

## FORMULAS EMPLEADAS EN EL CALCULO DE LOS COLECTORES SOLARES

### 1) Cálculo de la Irradiancia absorbida por la placa, $S$ ( $W/m^2$ ):

$$\theta_2 = \arcsen\left(\frac{\text{sen}\theta_1}{1.526}\right) \quad , \theta_1 = \text{ángulo de incidencia del sol sobre la cubierta.}$$

$$\theta_g = 90 - 0,5788\beta + 0,002693\beta^2 \quad , \text{ángulo efectivo de incidencia para reflexión por suelo.}$$

$$\theta_c = 59,7 - 0,1388\beta + 0,001497\beta^2 \quad , \text{ángulo ef. de incidencia para radiación difusa de cielo.}$$

$$R_b = \cos \theta_1 / \cos \theta_z \quad , \theta_z = \text{ángulo de incidencia del sol sobre sup. horizontal}$$

#### Transmitancia de cubiertas de 1 vidrio:

$$\tau_1(\theta_1, \theta_2) = 0,92 \cdot \exp\left(-\frac{KL}{\cos\theta_2}\right) \left[1 - \exp\left(-\frac{\theta_1 - 90}{12,6}\right)\right] \quad , \text{ con } L \text{ espesor de la capa de vidrio.}$$

#### Transmitancia de cubiertas de 2 vidrios:

$$\tau_2(\theta_1, \theta_2) = \left\{0,92 \cdot \exp\left(-\frac{KL}{\cos\theta_2}\right) \left[1 - \exp\left(-\frac{\theta_1 - 90}{10,4}\right)\right]\right\}^2$$

donde  $L$  es el espesor de **una sola** capa de vidrio.

#### Radiación absorbida por al placa:

$$S = 1,01(\tau\alpha)_{\theta_1} G_{dir} R_b + 1,01(\tau\alpha)_{\theta_c} G_{dif} \left(\frac{1 + \cos\beta}{2}\right) + 1,01(\tau\alpha)_{\theta_g} G_{tot} \rho_g \left(\frac{1 - \cos\beta}{2}\right)$$

### 2) Cálculo del coeficiente global de pérdida, $U_L$ :

$$h_w = 2,8 + 3v \quad \text{donde } v \text{ es la velocidad del viento en m/s}$$

$$f = (1 + 0,089 h_w - 0,1166 h_w \epsilon_p)(1 + 0,07866 N) \quad \text{con } N \text{ número de cubiertas de vidrio.}$$

$$C = 520(1 - 0,000051\beta^2) \quad \text{para } 0^\circ < \beta < 70^\circ. \text{ Para } 70^\circ < \beta < 90^\circ \text{ usar } \beta = 70^\circ.$$

$$e = 0,43(1 - 100/T_{pm}) \quad \text{donde } T_{pm} \text{ es la temperatura media de placa.}$$

$$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}^4 \quad \text{constante de Stefan-Boltzman}$$

$\epsilon_p$  = emitancia infrarroja (IR) de la placa absorbidora.

$\epsilon_g$  = emitancia infrarroja del vidrio.

$$U_t = \left\{ \frac{N}{\frac{C}{T_{pm}} \left[ \frac{(T_{pm} - T_a)^f}{(N + f)} \right]} + \frac{1}{h_w} \right\}^{-1} + \frac{\sigma(T_{pm} + T_a)(T_{pm}^2 + T_a^2)}{(\epsilon_p + 0,00591 N h_w)^{-1} + \frac{2N + f - 1 + 0,133\epsilon_p}{\epsilon_g} - N}$$

$$U_b = \frac{k_a}{x_b} \quad \text{donde } k_a \text{ es la conductividad térmica del aislante y } x_b \text{ su espesor en el fondo.}$$

$$U_e = \frac{k_a A_{lateral}}{x_e A_c} \quad \text{donde } x_e \text{ es el espesor del aislante del costado en m y } A_{lateral} \text{ su área.}$$

Entonces:

$$U_L = U_t + U_b + U_e$$

### 3) Cálculo del Factor de Remoción de Calor, $F_R$ :

#### Factor de eficiencia de la aleta:

$$m = \sqrt{U_L / k_p \delta} \quad \text{donde } k_p \text{ es la conductividad térmica y } \delta \text{ el espesor de la placa absorb.}$$
$$F = \frac{\tanh[m(W-D)/2]}{m(W-D)/2} \quad \text{con } W \text{ separación entre tubos y } D \text{ el diámetro exterior de ellos.}$$

#### Coefficiente convectivo dentro de los tubos:

$$Re = \frac{\rho v_f D_i}{\mu} \quad (\text{número de Reynolds}), \quad Pr = 4,34 \quad (\text{número de Prandtl para agua a } 40^\circ\text{C})$$

$$\mu = 6,55 \times 10^{-4} \text{ para agua a } 40^\circ\text{C}$$

$$Nu = 4,4 + \frac{0,00335 (Re Pr D_i / L_t)^{1,66}}{1 + 0,0103 (Re Pr D_i / L_t)^{1,124}} \quad (\text{número adimensional de Nusselt})$$

$$h_{fi} = Nu k_f / D_i \quad (\text{coefic. convectivo dentro de los tubos}), \quad \text{donde } k_f = 0,628 \text{ W/m}^\circ\text{C a } 40^\circ\text{C.}$$

#### Factor de eficiencia del colector:

$$F' = \frac{1/U_L}{W \left[ \frac{1}{U_L [D + (W-D)F]} + \frac{1}{\pi D_i h_{fi}} \right]} \quad \text{donde } D_i \text{ es el diámetro interior de los tubos.}$$

#### Factor de remoción del calor del colector:

$$F_R = \frac{\dot{m} C_p}{A_c U_L} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{A_c U_L F'}{\dot{m} C_p}\right) \right] \quad \text{donde } \dot{m} \text{ es el flujo másico de agua en Kg/s}$$

### 4) Calor útil entregado por el colector

$$Q_u = A_c F_R \cdot [S - U_L (T_i - T_a)]$$

### 5) Temperatura media del fluido y de la placa

$$T_{fm} = T_{fi} + \frac{Q_u / A_c}{F_R U_L} \left( 1 - \frac{F_R}{F'} \right) \quad \text{para el fluido con } T_{fi} = T_i$$

$$T_{pm} = T_{fi} + \frac{Q_u / A_c}{F_R U_L} (1 - F_R) \quad \text{para la placa}$$

### 6) Temperatura del agua a la salida del colector:

$$T_o = T_i + \frac{Q_u}{\dot{m} C_p}$$

### 7) Eficiencia del colector:

$$G_T = G_{dir} R_b + G_{dif} \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + G_{tot} \rho_g \left( \frac{1 - \cos \beta}{2} \right)$$

$$\eta = \frac{Q_u}{G_T A_c} = \frac{\dot{m} C_p (T_o - T_i)}{G_T A_c} = F_R (\tau \alpha)_{av} - F_R U_L \frac{(T_i - T_a)}{G_T} \quad , \text{ donde } (\tau \alpha)_{av} = \frac{S}{G_T}$$