

METASOL

Metodología de cálculo para sistemas solares térmicos





1. RESUMEN

MetaSol es una metodología para el cálculo de la contribución solar mínima de agua caliente sanitaria en instalaciones solares térmicas. Con ésta, 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 una nueva forma rápida y precisa de comprobar el correcto dimensionado de dichas instalaciones.

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

2. ANTECEDENTES

España ha sido uno de los primeros países en introducir la obligatoriedad de incorporar instalaciones de energía solar térmica para la preparación de agua caliente sanitaria en edificios de nueva construcción o rehabilitación de edificios. Al tratarse de una normativa pionera a nivel mundial, se han manifestado durante el desarrollo de la misma algunas omisiones en el contenido que limitan los beneficios potenciales que la tecnología solar térmica puede llegar a ofrecer. Una de las limitaciones es la ausencia de una metodología de cálculo de las prestaciones de la instalación común a todos los actores del mercado.

El principal requisito normativo, articulado a través de la sección HE-4 del CTE, establece la necesidad de alcanzar en los edificios afectados una determinada contribución solar mínima, de cantidad variable en función de tres factores: radiación en la localidad donde se encuentra la instalación, demanda teórica de agua caliente sanitaria y sistema auxiliar (o complementario) del sistema solar. Además, se establecen ciertas exenciones en el caso de limitaciones arquitectónicas o urbanísticas.

Esta contribución solar mínima se especifica en forma de porcentaje sobre la demanda total de agua caliente sanitaria, la conocida fracción solar mínima. Dado que la demanda (neta) queda básicamente definida en el propio CTE en función de la aplicación del edificio, la duda a la hora de determinar si una instalación cumple o no con la normativa vigente es calcular si, dadas sus características técnicas, es capaz de aportar la energía solar térmica necesaria. En el CTE, no se especifica cómo debe



realizarse este cálculo, dejándose a criterio del proyectista el método de cálculo, que “deberá establecerse en la memoria”.

Esta solución tiene, como todas, ventajas e inconvenientes; un problema potencial es que dos proyectistas diferentes ofertando un proyecto para una misma instalación pueden concluir en que resulta necesaria una cantidad de superficie de captadores diferente. Un captador arriba, un captador abajo, no redundará en un gran ahorro de emisiones y por tanto no resulta crítico, pero de entre las dos ofertas, solo una ganará ese trocito de mercado. Dado que el método de cálculo es libre, la competencia entre instaladores se traslada desde el correcto dimensionado hacia el menor tamaño de sistema que podamos calcular, y esa espiral de reducción de costes (cabe recordar que aquellos obligados a contratar la instalación solar térmica no son los propietarios finales) acaba penalizando en mayor o menor medida el dimensionado e incluso la calidad de las instalaciones. Esto es desde luego poco deseable para el sector y la ciudadanía en general.

Esta carencia normativa lleva a ASIT, con el apoyo de IDAE, a proponer la creación de un método de cálculo específico para satisfacer las necesidades del mercado español. El método ha sido desarrollado por AIGUASOL bajo la supervisión de la comisión técnica de ASIT y el departamento solar de IDAE, y se basa en la herramienta de simulación dinámica TRANSOL incorporando principios del método F-Chart.

3. EL MÉTODO F-CHART

Antes de describir el método MetaSol introducimos brevemente el método F-Chart, que por su popularidad resulta habitualmente utilizado en buena parte de los proyectos ejecutados en España.

El método F-Chart está basado en el programa de simulación dinámica TRNSYS, y es un método estático, basado en correlaciones desarrollado en la década de los setenta del siglo pasado. A partir de un modelo TRNSYS del sistema solar térmico, se realizan varias simulaciones y se extraen una serie de curvas que relacionan la fracción solar del sistema con determinados parámetros de diseño del mismo.

La principal ventaja de este método es que es relativamente sencillo, y es posible incorporarlo en una hoja de cálculo pese a no tener excesivos conocimientos de informática o incluso energía solar térmica. Pese a ello, cuenta con algunas limitaciones, de entre las más importantes:



- Es válido únicamente para una configuración de sistema solar térmico
- No incorpora el coeficiente de pérdidas de segundo orden del captador
- El rango de aplicación está limitado, en principio, a un consumo de unos 560 kg/día
- No contempla que el captador o acumulador solar alcancen su temperatura máxima
- No contempla el circuito de distribución de la instalación

En particular, la limitación asociada a la configuración única resulta un factor limitante en la aplicación del método F-Chart al mercado español; el despliegue de la energía solar térmica en bloques de pisos hace que las casuísticas posibles a nivel de configuración se amplíen notablemente. Así, de entre las tres configuraciones a continuación, el método F-Chart no establece ninguna diferencia en su producción energética:

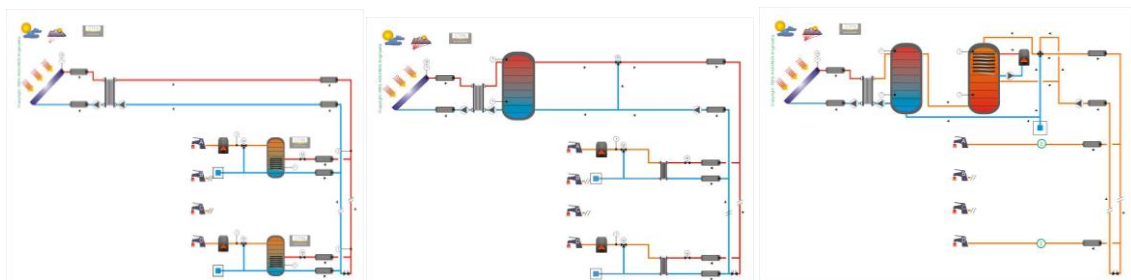
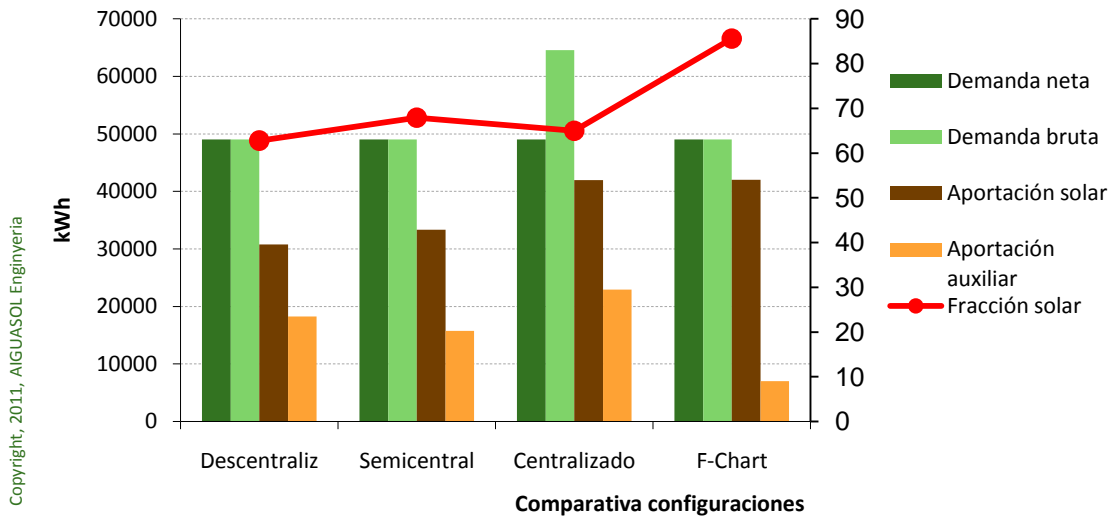


Fig 1. Posibles configuraciones de sistemas solares térmicos para edificios

Resulta obvio que para la misma área de captación y volumen de acumulación, la aportación solar en los tres casos será diferente, pero para el método F-Chart, el resultado es equivalente. En el gráfico y la tabla a continuación se comparan los resultados de estos tres sistemas calculados mediante simulación dinámica en el programa TRANSOL con los resultados obtenibles en F-Chart:



		TRANSOL			F-Chart
		Descentraliz	Semicentral	Centralizado	Todos
Demanda neta	kWh	49059	49059	49059	49059
Demanda bruta	kWh	49059	49059	64594	49059
Producción solar	kWh	55344	50503	49824	--
Aportación solar	kWh	30786	33322	41962	42019
Aportación auxiliar	kWh	18273	15737	22954	7045
Fracción solar	%	62.8	67.9	65	85.6

Tabla 1: comparativa resultados

Más allá de los valores concretos, se aprecia una sobrevaloración de los resultados energéticos del sistema en el método F-Chart, debido principalmente a que se trata de un cálculo desarrollado para una configuración típica de vivienda unifamiliar, en tanto que estamos calculando un bloque de pisos. El hecho de que como hipótesis de partida se asuma que no se satura el sistema en verano y la omisión (por cuestiones históricas) del coeficiente de segundo orden tienden a sobrevalorar el cálculo a fracciones solares altas. La consecuencia final es una infravaloración del consumo auxiliar y por tanto de las emisiones. Notar que el sistema centralizado arroja valores de aportación solar comparables en ambos métodos, dado que es muy similar a la configuración única de F-Chart, si bien en este método se ignoran las pérdidas térmicas asociadas al circuito de distribución.



4. EL MÉTODO METASOL

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

Para obtener un método de cálculo instantáneo se ha seguido una aproximación similar a la del método F-Chart: partiendo de modelos detallados, obtenidos del programa TRANSOL, se realizan gran cantidad de simulaciones para correlar los resultados obtenidos en función de las variables clave del sistema.

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

La tabla a continuación resume algunas de las diferencias entre ambos métodos de cálculo

	MetaSol	F-Chart
Configuraciones	7	1
Climas	7	1
Simulaciones	69.000	300
Demanda máxima	3000 kg/día	560 kg/día

Tabla 2: comparativa entre MetaSol y F-Chart

Estos datos ya indican que el rango de aplicación del método de cálculo MetaSol es notablemente más amplio que en el caso del método F-Chart. A partir de las más de 69.000 simulaciones realizadas se obtienen, en base mensual más de 800.000 datos, que conforman la información utilizada para generar las correlaciones.

Se han definido 12 variables de entrada que caracterizan las condiciones de operación y propiedades del sistema, y tres factores de efectos aleatorios, que caracterizan la



localización (radiación, temperatura de agua de red y temperatura ambiente), si bien no todas ellas tienen sentido en todos los esquemas, por lo que cada función está caracterizada por entre 6 y 10 variables y 2 o 3 factores climáticos. La forma de las funciones es bastante similar a las del método F-Chart, y la metodología de cálculo es igual de sencilla: dada una localización, un consumo, una configuración y las características de los componentes que forman el sistema, el proceso de cálculo consta de dos pasos:

1. Determinación de las variables de entrada F_i (climáticas) y A_i (propias del sistema)
2. Substitución de F_i y A_i en las funciones de resultados de la configuración escogida

Las funciones analíticas que caracterizan la aportación solar se han determinado intentando mantener en la medida de lo posible expresiones sencillas, consistentes (con una forma similar para todas las configuraciones) y desde luego, precisas. A modo de ejemplo, presentamos aquí los resultados para un sistema de vivienda unifamiliar con intercambiador externo, que representamos según la figura a continuación

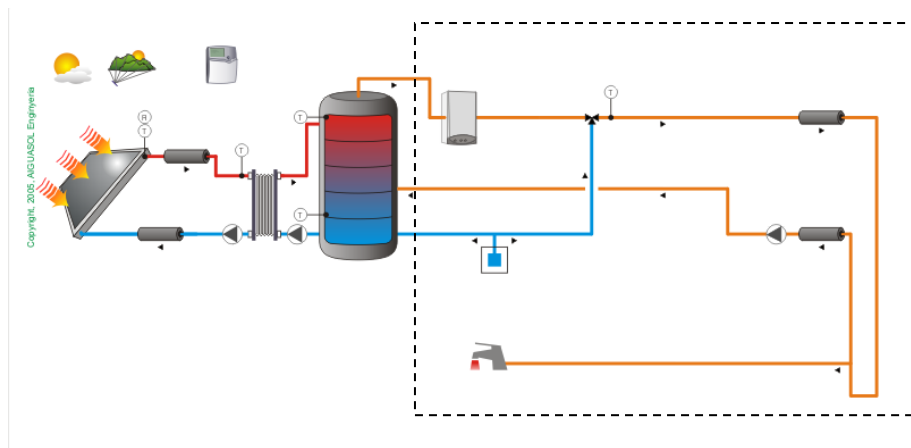


Fig 3. Configuración solar vivienda unifamiliar

Para esta configuración, el sistema de referencia sería el indicado por la línea discontinua. La aportación solar a consumo será la diferencia entre el consumo de la caldera en el caso del sistema solar y el consumo de la caldera en el sistema de referencia.



Por tanto, definimos la aportación solar a consumo como la energía que entra en la caldera desde el acumulador solar, es decir la energía producida por el campo de captadores menos las pérdidas en el acumulador solar y en el circuito de tuberías del primario. Llamamos Y1 a esta función; la función ln Y1 se aproxima a partir de una combinación lineal de variables explicativas y coeficientes que se especifican en la tabla siguiente:

Función ln Y1 para SCH104

1	-0.1735283869
ln F1	1.1269537804
ln A3	-0.0912676768
A2/A3	-22.9836361
A1	-0.0459984729
A5	-1.4155198442
A4	0.8250408319
X ²	-0.0659330606
X ³	-0.0581971270
X ⁴	-0.0140303160

Tabla 3: coeficientes de regresión para el esquema anterior

Donde X se define como el ln (F1/A3), siendo F1 la radiación incidente en el absorbedor del captador en base mensual, A3 la demanda en base mensual. A1 es el coeficiente lineal del captador, A5 el coeficiente de segundo orden del captador, A4 el ratio de acumulación por unidad de área del captador y A2 el área de captación. Truncando a 3 decimales, la tabla anterior equivale a la siguiente función:

$$\ln Y1 = -0.173 + 1.03 \ln F1 - 0.091 \cdot X - 22.984 \frac{A2}{A3} - 0.045 \cdot A1 - 1.41 \cdot A5 + 0.82 \cdot A4 - 0.066 \cdot X^2 - 0.058 \cdot X^3 - 0.014 \cdot X^4$$

y haciendo la exponencial, nos queda una función de la forma



$$Y1 = cnt + (R(F1) - P(X)) \cdot e^{Q(A1,A2,A3,A4,A5)}$$

Donde $R(F1)$ es una función exclusivamente de la radiación incidente en el absorbedor, y de valor próximo a $F1$, $P(X)$ (>0) es un polinomio del cociente entre radiación y demanda y $G(A1,A2,A3,A4,A5)$ (<0) es una combinación lineal de las variables que caracterizan el sistema. Esta representación resulta curiosa, ya que agrupa todas las variables del sistema en una única función, exponencial decreciente, y las características de la localización y la demanda en otra función. La forma de esta función es extremadamente habitual en la solución de ecuaciones de transferencia de calor, lo que es de agradecer, dado que todo el sistema solar es en último término un intercambiador de calor entre la energía radiante del sol y el agua sanitaria.

Extrayendo factor común de $F1$ y dividiendo a ambos lados tendríamos la eficiencia térmica del sistema solar. La expresión analítica resultante tiene una expresión similar a la de la curva de un captador solar si identificamos la variable X como una función de $(T_m - T_a)$, por lo que se podría inferir que X es un indicador de la temperatura media del sistema.

Vemos también que el conjunto $R(F1) - P(X)$ es algo parecido a la radiación incidente menos una serie de términos, que tienden a 0 cuando la demanda crece, pero cuya derivada crece rápidamente al disminuir la demanda. Físicamente se puede interpretar como que la radiación utilizable disminuye al disminuir la demanda.

También resulta destacable que los coeficientes característicos del sistema, como el área de captación, los coeficientes de pérdidas del captador, etc no aparecen en la expresión como términos puramente lineales, sino que los términos de la expresión que los incorporan siempre están condicionados por la radiación y la demanda. En otras palabras, la derivada de la función respecto a cualquier parámetro del sistema es función de la radiación y la demanda disponible.

Una vez obtenida la función, se comparan los resultados obtenidos mediante simulación dinámica con los resultados que ofrece la función de regresión; la tabla

Percentil			
05	25	75	95
-7.94	-3.27	3.42	7.23



Tabla 4: indicadores estadísticos de la regresión: percentiles de error

Esto significa que, en el caso de esta configuración un 50 % de los puntos tienen un error relativo entre -3.27 % y 3.42 %. Solo un 5 % de los puntos tienen un error mayor del -7.94 % o mayor del 7.23 %. Además, dado que el error final es la suma de los errores para los doce meses del año y la distribución del error es bastante simétrica, estos tenderán a cancelarse. En todo caso, esto no impide que en alguna situación concreta el error en el cálculo pueda ser mayor.

5. CHEQ4

La nueva metodología de cálculo MetaSol es completamente abierta. Cualquier usuario puede disponer de toda la información necesaria para su correcta implementación. No obstante, también se ha desarrollado una sencilla e intuitiva interfaz.

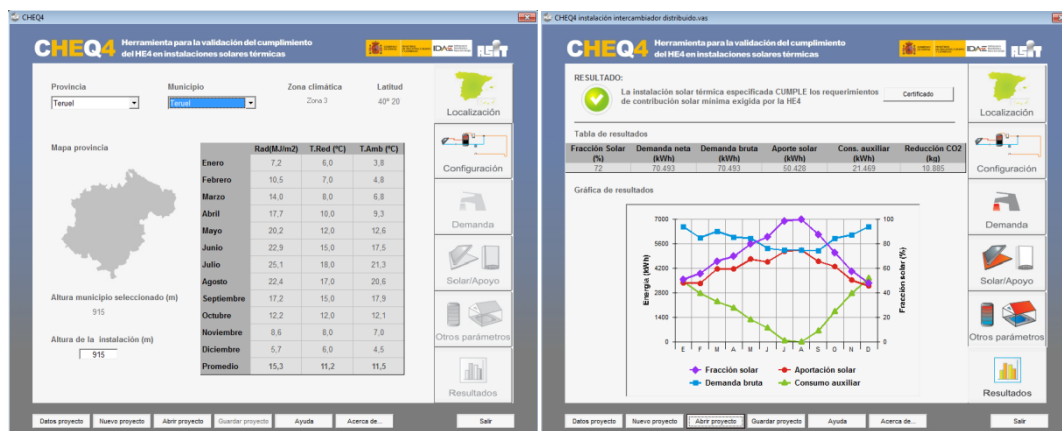


Fig 4. Capturas de pantalla del software CHEQ4.

El software de libre distribución CHEQ4 permite validar el cumplimiento de la contribución solar del HE4, utilizando como motor la nueva metodología de cálculo MetaSol. CHEQ4 incorpora todas las bases de datos necesarias y permite generar un informe justificativo de los resultados obtenidos de forma rápida y sencilla.



6. CONCLUSIONES

Tal como exponíamos al inicio, resulta necesario para mejorar la calidad de las instalaciones la homogeneización de una metodología de cálculo entre los actores implicados en el mercado solar térmico. Por otro lado, el método F-Chart que por popularidad y rapidez es el más utilizado en España ofrece limitaciones debido a la sistemática utilización del mismo lejos del rango de aplicación para el que fue concebido, así como la evolución tecnológica y prestacional de la energía solar térmica desde que se creó, en el año 1975, hasta nuestros días.

Dado que los métodos de cálculo actuales más precisos, basados en simulación dinámica, pueden resultar relativamente complicados de interpretar y manejar, no son lo suficientemente sencillos para garantizar su adecuado uso por parte de todos los proyectistas e instaladores. Además, no son invertibles, en el sentido que no permiten deducir de forma inmediata el área de captación necesaria para conseguir una determinada fracción solar y exigen cálculos iterativos, lo que aumenta el tiempo dedicado a dimensionar el sistema por parte de instaladores y proyectistas.

Por todo ello, se ha optado por desarrollar un nuevo método de cálculo, que mantenga la simplicidad y rapidez del método F-Chart, pero aumentando el rango de aplicación, sensible a la configuración del sistema solar térmico y, en definitiva adaptado al mercado y normativa españoles.