

Laboratorio de Energías Renovables y Radiación Solar

Energías Renovables: Energía Solar térmica



**Jose Luis Gómez Amo
M^a Pilar Utrillas Esteban
Víctor Estellés Leal
Fernando Tena Sangüesa**

Energía Solar térmica

OBJETIVOS

- Analizar el comportamiento energético de un captador solar térmico
- Obtener los valores del factor de extracción de calor y del coeficiente global de pérdidas de un captador solar térmico.
- Caso práctico: Dimensionado de una instalación de ACS

FUNDAMENTO TEÓRICO

Un captador solar plano es un dispositivo capaz de aprovechar la energía radiante del sol y transformarla en energía térmica. La ecuación fundamental que rige el comportamiento energético del captador es la que permite determinar el calor útil obtenido por unidad de tiempo (potencia calorífica) y se expresa:

$$\dot{Q}_u = A F_R \left[S - U \left(\frac{T_e - T_a}{I} \right) \right] \quad (1)$$

Donde A es el área del colector, S la radiación solar absorbida por el captador, I (W/m^2) la irradiancia solar incidente, T_e la temperatura del fluido de trabajo a la entrada y T_a la temperatura del ambiente exterior. F_R (factor de extracción del calor) y U (coeficiente global de pérdidas) son dos características fundamentales del panel que deben ser determinadas para evaluar su rendimiento. En un panel solar que funciona correctamente F_R no deberá estar por debajo de 0.70 y U no valdrá más de $10 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$.

El rendimiento del captador puede escribirse así:

$$\eta = \frac{\dot{Q}_u}{A I} = \dot{m} c_p \frac{(T_s - T_e)}{A I} \quad (2)$$

Siendo $\dot{m}$ el caudal del fluido de trabajo, T_s su temperatura a la salida y c_p su calor específico. Midiendo directamente las magnitudes que lo definen es fácil encontrar su valor en un instante determinado.

La radiación absorbida, S (W/m^2), se puede expresar exclusivamente a través de las características ópticas del captador (3), siendo τ la transmisividad de la cubierta de vidrio y α la absorptividad de la placa absorbente.

$$S = I (\tau \alpha) \quad (3)$$

La ecuación (2) puede escribirse teniendo en cuenta la (1) y la (3):

$$\eta = F_R (\tau \alpha) - F_R U \frac{(T_e - T_a)}{I} \quad (4)$$

que presenta la forma de ecuación de una recta si expresamos el valor del rendimiento en función del término $(T_e - T_a)/I$:

$$\eta = A + B \frac{(T_e - T_a)}{I} \quad (5)$$

Determinando experimentalmente varios de los puntos de esa recta y ajustándolos por mínimos cuadrados obtendremos como resultados los valores de A y de B, de modo que:

- De la ordenada en el origen [$A = F_R(\tau \alpha)$] y conocidos los valores de τ y de α , obtenemos el valor del factor de extracción de calor, F_R .
- De la pendiente ($B = - F_R U$) y ya determinado el valor de F_R obtenemos el del coeficiente global de pérdidas, U .

REALIZACIÓN

Primera parte. Obtención de los parámetros de un captador solar térmico.

- 1.- Utilizando los datos disponibles, representar la recta correspondiente (Ec. (5)) y ajustarla por mínimos cuadrados.
- 2.- Obtener los valores de F_R y de U (con los errores correspondientes) a partir de dicho ajuste. Para ello tener en cuenta:
 - Cubierta de vidrio ($\tau = 0.88$)
 - Superficie absorbente selectiva ($\alpha = 0.95$)
 - El fluido de trabajo es agua ($c_p = 1 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$).

Segunda parte. Dimensionado de una instalación de ACS

Ver Anexo 1.

RESULTADOS

Primera parte. Obtención de los parámetros de un captador solar térmico.

- 1.- Tabla de valores medios, por horas, de las diferentes magnitudes obtenidas en la práctica (Tabla 2). Comentar los resultados.



- 2.- Representar $\eta = f((T_e - T_a)/I)$. Ajustar por mínimos cuadrados a una recta, dando la pendiente, ordenada con sus errores respectivos. Comentar los resultados.
- 3.- Valores de F_R y de U con sus errores respectivos. Comentar los resultados.

Segunda parte Dimensionado de una instalación de ACS

- 4.- Dimensionado de una instalación de ACS en un edificio. Numero de captadores solares y déficit energético alcanzado durante un año medio (histograma por meses). Añadir la tabla por meses como anexo.
- 5.- Estudiar a través del número de captadores solares ($N \pm 10\%N$) el déficit energético alcanzado durante un año medio (histograma por meses). Añadir la tabla por meses como anexo.
- 6.- Se sabe que el ángulo de inclinación del colector debe variar para invierno y verano. Comparar y representar el déficit energético por meses teniendo en cuenta las diferentes inclinaciones de verano, invierno y neutra (β). Analizar y comentar los resultados obtenidos.
- 7.- Encontrar el ángulo de inclinación optimo plano (β), en un rango $\pm 10^\circ$, variando de 5° en 5° , teniendo en cuenta el déficit energético. Analizar y comentar los resultados obtenidos.

ANEXO I. DIMENSIONADO DE UNA INSTALACIÓN FOTOTÉRMICA EN UN EDIFICIO

Se recomienda construir una tabla excel con todos los meses del año para la realización de los cálculos.

Considerando los valores obtenidos (F_R y U) en la primera parte de la práctica, y haciendo uso de (TABLA 1 AnexoTablasFototérmica.pdf) se pretende dimensionar una instalación fototérmica. Se supone un área del captador de 2m^2 .

A.- Elección de ubicación y elección de tipo de lugar de consumo de agua caliente sanitaria (ACS)

Elegir una opción para el dimensionado. Puede ser un hotel, una vivienda de vecinos, un gym, etc (ver TABLA 2.- Demanda diaria de referencia ACS a 60°C según CTE DB HE4. Fuente. Código Técnico de Edificación). También hay que elegir una ubicación

- Una vivienda de $x =$ vecinos
- Un hotel de $N_1 =$ habitaciones individuales y $N_2 =$ habitaciones dobles.
- Una vivienda unifamiliar de $x =$ habitantes
- Etc..



Situado en (Latitud $\phi =$)

Sabiendo que se precisan $V_1 =$ litros de agua por persona a la temperatura de $t_s =$ ($^\circ\text{C}$).

B.- Estudio del número de captadores necesarios.

Para calcular el número de captadores necesarios en una localidad de latitud (ϕ) en la instalación elegida, se tiene que realizar un análisis donde se compara la energía anual total necesaria (E_a) con la energía anual total aportada por el sistema (irradiación solar, H_a).

El agua que se utiliza por los usuarios durante un mes determinado V (m^3) viene dada por:

$$V = x \cdot V_1 \cdot d$$

d es el número de días que tiene cada mes, V_1 son los litros de agua necesarios por persona y x el número de vecinos/habitantes.

Para calcular la energía total mensual necesaria para abastecer de ACS la instalación elegida, se utiliza:

$$E_m(\text{MJ}) = m \cdot c \Delta t = V \cdot \rho \cdot c \cdot (T_s - T_e)$$

donde T_e ($^\circ\text{C}$) es la temperatura media del agua de red (TABLA AnexoTablasFototérmica.pdf); ρ es la densidad del agua y c es el calor específico del agua ($\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$; $c = 4180 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$)

La energía media diaria que se consume E_d (MJ) se puede calcular con: $E_d(MJ) = \frac{E_m}{d}$

Para calcular la irradiación solar en el plano del captador H_i (MJ/m²), se tiene que utilizar la H (MJ/m²) es la irradiación media mensual que llega a un plano horizontal. (TABLA 5 AnexoTablasFototérmica.pdf) y F_i que es un factor de inclinación que modifica el valor de H para adecuarlo a la inclinación real del captador. (TABLA 6 AnexoTablasFototérmica.pdf). De forma que tenemos:

$$H_i \left(\frac{MJ}{m^2} \right) = H \cdot F_i$$

Para poder encontrar el rendimiento del captador (η) utilizado en la práctica debemos utilizar las ecuaciones (4) y (5):

$$\eta = F_R (\tau \alpha) - F_R U \frac{(T_e - T_a)}{I} = A + B \frac{(T_e - T_a)}{I}$$

Donde T_a (°C) es la temperatura ambiente media mensual. (TABLA 7 AnexoTablasFototérmica.pdf). Y ya hemos visto que I (W/m²) es la irradiancia solar recibida por el plano. Se calcula a partir de:

$$I \left(\frac{W}{m^2} \right) = \frac{H_i}{n}$$

siendo n es el número medio de horas de sol sobre el plano del captador para la localidad escogida (ver horas sol estaciones AEMET).

La irradiación solar aportada al sistema por metro cuadrado en un día medio H_d (MJ/m²) se calcula teniendo en cuenta el rendimiento y un factor que tiene en cuenta las pérdidas:

$$H_d \left(\frac{MJ}{m^2} \right) = 0.85 \eta H_i$$

Donde 0.85 es un factor aproximado de seguridad. Suponemos una pérdida media aproximada del 15% en el proceso de acumulación, lo que deja solamente un 85% para la aportación al consumo.

Por su parte la irradiación solar aportada al sistema en todo el mes H_m (MJ/m²) es:

$$H_m \left(\frac{MJ}{m^2} \right) = H_d \cdot d$$

Y la irradiación solar aportada al sistema en todo el año H_a (MJ/m²) es:

$$H_a \left(\frac{MJ}{m^2} \right) = \sum H_m$$

Comparando la energía anual total necesaria (E_a) con la irradiación solar anual total aportada por el sistema (H_a) se puede calcular La superficie total de captación necesaria será:

$$Area_{total}(m^2) = \frac{\sum E_m}{\sum H_m} = \frac{E_a}{H_a}$$

Y el número de captadores a instalar:

$$N = \frac{Area_{total}(m^2)}{Area_{captador}(m^2)}$$

C.- Déficit energético alcanzado total anual.

Una vez calculados el numero de captadores es posible calcular el area total de los mismos de forma que la energía solar total suministrada al sistema cada mes E_{msolar} (MJ) será:

$$E_{msolar}(MJ) = H_m \cdot Area_{total}$$

Si $Sust$ (%),(fracción solar aportada) representa el porcentaje de la energía de consumo aportada por el sistema de captadores. No puede superar el 100%

$$Sust(\%) = 100 \frac{E_{msolar}(MJ)}{E_m(MJ)} (< 100\%)$$

El déficit mensual D_m (MJ) se calculará como la diferencia entre la energía solar total suministrada y la que se necesita para cubrir las necesidades (No tienen sentido valores negativos)

$$D_m(MJ) = E_m - E_{msolar} (> 0)$$

Y el déficit total será la suma de los déficits mensuales para todo el año:

$$D_{total}(MJ) = \sum D_m$$