

Simulación y caracterización experimental de colectores solares de baja temperatura con cubierta

Juan M. Rodríguez-Muñoz

Plan de tesis
Doctorado en Ingeniería de la Energía
Facultad de Ingeniería
Universidad de la República

25 de abril de 2021

Temario

1 Introducción

- Objetivos
- Antecedentes

2 Aspectos a mejorar del modelado de colectores

- Modelo térmico
- Modificador por ángulo de incidencia para la irradiancia solar directa
- Modificador por ángulo de incidencia para la irradiancia solar difusa
- Medidas de irradiancia solar difusa en plano inclinado
- Modelado de la capacidad térmica del colector y efectos transitorios

Objetivo general

- Mejoramiento de las capacidades nacionales de ensayo de colectores de bajo la norma de ensayo ISO 9806:2017.

Objetivos específicos

- Implementación de metodologías SST y QDT a colectores de tubos al vacío.
- Mejoramiento del modelado de colectores de baja temperatura con cubierta, con énfasis en la eficiencia óptica y los efectos dinámicos.
- Mejoramiento de estimativos de irradiancia solar difusa en plano inclinado.

Antecedentes

- Construcción del Banco de Ensayos de Calentadores Solares (BECS, 2013-2018).
- Implementación de metodologías SST y QDT para colectores de placa plana y evidenciado problemáticas.
- Dificultades de otros laboratorio para extender métodos de ensayos a otras tecnologías, en particular, *heat pipes*.
- Necesidad de contar con método de ensayo dinámico aplicable in situ para verificación del desempeño de instalaciones (ISO/FDIS 21494).

Temario

1 Introducción

- Objetivos
- Antecedentes

2 Aspectos a mejorar del modelado de colectores

- Modelo térmico
- Modificador por ángulo de incidencia para la irradiancia solar directa
- Modificador por ángulo de incidencia para la irradiancia solar difusa
- Medidas de irradiancia solar difusa en plano inclinado
- Modelado de la capacidad térmica del colector y efectos transitorios

Modelo térmico SST

$$\frac{\dot{Q}_u}{A_G} = \eta_{0,hem} K_{hem}(\theta) G_t - a_1(T_m - T_a) - a_2(T_m - T_a)^2 - \frac{C}{A_G} \frac{dT_m}{dt}$$

→ Parámetros ajustables:

- Eficiencia óptica: $\eta_{0,hem}$, $K_{hem}(\theta)$.
- Pérdidas térmicas: a_1 y a_2
- Efectos dinámicos: C .

→ Medidas requeridas:

- G_t , T_a , T_i , T_o y $\dot{m}$.

Modelo térmico QDT

$$\frac{\dot{Q}_u}{A_G} = \eta_{0,b} [K_b(\theta) G_{bt} + K_d G_{dt}] - a_1(T_m - T_a) - a_2(T_m - T_a)^2 - \frac{C}{A_G} \frac{dT_m}{dt}$$

→ Parámetros ajustables:

- Eficiencia óptica: $\eta_{0,b}$, $K_b(\theta)$ y K_d .
- Pérdidas térmicas: a_1 y a_2
- Efectos dinámicos: C .

→ Medidas requeridas:

- G_{bt} , G_{dt} , T_a , T_i , T_o y $\dot{m}$.

Modelos $K_b(\theta)$ para FPC

→ ISO 9806 (2017)

$$K_b(\theta) = 1 - \tan^n(\theta/2)$$

→ Souka & Safwat (1966)

$$K_b(\theta) = 1 - b_0 \left(\frac{1}{\cos \theta} - 1 \right)$$

→ Kalogirou (2004)

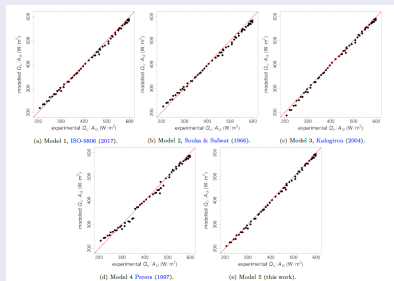
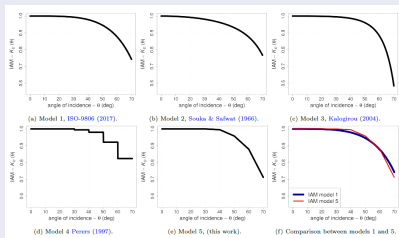
$$K_b(\theta) = 1 - b_1 \left(\frac{1}{\cos \theta} - 1 \right) - b_2 \left(\frac{1}{\cos \theta} - 1 \right)^2$$

→ Perers (1997)

Función constante a tramos.

→ Rodríguez-Muñoz et al. (2021a)
Función lineal a tramos.

Desempeño



Trabajos a realizar

- Se intentará replicar el trabajo previo para colectores ETC.
- Modelos de K_b para ETC más complejos debido a que dependen de dos ángulos de incidencia; $K_b(\theta_T, \theta_L)$.

Modelos de K_d

→ SST

$$K_d = \frac{\int_0^{\pi/2} K_b(\theta) \cos(\theta) \sin(\theta) d\theta}{\int_0^{\pi/2} \cos(\theta) \sin(\theta) d\theta}$$

→ QDT

K_d parámetro constante ajustable a datos.

→ Carvalho et al. (2006)

$$K_d^{bc} = \frac{\int_{D_1} K_b(\theta_T, \theta_L) \cos(\theta) \sin(\theta) d\theta_T d\theta_L}{\int_{D_1} \cos(\theta) \sin(\theta) d\theta_T d\theta_L} \text{ y } K_d^{rs} = \frac{\int_{D_2} K_b(\theta_T, \theta_L) \cos(\theta) \sin(\theta) d\theta_T d\theta_L}{\int_0^{\pi/2} \cos(\theta) \sin(\theta) d\theta_T d\theta_L}$$

→ Hess & Hanby (2013)

$$K_d^{bc} = \frac{\int_{D_1} L_p(\theta_T, \theta_L) K_b(\theta_T, \theta_L) \cos(\theta) \sin(\theta) d\theta_T d\theta_L}{\int_{D_1} L_p(\theta_T, \theta_L) \cos(\theta) \sin(\theta) d\theta_T d\theta_L} \text{ y } K_d^{rs} = \frac{\int_{D_2} K_b(\theta_T, \theta_L) \cos(\theta) \sin(\theta) d\theta_T d\theta_L}{\int_0^{\pi/2} \cos(\theta) \sin(\theta) d\theta_T d\theta_L}$$

Trabajos realizar

- Implementación de modelos de Carvalho y Hess & Hanby en ensayo QDT.
- Evaluación y comparación del desempeño de los modelos para distintas tecnologías y condiciones de cielo.

Difusa en plano inclinado

→ Método QDT requiere G_{bt} y G_{dt}

→ Se estiman mediante la medición de G_{dh} y G_h .

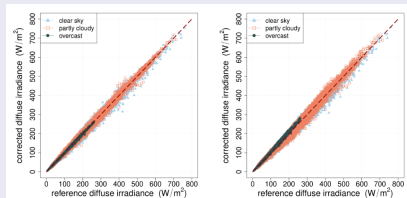
$$G_b = \frac{G_h - G_{dh}}{\cos \theta_z}$$

$$G_{bt} = G_b \cos \theta \text{ y } G_{dt} = G_t - G_{bt}$$

→ Medida G_{dh} se realiza con banda de sombra y requiere de factor de corrección.

→ En Rodríguez-Muñoz et al. (2021b) evaluamos 9 método de corrección diferentes y proponemos uno nuevo.

Banda de sombra



Trabajos a realizar

→ Modelo de Carvalho y Hees & Hanby para K_d requieren distinción entre G_{dt}^{bc} y G_{dt}^{rs}

→ Implementación de medida de albedo.

→ $G_{dt}^{rs} = \rho G_{dh} \frac{1 - \cos \beta}{2}$ y $G_{dt}^{bc} = G_{dt} - G_{dt}^{rs}$.



Modelos de un nodo de temperatura

Modelo de un nodo de capacidad térmica:

$$\frac{C}{A_C} \frac{dT_m}{dt} = \eta_{0,b} [K_b(\theta) G_{bt} + K_d G_{dt}] - a_1 (T_m - T_a) - a_2 (T_m - T_a)^2 - \frac{2\dot{m}c_p (T_m - T_i)}{A_C}$$

Modelo de un nodo de capacidad térmica:

$$\begin{cases} \frac{C_f}{A_C} \frac{\partial T_m(t)}{\partial t} = U_{fp} [T_{mp}(t) - T_m(t)] - \frac{\dot{m}c_p}{A_C} (T_o(t) - T_i), \\ \frac{C_p}{A_C} \frac{\partial T_{mp}(t)}{\partial t} = \eta_{0,b} [K_b(\theta) G_{bt} + K_d G_{dt}] + b_0 [T_m(t) - T_{mp}(t)] - b_1 [T_{mp}(t) - T_a] \\ \quad - b_2 [T_{mp}(t) - T_a]^2 \end{cases}$$

Ventajas y desventajas

- Distribución de temperatura lineal, requiere de temperatura constante a la entrada durante el ensayo.
- Sencillos de implementar.

Modelos de varios nodo de temperatura

Modelo de un nodo de capacidad térmica:

$$\frac{C}{A_C} \frac{\partial T(x, t)}{\partial t} = \eta_{0,b} [K_b(\theta) G_{bt} + K_d G_{dt}] - a_1 [T(x, t) - T_a] - a_2 [T(x, t) - T_a]^2 - \frac{L \dot{m} c_p}{A_C} \frac{\partial T(x, t)}{\partial x}$$

Modelo de dos nodo de capacidad térmica:

$$\begin{cases} \frac{C_f}{A_C} \frac{\partial T(x, t)}{\partial t} = b_0 [T_p(x, t) - T(x, t)] - \frac{L \dot{m} c_p}{A_C} \frac{\partial T_f(x, t)}{\partial x} \\ \frac{C_p}{A_C} \frac{\partial T_p(x, t)}{\partial t} = \eta_{0,b} [K_b(\theta) G_{bt} + K_d G_{dt}] + b_0 [T(x, t) - T_p(x, t)] - b_1 [T_p(x, t) - T_a] \\ \quad - b_2 [T_p(x, t) - T_a]^2 \end{cases}$$

Ventajas y desventajas

- No requiere de temperatura constante a la entrada durante el ensayo.
- Implementación más elaborada.

Trabajos a realizar

- Implementación y evaluación del desempeño de los diferentes modelos para QDT.
- Reducción de tiempo de ensayos?

Gracias por su atención!

Juan M. Rodríguez-Muñoz

jrodrigue@fing.edu.uy