

4 CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS

1 Cargas de calentamiento del agua caliente sanitaria

La determinación del consumo de agua caliente sanitaria y, por tanto, de la correspondiente carga térmica, no puede valorarse mediante fórmula matemática alguna. Por ese motivo, el cálculo deberá establecerse sobre la base de datos estadísticos que cubren las necesidades en el momento más desfavorables de demanda.

Estos datos a los que nos referimos atienden a:

- nº de habitaciones;
- nº de personas;
- nivel de bienestar;
- nº de aparatos sanitarios de consumo;
- clase o tipo de edificio.

Las necesidades de agua caliente han de determinarse a partir de:

- Un cálculo de la necesidad máxima horaria (hora punta).
- Un cálculo de la necesidad diaria.

Para realizar tales cálculos, es necesario determinar el consumo de agua caliente de cada aparato y el consumo por día para distintos tipos de edificios.

1.1 Cálculo de la necesidad diaria

Partimos de una serie de datos estadísticos. En general se utilizan los siguientes:

CONSUMO EN VIVIENDAS POR UTILIZACIÓN DE APARATOS EN FUNCIÓN DE LA TEMPERTURA

APARATO	CONSUMO (litros)	TEMPERATURA (°C)
Fregadero	20	60
Lavabo	6	40
Ducha	40 (35)	40 (45)
Bidé	6	40
Bañera	128 (110)	40 (45)

CONSUMO DIARIO EN VIVIENDAS EN LITROS A 45 °C

Nº habitaciones	3	4
Nº personas	3 a 5	4 a 7
Fregadero	46	57
Lavabo	18	23
Ducha	46	46
Bidé	6	11
Bañera	125	250
TOTAL	241	387

Otra manera de determinar el consumo diario en una vivienda u hotel, es relacionar personas y habitaciones:

$$1 \text{ HABITACIÓN} = 1,5 \text{ PERSONAS}$$

$$1 \text{ PERSONA} = 57 \text{ litros / día a } 45 \text{ °C}$$

Exclusivamente para hoteles se puede seguir el criterio de la siguiente tabla:

CONSUMO POR PERSONA Y DÍA EN HOTELES

Categoría hotel	Consumo en litros (mínimo – máximo)	Temperatura °C
Lujo	120-150	45
1ª Clase	90 - 120	45
2ª Clase	70 - 90	45
Otras categorías	50 - 70	45

Para transformar los consumos o caudales volumétricos ofrecidos en los anteriores cuadros, a distinta temperatura de uso, se deberá aplicar la ecuación de conservación de la energía:

$$\dot{m}_{\text{necesario}} = \frac{\dot{m}_{\text{conocido}} * (T_{\text{ACSconocida}} - T_{\text{agua-fría}})}{(T_{\text{ACSdeseada}} - T_{\text{agua-fría}})}$$

1.2 Cálculo de la necesidad máxima horaria (hora punta)

a) Viviendas

Aproximadamente el consumo diario equivale a 3 o 4 veces el consumo punta en una hora (relación válida para más de 20 aparatos).

Si no, se puede calcular a través de la siguiente fórmula del cálculo del consumo horario punta:

$$\dot{m}_h = [(\dot{m}_{\text{bañera}} * n_1) + (\dot{m}_{\text{ducha}} * n_2)] * Y * 1,2$$

donde:

- \dot{m}_h es el consumo horario punta en litros / hora;
- $\dot{m}_{\text{bañera}}$ es el consumo bañera en litros (normalmente 110 l a 45 °C);
- \dot{m}_{ducha} es el consumo ducha en litros (normalmente 35 l a 45 °C);
- n_1 es el número de bañeras;
- n_2 es el número de duchas;
- Y es el coeficiente de simultaneidad horaria;
- 1,2 es el factor corrector por pérdidas en tuberías e incrustaciones.

Las curvas de simultaneidad figuran en los anexos (figuras 12 y 13).

b) Hoteles

El cálculo horario punta se efectúa con la siguiente fórmula:

$$\dot{m}_h = [(\dot{m}_{\text{bañera}} * n_1)] * Y$$

donde:

- \dot{m}_h es el consumo horario punta en litros / hora;
- $\dot{m}_{\text{bañera}}$ es el consumo de una bañera en litros (normalmente 110 l a 45 °C);
- n_1 es el número de bañeras y duchas;
- Y es el coeficiente de simultaneidad horaria.

Las curvas de simultaneidad figuran en los anexos.

Las curvas 1, 2 y 3 representan la relación bañeras / camas:

- curva 1 – relación bañeras / camas = 0,5;
- curva 2 – relación bañeras / camas = 0,3;
- curva 3 – relación bañeras / camas = 0,15.

Las habitaciones con camas dobles se consideran como de dos camas.

Una vez determinado el consumo medio diario, podemos calcular la carga térmica correspondiente al agua caliente sanitaria mensual (la que necesitaremos para nuestros cálculos de cobertura solar), mediante la siguiente fórmula:

$$\dot{Q}_a = \dot{m}_{\text{día}} * 999,8 * 4187 * (T_{\text{acumulación}} - T_{\text{agua-fría}}) * n$$

donde:

- $\dot{m}_{\text{día}}$ es el consumo medio diario (en m^3 / s), calculado según los apartados anteriores;
- \dot{Q}_a es el calor mensual necesario (en J/mes);
- $T_{\text{acumulación}}$ es la temperatura de acumulación del A.C.S., en $^{\circ}\text{C}$;
- $T_{\text{agua fría}}$ es la temperatura de red del A.F.S., en $^{\circ}\text{C}$ (se puede encontrar tabulada en el mapa adjunto en los anexos);
- n es el número de días del mes en cuestión.

2 Cálculo de las cargas térmicas de calefacción

Para dimensionar sistemas de calentamiento por energía solar es necesario valorar las cargas de calefacción promedio por cada mes.

Para climas del hemisferio norte, el sistema de los grados/días para valorar las cargas medias mensuales de calefacción resulta un método sencillo.

Este método de cálculo se apoya en el hecho de que la cantidad de calor necesaria para mantener la temperatura interior de confortabilidad seleccionada depende principalmente de la diferencia de temperaturas entre el ambiente interior y el exterior. La carga mensual de calefacción (\dot{Q}_c) para una vivienda o edificio se supone proporcional al número de grados/días durante el mes, con la temperatura interior constante de 20°C , que es un valor usual de proyecto.

La carga térmica de calefacción viene dada por

$$\dot{Q}_c = S * K_g * Z_m * a * b * c$$

donde:

- \dot{Q}_c es la carga mensual de calefacción (en J/mes);
- S es la superficie del edificio;
- K_g es el coeficiente global de pérdidas térmicas del edificio;
- Z_m son los grados/días del mes;
- a es el factor de reducción por temperatura (varía entre 0,6 y 0,85);
- b es el factor por reducción de servicio;
- c es el factor por corrección de exigencias caloríficas (1,82 para equipos que utilizan combustibles fósiles y 1 para resistencias eléctricas).

El número de grados/días para un mes resulta de la suma de grados/días obtenidos para cada día de este mes. Este valor se refleja en las tablas de datos meteorológicos, proporcionadas por las correspondientes estaciones meteorológicas.

El producto $S * K_g$, puede valorarse de dos formas:

- a) a partir de las características de los elementos constructivos:

$$S * K_g = \frac{\text{carga térmica de proyecto}}{\text{diferencia entre temperaturas de proyecto}}$$

b) conociendo el consumo medio mensual de combustible para calefacción y el rendimiento del generador:

$$S * K_g = \frac{\dot{m}_{\text{combustible}} * \text{P.C.I.} * \eta}{Z_m}$$

donde:

- $\dot{m}_{\text{combustible}}$ es el consumo medio de combustible mensual en kg / mes;
- P.C.I. es el poder calorífico inferior del combustible empleado en J / kg;
- η es el rendimiento del generador.

3 Cálculo de las cargas de calentamiento del agua de piscinas descubiertas

De acuerdo con la normativa en vigor las piscinas descubiertas no han de disponer de equipo convencional para el calentamiento de agua y, en consecuencia, el equipo solar ha de aportar el total de necesidades energéticas (cobertura 100 %) durante la temporada de funcionamiento.

En la determinación de las necesidades energéticas de la piscina han de valorarse las pérdidas de calor por radiación, convección y evaporación, pero también la ganancia de calor debida a la radiación solar incidente sobre el plano del agua. Se desprecian las pérdidas por los laterales y el fondo hacia el terreno.

Las necesidades energéticas mensuales de la piscina se valoran mediante la siguiente fórmula:

$$\dot{Q}_p = 24 * n * S * (\dot{Q}_{\text{radiación}} + \dot{Q}_{\text{conveccion}} + \dot{Q}_{\text{evaporación}}) - \dot{Q}_{\text{ganancias}}$$

donde:

- \dot{Q}_p es la energía calorífica media mensual (kJ / mes);
- n es el número de días del mes en cuestión;
- S es la superficie del agua de la piscina (m²);
- $\dot{Q}_{\text{radiación}}$ son las pérdidas de calor por radiación (kJ / h * m²), que se calcula mediante

$$\dot{Q}_{\text{radiación}} = 55 + 4,5 * (T_c - T_a)$$

donde:

- T_c es la temperatura elegida para el agua ($^{\circ}\text{C}$), normalmente de 18 a 20 $^{\circ}\text{C}$;
- T_a es la temperatura ambiente para el día medio de cada mes ($^{\circ}\text{C}$), y viene como dato de las tablas meteorológicas.
- $\dot{Q}_{\text{convección}}$ son las pérdidas de calor por convección ($\text{kJ} / \text{h} * \text{m}^2$), que se calculan, mediante

$$\dot{Q}_{\text{convección}} = K_c * (T_c - T_a)$$

donde:

- K_c es el coeficiente global de pérdidas de calor por conducción – convección desde la superficie de la piscina al medio ambiente. Se calcula a través de la tabla 4, en función de la velocidad del viento que, en general, se considera entre 5 y 10 km / h ($\text{kJ} / \text{h} * \text{m}^2 * ^{\circ}\text{C}$).
- $\dot{Q}_{\text{evaporación}}$ son las pérdidas de calor por evaporación ($\text{kJ} / \text{h} * \text{m}^2$), que se calculan, mediante

$$\dot{Q}_{\text{evaporación}} = 0,16 * K_c * (p_{vp} - p_{va})$$

donde:

- p_{vp} es la presión del vapor de agua saturado en equilibrio con el agua de la piscina. Este valor se deduce de la tabla 5, entrando con la temperatura del agua de la piscina (en general se toma el valor para 24 $^{\circ}\text{C}$).
- p_{va} es la presión parcial del vapor de agua en el aire ambiente. Se determina en función de la humedad relativa (HR) y de los valores de la tabla 6, correspondientes a la presión del vapor de agua en el aire saturado (p_{vs}), en función de la temperatura media ambiente:

$$p_{va} = \frac{p_{vs} * \text{HR}}{100}$$

5 RENDIMIENTO MEDIO EN UN PERIODO DETERMINADO DE SISTEMAS DE CALENTAMIENTO SOLAR

1 El método de las curvas f

El cálculo de la cobertura de un sistema solar, es decir, de su contribución a la aportación del calor total necesario para combatir las cargas térmicas, y de su rendimiento medio en un largo periodo de tiempo, por el método de las curvas f, es el desarrollado por los profesores Klein, Beckman y Duffie en 1973.

Es un proceso de cálculo suficientemente exacto para largas estimaciones, y no ha de aplicarse a estimaciones de tipo semanal y menos de tipo diario.

Para desarrollarlo se utilizan datos medios mensuales meteorológicos, y es perfectamente válido para determinar el rendimiento o factor de cobertura solar en instalaciones de calentamiento, en todo tipo de edificios, mediante captadores solares planos.

Su aplicación consiste en identificar las variables adimensionales del sistema de calentamiento solar y utilizar la simulación de funcionamiento por ordenador, para dimensionar las correlaciones entre estas variables y el rendimiento medio del sistema para un dilatado periodo de tiempo.

2 Identificación de las variables adimensionales del sistema

El balance energético global para un periodo mensual en un sistema de calentamiento solar puede escribirse como

$$\bar{I}_T - \dot{Q}_{\text{térmicas}} + \dot{Q}_{\text{auxiliar}} = \Delta U$$

donde:

- \bar{I}_T es la energía solar útil total obtenida durante un mes;
- $\dot{Q}_{\text{térmicas}}$ es la suma de las cargas de calefacción y agua caliente sanitaria durante un mes;
- $\dot{Q}_{\text{auxiliar}}$ es la energía auxiliar total requerida durante un mes;
- ΔU es el intercambio de energía en la unidad de almacenamiento.

Este último parámetro es pequeño frente al resto, por lo que se suele considerar cero en el ámbito de cálculos por tanto podremos escribir la igualdad de la siguiente manera:

$$f = \frac{\dot{Q}_{\text{térmicas}} - \dot{Q}_{\text{auxiliar}}}{\dot{Q}_{\text{térmicas}}} = \frac{\bar{I}_T}{\dot{Q}_{\text{térmicas}}}$$

donde f es la fracción de la carga de calentamiento total mensual suministrada por la energía solar.

Mediante esta ecuación no se puede calcular f , ya que la energía solar útil es una función complicada de la radiación incidente, la temperatura ambiente y las pérdidas térmicas.

El factor f puede ser relacionado empíricamente con los dos grupos adimensionales siguientes:

$$X = \frac{A * F'_R * U_L * (T_{\text{ref}} - T_a) * \Delta t}{\dot{Q}_{\text{térmicas}}}$$

$$Y = \frac{A * F'_R * (\bar{\tau} * \bar{\alpha}) * \bar{I}_T * N}{\dot{Q}_{\text{térmicas}}}$$

donde:

- A es el área de los colectores solares (m^2);
- F'_R es el factor de eficacia captador – intercambiador;
- U_L es el coeficiente global de pérdidas del colector ($\text{w} / \text{m}^2 * ^\circ \text{C}$);
- Δt es el número total de segundos en un mes;
- T_{ref} es la temperatura de referencia fijada en $100 ^\circ \text{C}$;
- T_a es la temperatura ambiente media mensual (en $^\circ \text{C}$, y viene tabulada en las tablas de datos meteorológicos);
- N es el número de días del mes;
- $(\bar{\tau} * \bar{\alpha})$ es el producto de la transmitancia y la absortancia media mensual.

Estos grupos adimensionales tienen un significado físico: Y expresa la relación entre la energía absorbida en la superficie de la placa captadora y la carga total de calentamiento durante un mes, y X expresa la relación entre las pérdidas de energía del captador para una temperatura de referencia y la carga total de calentamiento para un mes.

Las ecuaciones de X e Y pueden escribirse de nuevo en una forma ligeramente modificada por conveniencia de cálculos:

$$\frac{X}{A} = \frac{F_R * U_L * \left(\frac{F'_R}{F_R} \right) * (T_{ref} - T_a) * \Delta t}{\dot{Q}_{t\acute{e}rmica}}$$

$$\frac{Y}{A} = \frac{F_R * (\tau * \alpha)_n * \left(\frac{F'_R}{F_R} \right) * \left(\frac{(\bar{\tau} * \bar{\alpha})}{(\tau * \alpha)_n} \right) * \bar{I}_T * N}{\dot{Q}_{t\acute{e}rmica}}$$

Recordemos que $F_R * U_L$ y $F_R * (\tau * \alpha)_n$ se obtienen a partir de los resultados de las pruebas del colector solar, como se indic3 en el tema 3, en el punto 2.2. F'_R / F_R se calcula como se describi3 en el tema 3, punto 3.2. T_a se encuentra tabulado en las tablas de datos meteorol3gicos. $\left(\frac{(\bar{\tau} * \bar{\alpha})}{(\tau * \alpha)_n} \right)$ se calcula por el m3todo descrito en el tema 3, punto 5. \bar{I}_T se calcula seg3n lo expuesto en el tema 2, punto 2.3, y tema 3, punto 4. Las cargas t3rmicas mensuales m3nimas se calculan seg3n lo expuesto en el tema 4. Los valores de la superficie captadora, A, se seleccionan por c3lculo. Por tanto, todos los t3rminos de estas dos ecuaciones se determinan f3cilmente a partir de la informaci3n disponible.

3 Sistemas solares con colectores planos de l3quido

Para determinar la fracci3n f de la carga t3rmica mensual aportada por la energ3a solar, es necesario calcular los valores de X e Y para el colector y la carga t3rmica en cuesti3n. Esto se realiza para cada mes del a3o, o para los meses de utilizaci3n del sistema solar. Para un mes la contribuci3n solar se obtiene como el producto de f por la carga t3rmica correspondiente a dicho mes. La fracci3n F de la carga de calentamiento anual, aportada por la energ3a solar, se obtiene como la suma de contribuciones solares mensuales divididas por la carga anual.

La relaci3n entre X, Y y f viene dada por

$$f = 1,029 * Y - 0,065 * X - 0,245 * Y^2 + 0,0018 * X^2 + 0,0215 * Y^3$$

para

$$0 \leq Y \leq 3 \text{ y } 0 \leq X \leq 18$$

Para generar el m3todo de las curvas f se mantuvieron con valores fijos tres par3metros del sistema de c3lculo:

- a) El caudal volumétrico de fluido por unidad de superficie captadora en el circuito primario o de los colectores solares.
- b) La capacidad de almacenamiento por unidad de superficie captadora.
- c) La potencia térmica de la unidad terminal con relación al tamaño de la carga de calefacción.

Si existe una variación de estos parámetros, influirá en el rendimiento del sistema. Vamos a ver estos efectos:

- a) El caudal volumétrico de fluido por unidad de superficie captadora en el circuito primario o de los colectores solares

El caudal óptimo del captador es infinitamente grande. Sin embargo, la dependencia del rendimiento del sistema con el caudal de líquido es asintótica. Si la velocidad de la capacidad calorífica del fluido (caudal másico * calor específico) se incrementa más allá de 50 w/° C por metro cuadrado de superficie captadora, que corresponde a un caudal de solución anticongelante de 0,015 l/s*m², sólo se consigue un pequeño incremento en el factor de eficacia del intercambio de calor F_R . Un caudal más bajo puede reducir significativamente la energía extraída del captador, con lo que se reduce el valor de F_R .

- b) La capacidad de almacenamiento por unidad de superficie captadora

El método de las curvas f se ha generado para una capacidad de almacenamiento de 75 l de agua por metro cuadrado de superficie captadora. Para estimar el rendimiento del sistema con otra capacidad de almacenamiento se modifica el grupo adimensional X, por el factor de corrección de almacenamiento dado por

$$\frac{X_c}{X} = \left(\frac{M}{75} \right)^{-0.25}$$

para $37,5 < M < 300$, donde M es el volumen de agua de almacenamiento en litros de agua por metro cuadrado de superficie captadora.

- c) La potencia térmica de la unidad terminal con relación al tamaño de la carga de calefacción

El tamaño del intercambiador de calor de la unidad terminal puede afectar de una manera significativa al rendimiento del sistema de calefacción. Cuando se reduce el tamaño del intercambiador, se debe aumentar la temperatura del agua del acumulador para que pueda ceder el mismo calor al espacio que se quiera calefactar. Por tanto, la temperatura de entrada del agua al captador es mayor y la eficacia de éste se reduce. El valor óptimo desde un punto de vista térmico del valor de $\epsilon^* C_{\min} / U * A$ es infinitamente grande.

Hay que tener en cuenta que

- ϵ es la eficiencia del intercambiador de la unidad terminal;
- C_{\min} es la menor capacidad calorífica en dicha unidad, que generalmente es la del aire de estos intercambiadores;
- $U \cdot A$ es el producto del coeficiente global de pérdidas del edificio en cuestión (K_g) por el área de cerramientos.

El rendimiento del sistema es asintóticamente dependiente a partir de un cierto valor de este cociente. Se encuentra que para valores de $\epsilon * C_{\min} / U * A > 10$, el rendimiento del sistema es prácticamente el mismo que para valores infinitamente grandes. Y para valores inferiores a 1, la caída de rendimiento del sistema es apreciable.

El método de las curvas f utilizó como valor de este parámetro 2. El rendimiento del sistema con otros valores puede calcularse igualmente corrigiendo el adimensional Y , como sigue:

$$\frac{Y_c}{Y} = 0,39 + 0,65 * e^{\left[\frac{-0,139}{\left(\frac{\epsilon * C_{\min}}{U * A} \right)} \right]}$$

para valores de $0,5 < \epsilon * C_{\min} / U * A < 50$.

4 Sistemas solares con colectores planos de aire

Para determinar la fracción f de la carga térmica mensual aportada por la energía solar, es necesario calcular los valores de X e Y para el colector y la carga térmica en cuestión. Esto se realiza para cada mes del año, o para los meses de utilización del sistema solar. Para un mes la contribución solar se obtiene como el producto de f por la carga térmica correspondiente a dicho mes. La fracción F de la carga de calentamiento anual, aportada por la energía solar, se obtiene como la suma de contribuciones solares mensuales divididas por la carga anual.

La relación entre X , Y y f viene dada por

$$f = 1,040 * Y - 0,065 * X - 0,159 * Y^2 + 0,00187 * X^2 + 0,0095 * Y^3$$

para

$$0 \leq Y \leq 3 \text{ y } 0 \leq X \leq 18$$

Para generar el método de las curvas f se mantuvieron con valores fijos dos parámetros del sistema de cálculo:

- a) El caudal volumétrico de fluido por unidad de superficie captadora en el circuito primario o de los colectores solares.

b) La capacidad de almacenamiento por unidad de superficie captadora.

Si existe una variación de estos parámetros, influirá en el rendimiento del sistema, vamos a ver estos efectos:

a) El caudal volumétrico de fluido por unidad de superficie captadora en el circuito primario o de los colectores solares

El factor de eficacia de la transferencia de calor en el captador, F_R , que aparece en las variables adimensionales X e Y, es función del caudal de aire que pasa por el colector. La velocidad de la capacidad calorífica del fluido (caudal másico * calor específico) es mucho menor que en los captadores de líquido. Como consecuencia el valor de F_R es menor. En los cálculos de X e Y deben utilizarse los valores de F_R corregidos para el caudal real del captador. Se realiza mediante

$$\frac{X_c}{X} = \left(\frac{m}{10,1} \right)^{0,28}$$

para $5 < m < 20$, donde m es el caudal volumétrico del aire en l/s por metro cuadrado de superficie captadora.

b) La capacidad de almacenamiento por unidad de superficie captadora

El método de las curvas f se ha generado para una capacidad de almacenamiento de 0,125 a 1,0 metros cúbicos de piedra por metro cuadrado de superficie captadora. Para estimar el rendimiento del sistema con otra capacidad de almacenamiento se modifica el grupo adimensional X por el factor de corrección de almacenamiento dado por

$$\frac{X_c}{X} = \left(\frac{V}{0,25} \right)^{-0,3}$$

para $0,125 < V < 1$, donde V es el volumen de roca de almacenamiento en metros cúbicos de roca por metro cuadrado de superficie captadora.

5 Sistemas para el calentamiento de agua caliente sanitaria

Las curvas f, cuando se calculan como en los apartados anteriores, se aplican a sistemas que suministran energía tanto para calefacción como para agua caliente sanitaria, debido a que la carga correspondiente a este último concepto es de sólo el 20 % de la carga de calefacción. Por tanto, si utilizamos un sistema que exclusivamente suministre energía para A.C.S., deberemos utilizar otro método o corregir los valores de X e Y.

El rendimiento de los sistemas de calentamiento solar de agua se ve afectado por la temperatura del agua de suministro ($T_{\text{agua fría}}$) y la temperatura mínima aceptable de agua caliente (T_{ACS}). Puesto que $T_{\text{agua fría}}$ y T_{ACS} afectan al nivel medio de temperatura de funcionamiento del sistema, y por tanto a las pérdidas del captador, es razonable esperar que el grupo adimensional X, que físicamente representa las pérdidas de energía

del captador, deba redefinirse de forma que incluya el efecto de las temperaturas comentadas:

$$\frac{X_c}{X} = \frac{11,6 + 1,18 * T_{ACS} + 3,86 * T_{agua.fria} - 2,32 * T_a}{100 - T_a}$$

donde T_a es la temperatura ambiente media diaria mensual.

6 ESTUDIO ECONÓMICO

1 Introducción

Mediante el método de cálculo presentado hasta ahora en los temas precedentes, podemos determinar la superficie de captadores o colectores solares de una determinada marca o tipo para que nos cubran un tanto por ciento de la carga térmica de una vivienda. Esta carga térmica es la correspondiente o a la del agua caliente sanitaria, o a la de la calefacción, o de las dos conjuntamente. Pero no nos determina cuál es la superficie de captadores óptima desde el punto de vista económico.

Por ello nos vemos obligado a realizar, previamente al diseño completo de la instalación, un estudio económico.

Los métodos económicos de análisis de rentabilidad más utilizados en ingeniería son:

- 1) periodo de amortización aparente;
- 2) periodo de amortización;
- 3) coste del ciclo de vida.

Este último es el más utilizado para analizar la rentabilidad de una instalación con apoyo de energía solar térmica de baja temperatura.

2 Coste del ciclo de vida

En este método se supone que la vida media de una instalación solar es de aproximadamente unos 20 años ($N = 20$), y mediante la siguiente fórmula:

$$C_i = In + \left[Ccomb * \left(1 + \frac{i_{comb}}{2} \right) * \left(\frac{\left(\frac{1 + i_{comb}}{1 + i_{bancario}} \right)^N - 1}{(1 - i_{bancario})} \right) \right]$$

se estima la suma global actualizada de costes; es decir, se obtiene un índice del coste en el día de hoy de una instalación solar de x metros cuadrados, la financiación de la cual

se ha realizado mediante préstamo bancario con interés (i_{bancario}), que se devuelve durante todo el periodo de vida útil de la instalación (N), teniendo en cuenta el ahorro en combustible que se produce en comparación con una instalación convencional por combustibles fósiles. Además se tiene en cuenta el coste (C_{comb}) del consumo de combustible y la inflación anual (i_{comb}) de la instalación convencional de apoyo.

En la fórmula anterior

- C_t es la suma global de coste en el día de hoy;
- In es el coste estimado de la instalación solar completa, por metro cuadrado de captador montado, incluidos los gastos de montaje, intercambiadores de calor, gastos de mantenimiento, etc.

Este coste estimado, se puede calcular por la siguiente fórmula empírica desarrollada por Gas Natural S.A.:

$$In = C_s * A * \left(2 + \frac{8}{A} \right) (pts)$$

donde:

- A es el área de colectores;
- C_s es el coste unitario de un colector solar (Mod ROCA 42.685 pts/m² de captación).

El término del coste del consumo de combustible de la instalación convencional se calcula de la siguiente manera:

- a) Se calcula el consumo anual estimado de combustible, si el área de colectores solares es igual a cero ($A = 0$), es decir, de una instalación convencional que consuma el mismo tipo de combustible que nuestra instalación proyectada:

$$\dot{m}_{\text{comb}0} = \frac{\dot{Q}_{\text{anual}}}{Hi * \eta_{\text{caldera}}}$$

donde:

- $\dot{m}_{\text{comb}0}$ son los kg anuales o metros cúbicos anuales de combustible;
- \dot{Q}_{anual} es la carga térmica anual de calefacción o agua caliente sanitaria o de ambas, en kJ/año;
- Hi es el poder calorífico inferior del combustible, en kJ/m³ o kg de combustible (gas natural 51953,3 kJ/m³).
- η_{caldera} es el rendimiento térmico de la caldera, en general mayor de 0,85.

- b) Se calcula el coste de combustible, si el área de colectores solares es igual a cero ($A = 0 \text{ m}^2$), es decir, de una instalación convencional que consuma el mismo tipo de combustible que nuestra instalación proyectada:

$$C_{comb_0} = \dot{m}_{comb_0} \cdot Precio \text{ (Pts/año)}$$

- c) Se calcula el coste de combustible de la instalación de apoyo convencional de la instalación solar, mediante:

$$C_{comb} = C_{comb_0} * (1 - F) \text{ (Pts/año)}$$

en donde F es la fracción solar total anual.

3 Periodo de amortización

Mediante este método se valora en cuánto tiempo se amortizará la instalación. Se puede calcular a través de la siguiente fórmula:

$$n = \frac{In}{AC_{comb}} \text{ (años)}$$

donde:

- In es el coste estimado de la instalación solar completa, por metro cuadrado de captador montado, incluidos los gastos de montaje, los intercambiadores de calor, los gastos de mantenimiento, etc.
- AC_{comb} es el ahorro anual de combustible, que se puede calcular como:

$$AC_{comb} = C_{comb_0} * F \text{ (Pts/año)}$$

en donde F es la fracción solar total anual.

4 Periodo de amortización aparente

Viene dado por

$$n_0 = \frac{\log \left[1 + \frac{In * (i_{comb} - i_{bancario})}{AC_{comb} * \left(1 + \frac{i_{comb}}{2} \right)} \right]}{\log \left[\frac{(1 + i_{comb})}{(1 + i_{bancario})} \right]} \text{ (años)}$$

7 CASO PRÁCTICO

1 Introducción

Se presenta una hoja de cálculo, en donde se aplican los conocimientos adquiridos en los temas anteriores.

En esta hoja de cálculo se calcula la cobertura solar para una carga de agua caliente sanitaria de una casa unifamiliar típica.

Los valores que pueden variarse son los que se encuentran sombreados.

8 ANEXOS

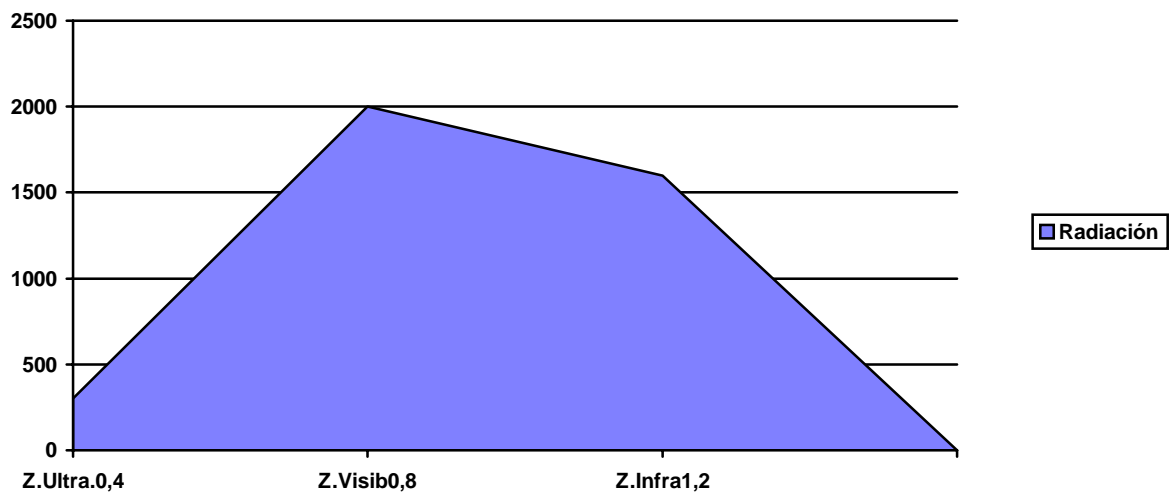


Figura 1

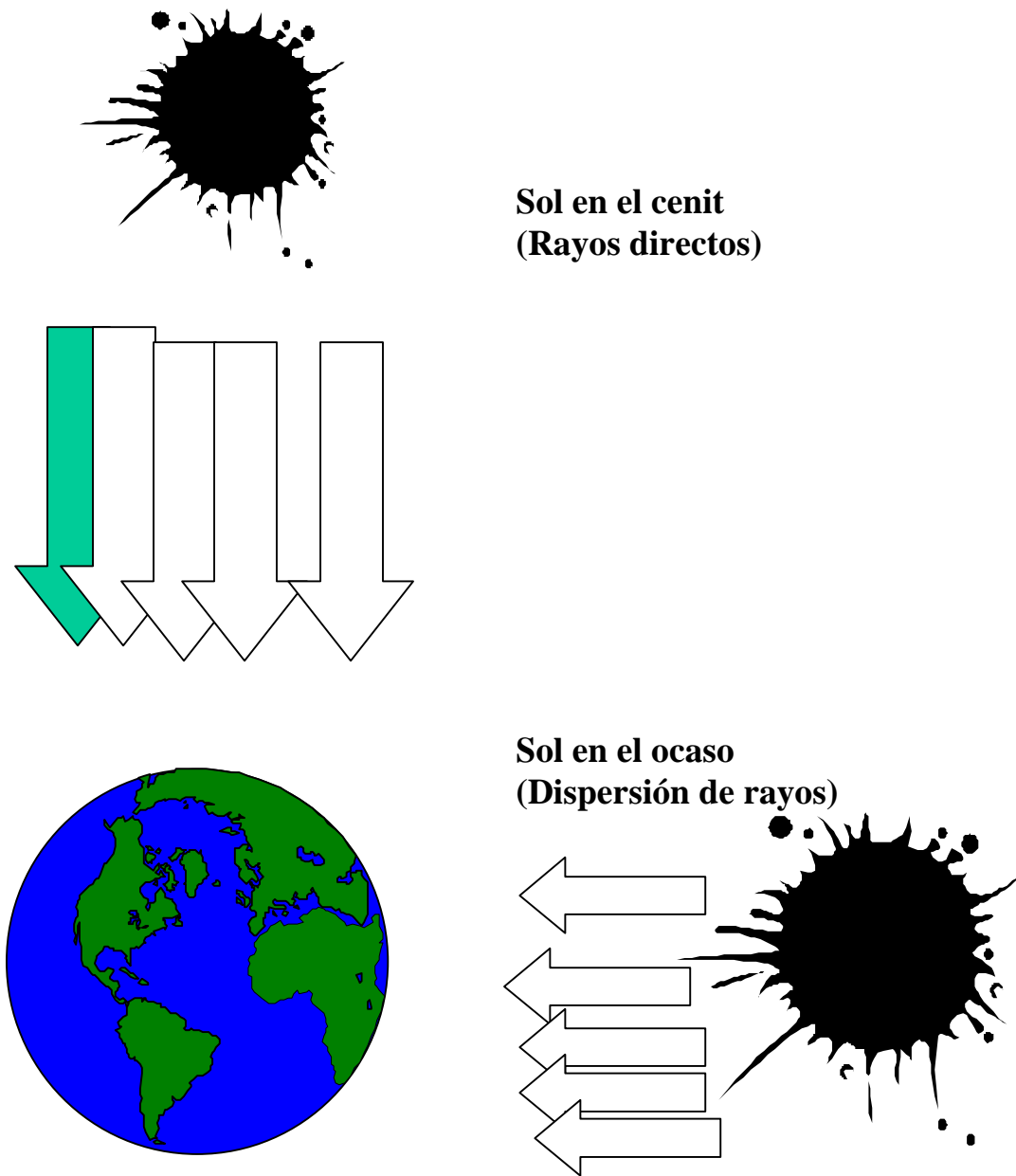


Figura 2

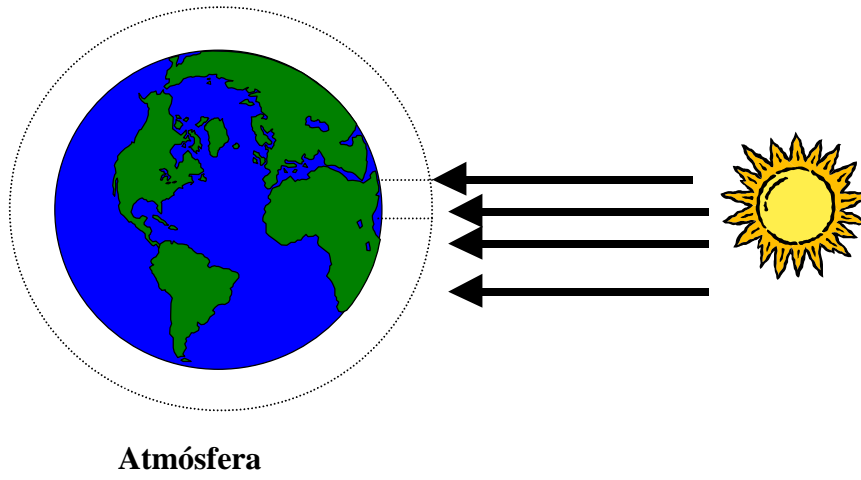


Figura 3

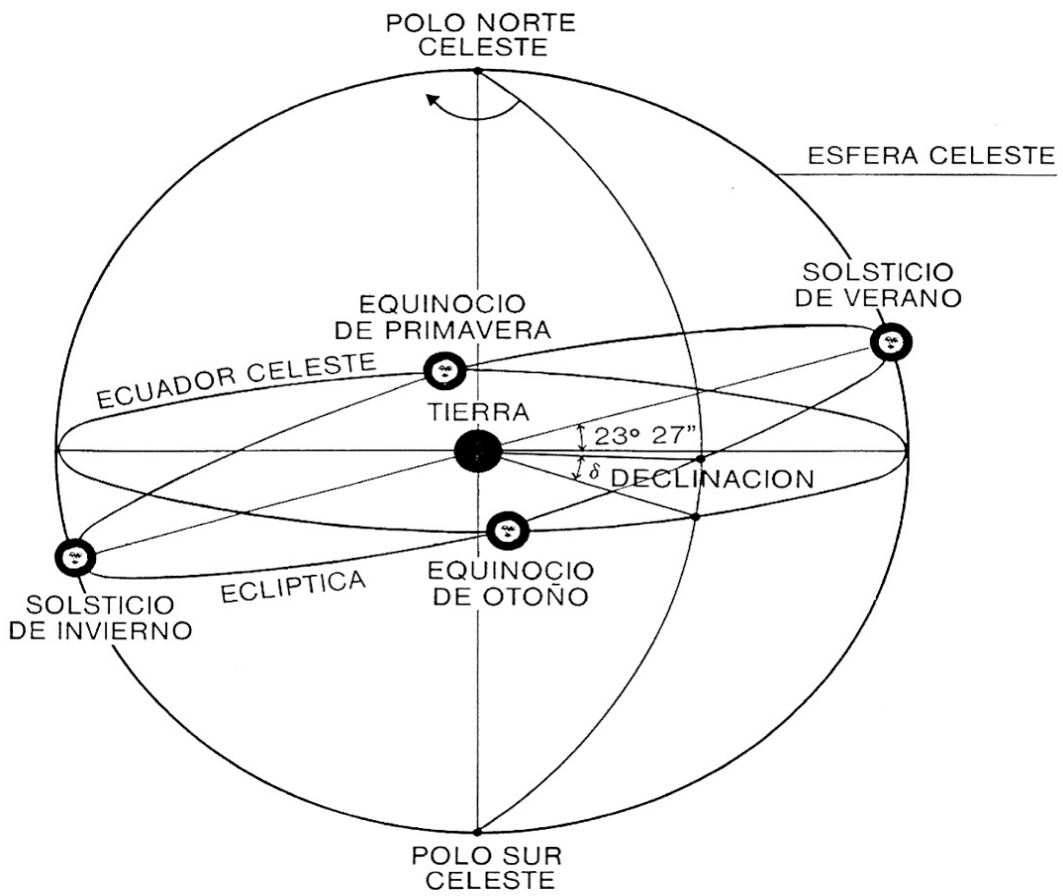


Figura 4

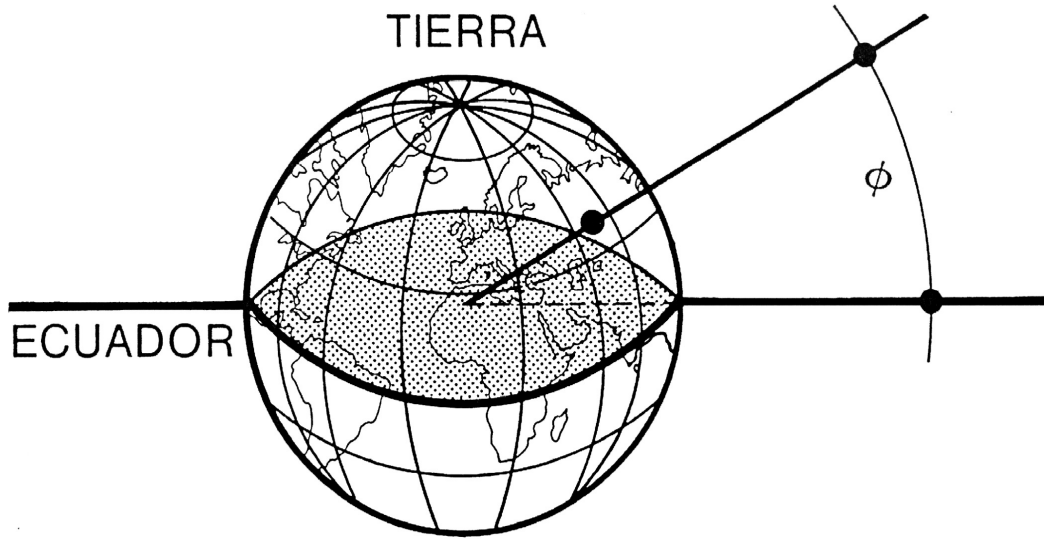


Figura 5

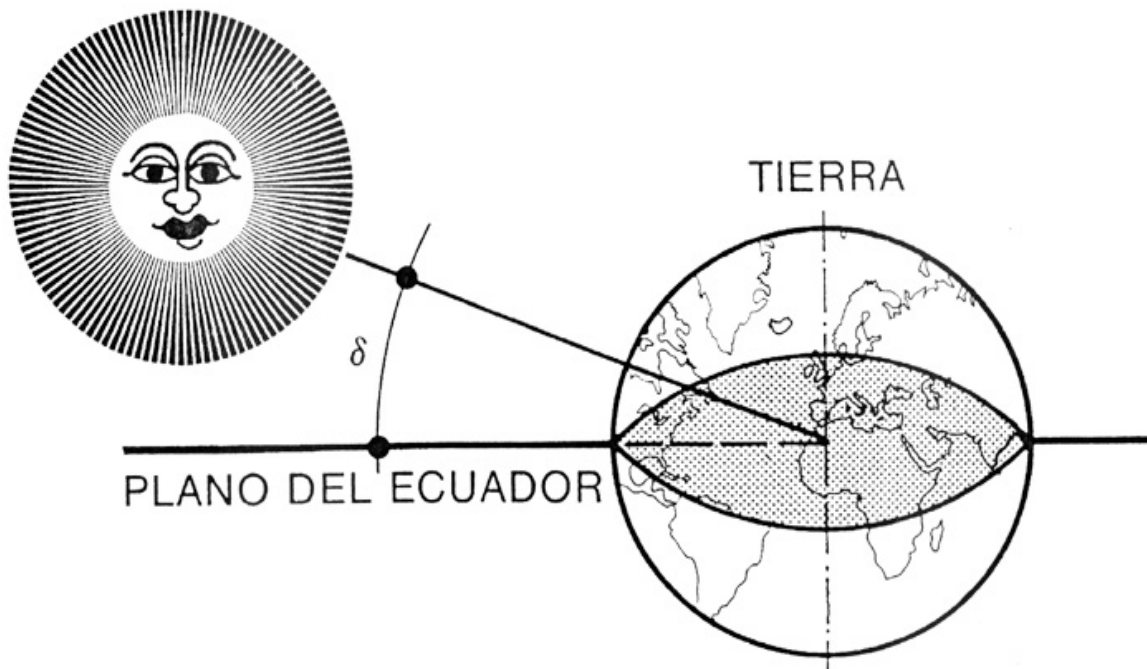


Figura 6