador resuelve el modelo matemático y genera un informe de resultados.

Al ser un programa de simulación, no sustituye al diseñador, únicamente le asiste. El ordenador resuelve por usted las ecuaciones correctas para el sistema que está estudiando, pero no puede determinar si la solución obtenida es correcta o incorrecta. Si las entradas que ha definido no tienen sentido, contienen errores o no describen correctamente el caso que esté estudiando, los resultados del programa serán incorrectos y el ordenador no podrá advertirle de ello. Habrá ocasiones en las que no conozcamos con exactitud el valor de algunas entradas. En estos casos deberemos acotar sus posibles valores y hacer un análisis de sensibilidad.

2.3.2 Pantallas:

La primera pantalla que aparece es la de selección de la configuración a estudiar. Como en CHEQ4 se tienen prácticamente todas las posibles configuraciones que existen en el mercado. A continuación se muestra una breve explicación de cada una de ellas.

Instalaciones para consumo múltiple (Figura 32)

En edificios con un número reducido de viviendas (entre 2 y 8) cabe la posibilidad de plantear instalaciones en las que todos los elementos sean individuales, es decir, en las que cada usuario tenga su propio campo de captadores, su acumulador y su sistema de apoyo. Sin embargo, cuando el número de viviendas crece, lo más económico y funcional es centralizar, esto es, hacer que los usuarios compartan algunos elementos de la instalación.

En las instalaciones multifamiliares los consumidores siempre comparten el campo de captadores. Según compartan o no la acumulación solar y el sistema de apoyo, aparecen diferentes configuraciones. En ACSOL se han incorporado cinco de las más habituales.

- Los usuarios comparten algo más que el campo de captadores (1,2,3)
- Los usuarios comparten el campo de captadores y el intercambiador (4)
- Los usuarios comparten el campo de captadores, el intercambiador de calor y parte del volumen de acumulación solar. (5)

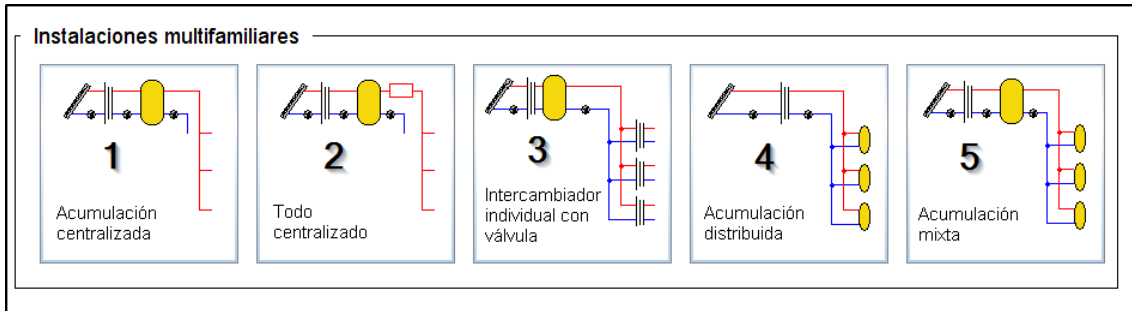


Figura 21: Instalaciones para consumo múltiple.

Instalaciones de calefacción y ACS (Figura 33)

En este caso no solo se produce ACS, sino que también calefacción. Esta configuración no se considera en el proyecto.

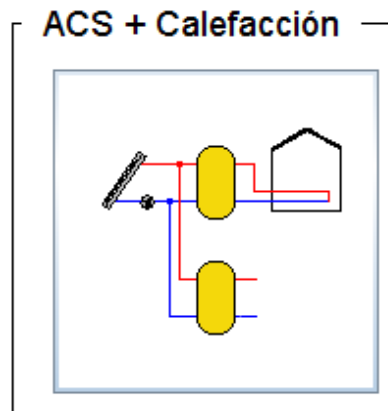


Figura 22: Instalación de calefacción y ACS.

Instalaciones con piscina y ACS (Figura 34)

Al igual que la anterior es una configuración poca utilizada por lo que no se explicará tanto en detalle, basta con saber de su existencia.

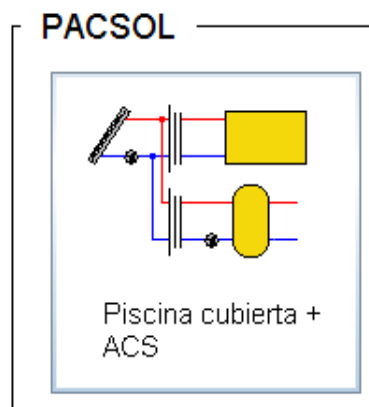


Figura 23: Instalación con piscina y ACS.

Una vez seleccionada una instalación, aparece una pantalla de presentación del programa (Figura 35) en el que se hace referencia a TRNSYS y a la Agencia Andaluza de la Energía que

ha financiado el programa. Al pulsar la tecla OK, se genera una nueva pantalla que incluye un esquema de principio más desarrollado y que depende de la configuración seleccionada.

Es la pantalla principal (Main) que se representa en la figura 26 en el caso de una instalación con acumulación centralizada y apoyo distribuido. En esta pantalla se identifican los elementos fundamentales de la instalación y se definen los elementos de la instalación que aparecerán en las siguientes pantallas del programa.



Figura 24: Pantalla presentación del programa ACSOL

Independientemente de la configuración seleccionada, la entrada de datos del programa se estructura en diferentes pestañas con el siguiente contenido;

- Condiciones exteriores
- Primario
- Secundario
- Terciario
- Viviendas
- Control
- Emisiones
- Simulación

Como se puede comprobar la estructura de entrada de datos es muy diferente de la estructura de datos de entrada de CHEQ4, por lo que es muy importante analizar con detalle ambas entradas de datos con objeto de garantizar que coinciden los sistemas simulados con ambos programas.

A continuación se analizan cada una de las pestañas anteriores.

a) **Condiciones exteriores**

En el apartado de condiciones exteriores (Figura 37) se puede seleccionar la ciudad (capital de provincia) de una base de datos (opción 1) o bien suministrar los datos meteorológicos en base mensual (opción 2). En caso de que los datos climatológicos no coincidan en los dos programas, y como en CHEQ4 no existe la opción de introducir otros datos, en ACSOL se tendría que elegir la opción 2 introduciendo los valores mensuales de la localidad en CHEQ4.

Se introduce también el albedo (reflectividad del suelo) y las temperaturas interiores en invierno y en verano.

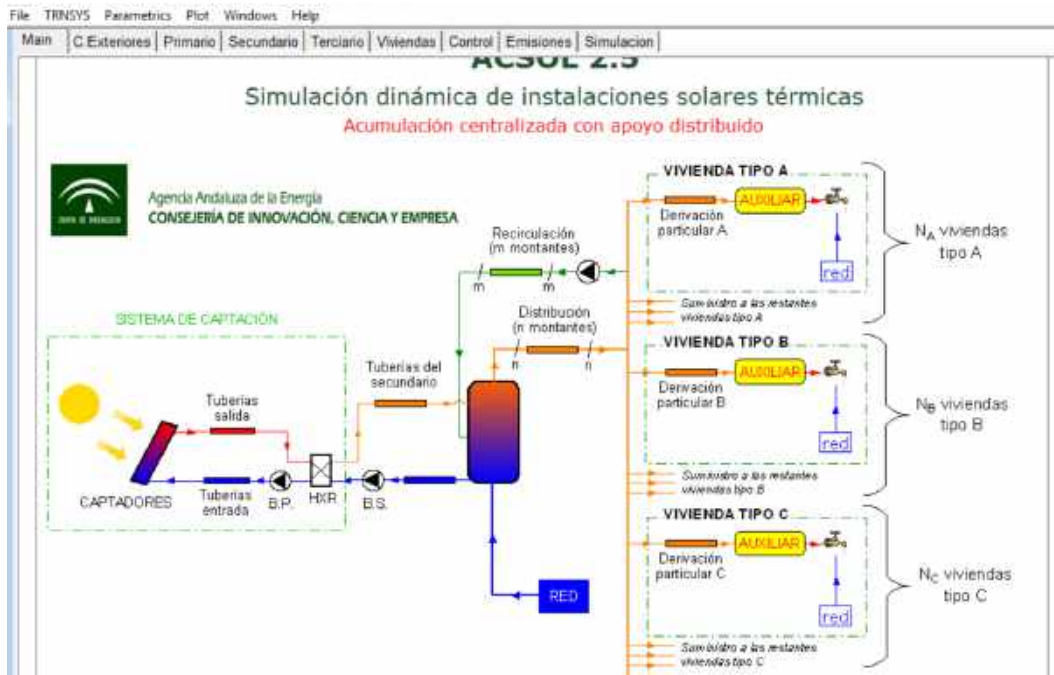


Figura 25: Pantalla principal (Main).

The screenshot shows the "Condiciones exteriores" (External Conditions) screen. It features a menu bar (Main, C Exteriores, Primario, Secundario, Terciario, Viviendas, Control, Emisiones, Simulación) and a title "Condiciones exteriores". The screen contains several sections:

- Opciones:** Two radio button options: "Opción 1. Seleccionar ciudad de la base de datos del programa (capitales de provincia españolas)" (selected) and "Opción 2. Definir el clima a partir de medias mensuales (cualquier localidad)".
- Fichero meteorológico:** A dropdown menu set to "AMT-Málaga".
- Albedo (reflectividad del suelo):** A text input field with the value "0.20".
- Temperatura de interiores durante el invierno:** A text input field with the value "15.00" and a unit "°C".
- Temperatura de interiores durante el verano:** A text input field with the value "20.00" and a unit "°C".
- Tratamiento de las sombras en el campo de captadores:** Three radio button options: "Opción 1. No considerar sombras" (selected), "Opción 2. Considerar sombras por obstáculos circundantes", and "Opción 3. Considerar sombras por obstáculos circundantes y entre filas contiguas del campo de captadores".
- Abrir el libro de ayuda:** A button with a book icon.

Figura 26: Pantalla condiciones exteriores

En el apartado de tratamiento de sombras, contempla tres opciones diferentes con diferentes niveles de complejidad. En el programa CHEQ4 solo se podía introducir porcentaje general de

pérdidas por sombra, Una forma de garantizar el mismo valor de esta variable en ambos programas es elegir la opción 1 y considerar un 0% en CHEQ4.

b) Primario

Los datos de entrada del circuito primario dependen de la configuración elegida. Se va a seguir con la configuración anterior (Figura 36) a modo de ejemplo. Las figuras 38,39 y 40 muestran los datos solicitados por el programa para el circuito primario.

Los datos de entrada se organizan en cinco bloques: Geometría del campo, características de los captadores, fluido primario, intercambiador de calor y tratamiento de las tuberías del campo.

En la geometría del campo (Figura 38) se define el conexionado de los captadores, el área total de captación, la inclinación y azimut de los captadores. En el bloque de características de los captadores se define el tipo de curva de rendimiento, el caudal de ensayo, los parámetros de la curva de rendimiento y el modificador del ángulo de incidencia en función de la constante b_0 en lugar del K_{50} utilizado en CHEQ4.

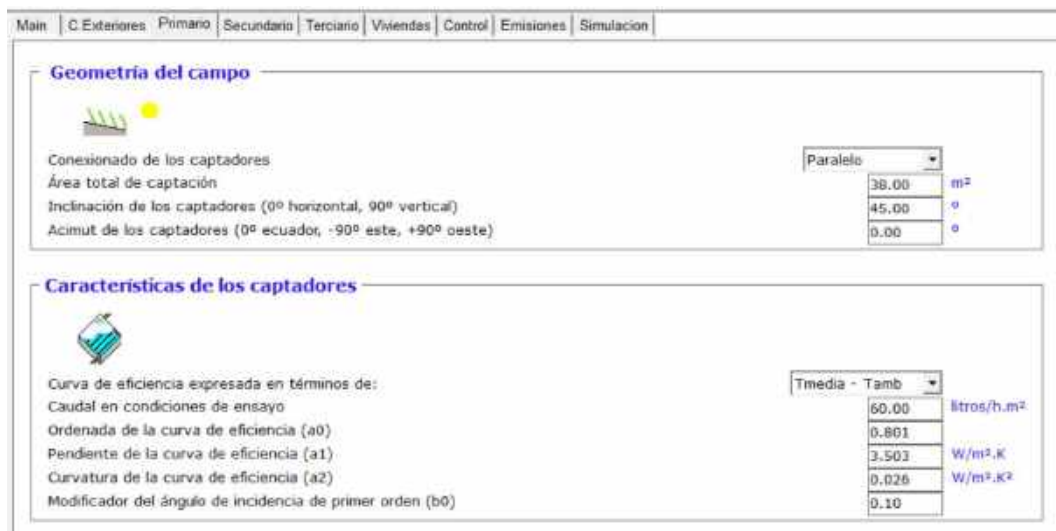


Figura 27: Pantalla circuito primario (1).

En el bloque del fluido primario (Figura 29) se define el tipo de fluido caloportador con la proporción de anticongelante y el caudal específico real del captador solar. Para el intercambiador de calor del circuito primario hay que definir la potencia del intercambiador por unidad de superficie de captación y la DTLM.

En el tratamiento de las tuberías del primario hay que indicar si se consideran o no pérdidas de calor en la red de tuberías (Figura 30). Si se consideran pérdidas térmicas en las tuberías, se indica tanto en la red de ida a captadores como en la de retorno el porcentaje que discurre por el exterior del edificio, la longitud de la tubería que discurre por el interior del edificio y en ambos casos, el diámetro de la tubería, la conductividad térmica del aislamiento y el espesor de aislamiento en cada tramo.

Fluido primario

Fluido primario: propilenglicol-25%

Caudal de operación de un captador (por unidad de área): 50.00 litros/h.m²

Intercambiador de calor

Potencia nominal por metro cuadrado de captación (recuerde >600 para PROSOL y >500 para HE-4): 500.0 W/m²

Diferencia de temperatura logarítmica media (valor típico = 5°C): 5.00 °C


 Pulse aquí para abrir la utilidad de cálculo de la OTLM

Figura 28: Pantalla circuito primario (2).

Tratamiento de las tuberías del campo

No considerar las pérdidas de calor en las tuberías del campo

Considerar las pérdidas de calor en las tuberías del campo

Linea del intercambiador de calor a los captadores (fluido frío)

Longitud: 42.00 m

Porcentaje de tubería que discurre por el interior del edificio: 15.00 %

Linea de los captadores al intercambiador de calor (fluido caliente)

Longitud: 22.00 m

Porcentaje de tubería que discurre por el interior del edificio: 20.00 %

Características comunes

Diámetro: 35.00 mm

Conductividad del aislamiento: 0.04 W/m.K

Espesor de aislamiento en los tramos que discurren por el interior del edificio: 30.00 mm

Espesor de aislamiento en los tramos que discurren por el exterior del edificio: 40.00 mm

Figura 29: Pantalla circuito primario (3).

c) Secundario

Los datos de entrada del circuito secundario se organizan en tres bloques (Figura 41):

- Acumulador central
- Bomba del secundario
- Tuberías entre el intercambiador y el acumulador

Para el acumulador central se define el ratio volumen acumulación/superficie de captación, la altura equivalente v del acumulador y las características del aislamiento (conductividad térmica y espesor).

El caudal de la bomba del circuito secundario se toma por defecto igual al caudal de la bomba del circuito primario.



Figura 30: Pantalla circuito secundario.

El tratamiento de las tuberías del circuito secundario es similar al de las tuberías del circuito primario (Figura 40).

d) Terciario

El circuito terciario se corresponde con la distribución a consumo y el circuito de recirculación. En la figura 42 se contemplan tres opciones; no considerar los dos circuitos, considerar solo la distribución o considerar los dos. En caso de que se considere el circuito de distribución, hay que definir el número de montantes, el diámetro y longitud de la tubería y las características del aislamiento (conductividad térmica y espesor). Si incluye un esquema del circuito de distribución con una definición de montante y desviaciones particulares, considerando que todos los montantes son iguales.

En la figura 43 se definen las mismas variables para las desviaciones a cada uno de los tipos de vivienda que pueden existir en el edificio, con un máximo de 4.

Permite definir hasta 4 tipos de viviendas diferentes (Figura 44). Como parámetro común para todas las viviendas se define la temperatura de referencia de ACS. Para cada uno de los cuatro tipos de viviendas se define el número de viviendas, la demanda diaria a la temperatura de referencia, el perfil diario (DTIE, mañana, tarde, mediodía, f-Chart o 24 h) y mensual (DTIE, vivienda, uniforme, hotel, hotel verano o camping) de la demanda.

e) Control

En la pantalla de control (Figura 45) se define el control de carga del acumulador y el control del sistema auxiliar.

Men | C.Extteriores | Primario | Secundario | Terciario | Viviendas | Control | Emisiones | Simulación

Distribución y recirculación

No considerar las tuberías de distribución y recirculación (DEBEN incluirse para verificar el CTE)
 Considerar las tuberías de distribución
 Considerar las tuberías de distribución y recirculación

La red de distribución se define mediante dos tipos de tuberías: MONTANTES (tuberías verticales que distribuyen el agua precalentada por todo el edificio) y DERIVACIONES PARTICULARES (tuberías que conectan cada vivienda con uno de los montantes). El número de montantes depende de la configuración del edificio (número de escaleras, etc.): Hay una derivación por vivienda.

- Se supone que todos los montantes son iguales, de manera que se pide el número de montantes y las características de uno de ellos.
- Se diferencian cuatro tipos de derivaciones, una por cada tipo de vivienda (A,B,C,D). El número de derivaciones es igual al número de viviendas de cada tipo, que se define en la pantalla "Viviendas".

Montantes
 Derivación

Número de montantes (n, al menos uno)

Longitud de un montante m
 Diámetro de un montante mm
 Conductividad del aislamiento W/m.K
 Espesor de aislamiento mm

Figura 31: Pantalla terciario (1).

Men | C.Extteriores | Primario | Secundario | Terciario | Viviendas | Control | Emisiones | Simulación

Derivaciones particulares

USUARIOS TIPO A:

Longitud de una derivación A m
 Diámetro de una derivación A mm
 Conductividad del aislamiento W/m.K
 Espesor de aislamiento mm

USUARIOS TIPO B:

Longitud de una derivación B m
 Diámetro de una derivación B mm
 Conductividad del aislamiento W/m.K
 Espesor de aislamiento mm

USUARIOS TIPO C:

Longitud de una derivación C m
 Diámetro de una derivación C mm
 Conductividad del aislamiento W/m.K
 Espesor de aislamiento mm

USUARIOS TIPO D:

Longitud de una derivación D m
 Diámetro de una derivación D mm
 Conductividad del aislamiento W/m.K
 Espesor de aislamiento mm

Figura 32: Pantalla terciario (2).

Main C.Exteriores Primario Secundario Terciario Viviendas Control Emisiones Simulación	
Parámetros comunes	
Temperatura de referencia para definir los consumos de A.C.S. (60°C HE-4; 45°C PROSOL)	60.00 °C
Vivienda Tipo A	
Número de viviendas de tipo A	7
Demanda diaria de A.C.S. de una vivienda tipo A, a la temperatura de referencia	66.00 litros/día.vivienda
Perfil diario de demanda	Mañana
Perfil mensual de demanda	DTIE
Vivienda Tipo B	
Número de viviendas de tipo B	7
Demanda diaria de A.C.S. de una vivienda tipo B, a la temperatura de referencia	66.00 litros/día.vivienda
Perfil diario de demanda	Tarde
Perfil mensual de demanda	DTIE
Vivienda Tipo C	
Número de viviendas de tipo C	7
Demanda diaria de A.C.S. de una vivienda tipo C, a la temperatura de referencia	88.00 litros/día.vivienda
Perfil diario de demanda	Mañana
Perfil mensual de demanda	DTIE
Vivienda Tipo D	
Número de viviendas de tipo D	7
Demanda diaria de A.C.S. de una vivienda tipo D, a la temperatura de referencia	88.00 litros/día.vivienda
Perfil diario de demanda	Tarde
Perfil mensual de demanda	DTIE

Figura 33: Pantalla terciario.

En el control de carga del acumulador, se define el control de las bombas del circuito primario y secundario. En concreto se define la temperatura máxima permitida en el acumulador y las diferencias de temperatura de arranque y parada de las bombas.

En el control del sistema auxiliar, se define la temperatura de preparación del ACS que se corresponde con la temperatura de salida del sistema auxiliar.

f) Emisiones

En la pantalla de emisiones (Figura 46) se define el tipo de sistema auxiliar, el consumo de las bombas del circuito primario y secundario y la potencia de la bomba de recirculación en caso de que exista.

Considera seis opciones de sistema auxiliar; calentador al paso con GLP, calentador al paso con gas natural, calentador de gas natural con acumulador, termoacumulador eléctrico, bomba de calor con acumulador y caldera de biomasa. En cada caso indica el rendimiento medio de generación que considera el programa).

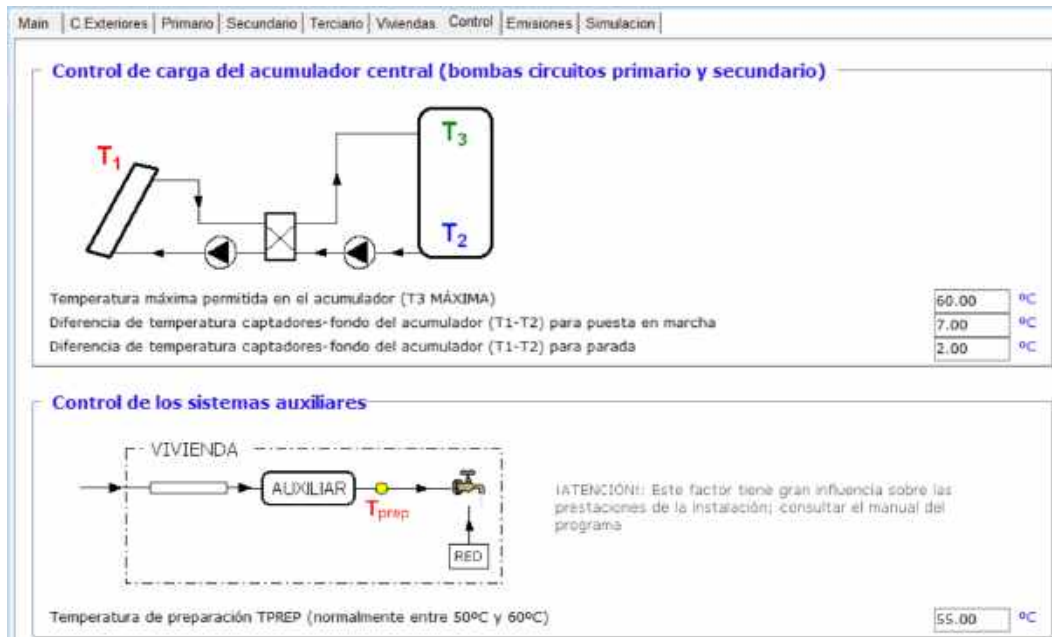


Figura 34: Pantalla de control de la instalación.

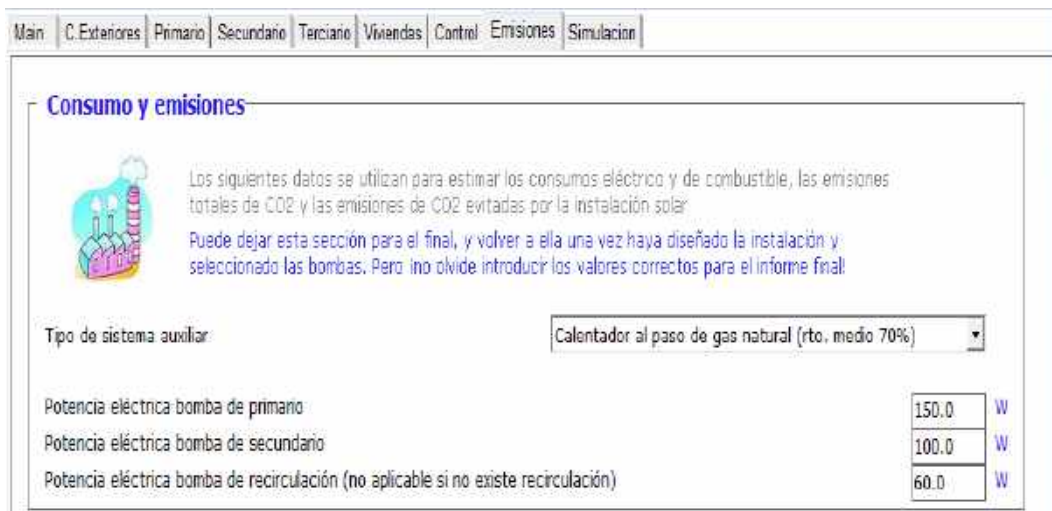


Figura 35: Pantalla consumo y emisiones.

g) Simulación y resultados

Por último, está la pantalla final (Figura 47) se indican los parámetros de la simulación, se procede a la simulación del sistema (pulsando F8) y se imprimen los resultados contemplando diferentes opciones (Figura 48).

Como parámetros de simulación se definen el mes de inicio y fin de la simulación, el paso de tiempo y la tolerancia de cálculo. El programa recomienda valores por defecto para estos dos últimos parámetros.



Figura 36: Pantalla simulación.

SALIDAS CONVENCIONALES



Pulse aquí para abrir el informe de resultados en formato HTM



Pulse aquí para abrir el informe con Word

Puede que tenga que ajustar manualmente los márgenes de página y columna

SALIDAS DETALLADAS (resultados horarios) - para usuarios avanzados

Para utilizar esta funcionalidad, puede que tenga que configurar adecuadamente EXCEL y DVIEW. Consulte el manual del programa



Explorar los resultados horarios de la simulación

Requiere Excel 2000 (o superior)



Explorar los resultados horarios de la simulación

Requiere DVIEW (NREL)

para interpretar la información anterior ...



Leyenda salidas detalladas

(requiere lector de PDF: Acrobat Reader, etc.)



Leyenda (temperaturas)

NOTA IMPORTANTE:

Antes de ejecutar una nueva simulación, deberá cerrar o guardar con otro nombre los ficheros de salida que haya abierto con Excel o con Dview. De lo contrario se producirá un error

Figura 37: Diferentes opciones de resultados.

3. Estudio de casos

3.1 Introducción

En este capítulo se realiza la comparación entre los dos programas; CHEQ4 y ACSOL. Para ello se definen 180 sistemas diferentes variando parámetros como configuración, localidad, tamaño de la instalación, etc. Como paso previo es necesario garantizar que la entrada de datos es la misma en cada programa. Como se ha comprobado en el capítulo anterior, la estructura de entrada de datos en cada programa es diferente, existen datos de entrada en un programa que no se consideran en el otro, o un parámetro que se caracterizan en cada programa por una variable diferente. Un ejemplo de esto último es la caracterización del modificador del ángulo de incidencia que en CHEQ4 se realiza a través del K_{50} y en ACSOL con el parámetro b_0 .

El capítulo se ha estructurado de la siguiente manera. En primer lugar se analizan de forma conjunta las variables de entrada en cada programa, tomando las decisiones necesarias para garantizar que coinciden en cada programa. En segundo lugar se definen los casos a simular y las variables finales que se van a utilizar para comparar los resultados. Finalmente se simulan los diferentes casos considerados y se analizan los resultados obtenidos.

3.2 Datos de entrada

A partir del análisis de las variables de entrada de cada programa realizado en el capítulo anterior se han elaborado unas tablas resumen de las entradas de ambos programas (Tabla 1 y Tabla 2). Se observa en primer lugar que el número de variables de entrada en ACSOL es superior al número de variables de entrada en CHEQ4. Las variables de entrada de ACSOL que no figuren en CHEQ4 se han de analizar con detenimiento para que no supongan un tratamiento distinto de los casos a simular. Si estas variables están definidas por defecto en CHEQ4, hay que tomar este valor en ACSOL. Algunas variables en ACSOL, como las relacionadas con el paso de tiempo de la simulación o la tolerancia de cálculo no son de aplicación en CHEQ4 por lo que se tomarán los valores recomendados en ACSOL.

En la columna de observaciones de la tabla variables de entrada de CHEQ4 se han indicado las variables que hay que anotar para introducirlas posteriormente en ACSOL (por ejemplo los valores mensuales de las variables meteorológicas). Como algunas variables se calculan automáticamente en la tabla en función de variables anteriores, se indica en la columna de observaciones que el valor calculado debe coincidir con el reflejado en CHEQ4. Normalmente estas variables las calcula de forma automática CHEQ4 por lo que es conveniente comprobar el valor. Es el caso por ejemplo de la superficie total de captación que se calcula en función del área de un captador solar y del número de captadores de la instalación.

Con el mismo criterio, en la tabla de variables de entrada de ACSOL se indican las variables que se han de tomar de las variables de entrada de CHEQ4, se fijan algunas opciones que están prefijadas en CHEQ4, como el tipo de curva de rendimiento del captador, o que no se consideran en CHEQ4, como es el número de montantes. Las indicaciones anteriores son imprescindibles para garantizar que en los dos programas se han utilizado las mismas variables de entrada, de manera que los resultados obtenidos sean comparables.

CHEQ4		
Parámetro	Valor	Observaciones
Localización		
Provincia		
Municipio		
Latitud (º)		
Radiación media diaria horizontal (MJ/m2día)		Anotar valores mensuales de la tabla
Temperatura ambiente media mensual (ºC)		Anotar valores mensuales de la tabla
Temperatura de red (ºC)		Anotar valores mensuales de la tabla
Configuración		
Configuración		
Demanda		
Aplicación		
Número de personas		
Demanda (l/día a 60)		
Viviendas (nº)		
Dormitorios (nº)		
Consumo (l/día)		
Viviendas (nº)		
Dormitorios (nº)		
Consumo (l/día)		
Viviendas (nº)		
Dormitorios (nº)		
Consumo (l/día)		
Viviendas (nº)		
Dormitorios (nº)		
Consumo (l/día)		
Demanda (l/día a 60)		Comprobar que coincide con CHEQ4
Otras demandas (l/día a 60 C)		
Demanda total (l/día a 60)		Comprobar que coincide con CHEQ4
Ocupación estacional (%)		
CAPTADORES		
Empresa		
Modelo		
Área (m2)		Valores tomados de CHEQ4
a0		Valores tomados de CHEQ4
a1 (W/m2 K)		Valores tomados de CHEQ4
a2 (W/m2K2)		Valores tomados de CHEQ4
Caudal ensayo (l/h m2)		Valores tomados de CHEQ4
k50		Valores tomados de CHEQ4
CAMPO DE CAPTADORES		
Número captadores		
Captadores en serie		
Pérdidas sombra (%)		
Orientación (º)		
Inclinación (º)		
Área total captadores (m2)		Comprobar que coincide con CHEQ4
CIRCUITO PRIMARIO/SECUNDARIO		
Caudal primario (l/h)		
Anticongelante(%)		
Long. Circuito (m)		
Diám. tubería (mm)		
Aislante		
Esp. Aislante (mm)		
SISTEMA DE APOYO		
Tipo de sistema auxiliar		
Tipo de combustible		
VOLUMEN DE ACUMULACIÓN		
Volumen total (l)		
Vol/Area (l/m2)		
Vol acumulación subestación Tipo A (l)		Solo en sist de acumulación distribuida
Vol acumulación subestación Tipo B (l)		Solo en sist de acumulación distribuida
Vol acumulación subestación Tipo C (l)		
Vol acumulación subestación Tipo D (l)		
Volumen total (l)		Solo en sist de acumulación distribuida
Vol/Area (l/m2)		Solo en sist de acumulación distribuida
DISTRIBUCIÓN		
Long. Circuito (m)		
Diám. tubería (mm)		
Esp. Aislante (mm)		
Aislante		
Temperatura impulsión (C)		
DISTRIBUCIÓN SUBESTACIONES		
Long. Circuito (m)		
Diám. tubería (mm)		
Esp. Aislante (mm)		
Aislante		
Conductividad (W/m-K)		

Tabla 1: Datos de entrada CHEQ4

ACSOL		
Parámetro	Valor	Observaciones
Configuración		En ACSOL se elige al principio
Configuración		Escribir tipo
Condiciones Exteriores		
Condiciones Exteriores		-
Tipo de localidad		-
Latitud (°)		-
Radiación media diaria horizontal (MJ/m2 día)		Tomar valores del CHEQ4 para cada mes
Temperatura ambiente media mensual (°C)		
Temperatura de red (°C)		
Albedo (reflectividad del suelo)		
Tª interior en invierno (°C)		
Tª interior en verano (°C)		
Tratamiento de sombras		
PRIMARIO		
Conexión de captadores		
Área total de captación (m2)		
Inclinación de los captadores (°)		
Acimut de los captadores (°)		
Curva de eficiencia expresada en:		Seleccionar en función de (Tfe - Ta)
Caudal en condiciones de ensayo (l/h m2)		
a0		
a1 (W/m2 K)		
a2 (W/m2K2)		
Modificador ángulo incidencia (b0)		Calculado a partir de CHEQ4
Fluido primario		
Caudal operación de un captador (l/h m2)		Calculado a partir de CHEQ4
Potencia nominal intercambiador (W/m2)		
Diferencia temperatura logarítmica media (C)		
Considerar pérdidas calor en tuberías campo		
Longitud tubería intercambiador-captadores (m)		Es la mitad de la que figura en CHEQ4
Porcentaje tubería por el interior (%)		
Longitud tubería captadores-intercambiador (m)		Es la mitad de la que figura en CHEQ4
Porcentaje tubería por el interior (%)		
Diám. tubería (mm)		
Conductividad aislamiento (W/m·K)		
Espesor aislamiento tuberías interiores (mm)		
Espesor aislamiento tuberías exteriores (mm)		
SECUNDARIO		
Relación Volumen/Area (l/m2)		
Altura equivalente (m)		$h = 0,32 V + 1,65$ (V en m3) en CHEQ4
Conductividad del aislamiento (W/m·K)		
Espesor del aislamiento (mm)		
Considerar tuberías intercambiador-acumulador		
TERCIARIO		
Considerar tuberías de distribución		
Número de montantes		Se supone 1 montante
Longitud de un montante (m)		
Diámetro de un montante (mm)		
Conductividad aislamiento (W/m·K)		
Espesor del aislamiento (mm)		
Longitud de una derivación A (m)		
Diámetro de una derivación A (mm)		
Conductividad aislamiento derivación A (W/m·K)		
Espesor del aislamiento derivación A (mm)		
Longitud de una derivación B (m)		
Diámetro de una derivación B (mm)		
Conductividad aislamiento derivación B (W/m·K)		
Espesor del aislamiento derivación B (mm)		
Longitud de una derivación C (m)		
Diámetro de una derivación C (mm)		
Conductividad aislamiento derivación C (W/m·K)		
Espesor del aislamiento derivación C (mm)		
Longitud de una derivación D (m)		
Diámetro de una derivación D (mm)		
Conductividad aislamiento derivación D (W/m·K)		
Espesor del aislamiento derivación D (mm)		
Viviendas		
Temperatura referencia ACS (°C)		Valor en CHEQ4 (CTE)
Viviendas Tipo A (nº)		
Demanda diaria vivienda Tipo A (l/día)		
Perfil diario demanda vivienda Tipo A		
Perfil mensual demanda vivienda Tipo A		
Viviendas Tipo B (nº)		
Demanda diaria vivienda Tipo B (l/día)		
Perfil diario demanda vivienda Tipo B		
Perfil mensual demanda vivienda Tipo B		
Viviendas Tipo C (nº)		
Demanda diaria vivienda Tipo C (l/día)		
Perfil diario demanda vivienda Tipo C		
Perfil mensual demanda vivienda Tipo C		
Viviendas Tipo D (nº)		
Demanda diaria vivienda Tipo D (l/día)		
Perfil diario demanda vivienda Tipo D		
Perfil mensual demanda vivienda Tipo D		
CONTROL		
Temperatura máxima en acumulador (C)		
Diferencia temperatura para arranque (C)		
Diferencia temperatura para parada (C)		
Tª de preparación (C)		
EMISIONES		
Tipo de sistema auxiliar		
Potencia eléctrica bomba primario (W)		
Caudal máximo bomba del secundario (W)		
Potencia eléctrica bomba secundario (W)		
SIMULACIÓN		
Mes inicio simulación		
Mes final simulación		
Paso de tiempo (min)		
Tolerancia de cálculo		

Tabla 2: Datos de entrada ACSOL

Algunas variables en ACSOL se calculan de forma automática en función de otra variable en CHEQ4 que caracteriza el mismo parámetro. Es el caso del parámetro b_0 del modificador del modificador del ángulo de incidencia en ACSOL que se calcula en función del valor de K_{50} en CHE4 mediante la ecuación de definición del modificador del ángulo de incidencia

$$b_0 = \frac{(1 - K_{50})}{\left(\frac{1}{\cos 50} - 1\right)}$$

3.3 Definición de los casos

Como paso previo a la definición de los casos se define el caso base para posteriormente definir la variación de parámetros que configura el número total de casos a analizar. Las características del caso base son las siguientes;

- Localidad: Sevilla
- Configuración: Todo centralizado
- Número de viviendas tipo A: 30
- Número de dormitorios por vivienda tipo A: 3
- Número de viviendas tipo B: 30
- Número de dormitorios por vivienda tipo B: 2
- Marca y modelo de captador solar: Termicol, T25 US (Figura 39)
- Número de captadores: 50
- Número de captadores en serie: 1
- Orientación captadores: sur
- Inclinación captadores: 40°
- Longitud circuito primario: 100 m
- Sistema auxiliar: caldera convencional de gas natural
- Longitud circuito de distribución: 100 m
- Longitud circuito subestaciones: 100 m

Características Técnicas / Technical Data / Características Técnicas

	Verticales / Vertical / Vertikale	250US	250US	Horizontales / Horizontal / Horizontale	250USH	250USH
Modelo / Model / Modell						
Longitud / Length / Comprimento (mm)		2.100	2.100	970	1200	
Anchura / Width / Largura (mm)		970	1.200	2.130	2.130	
Long. absorb. / Absorb. length / Comprimento de absor. (mm)		2.057	2.057	903	903	
Espesor / Thickness / Espessura (mm)		83	83	83	83	
Área bruta / Gross area / Área bruta (m ²)		2,1	2,5	2,1	2,5	
Área neta / Aperture area / Área de abertura (m ²)		1,9	2,4	1,9	2,4	
Peso en vacío / Empty Weight / Peso vacío (kg)		35	39	36	40	
Capacidad de fluido / Capacity / Capacidade de fluido (liters)		1,02	1,27	0,95	1,05	
Potencia pico / Peak power / Potência máxima (Wp)		1.505	1.885	1.505	1.885	
Marco / Frame / Caixa	Aluminio / Aluminum / Alumínio					
Cubierta / Cover material / Material de cobertura	Vidrio templado 3,2 mm / Tempered solar glass 3,2 mm / Vidro solar temperado 3,2 mm					
Aislamiento / Insulation / Isolamento	Lana de vidrio 40 mm / 40 mm Glass wool / Lã de vidro 40 mm					

Modelos y Precios / Models and Prices / Modelos e Preços

Modelo / Model / Modelo	Descripción / Description / Descrição	Disposición / Configuration / Configuração	Área Neta / Net Area / Área Líquida (m ²)	Área Bruta / Gross Area / Área Bruta (m ²)	Referencia / Reference / Referência	P.V.P. € / P.V.P. € / P.V.P. €
T25US		Vertical	1,9	2,07	301A02T25	400
T25US	Captador Ultraselectivo / Ultraselective collector	Vertical	2,4	2,55	301A02T25	550
T25USH	Captador Ultraselectivo	Horizontal	1,9	2,32	301A12T25	508
T25USH		Horizontal	2,4	2,54	301A12T25	621

Figura 38: Catálogo del captador solar

La variación de parámetros que se consideran es la siguiente:

- Localidad: Sevilla, Madrid
- Configuración: Todo centralizado, apoyo distribuido y acumulación distribuida
- Número de viviendas tipo A y tipo B: 30, 50
- Número de captadores: 30, 50, 70
- Longitud circuito primario, de distribución y subestaciones: 25, 100, 150, 200, 250 m

En las Tablas 3 y 4 se resumen las variables de entrada del caso base y la variación de parámetros en CHEQ4 y en ACSOL. En total el número de casos analizados es 180 y se identifican con un número del 1 al 180. En la Tabla 5 se resumen los 180 casos identificando cada uno con el código correspondiente. El caso número 7 se corresponde con el caso base.

El orden en cuanto al cálculo, ha sido primero Sevilla, operando como si fueran ramas de la siguiente forma; Ciudad – Sistema – Número de viviendas – Número de captadores – Longitud. Primero se varían las longitudes, después el número de captadores, seguidamente el número de viviendas y por último el sistema, para una misma ciudad.

Habrán casos que no serán posibles desde el punto de vista del reglamento vigente en nuestro país. El programa CHEQ4 da como resultado la validez legal del caso en estudio. De esta forma, sabremos si es posible el diseño de la instalación en estudio o no. Concretamente, comprueba el cumplimiento de la contribución solar mínima exigida por la HE4 (Figura 50).

Sevilla es zona V, es decir, considerada de alta radiación térmica, mientras que Madrid es zona IV. En la Figura 50 se resumen las exigencias de contribución solar mínima en HE4.

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

Figura 39: Contribución solar mínima según HE4 en %.

3.4 Simulación de los casos

Los 180 casos analizados se han simulado con CHEQ4 y con ACSOL. Los resultados obtenidos se muestran en el Anexo. Como variables de salida, incluidas en las tablas de resultados del Anexo, se encuentran:

- Consumo de ACS (l/día)
- Fracción solar (%)
- Demanda bruta (kWh/año)
- Demanda neta (kWh/año)
- Consumo en auxiliares (kWh/año)
- Reducción emisiones CO₂ (kg CO₂/año)
- Cumplimiento contribución solar mínima HE4

CHEQ4		
Parámetro	Valor Base	Variación
Localización		
Provincia	Sevilla	Sevilla/ Madrid
Municipio	Sevilla	Sevilla/ Madrid
Latitud (º)		
Radiación media diaria horizontal (MJ/m2día)		
Temperatura ambiente media mensual (ºC)		
Temperatura de red (ºC)		
Configuración		
Configuración	Todo centralizado	Todo centralizado, apoyo distribuido y acumulación distribuida
Demanda		
Aplicación	No	
Número de personas	No	
Demanda (l/día a 60)	No	
Viviendas (nº)	30	30 / 50
Dormitorios (nº)	3	
Consumo (l/día)	2.688	
Viviendas (nº)	30	
Dormitorios (nº)	2	
Consumo (l/día)	2.016	
Viviendas (nº)	0	No se considera
Dormitorios (nº)	0	No se considera
Consumo (l/día)	0	No se considera
Viviendas (nº)	0	No se considera
Dormitorios (nº)	0	No se considera
Consumo (l/día)	0	No se considera
Demanda (l/día a 60)	4.704	
Otras demandas (l/día a 60 C)	0	
Demanda total (l/día a 60)	4.704	
Ocupación estacional (%)	100	
CAPTADORES		
Empresa	Termicol	
Modelo	T25 US	
Área (m2)	2,4	
a0	0,8	
a1 (W/m2 K)	3,93	
a2 (W/m2K2)	0,026	
Caudal ensayo (l/h m2)	72	
k50	0,82	
CAMPO DE CAPTADORES		
Número captadores	50	30 / 50 / 70
Captadores en serie	1	
Pérdidas sombra (%)	0	
Orientación (º)	0	
Inclinación (º)	40	
Área total captadores (m2)	120	
CIRCUITO PRIMARIO/SECUNDARIO		
Caudal primario (l/h)	8.640	
Anticongelante(%)	0	
Long. Circuito (m)	100	25/ 100/ 150/ 200/ 250
Diám. tubería (mm)	48	
Aislante	Genérico	
Esp. Aislante (mm)	30	
SISTEMA DE APOYO		
Tipo de sistema auxiliar	C Convenc	
Tipo de combustible	G Natural	
VOLUMEN DE ACUMULACIÓN		
Volumen total (l)	9.000	
Vol/Area (l/m2)	75	
Vol acumulación subestación Tipo A (l)	No	
Vol acumulación subestación Tipo B (l)	No	
Vol acumulación subestación Tipo C (l)	No	
Vol acumulación subestación Tipo D (l)	No	
Volumen total (l)	No	
Vol/Area (l/m2)	No	
DISTRIBUCIÓN		
Long. Circuito (m)	100,00	25/ 100/ 150/ 200/ 250
Diám. tubería (mm)	80	
Esp. Aislante (mm)	30	
Aislante	Genérico	
Temperatura impulsión (C)	55	
DISTRIBUCIÓN SUBESTACIONES		
Long. Circuito (m)	100,00	25/ 100/ 150/ 200/ 250
Diám. tubería (mm)	40	
Esp. Aislante (mm)	30	
Aislante	Genérico	
Conductividad (W/m·K)	0,043	

Tabla 3: Datos de entrada caso base y variaciones en CHEQ4

ACSOL		
Parámetro	Valor Base	Variación
Configuración		
Configuración	Todo centralizado	Todo centralizado, acumulación centralizada y acumulación distribuida
Condiciones Exteriores		
Condiciones Exteriores	Opción 2	
Tipo de localidad	Peninsular	
Latitud (º)	0	
Radiación media diaria horizontal (MJ/m2 día)		Valor medio en CHEQ4
Temperatura ambiente media mensual (°C)		Valor medio en CHEQ4
Temperatura de red (°C)		Valor medio en CHEQ4
Albedo (reflectividad del suelo)	0,2	
Tª interior en invierno (°C)	18	
Tª interior en verano (°C)	25	
Tratamiento de sombras	Opción 1	
PRIMARIO		
Conexión de captadores	1	
Área total de captación (m2)	120	
Inclinación de los captadores (º)	40	
Acimut de los captadores (º)	0	
Curva de eficiencia expresada en:	Función de Tfe	
Caudal en condiciones de ensayo (l/h m2)	72	
a0	0,8	
a1 (W/m2 K)	3,93	
a2 (W/m2K2)	0,026	
Modificador ángulo incidencia (b0)	0,324	
Fluido primario	agua	
Caudal operación de un captador (l/h m2)	72,00	
Potencia nominal intercambiador (W/m2)	500	
Diferencia temperatura logarítmica media (C)	5	
Considerar pérdidas calor en tuberías campo	SI	
Longitud tubería intercambiador-captadores (m)	50,00	12,5/ 50/ 75/ 100/ 125
Porcentaje tubería por el interior (%)	50%	
Longitud tubería captadores-intercambiador (m)	50,00	12,5/ 50/ 75/ 100/ 125
Porcentaje tubería por el interior (%)	50%	
Diám. tubería (mm)	48	
Conductividad aislamiento (W/m-K)	0,043	
Espesor aislamiento tuberías interiores (mm)	30	
Espesor aislamiento tuberías exteriores (mm)	30	
SECUNDARIO		
Relación Volumen/Área (l/m2)	75,00	
Altura equivalente (m)	4,53	
Conductividad del aislamiento (W/m-K)	0,043	
Espesor del aislamiento (mm)	80	
Considerar tuberías intercambiador-acumulador	No	
TERCIARIO		
Considerar tuberías de distribución	SI	
Número de montantes	1	
Longitud de un montante (m)	100,00	25/ 100/ 150/ 200/ 250
Diámetro de un montante (mm)	80,00	
Conductividad aislamiento (W/m-K)	0,043	
Espesor del aislamiento (mm)	30	
Longitud de una derivación A (m)	50,00	12,5/ 50/ 75/ 100/ 125
Diámetro de una derivación A (mm)	40,00	
Conductividad aislamiento derivación A (W/m-K)	0,043	
Espesor del aislamiento derivación A (mm)	30	
Longitud de una derivación B (m)	50,00	12,5/ 50/ 75/ 100/ 125
Diámetro de una derivación B (mm)	40,00	
Conductividad aislamiento derivación B (W/m-K)	0,043	
Espesor del aislamiento derivación B (mm)	30	
Longitud de una derivación C (m)	0,00	No se considera
Diámetro de una derivación C (mm)	0,00	No se considera
Conductividad aislamiento derivación C (W/m-K)	0,00	No se considera
Espesor del aislamiento derivación C (mm)	0	No se considera
Longitud de una derivación D (m)	0,00	No se considera
Diámetro de una derivación D (mm)	0,00	No se considera
Conductividad aislamiento derivación D (W/m-K)	0,00	No se considera
Espesor del aislamiento derivación D (mm)	0	No se considera
Viviendas		
Temperatura referencia ACS (°C)	60	
Viviendas Tipo A (nº)	30	30 / 50
Demanda diaria vivienda Tipo A (l/día)	2.688	
Perfil diario demanda vivienda Tipo A	DTIE	
Perfil mensual demanda vivienda Tipo A	Uniforme	
Viviendas Tipo B (nº)	30	
Demanda diaria vivienda Tipo B (l/día)	2.016	
Perfil diario demanda vivienda Tipo B	DTIE	
Perfil mensual demanda vivienda Tipo B	Uniforme	
Viviendas Tipo C (nº)	0	No se considera
Demanda diaria vivienda Tipo C (l/día)	0	No se considera
Perfil diario demanda vivienda Tipo C	DTIE	No se considera
Perfil mensual demanda vivienda Tipo C	Uniforme	No se considera
Viviendas Tipo D (nº)	0	No se considera
Demanda diaria vivienda Tipo D (l/día)	0	No se considera
Perfil diario demanda vivienda Tipo D	DTIE	No se considera
Perfil mensual demanda vivienda Tipo D	Uniforme	No se considera
CONTROL		
Temperatura máxima en acumulador (C)	90	
Diferencia temperatura para arranque (C)	7	
Diferencia temperatura para parada (C)	3	
Tª de preparación (C)	55	
EMISIONES		
Tipo de sistema auxiliar	Caldera GN 70%	
Potencia eléctrica bomba primario (W)	0	
Caudal máximo bomba del secundario (W)	0	
Potencia eléctrica bomba secundario (W)	0	
SIMULACIÓN		
Mes inicio simulación	Enero	
Mes final simulación	Diciembre	
Paso de tiempo (min)	30	
Tolerancia de cálculo	V. recomendado	

Tabla 4: Datos de entrada caso base y variaciones en ACSOL

Caso	Ciudad	Sistema	N Viviendas	N Captadores	Longitud C primario (m)
1	Sevilla	Todo centralizado	30	30	25
2	Sevilla	Todo centralizado	30	30	100
3	Sevilla	Todo centralizado	30	30	150
4	Sevilla	Todo centralizado	30	30	200
5	Sevilla	Todo centralizado	30	30	250
6	Sevilla	Todo centralizado	30	50	25
7	Sevilla	Todo centralizado	30	50	100
8	Sevilla	Todo centralizado	30	50	150
9	Sevilla	Todo centralizado	30	50	200
10	Sevilla	Todo centralizado	30	50	250
11	Sevilla	Todo centralizado	30	70	25
12	Sevilla	Todo centralizado	30	70	100
13	Sevilla	Todo centralizado	30	70	150
14	Sevilla	Todo centralizado	30	70	200
15	Sevilla	Todo centralizado	30	70	250
16	Sevilla	Todo centralizado	50	30	25
17	Sevilla	Todo centralizado	50	30	100
18	Sevilla	Todo centralizado	50	30	150
19	Sevilla	Todo centralizado	50	30	200
20	Sevilla	Todo centralizado	50	30	250
21	Sevilla	Todo centralizado	50	50	25
22	Sevilla	Todo centralizado	50	50	100
23	Sevilla	Todo centralizado	50	50	150
24	Sevilla	Todo centralizado	50	50	200
25	Sevilla	Todo centralizado	50	50	250
26	Sevilla	Todo centralizado	50	70	25
27	Sevilla	Todo centralizado	50	70	100
28	Sevilla	Todo centralizado	50	70	150
29	Sevilla	Todo centralizado	50	70	200
30	Sevilla	Todo centralizado	50	70	250
31	Sevilla	Apoyo distribuido	30	30	25
32	Sevilla	Apoyo distribuido	30	30	100
33	Sevilla	Apoyo distribuido	30	30	150
34	Sevilla	Apoyo distribuido	30	30	200
35	Sevilla	Apoyo distribuido	30	30	250
36	Sevilla	Apoyo distribuido	30	50	25
37	Sevilla	Apoyo distribuido	30	50	100
38	Sevilla	Apoyo distribuido	30	50	150
39	Sevilla	Apoyo distribuido	30	50	200
40	Sevilla	Apoyo distribuido	30	50	250
41	Sevilla	Apoyo distribuido	30	70	25
42	Sevilla	Apoyo distribuido	30	70	100
43	Sevilla	Apoyo distribuido	30	70	150
44	Sevilla	Apoyo distribuido	30	70	200
45	Sevilla	Apoyo distribuido	30	70	250
46	Sevilla	Apoyo distribuido	50	30	25
47	Sevilla	Apoyo distribuido	50	30	100
48	Sevilla	Apoyo distribuido	50	30	150
49	Sevilla	Apoyo distribuido	50	30	200
50	Sevilla	Apoyo distribuido	50	30	250
51	Sevilla	Apoyo distribuido	50	50	25
52	Sevilla	Apoyo distribuido	50	50	100
53	Sevilla	Apoyo distribuido	50	50	150
54	Sevilla	Apoyo distribuido	50	50	200
55	Sevilla	Apoyo distribuido	50	50	250
56	Sevilla	Apoyo distribuido	50	70	25
57	Sevilla	Apoyo distribuido	50	70	100
58	Sevilla	Apoyo distribuido	50	70	150
59	Sevilla	Apoyo distribuido	50	70	200
60	Sevilla	Apoyo distribuido	50	70	250
61	Sevilla	Acumulación distribuida	30	30	25
62	Sevilla	Acumulación distribuida	30	30	100
63	Sevilla	Acumulación distribuida	30	30	150
64	Sevilla	Acumulación distribuida	30	30	200
65	Sevilla	Acumulación distribuida	30	30	250
66	Sevilla	Acumulación distribuida	30	50	25
67	Sevilla	Acumulación distribuida	30	50	100
68	Sevilla	Acumulación distribuida	30	50	150
69	Sevilla	Acumulación distribuida	30	50	200
70	Sevilla	Acumulación distribuida	30	50	250
71	Sevilla	Acumulación distribuida	30	70	25
72	Sevilla	Acumulación distribuida	30	70	100
73	Sevilla	Acumulación distribuida	30	70	150
74	Sevilla	Acumulación distribuida	30	70	200
75	Sevilla	Acumulación distribuida	30	70	250
76	Sevilla	Acumulación distribuida	50	30	25
77	Sevilla	Acumulación distribuida	50	30	100
78	Sevilla	Acumulación distribuida	50	30	150
79	Sevilla	Acumulación distribuida	50	30	200
80	Sevilla	Acumulación distribuida	50	30	250
81	Sevilla	Acumulación distribuida	50	50	25
82	Sevilla	Acumulación distribuida	50	50	100
83	Sevilla	Acumulación distribuida	50	50	150
84	Sevilla	Acumulación distribuida	50	50	200
85	Sevilla	Acumulación distribuida	50	50	250
86	Sevilla	Acumulación distribuida	50	70	25
87	Sevilla	Acumulación distribuida	50	70	100
88	Sevilla	Acumulación distribuida	50	70	150
89	Sevilla	Acumulación distribuida	50	70	200
90	Sevilla	Acumulación distribuida	50	70	250

Tabla 5: Identificación de los casos

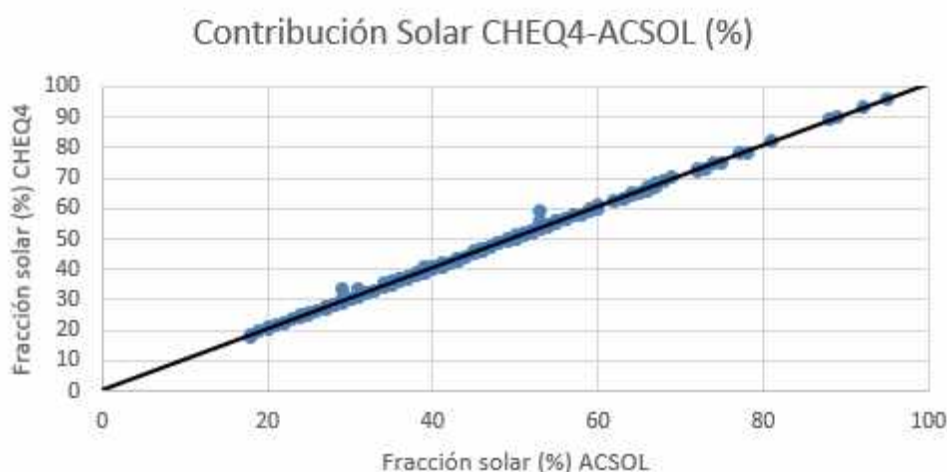
Caso	Ciudad	Sistema	N Viviendas	N Captadores	Longitud C primario (m)
91	Madrid	Todo centralizado	30	30	25
92	Madrid	Todo centralizado	30	30	100
93	Madrid	Todo centralizado	30	30	150
94	Madrid	Todo centralizado	30	30	200
95	Madrid	Todo centralizado	30	30	250
96	Madrid	Todo centralizado	30	50	25
97	Madrid	Todo centralizado	30	50	100
98	Madrid	Todo centralizado	30	50	150
99	Madrid	Todo centralizado	30	50	200
100	Madrid	Todo centralizado	30	50	250
101	Madrid	Todo centralizado	30	70	25
102	Madrid	Todo centralizado	30	70	100
103	Madrid	Todo centralizado	30	70	150
104	Madrid	Todo centralizado	30	70	200
105	Madrid	Todo centralizado	30	70	250
106	Madrid	Todo centralizado	50	30	25
107	Madrid	Todo centralizado	50	30	100
108	Madrid	Todo centralizado	50	30	150
109	Madrid	Todo centralizado	50	30	200
110	Madrid	Todo centralizado	50	30	250
111	Madrid	Todo centralizado	50	50	25
112	Madrid	Todo centralizado	50	50	100
113	Madrid	Todo centralizado	50	50	150
114	Madrid	Todo centralizado	50	50	200
115	Madrid	Todo centralizado	50	50	250
116	Madrid	Todo centralizado	50	70	25
117	Madrid	Todo centralizado	50	70	100
118	Madrid	Todo centralizado	50	70	150
119	Madrid	Todo centralizado	50	70	200
120	Madrid	Todo centralizado	50	70	250
121	Madrid	Apoyo distribuido	30	30	25
122	Madrid	Apoyo distribuido	30	30	100
123	Madrid	Apoyo distribuido	30	30	150
124	Madrid	Apoyo distribuido	30	30	200
125	Madrid	Apoyo distribuido	30	30	250
126	Madrid	Apoyo distribuido	30	50	25
127	Madrid	Apoyo distribuido	30	50	100
128	Madrid	Apoyo distribuido	30	50	150
129	Madrid	Apoyo distribuido	30	50	200
130	Madrid	Apoyo distribuido	30	50	250
131	Madrid	Apoyo distribuido	30	70	25
132	Madrid	Apoyo distribuido	30	70	100
133	Madrid	Apoyo distribuido	30	70	150
134	Madrid	Apoyo distribuido	30	70	200
135	Madrid	Apoyo distribuido	30	70	250
136	Madrid	Apoyo distribuido	50	30	25
137	Madrid	Apoyo distribuido	50	30	100
138	Madrid	Apoyo distribuido	50	30	150
139	Madrid	Apoyo distribuido	50	30	200
140	Madrid	Apoyo distribuido	50	30	250
141	Madrid	Apoyo distribuido	50	50	25
142	Madrid	Apoyo distribuido	50	50	100
143	Madrid	Apoyo distribuido	50	50	150
144	Madrid	Apoyo distribuido	50	50	200
145	Madrid	Apoyo distribuido	50	50	250
146	Madrid	Apoyo distribuido	50	70	25
147	Madrid	Apoyo distribuido	50	70	100
148	Madrid	Apoyo distribuido	50	70	150
149	Madrid	Apoyo distribuido	50	70	200
150	Madrid	Apoyo distribuido	50	70	250
151	Madrid	Acumulación distribuida	30	30	25
152	Madrid	Acumulación distribuida	30	30	100
153	Madrid	Acumulación distribuida	30	30	150
154	Madrid	Acumulación distribuida	30	30	200
155	Madrid	Acumulación distribuida	30	30	250
156	Madrid	Acumulación distribuida	30	50	25
157	Madrid	Acumulación distribuida	30	50	100
158	Madrid	Acumulación distribuida	30	50	150
159	Madrid	Acumulación distribuida	30	50	200
160	Madrid	Acumulación distribuida	30	50	250
161	Madrid	Acumulación distribuida	30	70	25
162	Madrid	Acumulación distribuida	30	70	100
163	Madrid	Acumulación distribuida	30	70	150
164	Madrid	Acumulación distribuida	30	70	200
165	Madrid	Acumulación distribuida	30	70	250
166	Madrid	Acumulación distribuida	50	30	25
167	Madrid	Acumulación distribuida	50	30	100
168	Madrid	Acumulación distribuida	50	30	150
169	Madrid	Acumulación distribuida	50	30	200
170	Madrid	Acumulación distribuida	50	30	250
171	Madrid	Acumulación distribuida	50	50	25
172	Madrid	Acumulación distribuida	50	50	100
173	Madrid	Acumulación distribuida	50	50	150
174	Madrid	Acumulación distribuida	50	50	200
175	Madrid	Acumulación distribuida	50	50	250
176	Madrid	Acumulación distribuida	50	70	25
177	Madrid	Acumulación distribuida	50	70	100
178	Madrid	Acumulación distribuida	50	70	150
179	Madrid	Acumulación distribuida	50	70	200
180	Madrid	Acumulación distribuida	50	70	250

Tabla 5: Identificación de los casos (continuación)

La diferencia entre la demanda bruta y la demanda neta corresponde a las pérdidas térmicas en el circuito de distribución y el circuito de subestaciones. Permite evaluar la importancia de las pérdidas térmicas de la red de tuberías en la fracción solar de la instalación. Para poder analizar esta influencia, se han considerado 6 longitudes diferentes de estos circuitos manteniendo en todos el mismo nivel de aislamiento.

3.5 Análisis de resultados

En un primer análisis se representa para cada uno de los 180 casos analizados, la fracción solar calculada en CHEQ4 frente a la contribución calculada en ACSOL (Gráfica 1). Si los resultados fueran idénticos, todos los puntos estarían sobre la diagonal a 45°. Se observa en la gráfica 1 que los resultados obtenidos por ambos programas son prácticamente coincidentes. Solo en algunos casos, CHEQ4 proporciona unos valores de la fracción solar ligeramente superiores a los calculados en ACSOL.

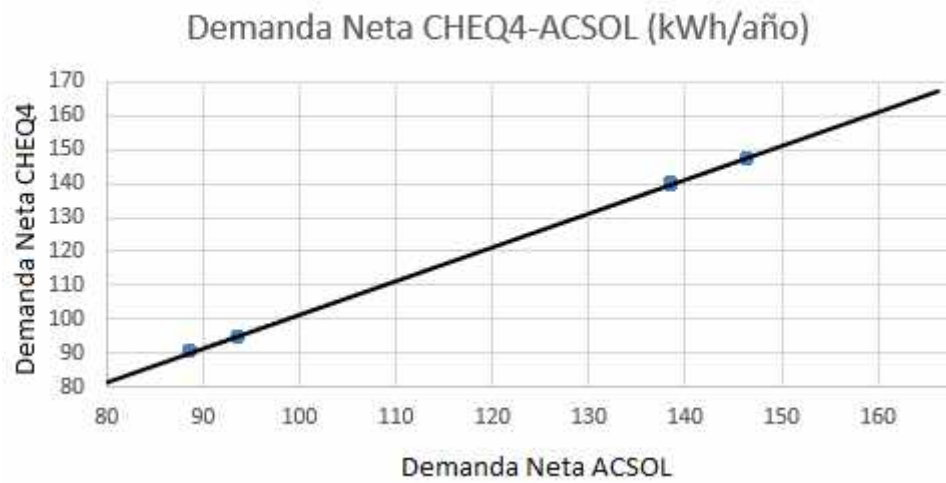


Gráfica 1: Contribución solar CHEQ4-ACSOL (%).

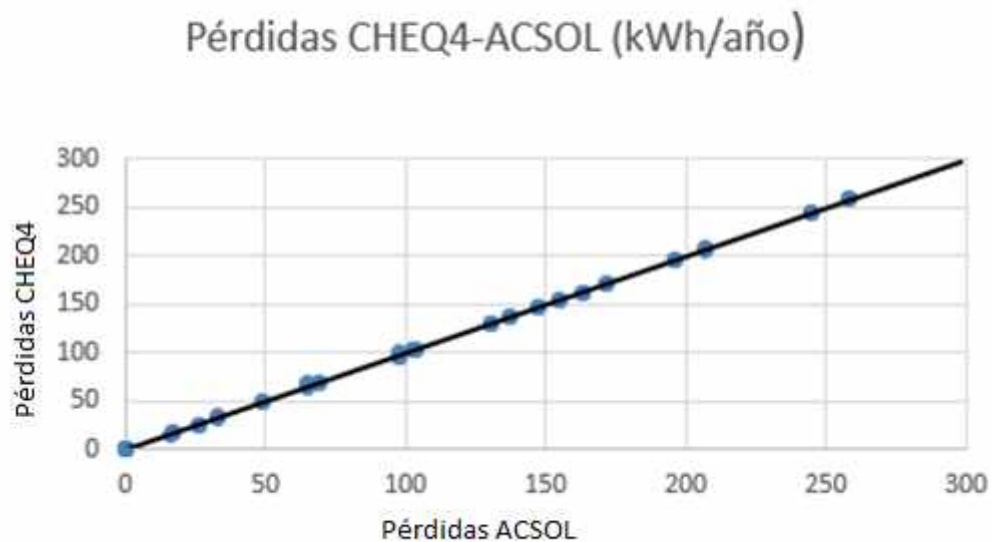
En la gráfica 2 se representa en el mismo tipo de gráfica, la demanda neta calculada para los 180 casos en los dos programas. La demanda coincide en todos los casos, de acuerdo con el análisis previo desarrollado para que los datos de entrada, entre ellos la demanda de ACS, fuera la misma en los dos programas.

La contribución solar es el resultado que más anomalías tiene. Esto está íntimamente relacionado con que este valor varía para cada caso, es decir, existen ciento ochenta valores de este parámetro. Mientras que, para la demanda y las pérdidas existen muchos menos valores, pues depende mayormente del número de viviendas, que para la mayoría de los casos es igual.

En la gráfica 3 se representan para cada uno de los 180 casos analizados, las pérdidas térmicas en los circuitos de distribución y de subestaciones calculadas en ambos programas. Se observa que ambos programas prácticamente coinciden en el cálculo de las pérdidas térmicas.

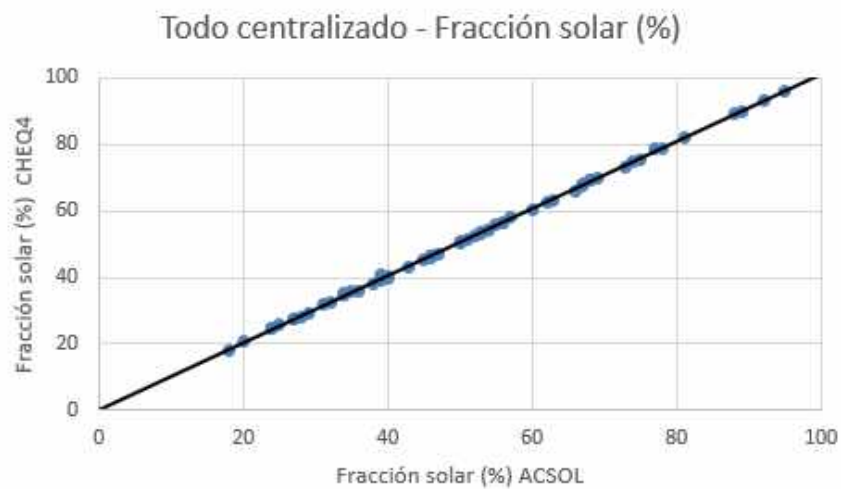


Gráfica 2: Demanda neta CHEQ4-ACSOL (kWh/año)

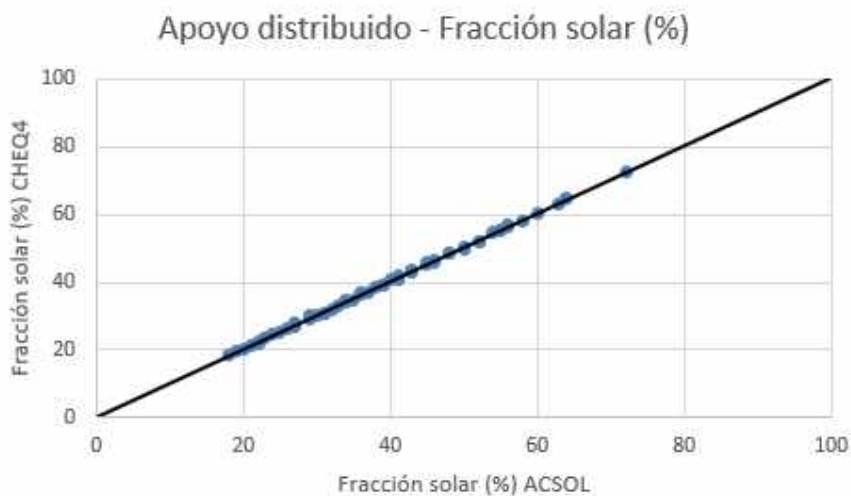


Gráfica 3: Pérdidas CHEQ4-ACSOL (kWh/año).

Ahora, pasamos a analizar las variaciones que existen entre los diferentes parámetros que se cambian por caso. En primer lugar, el tipo de sistema. Para ello en la gráfica 4,5 y 6 se van a representar para cada sistema de apoyo como variará la contribución solar.

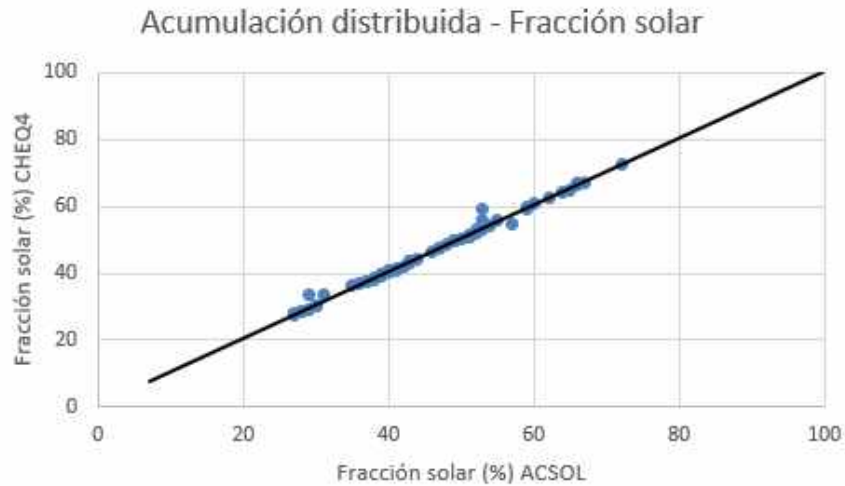


Gráfica 4: Evolución de la fracción solar para sistemas todo centralizado.



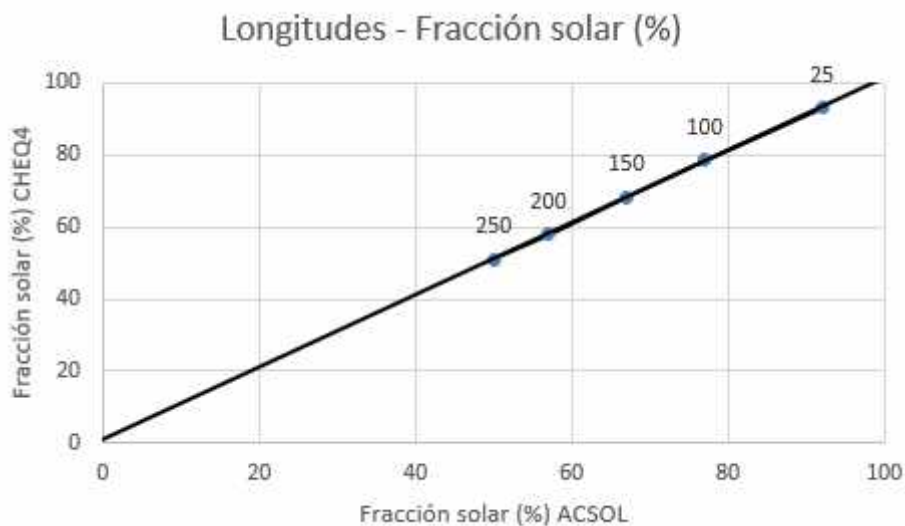
Gráfica 5: Evolución de la fracción solar para sistemas de apoyo distribuido.

A partir de estas tres gráficas, se puede deducir que el sistema con todo centralizado es el que mejor contribución solar o fracción solar tiene. En cuanto a los otros dos, están muy parejos, pero alcanza valores menores el de acumulación distribuida, alcanzando ambos más o menos el mismo máximo, por lo tanto, se tienen peores resultados de este, aunque se ve que no mucho mejores. En resumen, el sistema que mejor se comporta o que más convendría para una instalación de energía solar en condiciones normales según la fracción solar sería el de apoyo distribuido.



Gráfica 6: Evolución de la fracción solar para sistemas de acumulación distribuida.

Se continúa el proyecto contemplando la variación de la fracción solar en función de la longitud de la tubería. Para esto, se consideran cinco casos en concreto, en los cuales se varía únicamente la longitud de tuberías, siendo, los demás parámetros, constantes. Tendremos entonces cinco opciones, una para cada longitud de tubería. Lo cual se ve representado en la gráfica 7.

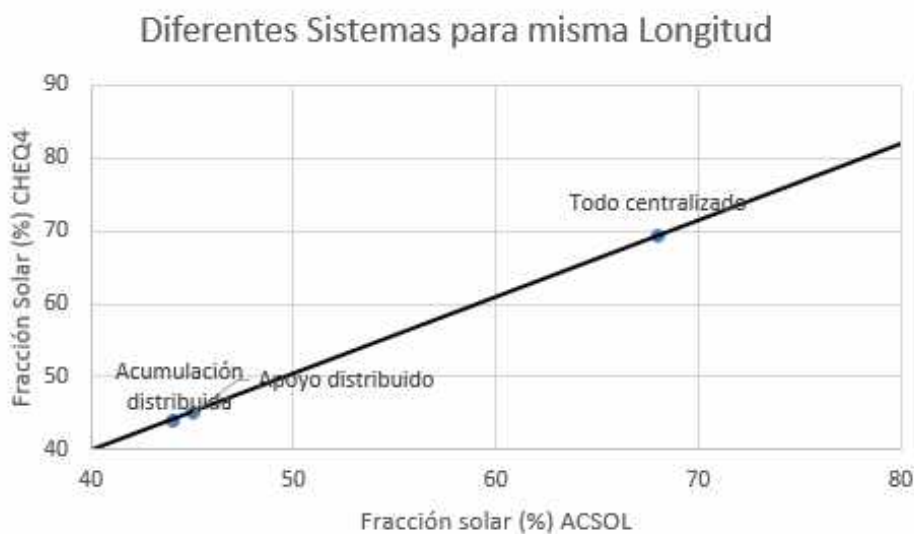


Gráfica 7: Evolución de la fracción solar con la longitud de tuberías.

Como se muestra en la gráfica 7, donde los valores que se encuentran sobre los puntos son la longitud de tuberías en metros, las tuberías más cortas funcionan mejor. Esto era algo que podía ser obvio, pero con esto queda totalmente demostrado. Se cumple en todos los casos, aunque se ha cogido uno genérico para su representación gráfica.

Por esta razón se intenta siempre diseñar la instalación lo más cerca posible del lugar que se quiere abastecer. Lo malo es que esto no siempre es posible por el espacio disponible para implantar la instalación. Es por eso que a veces, no se debe llevar a cabo la implantación de una instalación por temas de espacio disponible.

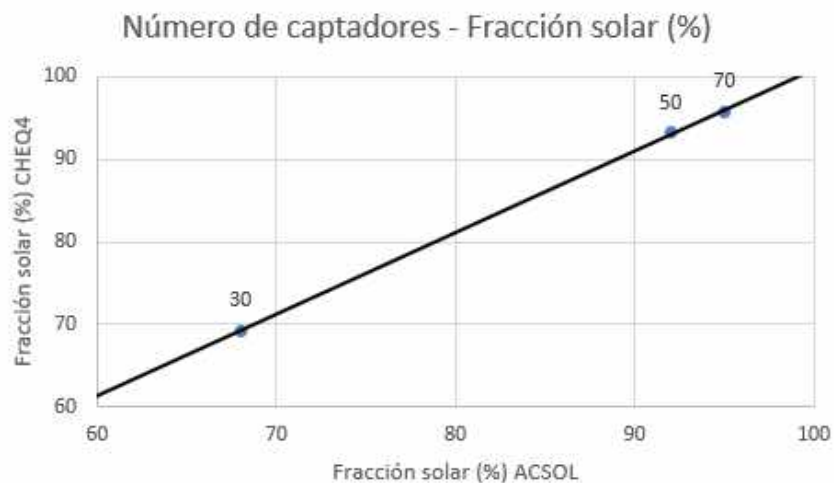
También se ha querido comprobar cómo afecta la variación del tipo de sistema de apoyo con una misma longitud, a modo de verificar los supuestos relativos a las gráficas 4, 5 y 6. En efecto se puede ver en la gráfica 8 que el sistema que mejor fracción solar tiene es el de todo centralizado y que los otros dos se ven muy parejos, aunque con una ligera diferencia a favor de sistema de acumulación distribuida



Gráfica 8: Evolución de la fracción solar con el sistema para una longitud de tuberías.

Por supuesto, no se puede dejar de lado el análisis del número de captadores, otro de los parámetros que se han ido cambiando a lo largo de los casos simulados. Esto se muestra en la gráfica 9, de forma que, como era de esperar, a más captadores, mayor fracción solar. Al igual que antes, se ha estudiado un caso genérico.

Como se recaló antes, también hay que fijarse en el error numérico que existe entre los diferentes casos. Para esto se ha hecho una resta simple, y llaman la atención algunas cosas. La primera, que el valor de ACSOL para la fracción solar siempre es mayor. La segunda, que existen algunos casos en los que la variación es demasiado grande. Se han estado estudiando estos y no se encuentra razón alguna. También es verdad que no son variaciones desmesuradas, simplemente se alejan un poco de la dinámica que llevaban las demás. En la Tabla 6 e muestran dichos casos.



Gráfica 9: Evolución de la fracción solar con el número de captadores.

		Sistema	Viv	Ncapt	L	Npers	Error CSCHEQ4-ACSOL
66	Sevilla	Acumulación distribuida	30	50	25	210	-6.3
76	Sevilla	Acumulación distribuida	50	30	25	350	-4.7
67	Sevilla	Acumulación distribuida	30	50	100	210	-3.1
77	Sevilla	Acumulación distribuida	50	30	100	350	-2.7
4	Sevilla	Todo centralizado	30	30	200	210	-1.8
7	Sevilla	Todo centralizado	30	50	100	210	-1.6
26	Sevilla	Todo centralizado	50	70	25	350	-1.4

Tabla 6: Errores máximos

4. Resumen y conclusiones

Se llega al cierre final del estudio. Se empezó explicando la funcionalidad y método de uso de cada uno de los programas. Después se mostraron los casos que iban a ser objeto de estudio, para pasar de lleno a concretarse los datos de entrada necesarios para cada uno de ellos. Finalmente, tras las simulaciones, se ha realizado un análisis de los diferentes puntos de vista que se extraen del proyecto según los resultados obtenidos.

En este epígrafe se quiere mostrar un resumen de cómo se ha realizado todo el estudio propuesto anteriormente.

Se comenzó con un exhaustivo estudio de ambos programas de diseño, puesto que, para meterse de lleno en ellos, era importante que se tuviera un buen manejo de estos. Ambos tienen tutoriales a modo de guía que son muy útiles de cara al uso de ellos. Son programas intuitivos y que cualquiera con conocimiento en diseño de instalaciones de agua caliente sanitaria podría utilizar.

Una vez entendido el método de funcionamiento de cada uno de los programas, se pasa a encontrar como relacionarlos ambos para estudiar lo mismo de la manera más precisa posible. Esto se tradujo en la creación de una tabla que recogiera las variables de entrada de ambos programas y las relacionará. Se le dio mucha importancia a esta tarea puesto que cualquier dato que relacionáramos mal iba a inducir a error en los resultados esperados.

Tras esto, se debían saber cuántas simulaciones se iban a llevar a cabo, hasta donde se quería llegar. En este caso fueron bastantes, concretamente ciento ochenta.

Por último, una vez teníamos los resultados de las simulaciones, se llegaba a la parte más importante del proyecto, el análisis de resultados. Aquí estaba el grueso del estudio, donde se muestran los datos de interés a sacar de todo esto.

Entonces, una vez se ha llegado a este punto, toca hablar de las diferentes conclusiones que se pueden sacar de todo esto:

A título personal, diría que el programa CHEQ4 es más intuitivo y sencillo de utilizar, pero que el programa ACSOL nos proporciona mejores resultados, es decir, más precisos y con más detalle. Por tanto, sería óptimo utilizar el programa CHEQ4 para hacer un estudio por encima de la propuesta de instalación, para después, en el caso que sea viable, llevar a cabo la simulación con el programa ACSOL para obtener un detalle mayor de la instalación que se desea diseñar.

En cuanto al tipo de sistema que se emplee, cada uno encaja mejor en unas condiciones, pero según el estudio realizado el todo centralizado es el que tiene mejores características de cara al diseño de una instalación.

Por parte de la longitud, es muy obvio que cuanto más cerca este la instalación del lugar que queremos abastecer mejor será el funcionamiento.

Pensando en el número de captadores, no siempre es necesario que sea el máximo posible, setenta en este caso, sino el que me proporcione una contribución solar adecuada para mis exigencias. Puesto que cuantos más pongamos más cara será la instalación también, más espacio necesitaremos para esta etc.

En resumen, los dos programas de estudio son totalmente válidos para el diseño de instalaciones solares hoy en día y ofrecen una alta gama de casos de estudio, así como un fácil acceso a ellos vía online.

5. Bibliografía

- Muñoz Dominguez, F y Cejudo López, JM, “Ayuda programa ACSOL”, Universidad de Málaga, 2009
- IDAE, “Ayuda programa CHEQ4”, 2019
- Argudo Navea, C, “Diseño de instalación solar para agua caliente sanitaria”, Trabajo Fin de Grado, Escuela Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla, 2015.
- Agencia Andaluza de la Energía, “ACSOL 2.5 - Simulador de instalaciones solares térmicas de baja temperatura”, 2010
- Planas, O, “Energía solar, una fuente de energía renovable”, <https://solar-energia.net/energia-solar-termica>
- Duffie J.A., Klein, A.W., “Solar engineering of thermal processes”, Wiley, 2013
- Termicol Energía solar, S.L., “Catálogo general”, 2019.
- Código Técnico de la edificación, “Documento Básico HE de ahorro de Energía”, 2013.
- Guerra Macho, JJ, Apuntes de la asignatura “Energía Solar”, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla, 2019.

ANEXOS

Caso	Ciudad	Sistema	Demanda	Fracción	Demanda (kWh/año)		Consumo Aux	Red emisiones	HE4
			(lts/día)	Solar (%)	Bruta	Neta	(kWh/año)	(kg CO2/año)	
1	Sevilla	Todo centralizado	4.704	68.0	121.280	88.662	40.997	17.909	SI
2	Sevilla	Todo centralizado	4.704	55.0	153.835	88.662	73.669	18.345	NO
3	Sevilla	Todo centralizado	4.704	46.0	186.390	88.662	107.646	18.518	NO
4	Sevilla	Todo centralizado	4.704	39.0	218.944	88.662	142.167	18.581	NO
5	Sevilla	Todo centralizado	4.704	34.0	251.499	88.662	177	18.583	NO
6	Sevilla	Todo centralizado	4.704	92.0	105.006	88.662	10	20.896	SI
7	Sevilla	Todo centralizado	4.704	77.0	153.83	88.662	37.975	25.546	SI
8	Sevilla	Todo centralizado	4.704	67.0	186.392	88.662	66.75	26.769	SI
9	Sevilla	Todo centralizado	4.704	57.0	218.947	88.662	100.711	26.945	NO
10	Sevilla	Todo centralizado	4.704	50.00	251.502	88.662	135.107	27.033	NO
11	Sevilla	Todo centralizado	4.704	95.0	121.286	88.662	6.169	24.936	SI
12	Sevilla	Todo centralizado	4.704	89.0	153.840	88.662	17.435	29.691	SI
13	Sevilla	Todo centralizado	4.704	81.0	186.395	88.662	37.411	32.688	SI
14	Sevilla	Todo centralizado	4.704	74.0	218.949	88.662	60.917	34.973	SI
15	Sevilla	Todo centralizado	4.704	68.0	251.504	88.662	87.171	36.704	SI
16	Sevilla	Todo centralizado	7.350	50.0	187.606	138.535	101.161	20.089	NO
17	Sevilla	Todo centralizado	7.350	40.0	236.613	138.535	151.178	20.577	NO
18	Sevilla	Todo centralizado	7.350	34.0	285.619	138.535	202.657	20.770	NO
19	Sevilla	Todo centralizado	7.350	29.0	334.626	138.535	254.747	20.840	NO
20	Sevilla	Todo centralizado	7.350	25.0	383.633	138.535	307.176	20.842	NO
21	Sevilla	Todo centralizado	7.350	75.0	187.609	138.535	50.909	30.227	SI
22	Sevilla	Todo centralizado	7.350	62.0	236.615	138.535	96.110	31.686	NO
23	Sevilla	Todo centralizado	7.350	52.0	285.662	138.535	145.261	32.350	NO
24	Sevilla	Todo centralizado	7.350	45.0	334.628	138.535	196.643	32.562	NO
25	Sevilla	Todo centralizado	7.350	39.0	383.635	138.535	248.550	32.669	NO
26	Sevilla	Todo centralizado	7.350	88.0	187.611	138.535	23.816	35.693	SI
27	Sevilla	Todo centralizado	7.350	78.0	236.617	138.535	55.710	39.837	SI
28	Sevilla	Todo centralizado	7.350	69.0	285.624	138.535	94.843	42.521	NO
29	Sevilla	Todo centralizado	7.350	60.0	334.631	138.535	142.364	43.514	NO
30	Sevilla	Todo centralizado	7.350	53.0	383.637	138.535	193.744	43.726	NO
31	Sevilla	Apoyo distribuido	4.704	45.0	88.662	88.662	52.540	8.539	NO
32	Sevilla	Apoyo distribuido	4.704	34.0	88.662	88.662	62.749	6.480	NO
33	Sevilla	Apoyo distribuido	4.704	31.0	88.662	88.662	65.479	5.929	NO
34	Sevilla	Apoyo distribuido	4.704	29.0	88.662	88.662	67.376	5.546	NO
35	Sevilla	Apoyo distribuido	4.704	27.0	88.662	88.662	68.834	5.252	NO
36	Sevilla	Apoyo distribuido	4.704	62.0	88.662	88.662	35.861	11.904	SI
37	Sevilla	Apoyo distribuido	4.704	50.0	88.662	88.662	47.834	9.489	NO
38	Sevilla	Apoyo distribuido	4.704	46.0	88.662	88.662	51.441	8.761	NO
39	Sevilla	Apoyo distribuido	4.704	43.0	88.662	88.662	53.930	8.259	NO
40	Sevilla	Apoyo distribuido	4.704	41.0	88.662	88.662	55.831	7.875	NO
41	Sevilla	Apoyo distribuido	4.704	72.0	88.662	88.662	26.789	13.734	SI
42	Sevilla	Apoyo distribuido	4.704	63.0	88.662	88.662	35.245	12.028	SI
43	Sevilla	Apoyo distribuido	4.704	60.0	88.662	88.662	38.034	11.466	SI
44	Sevilla	Apoyo distribuido	4.704	58.0	88.662	88.662	39.950	11.079	NO
45	Sevilla	Apoyo distribuido	4.704	56.0	88.662	88.662	41.407	10.785	NO
46	Sevilla	Apoyo distribuido	7.350	33.0	138.535	138.535	98.687	9.995	NO
47	Sevilla	Apoyo distribuido	7.350	26.0	138.535	138.535	110.310	7.650	NO
48	Sevilla	Apoyo distribuido	7.350	23.0	138.535	138.535	113.422	7.023	NO
49	Sevilla	Apoyo distribuido	7.350	22.0	138.535	138.535	115.584	6.586	NO
50	Sevilla	Apoyo distribuido	7.350	21.0	138.535	138.535	117.247	6.251	NO

Caso	Ciudad	Sistema	Demanda (lts/día)	Fracción Solar (%)	Demanda (kWh/año)		Consumo Aux (kWh/año)	Red emisiones (kg CO2/año)	HE4
					Bruta	Neta			
51	Sevilla	Apoyo distribuido	7.350	52.0	138.535	138.535	71.037	15.573	NO
52	Sevilla	Apoyo distribuido	7.350	41.0	138.535	138.535	87.868	12.178	NO
53	Sevilla	Apoyo distribuido	7.350	38.0	138.535	138.535	92.322	11.279	NO
54	Sevilla	Apoyo distribuido	7.350	36.0	138.535	138.535	95.396	10.659	NO
55	Sevilla	Apoyo distribuido	7.350	34.0	138.535	138.535	97.744	10.185	NO
56	Sevilla	Apoyo distribuido	7.350	64.0	138.535	138.535	53.872	19.036	NO
57	Sevilla	Apoyo distribuido	7.350	54.0	138.535	138.535	68.636	16.058	NO
58	Sevilla	Apoyo distribuido	7.350	50.0	138.535	138.535	73.469	15.083	NO
59	Sevilla	Apoyo distribuido	7.350	48.0	138.535	138.535	77.353	14.299	NO
60	Sevilla	Apoyo distribuido	7.350	46.0	138.535	138.535	80.310	13.703	NO
61	Sevilla	Acumulación distribuida	4.704	44.0	88.662	88.662	53.377	8.370	NO
62	Sevilla	Acumulación distribuida	4.704	41.0	88.662	88.662	56.161	7.809	NO
63	Sevilla	Acumulación distribuida	4.704	40.0	88.662	88.662	57.062	7.627	NO
64	Sevilla	Acumulación distribuida	4.704	39.0	88.662	88.662	57.750	7.488	NO
65	Sevilla	Acumulación distribuida	4.704	39.0	88.662	88.662	58.322	7.373	NO
66	Sevilla	Acumulación distribuida	4.704	59.0	88.662	88.662	38.560	11.360	NO
67	Sevilla	Acumulación distribuida	4.704	56.0	88.662	88.662	42.199	10.625	NO
68	Sevilla	Acumulación distribuida	4.704	54.0	88.662	88.662	43.335	10.396	NO
69	Sevilla	Acumulación distribuida	4.704	53.0	88.662	88.662	44.185	10.225	NO
70	Sevilla	Acumulación distribuida	4.704	53.0	88.662	88.662	44.880	10.085	NO
71	Sevilla	Acumulación distribuida	4.704	72.0	88.662	88.662	26.841	13.724	SI
72	Sevilla	Acumulación distribuida	4.704	67.0	88.662	88.662	59.614	12.868	SI
73	Sevilla	Acumulación distribuida	4.704	66.0	88.662	88.662	32.399	12.603	SI
74	Sevilla	Acumulación distribuida	4.704	65.0	88.662	88.662	33.373	12.406	SI
75	Sevilla	Acumulación distribuida	4.704	64.0	88.662	88.662	34.159	12.247	NO
76	Sevilla	Acumulación distribuida	7.350	33.0	138.535	138.535	99.038	9.924	NO
77	Sevilla	Acumulación distribuida	7.350	31.0	138.535	138.535	102.336	9.259	NO
78	Sevilla	Acumulación distribuida	7.350	30.0	138.535	138.535	103.403	9.044	NO
79	Sevilla	Acumulación distribuida	7.350	30.0	138.535	138.535	104.218	8.879	NO
80	Sevilla	Acumulación distribuida	7.350	29.0	138.535	138.535	104.895	8.743	NO
81	Sevilla	Acumulación distribuida	7.350	46.0	138.535	138.535	79.358	13.895	NO
82	Sevilla	Acumulación distribuida	7.350	43.0	138.535	138.535	83.814	12.996	NO
83	Sevilla	Acumulación distribuida	7.350	43.0	138.535	138.535	85.206	12.715	NO
84	Sevilla	Acumulación distribuida	7.350	42.0	138.535	138.535	86.248	12.505	NO
85	Sevilla	Acumulación distribuida	7.350	41.0	138.535	138.535	87.100	12.333	NO
86	Sevilla	Acumulación distribuida	7.350	57.0	138.535	138.535	63.855	17.022	SI
87	Sevilla	Acumulación distribuida	7.350	53.0	138.535	138.535	69.210	15.942	SI
88	Sevilla	Acumulación distribuida	7.350	52.0	138.535	138.535	70.851	15.611	SI
89	Sevilla	Acumulación distribuida	7.350	51.0	138.535	138.535	72.065	15.366	SI
90	Sevilla	Acumulación distribuida	7.350	51.0	138.535	138.535	73.047	15.168	SI
91	Madrid	Todo centralizado	4.704	53.0	110.861	93.638	55.831	12.667	SI
92	Madrid	Todo centralizado	4.704	38.0	162.344	93.638	106.931	13.472	NO
93	Madrid	Todo centralizado	4.704	32.0	196.667	93.638	142.915	13.621	NO
94	Madrid	Todo centralizado	4.704	27.0	230.989	93.638	179.298	13.690	NO
95	Madrid	Todo centralizado	4.704	24.0	265.311	93.638	215.902	13.714	NO
96	Madrid	Todo centralizado	4.704	67.0	110.864	93.638	39.536	15.955	SI
97	Madrid	Todo centralizado	4.704	54.0	162.347	93.638	80.515	18.801	SI
98	Madrid	Todo centralizado	4.704	46.0	196.669	93.638	114.603	19.333	NO
99	Madrid	Todo centralizado	4.704	39.0	230.991	93.638	150.580	19.484	NO
100	Madrid	Todo centralizado	4.704	34.0	265.314	93.638	186.871	19.572	NO
97	Madrid	Todo centralizado	4.704	54.0	162.347	93.638	80.515	18.801	SI
98	Madrid	Todo centralizado	4.704	46.0	196.669	93.638	114.603	19.333	NO
99	Madrid	Todo centralizado	4.704	39.0	230.991	93.638	150.580	19.484	NO
100	Madrid	Todo centralizado	4.704	34.0	265.314	93.638	186.871	19.572	NO
101	Madrid	Todo centralizado	4.704	73.0	110.861	93.638	31.690	17.538	SI
102	Madrid	Todo centralizado	4.704	63.0	162.349	93.638	64.927	21.946	SI
103	Madrid	Todo centralizado	4.704	56.0	196.671	93.638	92.380	23.817	SI
104	Madrid	Todo centralizado	4.704	51.0	230.993	93.638	121.219	25.408	SI
105	Madrid	Todo centralizado	4.704	46.0	265.316	93.638	154.610	26.080	NO
106	Madrid	Todo centralizado	7.350	39.0	172.207	146.310	113.091	14.358	NO
107	Madrid	Todo centralizado	7.350	28.0	249.708	146.310	191.902	15.188	NO
108	Madrid	Todo centralizado	7.350	24.0	301.375	146.310	246.353	15.356	NO
109	Madrid	Todo centralizado	7.350	20.0	353.043	146.310	301.253	15.434	NO
110	Madrid	Todo centralizado	7.350	18.0	404.710	146.310	356.402	15.461	NO
111	Madrid	Todo centralizado	7.350	56.0	172.209	146.310	80.553	20.922	NO
112	Madrid	Todo centralizado	7.350	43.0	249.710	146.310	153.519	22.932	NO
113	Madrid	Todo centralizado	7.350	36.0	301.378	146.310	207.225	23.250	NO
114	Madrid	Todo centralizado	7.350	31.0	353.045	146.310	261.608	23.432	NO
115	Madrid	Todo centralizado	7.350	27.0	404.713	146.310	316.368	23.538	NO
116	Madrid	Todo centralizado	7.350	66.0	172.211	146.310	63.486	24.366	SI
117	Madrid	Todo centralizado	7.350	54.0	249.712	146.310	122.883	29.113	NO
118	Madrid	Todo centralizado	7.350	68.0	301.380	146.310	171.800	30.397	NO
119	Madrid	Todo centralizado	7.350	40.0	353.047	146.310	225.486	30.720	NO
120	Madrid	Todo centralizado	7.350	35.0	404.715	146.310	279.879	30.899	NO

Caso	Ciudad	Sistema	Demanda (lts/día)	Fracción Solar (%)	anda (kWh/año)		Consumo Aux (kWh/año)	Red emisiones (kg CO2/año)	nativa
					Bruta	Neta			
121	Madrid	Apoyo distribuido	4.704	39.0	93.638	93.638	61.054	7.896	NO
122	Madrid	Apoyo distribuido	4.704	30.0	93.638	93.638	70.503	5.990	NO
123	Madrid	Apoyo distribuido	4.704	27.0	93.638	93.638	73.029	5.480	NO
124	Madrid	Apoyo distribuido	4.704	25.0	93.638	93.638	74.784	5.126	NO
125	Madrid	Apoyo distribuido	4.704	24.0	93.638	93.638	76.132	4.854	NO
126	Madrid	Apoyo distribuido	4.704	55.0	93.638	93.638	45.371	11.060	SI
127	Madrid	Apoyo distribuido	4.704	43.0	93.638	93.638	51.115	8.690	NO
128	Madrid	Apoyo distribuido	4.704	40.0	93.638	93.638	60.426	8.023	NO
129	Madrid	Apoyo distribuido	4.704	37.0	93.638	93.638	62.709	7.562	NO
130	Madrid	Apoyo distribuido	4.704	36.0	93.638	93.638	64.452	7.210	NO
131	Madrid	Apoyo distribuido	4.704	64.0	93.638	93.638	36.393	12.871	SI
132	Madrid	Apoyo distribuido	4.704	55.0	93.638	93.638	45.472	11.039	SI
133	Madrid	Apoyo distribuido	4.704	52.0	93.638	93.638	48.049	10.519	SI
134	Madrid	Apoyo distribuido	4.704	50.0	93.638	93.638	50.309	10.063	SI
135	Madrid	Apoyo distribuido	4.704	48.0	93.638	93.638	52.158	9.690	NO
136	Madrid	Apoyo distribuido	7.350	29.0	146.310	146.310	111.108	9.168	NO
137	Madrid	Apoyo distribuido	7.350	22.0	146.310	146.310	121.793	7.012	NO
138	Madrid	Apoyo distribuido	7.350	20.0	146.310	146.310	124.653	6.435	NO
139	Madrid	Apoyo distribuido	7.350	19.0	146.310	146.310	126.640	6.034	NO
140	Madrid	Apoyo distribuido	7.350	18.0	146.310	146.310	128.168	5.726	NO
141	Madrid	Apoyo distribuido	7.350	45.0	146.310	146.310	86.412	14.150	NO
142	Madrid	Apoyo distribuido	7.350	35.0	146.310	146.310	101.741	11.057	NO
143	Madrid	Apoyo distribuido	7.350	32.0	146.310	146.310	105.796	10.239	NO
144	Madrid	Apoyo distribuido	7.350	31.0	146.310	146.310	108.594	9.675	NO
145	Madrid	Apoyo distribuido	7.350	29.0	146.310	146.310	110.730	9.244	NO
146	Madrid	Apoyo distribuido	7.350	56.0	146.310	146.310	68.895	17.684	NO
147	Madrid	Apoyo distribuido	7.350	46.0	146.310	146.310	84.380	14.560	NO
148	Madrid	Apoyo distribuido	7.350	43.0	146.310	146.310	89.466	15.534	NO
149	Madrid	Apoyo distribuido	7.350	41.0	146.310	146.310	92.962	12.828	NO
150	Madrid	Apoyo distribuido	7.350	39.0	146.310	146.310	95.622	12.292	NO
151	Madrid	Acumulación distribuida	4.704	40.0	93.638	93.638	60.004	8.108	NO
152	Madrid	Acumulación distribuida	4.704	37.0	93.638	93.638	62.701	7.564	NO
153	Madrid	Acumulación distribuida	4.704	37.0	93.638	93.638	63.573	7.388	NO
154	Madrid	Acumulación distribuida	4.704	36.0	93.638	93.638	64.240	7.253	NO
155	Madrid	Acumulación distribuida	4.704	35.0	93.638	93.638	64.794	7.171	SI
156	Madrid	Acumulación distribuida	4.704	55.0	93.638	93.638	45.447	11.044	SI
157	Madrid	Acumulación distribuida	4.704	51.0	93.638	93.638	48.986	10.330	SI
158	Madrid	Acumulación distribuida	4.704	50.0	93.638	93.638	50.091	10.108	NO
159	Madrid	Acumulación distribuida	4.704	49.0	93.638	93.638	50.918	9.941	NO
160	Madrid	Acumulación distribuida	4.704	49.0	93.638	93.638	51.593	9.804	NO
161	Madrid	Acumulación distribuida	4.704	66.0	93.638	93.638	34.217	13.310	SI
162	Madrid	Acumulación distribuida	4.704	62.0	93.638	93.638	38.397	12.467	SI
163	Madrid	Acumulación distribuida	4.704	60.0	93.638	93.638	39.675	12.209	SI
164	Madrid	Acumulación distribuida	4.704	59.0	93.638	93.638	40.619	12.018	SI
165	Madrid	Acumulación distribuida	4.704	59.0	93.638	93.638	41.383	11.864	SI
166	Madrid	Acumulación distribuida	7.350	30.0	146.310	146.310	109.018	9.589	NO
167	Madrid	Acumulación distribuida	7.350	28.0	146.310	146.310	112.205	8.946	NO
168	Madrid	Acumulación distribuida	7.350	28.0	146.310	146.310	113.237	8.738	NO
169	Madrid	Acumulación distribuida	7.350	27.0	146.310	146.310	114.024	8.579	NO
170	Madrid	Acumulación distribuida	7.350	27.0	146.310	146.310	114.678	8.447	NO
171	Madrid	Acumulación distribuida	7.350	43.0	146.310	146.310	89.828	13.461	NO
172	Madrid	Acumulación distribuida	7.350	40.0	146.310	146.310	94.144	12.590	NO
173	Madrid	Acumulación distribuida	7.350	39.0	146.310	146.310	95.492	12.318	NO
174	Madrid	Acumulación distribuida	7.350	38.0	146.310	146.310	96.501	12.114	NO
175	Madrid	Acumulación distribuida	7.350	38.0	146.310	146.310	97.326	11.948	NO
176	Madrid	Acumulación distribuida	7.350	52.0	146.310	146.310	74.641	16.524	NO
177	Madrid	Acumulación distribuida	7.350	49.0	146.310	146.310	79.840	15.476	NO
178	Madrid	Acumulación distribuida	7.350	48.0	146.310	146.310	81.433	15.154	NO
179	Madrid	Acumulación distribuida	7.350	47.0	146.310	146.310	82.611	14.917	NO
180	Madrid	Acumulación distribuida	7.350	47.0	146.310	146.310	83.565	14.724	NO
177	Madrid	Acumulación distribuida	7.350	49.0	146.310	146.310	79.840	15.476	NO
178	Madrid	Acumulación distribuida	7.350	48.0	146.310	146.310	81.433	15.154	NO
179	Madrid	Acumulación distribuida	7.350	47.0	146.310	146.310	82.611	14.917	NO
180	Madrid	Acumulación distribuida	7.350	47.0	146.310	146.310	83.565	14.724	NO

Tabla 4: Resultados CHEQ4.

Caso	Ciudad	Sistema	Demanda	Fracción	Demanda (kWh/año)		Consumo Aux (kWh/año)	Red emisiones (kg CO2/año)	HE4
			(lts/día)	Solar (%)	Bruta	Neta			
1	Sevilla	Todo centralizado	4.704	69.3	121.985	90.6	41.021	18.145	SI
2	Sevilla	Todo centralizado	4.704	56.1	155.587	90.6	74.245	17.521	NO
3	Sevilla	Todo centralizado	4.704	46.5	187.214	90.6	108.552	17.124	NO
4	Sevilla	Todo centralizado	4.704	40.8	220.543	90.6	143.687	17.324	NO
5	Sevilla	Todo centralizado	4.704	35.3	252.321	90.6	178.021	17.587	NO
6	Sevilla	Todo centralizado	4.704	93.2	105.006	90.6	10.11	16.480	SI
7	Sevilla	Todo centralizado	4.704	78.6	159.32	90.6	41.8	21.56	SI
8	Sevilla	Todo centralizado	4.704	68.3	190.290	90.6	68.030	24.410	SI
9	Sevilla	Todo centralizado	4.704	58.0	219.625	90.6	101.256	25.557	NO
10	Sevilla	Todo centralizado	4.704	51.10	251.985	90.6	137.847	25.897	NO
11	Sevilla	Todo centralizado	4.704	95.8	122.875	90.6	8.459	22.254	SI
12	Sevilla	Todo centralizado	4.704	90.1	154.258	90.6	18.571	30.254	SI
13	Sevilla	Todo centralizado	4.704	82.3	187.256	90.6	38.021	33.214	SI
14	Sevilla	Todo centralizado	4.704	75.1	220.258	90.6	61.987	35.069	SI
15	Sevilla	Todo centralizado	4.704	69.3	252.874	90.6	87.245	34.254	SI
16	Sevilla	Todo centralizado	7.35	50.3	188.236	140.400	101.161	20.089	NO
17	Sevilla	Todo centralizado	7.35	40.8	237.641	140.400	151.178	20.577	NO
18	Sevilla	Todo centralizado	7.35	34.9	286.985	140.400	202.657	20.770	NO
19	Sevilla	Todo centralizado	7.35	29.2	334.963	140.400	254.747	20.840	NO
20	Sevilla	Todo centralizado	7.35	25.6	385.025	140.400	307.176	20.842	NO
21	Sevilla	Todo centralizado	7.35	75.3	188.325	140.400	50.909	30.227	SI
22	Sevilla	Todo centralizado	7.35	62.5	236.894	140.400	96.110	31.686	NO
23	Sevilla	Todo centralizado	7.35	52.7	286.321	140.400	145.261	32.350	NO
24	Sevilla	Todo centralizado	7.35	45.4	335.023	140.400	196.643	32.562	NO
25	Sevilla	Todo centralizado	7.35	39.0	384.598	140.400	248.550	32.669	NO
26	Sevilla	Todo centralizado	7.35	89.4	188.547	140.400	24.698	35.236	SI
27	Sevilla	Todo centralizado	7.35	78.6	238.269	140.400	57.854	40.123	SI
28	Sevilla	Todo centralizado	7.35	70.1	286.021	140.400	95.625	41.203	NO
29	Sevilla	Todo centralizado	7.35	60.2	335.214	140.400	142.145	43.021	NO
30	Sevilla	Todo centralizado	7.35	53.8	385.214	140.400	195.257	45.254	NO
31	Sevilla	Apoyo distribuido	4.704	45.2	90.6	90.6	53.210	8.127	NO
32	Sevilla	Apoyo distribuido	4.704	34.8	90.6	90.6	63.987	6.245	NO
33	Sevilla	Apoyo distribuido	4.704	31.1	90.6	90.6	66.254	5.598	NO
34	Sevilla	Apoyo distribuido	4.704	30.2	90.6	90.6	68.215	5.021	NO
35	Sevilla	Apoyo distribuido	4.704	27.9	90.6	90.6	69.547	4.986	NO
36	Sevilla	Apoyo distribuido	4.704	41.4	90.6	90.6	36.254	11.524	SI
37	Sevilla	Apoyo distribuido	4.704	50.4	90.6	90.6	48.215	9.025	NO
38	Sevilla	Apoyo distribuido	4.704	46.7	90.6	90.6	52.987	8.247	NO
39	Sevilla	Apoyo distribuido	4.704	43.2	90.6	90.6	54.513	7.879	NO
40	Sevilla	Apoyo distribuido	4.704	41.9	90.6	90.6	56.027	7.219	NO
41	Sevilla	Apoyo distribuido	4.704	72.6	90.6	90.6	27.168	13.025	SI
42	Sevilla	Apoyo distribuido	4.704	63.4	90.6	90.6	35.953	11.546	SI
43	Sevilla	Apoyo distribuido	4.704	60.3	90.6	90.6	38.842	11.024	SI
44	Sevilla	Apoyo distribuido	4.704	58.0	90.6	90.6	40.056	10.741	NO
45	Sevilla	Apoyo distribuido	4.704	56.9	90.6	90.6	42.123	10.238	NO
46	Sevilla	Apoyo distribuido	7.35	33.2	139.784	139.784	99.543	9.549	NO
47	Sevilla	Apoyo distribuido	7.35	26.1	139.784	139.784	111.254	7.022	NO
48	Sevilla	Apoyo distribuido	7.35	23.7	139.784	139.784	114.897	6.548	NO
49	Sevilla	Apoyo distribuido	7.35	22.6	139.784	139.784	115.645	6.023	NO
50	Sevilla	Apoyo distribuido	7.35	21.5	139.784	139.784	119.147	5.891	NO
51	Sevilla	Apoyo distribuido	7.35	52.2	139.784	139.784	71.589	15.024	NO
52	Sevilla	Apoyo distribuido	7.35	41.0	139.784	139.784	88.987	11.897	NO
53	Sevilla	Apoyo distribuido	7.35	38.5	139.784	139.784	92.587	10.985	NO
54	Sevilla	Apoyo distribuido	7.35	36.6	139.784	139.784	96.321	10.023	NO
55	Sevilla	Apoyo distribuido	7.35	34.1	139.784	139.784	98.259	9.854	NO
56	Sevilla	Apoyo distribuido	7.35	64.8	139.784	139.784	54.203	18.566	NO
57	Sevilla	Apoyo distribuido	7.35	54.9	139.784	139.784	69.154	15.845	NO
58	Sevilla	Apoyo distribuido	7.35	50.5	139.784	139.784	74.279	14.653	NO
59	Sevilla	Apoyo distribuido	7.35	48.7	139.784	139.784	78.349	14.025	NO
60	Sevilla	Apoyo distribuido	7.35	45.9	139.784	139.784	81.023	13.297	NO
61	Sevilla	Acumulación distribuida	4.704	44.1	90.6	90.6	53.897	7.965	NO
62	Sevilla	Acumulación distribuida	4.704	41.5	90.6	90.6	56.623	7.658	NO
63	Sevilla	Acumulación distribuida	4.704	40.6	90.6	90.6	57.419	7.558	NO
64	Sevilla	Acumulación distribuida	4.704	39.8	90.6	90.6	58.012	7.256	NO
65	Sevilla	Acumulación distribuida	4.704	39.4	90.6	90.6	58.698	7.127	NO
66	Sevilla	Acumulación distribuida	4.704	59.3	90.6	90.6	39.021	11.254	NO
67	Sevilla	Acumulación distribuida	4.704	56.1	90.6	90.6	42.568	10.268	NO
68	Sevilla	Acumulación distribuida	4.704	54.0	90.6	90.6	43.987	10.029	NO
69	Sevilla	Acumulación distribuida	4.704	53.8	90.6	90.6	44.568	9.879	NO
70	Sevilla	Acumulación distribuida	4.704	53.8	90.6	90.6	45.023	9.653	NO

Caso	Ciudad	Sistema	Demanda (lts/día)	Fracción Solar (%)	Demanda (kWh/año)		Consumo Aux (kWh/año)	Red emisiones (kg CO2/año)	HE4
					Bruta	Neta			
71	Sevilla	Acumulación	4.704	72.9	90.6	90.6	27.014	13.564	SI
72	Sevilla	Acumulación	4.704	67.1	90.6	90.6	60.025	12.689	SI
73	Sevilla	Acumulación	4.704	66.5	90.6	90.6	32.693	12.487	SI
74	Sevilla	Acumulación	4.704	65.0	90.6	90.6	33.874	12.362	SI
75	Sevilla	Acumulación	4.704	64.4	90.6	90.6	34.568	12.025	NO
76	Sevilla	Acumulación	7.35	33.7	139.784	139.784	99.852	9.821	NO
77	Sevilla	Acumulación	7.35	33.7	139.784	139.784	102.699	9.147	NO
78	Sevilla	Acumulación	7.35	30.0	139.784	139.784	103.587	8.954	NO
79	Sevilla	Acumulación	7.35	30.0	139.784	139.784	104.658	8.634	NO
80	Sevilla	Acumulación	7.35	29.1	139.784	139.784	105.265	8.662	NO
81	Sevilla	Acumulación	7.35	46.2	139.784	139.784	30.254	13.689	NO
82	Sevilla	Acumulación	7.35	43.6	139.784	139.784	84.250	12.547	NO
83	Sevilla	Acumulación	7.35	43.6	139.784	139.784	85.902	12.478	NO
84	Sevilla	Acumulación	7.35	42.0	139.784	139.784	87.264	12.237	NO
85	Sevilla	Acumulación	7.35	41.0	139.784	139.784	87.256	12.021	NO
86	Sevilla	Acumulación	7.35	54.8	139.784	139.784	64.256	17.014	SI
87	Sevilla	Acumulación	7.35	53.4	139.784	139.784	69.254	15.659	SI
88	Sevilla	Acumulación	7.35	52.9	139.784	139.784	71.025	15.473	SI
89	Sevilla	Acumulación	7.35	51.0	139.784	139.784	72.569	15.228	SI
90	Sevilla	Acumulación	7.35	51.0	139.784	139.784	23.987	15.029	SI
91	Madrid	Todo central	4.704	53.1	111.025	94.578	56.123	12.547	SI
92	Madrid	Todo central	4.704	38.2	162.589	94.578	107.879	13.112	NO
93	Madrid	Todo central	4.704	32.5	197.365	94.578	142.564	13.498	NO
94	Madrid	Todo central	4.704	27.4	231.547	94.578	180.147	13.542	NO
95	Madrid	Todo central	4.704	24.6	265.879	94.578	216.546	13.698	NO
96	Madrid	Todo central	4.704	67.8	111.654	94.578	40.154	15.794	SI
97	Madrid	Todo central	4.704	54.5	163.958	94.578	80.987	18.564	SI
98	Madrid	Todo central	4.704	46.1	197.659	94.578	114.876	19.224	NO
99	Madrid	Todo central	4.704	39.8	231.964	94.578	150.987	19.357	NO
100	Madrid	Todo central	4.704	34.6	366.023	94.578	187.159	19.468	NO
101	Madrid	Todo central	4.704	73.3	111.897	94.578	32.014	17.248	SI
102	Madrid	Todo central	4.704	63.2	163.326	94.578	65.876	21.588	SI
103	Madrid	Todo central	4.704	56.7	198.023	94.578	92.584	23.143	SI
104	Madrid	Todo central	4.704	51.2	231.567	94.578	121.546	25.023	SI
105	Madrid	Todo central	4.704	46.7	265.874	94.578	154.876	25.897	NO
106	Madrid	Todo central	7.35	39.2	172.953	147.296	113.205	14.264	NO
107	Madrid	Todo central	7.35	28.3	250.021	147.296	192.548	15.036	NO
108	Madrid	Todo central	7.35	24.7	301.965	147.296	246.761	15.125	NO
109	Madrid	Todo central	7.35	20.9	353.874	147.296	301.548	15.264	NO
110	Madrid	Todo central	7.35	18.1	405.231	147.296	356.986	15.301	NO
111	Madrid	Todo central	7.35	56.6	173.025	147.296	80.678	20.874	NO
112	Madrid	Todo central	7.35	43.1	250.946	147.296	154.038	22.897	NO
113	Madrid	Todo central	7.35	36.0	301.924	147.296	207.584	23.125	NO
114	Madrid	Todo central	7.35	31.8	354.023	147.296	261.953	23.302	NO
115	Madrid	Todo central	7.35	27.7	405.897	147.296	316.873	23.451	NO
116	Madrid	Todo central	7.35	66.1	172.567	147.296	63.879	24.032	SI
117	Madrid	Todo central	7.35	54.3	250.203	147.296	123.023	29.106	NO
118	Madrid	Todo central	7.35	47.1	301.987	147.296	172.894	30.265	NO
119	Madrid	Todo central	7.35	40.0	354.689	147.296	226.325	30.598	NO
120	Madrid	Todo central	7.35	35.7	405.236	147.296	280.487	30.645	NO
121	Madrid	Apoyo distrito	4.704	39.1	94.578	94.578	61.254	7.598	NO
122	Madrid	Apoyo distrito	4.704	30.5	94.578	94.578	70.894	5.447	NO
123	Madrid	Apoyo distrito	4.704	27.0	94.578	94.578	73.598	5.321	NO
124	Madrid	Apoyo distrito	4.704	25.1	94.578	94.578	74.892	5.021	NO
125	Madrid	Apoyo distrito	4.704	24.8	94.578	94.578	76.254	4.689	NO
126	Madrid	Apoyo distrito	4.704	55.1	94.578	94.578	45.458	10.985	SI
127	Madrid	Apoyo distrito	4.704	43.6	94.578	94.578	51.264	8.457	NO
128	Madrid	Apoyo distrito	4.704	40.8	94.578	94.578	60.589	7.894	NO
129	Madrid	Apoyo distrito	4.704	37.1	94.578	94.578	62.879	7.326	NO
130	Madrid	Apoyo distrito	4.704	36.9	94.578	94.578	64.555	7.014	NO
131	Madrid	Apoyo distrito	4.704	64.9	94.578	94.578	37.849	12.547	SI
132	Madrid	Apoyo distrito	4.704	55.3	94.578	94.578	45.897	10.986	SI
133	Madrid	Apoyo distrito	4.704	52.2	94.578	94.578	48.264	10.254	SI
134	Madrid	Apoyo distrito	4.704	50.0	94.578	94.578	50.478	9.687	SI
135	Madrid	Apoyo distrito	4.704	48.4	94.578	94.578	52.698	9.543	NO
136	Madrid	Apoyo distrito	7.35	29.4	147.296	147.296	111.254	8.963	NO
137	Madrid	Apoyo distrito	7.35	22.1	147.296	147.296	122.036	6.874	NO
138	Madrid	Apoyo distrito	7.35	20.3	147.296	147.296	124.982	6.121	NO
139	Madrid	Apoyo distrito	7.35	19.8	147.296	147.296	126.874	5.896	NO
140	Madrid	Apoyo distrito	7.35	18.7	147.296	147.296	128.543	5.456	NO

Caso	Ciudad	Sistema	Demanda (lts/día)	Fracción Solar (%)	Demanda (kWh/año)		Consumo Aux (kWh/año)	Red emisiones (kg CO2/año)	HE4
					Bruta	Neta			
141	Madrid	Apoyo distri	7.35	45.9	147.296	147.296	86.413	13.987	NO
142	Madrid	Apoyo distri	7.35	35.0	147.296	147.296	101.846	10.659	NO
143	Madrid	Apoyo distri	7.35	32.1	147.296	147.296	105.954	10.023	NO
144	Madrid	Apoyo distri	7.35	31.0	147.296	147.296	108.597	9.456	NO
145	Madrid	Apoyo distri	7.35	29.8	147.296	147.296	110.885	9.146	NO
146	Madrid	Apoyo distri	7.35	56.6	147.296	147.296	69.235	17.234	NO
147	Madrid	Apoyo distri	7.35	46.3	147.296	147.296	84.647	14.167	NO
148	Madrid	Apoyo distri	7.35	43.2	147.296	147.296	90.025	15.359	NO
149	Madrid	Apoyo distri	7.35	41.0	147.296	147.296	93.065	12.546	NO
150	Madrid	Apoyo distri	7.35	39.0	147.296	147.296	95.984	12.147	NO
151	Madrid	Acumulaciór	4.704	40.7	94.578	94.578	60.251	7.894	NO
152	Madrid	Acumulaciór	4.704	37.5	94.578	94.578	62.965	7.452	NO
153	Madrid	Acumulaciór	4.704	37.5	94.578	94.578	64.035	7.231	NO
154	Madrid	Acumulaciór	4.704	36.8	94.578	94.578	64.598	7.012	NO
155	Madrid	Acumulaciór	4.704	36.2	94.578	94.578	64.985	6.986	SI
156	Madrid	Acumulaciór	4.704	55.9	94.578	94.578	45.722	11.002	SI
157	Madrid	Acumulaciór	4.704	51.7	94.578	94.578	49.235	10.125	SI
158	Madrid	Acumulaciór	4.704	50.3	94.578	94.578	50.214	9.986	NO
159	Madrid	Acumulaciór	4.704	49.8	94.578	94.578	51.023	9.564	NO
160	Madrid	Acumulaciór	4.704	49.6	94.578	94.578	51.894	9.745	NO
161	Madrid	Acumulaciór	4.704	67.2	94.578	94.578	60.453	7.886	SI
162	Madrid	Acumulaciór	4.704	62.5	94.578	94.578	62.988	7.423	SI
163	Madrid	Acumulaciór	4.704	61.1	94.578	94.578	63.987	7.213	SI
164	Madrid	Acumulaciór	4.704	59.8	94.578	94.578	64.356	7.021	SI
165	Madrid	Acumulaciór	4.704	59.3	94.578	94.578	64.954	6.963	SI
166	Madrid	Acumulaciór	7.35	30.2	147.296	147.296	109.564	9.458	NO
167	Madrid	Acumulaciór	7.35	28.5	147.296	147.296	112.365	8.874	NO
168	Madrid	Acumulaciór	7.35	28.4	147.296	147.296	113.897	8.635	NO
169	Madrid	Acumulaciór	7.35	27.8	147.296	147.296	114.564	8.412	NO
170	Madrid	Acumulaciór	7.35	27.3	147.296	147.296	114.874	8.369	NO
171	Madrid	Acumulaciór	7.35	43.1	147.296	147.296	89.985	13.233	NO
172	Madrid	Acumulaciór	7.35	40.2	147.296	147.296	94.562	12.387	NO
173	Madrid	Acumulaciór	7.35	39.6	147.296	147.296	95.987	12.023	NO
174	Madrid	Acumulaciór	7.35	38.6	147.296	147.296	96.547	11.965	NO
175	Madrid	Acumulaciór	7.35	38.2	147.296	147.296	97.896	11.843	NO
176	Madrid	Acumulaciór	7.35	52.1	147.296	147.296	74.855	16.328	NO
177	Madrid	Acumulaciór	7.35	49.9	147.296	147.296	79.987	15.249	NO
178	Madrid	Acumulaciór	7.35	48.8	147.296	147.296	81.654	14.986	NO
179	Madrid	Acumulaciór	7.35	47.6	147.296	147.296	82.784	14.653	NO
180	Madrid	Acumulaciór	7.35	47.5	147.296	147.296	83.654	14.235	NO

Tabla 5: Resultados ACSOL.

Caso	Ciudad	Sistema	Fracción solar (%)		Demanda Bruta (kWh/año)		Demanda Neta (kWh/año)		HE4	Pérdidas CHEQ4	Pérdidas ACSOL
			CHEQ4	ACSOL	CHEQ4	ACSOL	CHEQ4	ACSOL			
1	Sevilla	Todo centralizado	68.0	69.3	121.280	124.598	88.662	90.600	SI	32.618	33.998
2	Sevilla	Todo centralizado	55.0	56.1	153.835	155.587	88.662	90.600	NO	65.173	64.987
3	Sevilla	Todo centralizado	46.0	46.5	186.390	187.214	88.662	90.600	NO	97.728	96.614
4	Sevilla	Todo centralizado	39.0	40.8	218.944	220.543	88.662	90.600	NO	130.282	129.943
5	Sevilla	Todo centralizado	34.0	35.3	251.499	252.321	88.662	90.600	NO	162.837	161.721
6	Sevilla	Todo centralizado	92.0	93.2	105.006	105.006	88.662	90.600	SI	16.344	14.406
7	Sevilla	Todo centralizado	77.0	78.6	153.830	159.320	88.662	90.600	SI	65.168	68.720
8	Sevilla	Todo centralizado	67.0	68.3	186.392	190.290	88.662	90.600	SI	97.730	99.690
9	Sevilla	Todo centralizado	57.0	58.0	218.947	219.625	88.662	90.600	NO	130.285	129.025
10	Sevilla	Todo centralizado	50.0	51.1	251.502	251.985	88.662	90.600	NO	162.840	161.385
11	Sevilla	Todo centralizado	95.0	95.8	121.286	122.875	88.662	90.600	SI	32.624	32.275
12	Sevilla	Todo centralizado	89.0	90.1	153.840	154.258	88.662	90.600	SI	65.178	63.658
13	Sevilla	Todo centralizado	81.0	82.3	186.395	187.256	88.662	90.600	SI	97.733	96.656
14	Sevilla	Todo centralizado	74.0	75.1	218.949	220.258	88.662	90.600	SI	130.287	129.658
15	Sevilla	Todo centralizado	68.0	69.3	251.504	252.874	88.662	90.600	SI	162.842	162.274
16	Sevilla	Todo centralizado	50.0	50.3	187.606	188.236	138.535	140.400	NO	49.071	47.836
17	Sevilla	Todo centralizado	40.0	40.8	236.613	237.641	138.535	140.400	NO	98.078	97.241
18	Sevilla	Todo centralizado	34.0	34.9	285.619	286.985	138.535	140.400	NO	147.084	146.585
19	Sevilla	Todo centralizado	29.0	29.2	334.626	334.963	138.535	140.400	NO	196.091	194.563
20	Sevilla	Todo centralizado	25.0	25.6	383.633	385.025	138.535	140.400	NO	245.098	244.625
21	Sevilla	Todo centralizado	75.0	75.3	187.609	188.325	138.535	140.400	SI	49.074	47.925
22	Sevilla	Todo centralizado	62.0	62.5	236.615	236.894	138.535	140.400	NO	98.080	96.494
23	Sevilla	Todo centralizado	52.0	52.7	285.662	286.321	138.535	140.400	NO	147.127	145.921
24	Sevilla	Todo centralizado	45.0	45.4	334.628	335.023	138.535	140.400	NO	196.093	194.623
25	Sevilla	Todo centralizado	39.0	39.0	383.635	384.598	138.535	140.400	NO	245.100	244.198
26	Sevilla	Todo centralizado	88.0	89.4	187.611	188.547	138.535	140.400	SI	49.076	48.147
27	Sevilla	Todo centralizado	78.0	78.6	236.617	238.269	138.535	140.400	SI	98.082	97.869
28	Sevilla	Todo centralizado	69.0	70.1	285.624	286.021	138.535	140.400	NO	147.089	145.621
29	Sevilla	Todo centralizado	60.0	60.2	334.631	335.214	138.535	140.400	NO	196.096	194.814
30	Sevilla	Todo centralizado	53.0	53.8	383.637	385.214	138.535	140.400	NO	245.102	244.814
31	Sevilla	Apoyo distribuido	45.0	45.2	88.662	90.600	88.662	90.600	NO	0.000	0.000
32	Sevilla	Apoyo distribuido	34.0	34.8	88.662	90.600	88.662	90.600	NO	0.000	0.000
33	Sevilla	Apoyo distribuido	31.0	31.1	88.662	90.600	88.662	90.600	NO	0.000	0.000
34	Sevilla	Apoyo distribuido	29.0	30.2	88.662	90.600	88.662	90.600	NO	0.000	0.000
35	Sevilla	Apoyo distribuido	27.0	27.9	88.662	90.600	88.662	90.600	NO	0.000	0.000
36	Sevilla	Apoyo distribuido	41.0	41.4	88.662	90.600	88.662	90.600	SI	0.000	0.000
37	Sevilla	Apoyo distribuido	50.0	50.4	88.662	90.600	88.662	90.600	NO	0.000	0.000
38	Sevilla	Apoyo distribuido	46.0	46.7	88.662	90.600	88.662	90.600	NO	0.000	0.000
39	Sevilla	Apoyo distribuido	43.0	43.2	88.662	90.600	88.662	90.600	NO	0.000	0.000
40	Sevilla	Apoyo distribuido	41.0	41.9	88.662	90.600	88.662	90.600	NO	0.000	0.000
41	Sevilla	Apoyo distribuido	72.0	72.6	88.662	90.600	88.662	90.600	SI	0.000	0.000
42	Sevilla	Apoyo distribuido	63.0	63.4	88.662	90.600	88.662	90.600	SI	0.000	0.000
43	Sevilla	Apoyo distribuido	60.0	60.3	88.662	90.600	88.662	90.600	SI	0.000	0.000
44	Sevilla	Apoyo distribuido	58.0	58.0	88.662	90.600	88.662	90.600	NO	0.000	0.000
45	Sevilla	Apoyo distribuido	56.0	56.9	88.662	90.600	88.662	90.600	NO	0.000	0.000
46	Sevilla	Apoyo distribuido	33.0	33.2	138.535	139.784	138.535	139.784	NO	0.000	0.000
47	Sevilla	Apoyo distribuido	26.0	26.1	138.535	139.784	138.535	139.784	NO	0.000	0.000
48	Sevilla	Apoyo distribuido	23.0	23.7	138.535	139.784	138.535	139.784	NO	0.000	0.000
49	Sevilla	Apoyo distribuido	22.0	22.6	138.535	139.784	138.535	139.784	NO	0.000	0.000
50	Sevilla	Apoyo distribuido	21.0	21.5	138.535	139.784	138.535	139.784	NO	0.000	0.000
51	Sevilla	Apoyo distribuido	52.0	52.2	138.535	139.784	138.535	139.784	NO	0.000	0.000
52	Sevilla	Apoyo distribuido	41.0	41.0	138.535	139.784	138.535	139.784	NO	0.000	0.000
53	Sevilla	Apoyo distribuido	38.0	38.5	138.535	139.784	138.535	139.784	NO	0.000	0.000
54	Sevilla	Apoyo distribuido	36.0	36.6	138.535	139.784	138.535	139.784	NO	0.000	0.000
55	Sevilla	Apoyo distribuido	34.0	34.1	138.535	139.784	138.535	139.784	NO	0.000	0.000
56	Sevilla	Apoyo distribuido	64.0	64.8	138.535	139.784	138.535	139.784	NO	0.000	0.000
57	Sevilla	Apoyo distribuido	54.0	54.9	138.535	139.784	138.535	139.784	NO	0.000	0.000
58	Sevilla	Apoyo distribuido	50.0	50.5	138.535	139.784	138.535	139.784	NO	0.000	0.000
59	Sevilla	Apoyo distribuido	48.0	48.7	138.535	139.784	138.535	139.784	NO	0.000	0.000
60	Sevilla	Apoyo distribuido	46.0	45.9	138.535	139.784	138.535	139.784	NO	0.000	0.000

Caso	Ciudad	Sistema	Fracción solar (%)		Demanda Bruta (kWh/año)		Demanda Neta (kWh/año)		HE4	Pérdidas CHEQ4	Pérdidas ACSOL
			CHEQ4	ACSOL	CHEQ4	ACSOL	CHEQ4	ACSOL			
61	Sevilla	Acumulación distribu	44.0	44.1	88.662	90.600	88.662	90.600	NO	0.000	0.000
62	Sevilla	Acumulación distribu	41.0	41.5	88.662	90.600	88.662	90.600	NO	0.000	0.000
63	Sevilla	Acumulación distribu	40.0	40.6	88.662	90.600	88.662	90.600	NO	0.000	0.000
64	Sevilla	Acumulación distribu	39.0	39.8	88.662	90.600	88.662	90.600	NO	0.000	0.000
65	Sevilla	Acumulación distribu	39.0	39.4	88.662	90.600	88.662	90.600	NO	0.000	0.000
66	Sevilla	Acumulación distribu	53.0	59.3	88.662	90.600	88.662	90.600	NO	0.000	0.000
67	Sevilla	Acumulación distribu	53.0	56.1	88.662	90.600	88.662	90.600	NO	0.000	0.000
68	Sevilla	Acumulación distribu	54.0	54.0	88.662	90.600	88.662	90.600	NO	0.000	0.000
69	Sevilla	Acumulación distribu	53.0	53.8	88.662	90.600	88.662	90.600	NO	0.000	0.000
70	Sevilla	Acumulación distribu	53.0	53.8	88.662	90.600	88.662	90.600	NO	0.000	0.000
71	Sevilla	Acumulación distribu	72.0	72.9	88.662	90.600	88.662	90.600	SI	0.000	0.000
72	Sevilla	Acumulación distribu	67.0	67.1	88.662	90.600	88.662	90.600	SI	0.000	0.000
73	Sevilla	Acumulación distribu	66.0	66.5	88.662	90.600	88.662	90.600	SI	0.000	0.000
74	Sevilla	Acumulación distribu	65.0	65.0	88.662	90.600	88.662	90.600	SI	0.000	0.000
75	Sevilla	Acumulación distribu	64.0	64.4	88.662	90.600	88.662	90.600	NO	0.000	0.000
76	Sevilla	Acumulación distribu	29.0	33.7	138.535	139.784	138.535	139.784	NO	0.000	0.000
77	Sevilla	Acumulación distribu	31.0	33.7	138.535	139.784	138.535	139.784	NO	0.000	0.000
78	Sevilla	Acumulación distribu	30.0	30.0	138.535	139.784	138.535	139.784	NO	0.000	0.000
79	Sevilla	Acumulación distribu	30.0	30.0	138.535	139.784	138.535	139.784	NO	0.000	0.000
80	Sevilla	Acumulación distribu	29.0	29.1	138.535	139.784	138.535	139.784	NO	0.000	0.000
81	Sevilla	Acumulación distribu	46.0	46.2	138.535	139.784	138.535	139.784	NO	0.000	0.000
82	Sevilla	Acumulación distribu	43.0	43.6	138.535	139.784	138.535	139.784	NO	0.000	0.000
83	Sevilla	Acumulación distribu	43.0	43.6	138.535	139.784	138.535	139.784	NO	0.000	0.000
84	Sevilla	Acumulación distribu	42.0	42.0	138.535	139.784	138.535	139.784	NO	0.000	0.000
85	Sevilla	Acumulación distribu	41.0	41.0	138.535	139.784	138.535	139.784	NO	0.000	0.000
86	Sevilla	Acumulación distribu	57.0	54.8	138.535	139.784	138.535	139.784	SI	0.000	0.000
87	Sevilla	Acumulación distribu	53.0	53.4	138.535	139.784	138.535	139.784	SI	0.000	0.000
88	Sevilla	Acumulación distribu	52.0	52.9	138.535	139.784	138.535	139.784	SI	0.000	0.000
89	Sevilla	Acumulación distribu	51.0	51.0	138.535	139.784	138.535	139.784	SI	0.000	0.000
90	Sevilla	Acumulación distribu	51.0	51.0	138.535	139.784	138.535	139.784	SI	0.000	0.000
91	Madrid	Todo centralizado	53.0	53.1	110.861	111.025	93.638	94.578	SI	17.223	16.447
92	Madrid	Todo centralizado	38.0	38.2	162.344	162.589	93.638	94.578	NO	68.706	68.011
93	Madrid	Todo centralizado	32.0	32.5	196.667	197.365	93.638	94.578	NO	103.029	102.787
94	Madrid	Todo centralizado	27.0	27.4	230.989	231.547	93.638	94.578	NO	137.351	136.969
95	Madrid	Todo centralizado	24.0	24.6	265.311	265.879	93.638	94.578	NO	171.673	171.301
96	Madrid	Todo centralizado	67.0	67.8	110.864	111.654	93.638	94.578	SI	17.226	17.076
97	Madrid	Todo centralizado	54.0	54.5	162.347	163.958	93.638	94.578	SI	68.709	69.380
98	Madrid	Todo centralizado	46.0	46.1	196.669	197.659	93.638	94.578	NO	103.031	103.081
99	Madrid	Todo centralizado	39.0	39.8	230.991	231.964	93.638	94.578	NO	137.353	137.386
100	Madrid	Todo centralizado	34.0	34.6	265.314	266.023	93.638	94.578	NO	171.676	171.445
101	Madrid	Todo centralizado	73.0	73.3	110.861	111.897	93.638	94.578	SI	17.223	17.319
102	Madrid	Todo centralizado	63.0	63.2	162.349	163.326	93.638	94.578	SI	68.711	68.748
103	Madrid	Todo centralizado	56.0	56.7	196.671	198.023	93.638	94.578	SI	103.033	103.445
104	Madrid	Todo centralizado	51.0	51.2	230.993	231.567	93.638	94.578	SI	137.355	136.989
105	Madrid	Todo centralizado	46.0	46.7	265.316	265.874	93.638	94.578	NO	171.678	171.296
106	Madrid	Todo centralizado	39.0	39.2	172.207	172.953	146.310	147.296	NO	25.897	25.657
107	Madrid	Todo centralizado	28.0	28.3	249.708	250.021	146.310	147.296	NO	103.398	102.725
108	Madrid	Todo centralizado	24.0	24.7	301.375	301.965	146.310	147.296	NO	155.065	154.669
109	Madrid	Todo centralizado	20.0	20.9	353.043	353.874	146.310	147.296	NO	206.733	206.578
110	Madrid	Todo centralizado	18.0	18.1	404.710	405.231	146.310	147.296	NO	258.400	257.935
111	Madrid	Todo centralizado	56.0	56.6	172.209	173.025	146.310	147.296	NO	25.899	25.729
112	Madrid	Todo centralizado	43.0	43.1	249.710	250.946	146.310	147.296	NO	103.400	103.650
113	Madrid	Todo centralizado	36.0	36.0	301.378	301.924	146.310	147.296	NO	155.068	154.628
114	Madrid	Todo centralizado	31.0	31.8	353.045	354.023	146.310	147.296	NO	206.735	206.727
115	Madrid	Todo centralizado	27.0	27.7	404.713	405.897	146.310	147.296	NO	258.403	258.601
116	Madrid	Todo centralizado	66.0	66.1	172.211	172.567	146.310	147.296	SI	25.901	25.271
117	Madrid	Todo centralizado	54.0	54.3	249.712	250.203	146.310	147.296	NO	103.402	102.907
118	Madrid	Todo centralizado	47.0	47.1	301.380	301.987	146.310	147.296	NO	155.070	154.691
119	Madrid	Todo centralizado	40.0	40.0	353.047	354.689	146.310	147.296	NO	206.737	207.393
120	Madrid	Todo centralizado	35.0	35.7	404.715	405.236	146.310	147.296	NO	258.405	257.940

Caso	Ciudad	Sistema	Fracción solar (%)		Demanda Bruta (kWh/año)		Demanda Neta (kWh/año)		HE4	Pérdidas	
			CHEQ4	ACSOL	CHEQ4	ACSOL	CHEQ4	ACSOL		CHEQ4	ACSOL
121	Madrid	Apoyo distribuido	39.0	39.1	93.638	94.578	93.638	94.578	NO	0.000	0.000
122	Madrid	Apoyo distribuido	30.0	30.5	93.638	94.578	93.638	94.578	NO	0.000	0.000
123	Madrid	Apoyo distribuido	27.0	27.0	93.638	94.578	93.638	94.578	NO	0.000	0.000
124	Madrid	Apoyo distribuido	25.0	25.1	93.638	94.578	93.638	94.578	NO	0.000	0.000
125	Madrid	Apoyo distribuido	24.0	24.8	93.638	94.578	93.638	94.578	NO	0.000	0.000
126	Madrid	Apoyo distribuido	55.0	55.1	93.638	94.578	93.638	94.578	SI	0.000	0.000
127	Madrid	Apoyo distribuido	43.0	43.6	93.638	94.578	93.638	94.578	NO	0.000	0.000
128	Madrid	Apoyo distribuido	40.0	40.8	93.638	94.578	93.638	94.578	NO	0.000	0.000
129	Madrid	Apoyo distribuido	37.0	37.1	93.638	94.578	93.638	94.578	NO	0.000	0.000
130	Madrid	Apoyo distribuido	36.0	36.9	93.638	94.578	93.638	94.578	NO	0.000	0.000
131	Madrid	Apoyo distribuido	64.0	64.9	93.638	94.578	93.638	94.578	SI	0.000	0.000
132	Madrid	Apoyo distribuido	55.0	55.3	93.638	94.578	93.638	94.578	SI	0.000	0.000
133	Madrid	Apoyo distribuido	52.0	52.2	93.638	94.578	93.638	94.578	SI	0.000	0.000
134	Madrid	Apoyo distribuido	50.0	50.0	93.638	94.578	93.638	94.578	SI	0.000	0.000
135	Madrid	Apoyo distribuido	48.0	48.4	93.638	94.578	93.638	94.578	NO	0.000	0.000
136	Madrid	Apoyo distribuido	29.0	29.4	146.310	147.296	146.310	147.296	NO	0.000	0.000
137	Madrid	Apoyo distribuido	22.0	22.1	146.310	147.296	146.310	147.296	NO	0.000	0.000
138	Madrid	Apoyo distribuido	20.0	20.3	146.310	147.296	146.310	147.296	NO	0.000	0.000
139	Madrid	Apoyo distribuido	19.0	19.8	146.310	147.296	146.310	147.296	NO	0.000	0.000
140	Madrid	Apoyo distribuido	18.0	18.7	146.310	147.296	146.310	147.296	NO	0.000	0.000
141	Madrid	Apoyo distribuido	45.0	45.9	146.310	147.296	146.310	147.296	NO	0.000	0.000
142	Madrid	Apoyo distribuido	35.0	35.0	146.310	147.296	146.310	147.296	NO	0.000	0.000
143	Madrid	Apoyo distribuido	32.0	32.1	146.310	147.296	146.310	147.296	NO	0.000	0.000
144	Madrid	Apoyo distribuido	31.0	31.0	146.310	147.296	146.310	147.296	NO	0.000	0.000
145	Madrid	Apoyo distribuido	29.0	29.8	146.310	147.296	146.310	147.296	NO	0.000	0.000
146	Madrid	Apoyo distribuido	56.0	56.6	146.310	147.296	146.310	147.296	NO	0.000	0.000
147	Madrid	Apoyo distribuido	46.0	46.3	146.310	147.296	146.310	147.296	NO	0.000	0.000
148	Madrid	Apoyo distribuido	43.0	43.2	146.310	147.296	146.310	147.296	NO	0.000	0.000
149	Madrid	Apoyo distribuido	41.0	41.0	146.310	147.296	146.310	147.296	NO	0.000	0.000
150	Madrid	Apoyo distribuido	39.0	39.0	146.310	147.296	146.310	147.296	NO	0.000	0.000
151	Madrid	Acumulación distribu	40.0	40.7	93.638	94.578	93.638	94.578	NO	0.000	0.000
152	Madrid	Acumulación distribu	37.0	37.5	93.638	94.578	93.638	94.578	NO	0.000	0.000
153	Madrid	Acumulación distribu	37.0	37.5	93.638	94.578	93.638	94.578	NO	0.000	0.000
154	Madrid	Acumulación distribu	36.0	36.8	93.638	94.578	93.638	94.578	NO	0.000	0.000
155	Madrid	Acumulación distribu	35.0	36.2	93.638	94.578	93.638	94.578	SI	0.000	0.000
156	Madrid	Acumulación distribu	55.0	55.9	93.638	94.578	93.638	94.578	SI	0.000	0.000
157	Madrid	Acumulación distribu	51.0	51.7	93.638	94.578	93.638	94.578	SI	0.000	0.000
158	Madrid	Acumulación distribu	50.0	50.3	93.638	94.578	93.638	94.578	NO	0.000	0.000
159	Madrid	Acumulación distribu	49.0	49.8	93.638	94.578	93.638	94.578	NO	0.000	0.000
160	Madrid	Acumulación distribu	49.0	49.6	93.638	94.578	93.638	94.578	NO	0.000	0.000
161	Madrid	Acumulación distribu	66.0	67.2	93.638	94.578	93.638	94.578	SI	0.000	0.000
162	Madrid	Acumulación distribu	62.0	62.5	93.638	94.578	93.638	94.578	SI	0.000	0.000
163	Madrid	Acumulación distribu	60.0	61.1	93.638	94.578	93.638	94.578	SI	0.000	0.000
164	Madrid	Acumulación distribu	59.0	59.8	93.638	94.578	93.638	94.578	SI	0.000	0.000
165	Madrid	Acumulación distribu	59.0	59.3	93.638	94.578	93.638	94.578	SI	0.000	0.000
166	Madrid	Acumulación distribu	30.0	30.2	146.310	147.296	146.310	147.296	NO	0.000	0.000
167	Madrid	Acumulación distribu	28.0	28.5	146.310	147.296	146.310	147.296	NO	0.000	0.000
168	Madrid	Acumulación distribu	28.0	28.4	146.310	147.296	146.310	147.296	NO	0.000	0.000
169	Madrid	Acumulación distribu	27.0	27.8	146.310	147.296	146.310	147.296	NO	0.000	0.000
170	Madrid	Acumulación distribu	27.0	27.3	146.310	147.296	146.310	147.296	NO	0.000	0.000
171	Madrid	Acumulación distribu	43.0	43.1	146.310	147.296	146.310	147.296	NO	0.000	0.000
172	Madrid	Acumulación distribu	40.0	40.2	146.310	147.296	146.310	147.296	NO	0.000	0.000
173	Madrid	Acumulación distribu	39.0	39.6	146.310	147.296	146.310	147.296	NO	0.000	0.000
174	Madrid	Acumulación distribu	38.0	38.6	146.310	147.296	146.310	147.296	NO	0.000	0.000
175	Madrid	Acumulación distribu	38.0	38.2	146.310	147.296	146.310	147.296	NO	0.000	0.000
176	Madrid	Acumulación distribu	52.0	52.1	146.310	147.296	146.310	147.296	NO	0.000	0.000
177	Madrid	Acumulación distribu	49.0	49.9	146.310	147.296	146.310	147.296	NO	0.000	0.000
178	Madrid	Acumulación distribu	48.0	48.8	146.310	147.296	146.310	147.296	NO	0.000	0.000
179	Madrid	Acumulación distribu	47.0	47.6	146.310	147.296	146.310	147.296	NO	0.000	0.000
180	Madrid	Acumulación distribu	47.0	47.5	146.310	147.296	146.310	147.296	NO	0.000	0.000

Tabla 6: Comparación de resultados.