

# Ensayo de Sistemas Solares Termicos bajo norma

Energía Solar Térmica 2020



# Banco de Ensayo de Colectores Solares (BECS)

Laboratorio de Energía Solar  
Salto Uruguay



# Banco de Ensayo de Colectores Solares

- Ensayo de colectores bajo norma ISO 9806:2017
- Ensayo de Sistemas Compactos bajo norma ISO 9459-2:1995

# Banco de Ensayo de Colectores Solares

- Ensayo de colectores bajo norma ISO 9806:2017
  - Método Ensayo Estático (SST)
  - Método Ensayo Cuasi Dinámico (QDT)
- Ensayo de Sistemas Compactos bajo norma ISO 9459-2:1995

# Banco de Ensayo de Colectores Solares

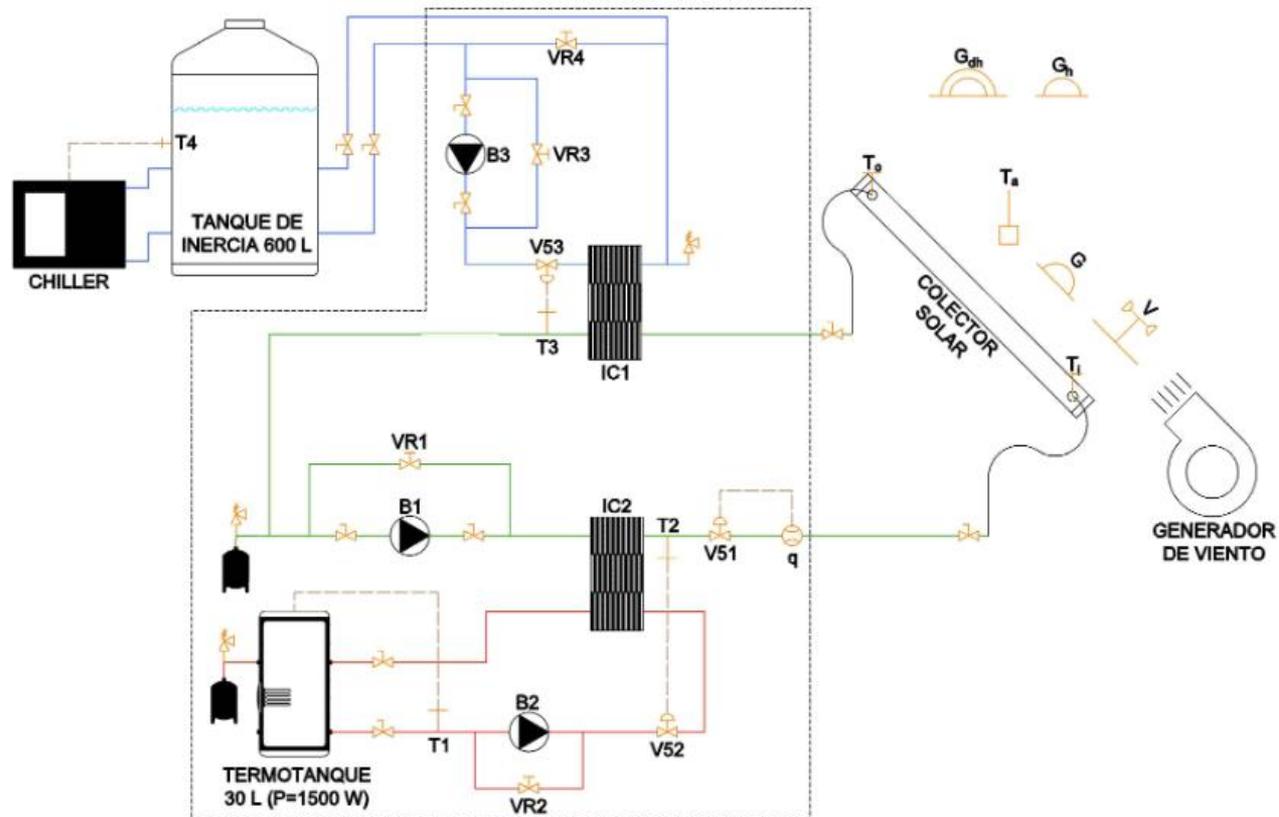
- 4 puestos de ensayo:
  - 2 puestos de colectores planos (este y oeste)  
Seguimiento de dos ejes
  - 2 puestos de sistemas compactos (este y oeste)



WORLD'S MOST  
EFFICIENT SOLAR  
COLLECTOR

# Banco de Ensayo de Colectores Solares

- 4 puestos de ensayo:
  - 2 puestos de colectores planos (este y oeste)  
Seguimiento de dos ejes
  - 2 puestos de sistemas compactos (este y oeste)
- Diseño propio adaptado de diseño del CENER (Centro Nacional de Energías Renovables) de España (en Pamplona, Navarra)



Referencias

	Bomba de agua		Anemómetro		Válvula de seguridad		Lazo de control
	Válvula esférica manual		Piranómetro		Circuito primario		Intercambiador de calor
	Válvula reguladora manual		Piranómetro de difusa		Círcuito de calentamiento		
	Válvula de control		Sensor de temperatura ambiente		Circuito de enfriamiento		Vaso de expansión
	Caudalímetro		Sensor de temperatura		Cañería flexible		



# Ensayo de Colectores en Estado Estacionario

## Medidas realizadas:

- . Irradiancia solar global en el plano del colector  $G$  ( $\text{W}/\text{m}^2$ )
- . Irradiancia solar global en plano horizontal  $G_h$  ( $\text{W}/\text{m}^2$ )
- . Irradiancia solar difusa en plano horizontal  $G_{dh}$  ( $\text{W}/\text{m}^2$ )
- . Angulo de incidencia en el plano del colector ( $^\circ$ )
- . Temperatura del fluido a la entrada del colector  $T_i$  ( $^\circ\text{C}$ )
- . Temperatura del fluido a la salida del colector  $T_o$  ( $^\circ\text{C}$ )
- . Temperatura ambiente  $T_a$  ( $^\circ\text{C}$ )
- . Caudal volumétrico de fluido  $q$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
- . Velocidad del viento paralela al plano del colector  $v$  ( $\text{m}/\text{s}$ )

# Ensayo de Colectores en Estado Estacionario

Modelo físico utilizado:

$$\eta = F'(\tau\alpha)_n K_{av}(\theta) - F'U_L \cdot ((T_m - T_a)/G)$$

$F'$ : factor de eficiencia

$T_m$ : temperatura media de la placa

$$K_{av}(\theta_L, \theta_T) = \frac{(\tau\alpha)_{av}}{(\tau\alpha)_n} \text{ modificador de ángulo, con } K_{av}(\theta_L, \theta_T) = K_{av}(\theta_L, 0) \cdot K_{av}(0, \theta_T)$$

$$F'U_L = a_1 + a_2(T_m - T_a)$$

$$\eta = F'(\tau\alpha)_n K_{av}(\theta) - a_1 \cdot ((T_m - T_a)/G) - a_2 \cdot ((T_m - T_a)^2 / G)$$

# Ensayo de Colectores en Estado Estacionario

Ensayos a realizar:

- 1) Ensayo de eficiencia
- 2) Ensayo de modificador por ángulo de incidencia
- 3) Ensayo de capacidad térmica

# Ensayo de Colectores en Estado Estacionario

## Ensayo de eficiencia:

- Cada medida es el promedio de medición durante 10 min.
- $T_{ent}$  debe permanecer estable dentro de  $\pm 0,1$  °C durante la medida.
- $G$  en el plano del colector  $> 700$  W/m<sup>2</sup>, acotada  $\pm 50$  W/m<sup>2</sup> del promedio.
- Ángulo incidencia radiación directa tal que  $K_{av}(\theta) < \pm 2$  % (c. planos  $\theta < 20$  %).
- $G_d$  en el plano del colector  $< 30$  %.
- promedio de la velocidad del viento paralelo al plano del colector =  $3 \pm 1$  m/s.
- $T_{amb}$  no debe variar más de  $\pm 1,5$  °C.
- Caudal  $0,02$  (kg/s)/m<sup>2</sup>  $\pm 1$  % (referido al área bruta del colector).
- $T_{sal}$  no debe variar más de  $\pm 0,4$  °C de su valor promedio.

# Ensayo de Colectores en Estado Estacionario

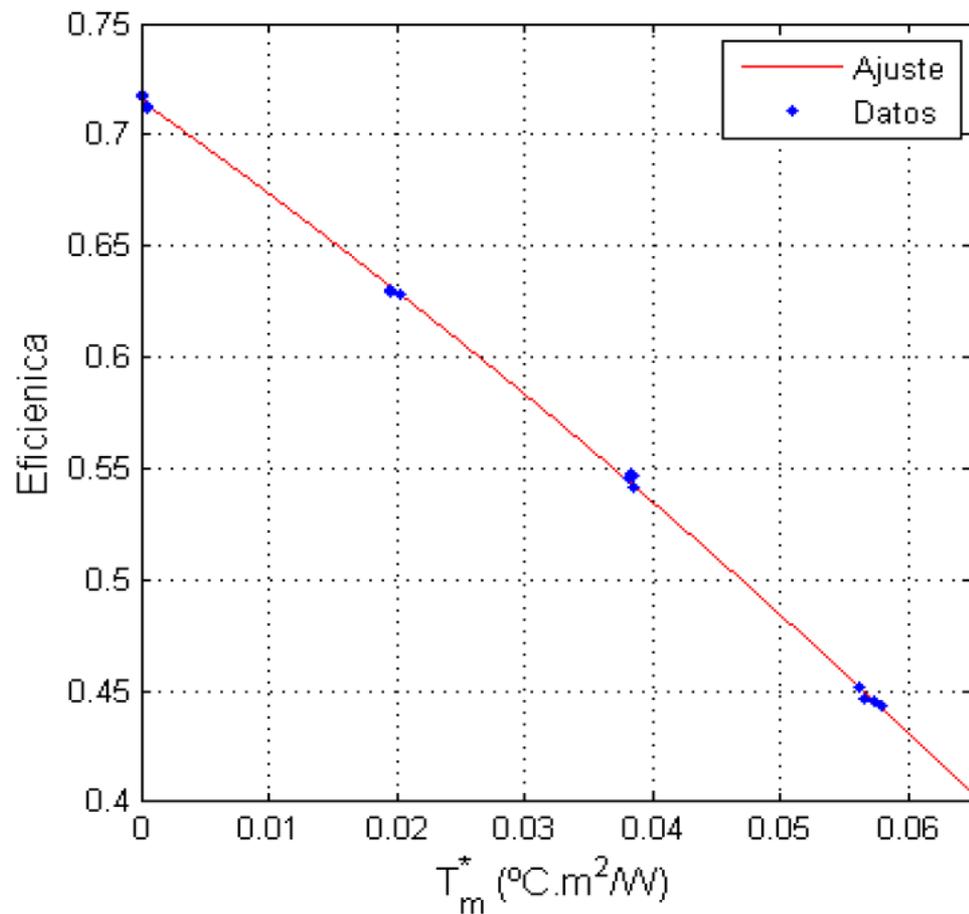
## Ensayo de eficiencia:

- Se debe obtener el rendimiento con al menos con 4  $T_{ent}$  diferentes.
- Se deben obtener al menos 4 puntos de medida para cada  $T_{ent}$ .
- Se debe acondicionar el colector durante al menos 15 min al iniciar una medida con una  $T_{ent}$  determinada. El tiempo total midiendo a esa  $T_{ent}$  será al menos (15 + 10 + 10 + 10 + 10) min.

# Ensayo de Colectores en Estado Estacionario

## Ensayo de eficiencia:

- Se debe obtener el rendimiento con al menos con 4  $T_{ent}$  diferentes.
- Se deben obtener al menos 4 puntos de medida para cada  $T_{ent}$ .
- Se debe acondicionar el colector durante al menos 15 min al iniciar una medida con una  $T_{ent}$  determinada. El tiempo total midiendo a esa  $T_{ent}$  será al menos (15 + 10 + 10 + 10 + 10) min.

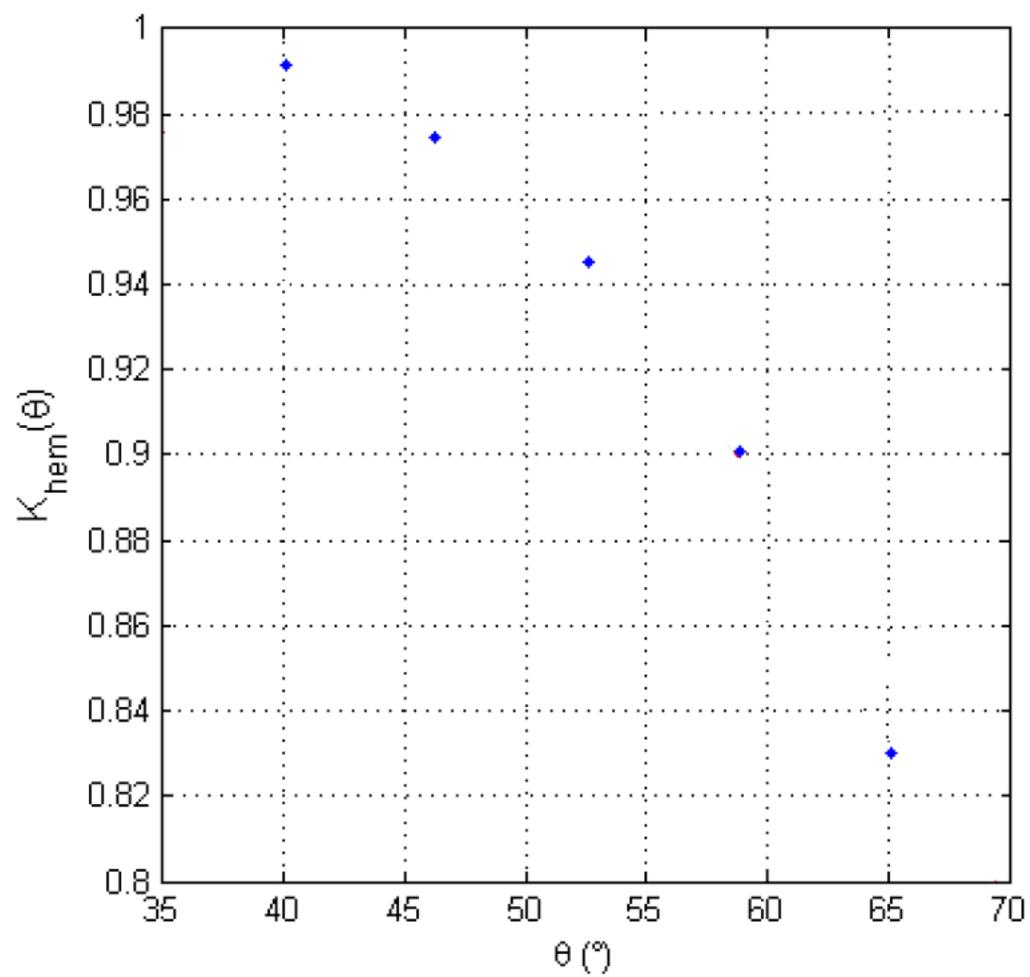


Ensayo de colector plano en el BECS del proceso de intercomparación 2019

# Ensayo de Colectores en Estado Estacionario

## Ensayo de modificador por ángulo de incidencia:

- Se deben medir al menos 2 ángulos en el intervalo  $40^\circ < \theta < 70^\circ$ .
- Cada medida tiene que ser un promedio para el mismo ángulo antes y después del mediodía solar.
- La  $T_{ent}$  tiene que ser tal que  $T_m \approx T_a$ .
- No se pide ninguna condición mínima sobre  $G$  total en el plano del colector.
- Resto de variables tienen mismas condiciones que en el ensayo de eficiencia.



# Ensayo de Colectores en Estado Estacionario

## Ensayo de capacidad térmica:

- La  $T_{ent}$  tiene que ser tal que  $T_{ent} \approx T_a$ .
- Incidencia cuasi normal ( $\theta < 20^\circ$ ).
- Resto de variables tienen mismas condiciones que en el ensayo de eficiencia.

• A partir de 
$$\frac{C}{A_c} \frac{dT_m}{dt} = F'(\tau\alpha)_n K_{av}(\theta)G - F'U_L(T_m - T_a) - \frac{\dot{Q}_u}{A_c}$$

$$C = \frac{\int_{t_1}^{t_2} [A_c \{F'(\tau\alpha)_n G - a_1(T_m - T_a) - a_2(T_m - T_a)^2\} - \dot{Q}_u] dt}{T_{m2} - T_{m1}}$$

# Ensayo en Estado Cuasi Dinámico

- Se permite variar la radiación.
- $T_{ent}$  debe permanecer dentro de  $\pm 1$  °C.
- Resto de variables tienen condiciones similares que en el ensayo estático.
- Medidas de al menos 3 hs en cada uno de estas configuraciones:
  - 1)  $T_m \approx T_a$ , cielo claro, ángulo de incidencia debe variar entre casi normal a ángulos mayores de  $60^\circ$ .
  - 2) Nubosidad variable, cualquier temp de funcionamiento con variaciones  $< \pm 0,005$  °C/s.
  - 3)  $T_{ent}$  intermedia, al menos dos valores diferentes, cielo mayormente claro.
  - 4)  $T_{ent}$  alta, cielo mayormente claro.

# Ensayo en Estado Cuasi Dinámico

- Los ensayos duran más que en estado estacionario (sin inconvenientes).
- Al requerir situaciones de variabilidad en nubosidad y ser menos estrictos en las condiciones impuestas, es ideal para climas templados como el nuestro, pero no para climas secos

# Ensayo de Sistemas Compactos

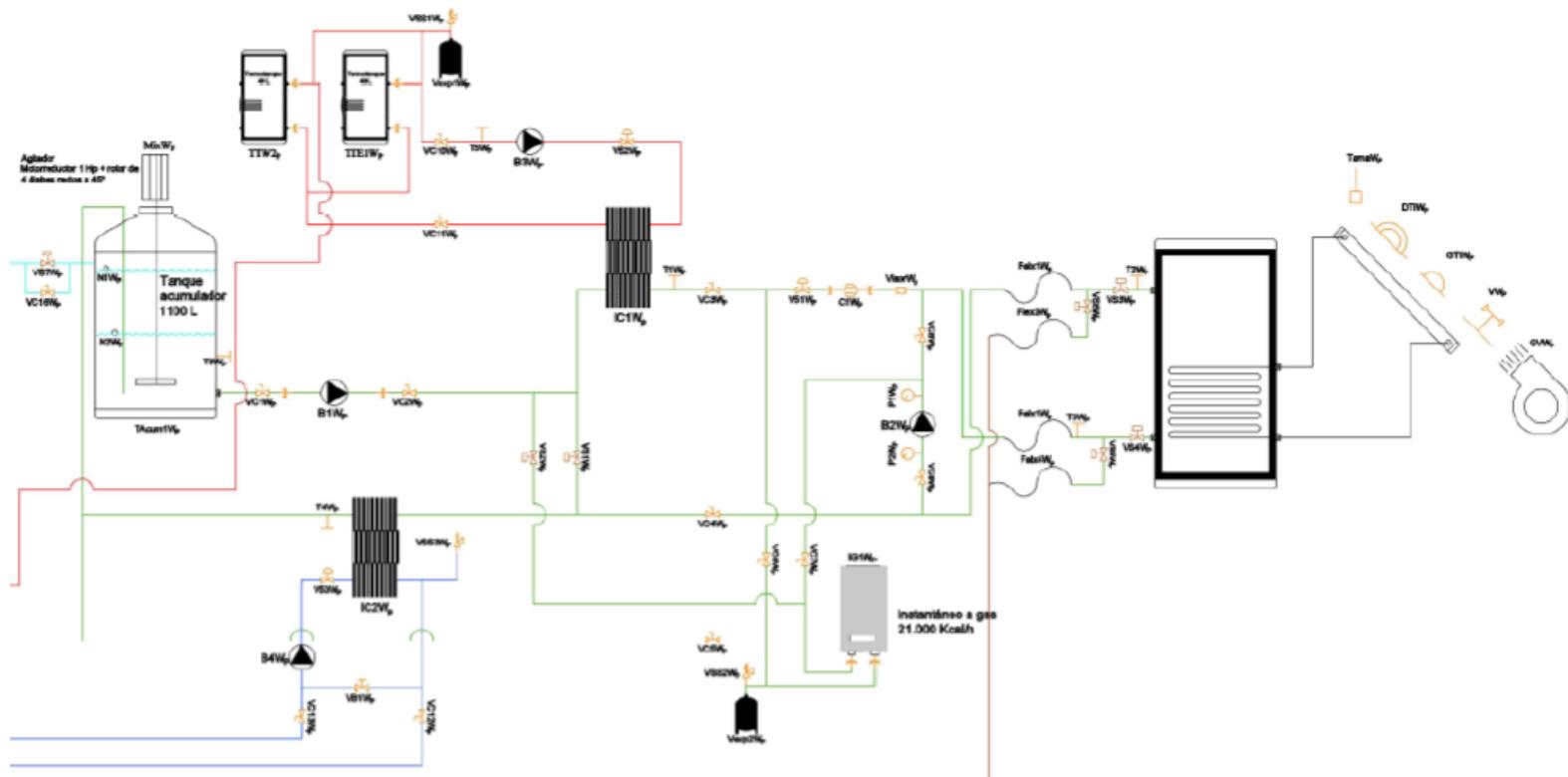
Ensayos a realizar:

- 1) Determinación del rendimiento diario del sistema
- 2) Determinación del grado de mezcla en el acumulador durante la extracción
- 3) Ensayo de pérdidas nocturnas

Luego de determinar los parámetros del sistema:

Determinación del rendimiento a largo plazo





Referencias									
	Bomba de agua		Anemómetro		Manómetro		Circuito primario		Válvula de retención
	Válvula esférica manual		Piranómetro		Visor		Circuito de calentamiento		Válvula solenoide
	Válvula reguladora manual		Piranómetro de difusa		Válvula de seguridad		Circuito de enfriamiento		Intercambiador de calor
	Válvula de control		Sensor de temperatura ambiente		Válv. reguladora de presión		Acometida de agua		Vaso de expansión
	Filtro		TT transmisor de temperatura		Pera de nivel		Desague		
	Unión Doble		Caudalímetro		Sensor de presión dif.		Cañería flexible		

# Ensayo de Sistemas Compactos

## Determinación del rendimiento diario del sistema:

- Al menos cuatro días diferentes con aproximadamente los mismos valores de  $(T_a(\text{day}) - T_{\text{main}})$  y valores de radiación solar distribuidos uniformemente de  $8 \text{ MJ/m}^2$  a  $25 \text{ MJ/m}^2$ .  $T_{\text{main}}$  es la temperatura de la red de suministro de agua.
- Los resultados también deben obtenerse para al menos dos días adicionales con valores de  $(T_a(\text{day}) - T_{\text{main}})$  de al menos  $9 \text{ K}$  por encima o por debajo de  $(T_a(\text{day}) - T_{\text{main}})$  obtenidos para los cuatro primeros días. Los valores de  $(T_a(\text{day}) - T_{\text{main}})$  deben estar entre  $-5 \text{ K}$  y  $+20 \text{ K}$  para cada día de ensayo.

# Ensayo de Sistemas Compactos

## Determinación del rendimiento diario del sistema:

- Al comienzo de cada día de ensayo, antes de comenzar el mismo, se debe proteger el colector de sol y se preacondiciona el sistema con circulación de agua a  $T_m$  a una razón de 600 l/h para homogeneizar la temperatura en el interior del mismo.
- La velocidad media del aire debe ser de 3 m/s a 5 m/s, medida en el plano del colector a una distancia de 50 mm de la cobertura, y en ningún punto debe desviarse en más de 25%. Para alcanzar esta condición necesariamente se deben utilizar generadores de viento. La temperatura del aire a la salida del generador de viento debe estar dentro de  $\pm 1^\circ\text{C}$  de la temperatura ambiente.

# Ensayo de Sistemas Compactos

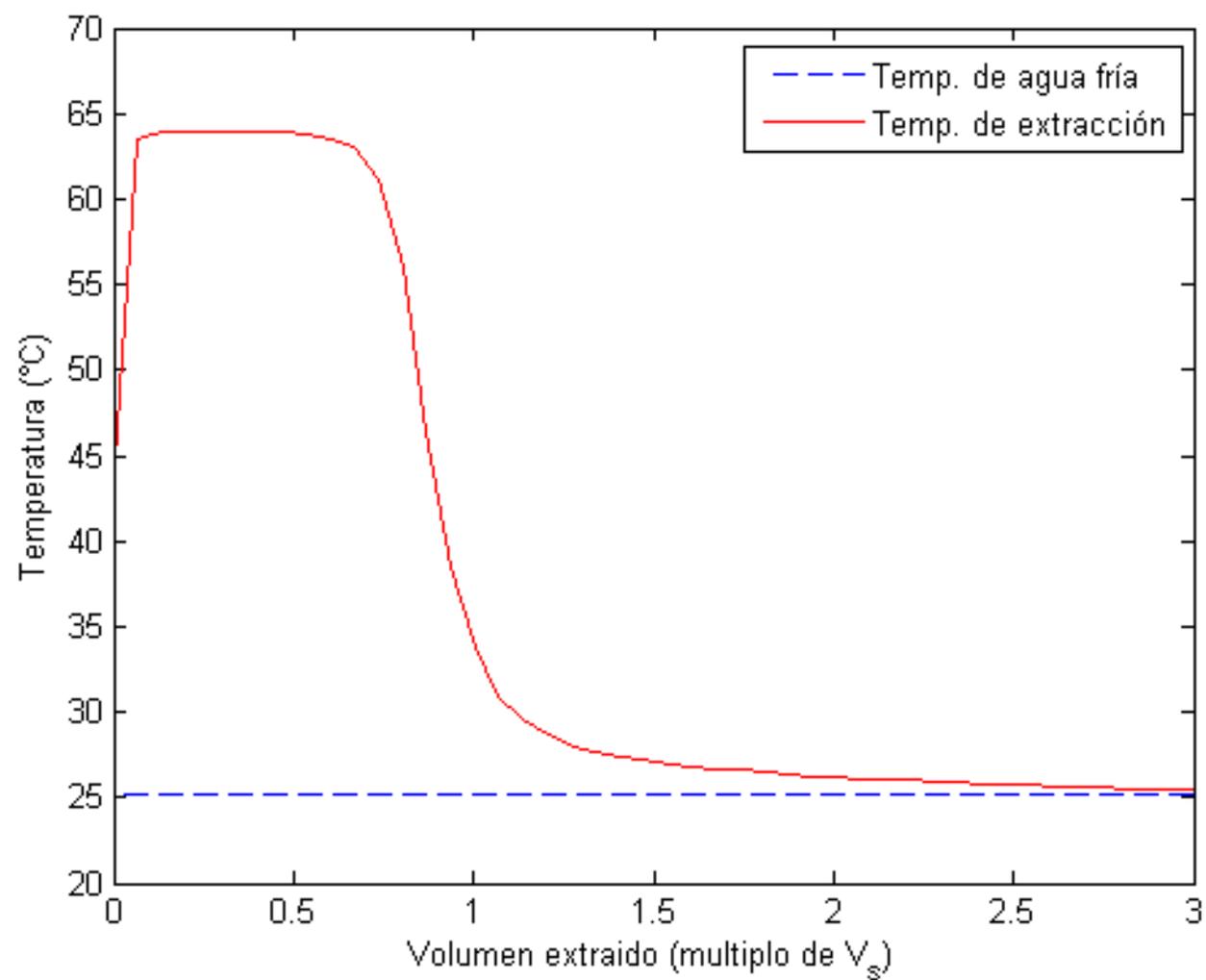
## Determinación del rendimiento diario del sistema:

- El sistema debe dejarse operar durante 12 hs, desde 6 hs antes del mediodía solar hasta 6 hs después del mismo. A las 6 hs después del mediodía solar el colector debe estar cubierto y se extrae agua del acumulador a un caudal constante de 600 l/h. El agua fría de reposición debe estar a una temperatura  $T_{main}$  definida durante el pre acondicionamiento.
- Un corto período de tiempo (10 min - 20 min) antes de que el agua sea extraída del sistema debe descargarse algo de agua fría de entrada a través de la tubería de purga.

# Ensayo de Sistemas Compactos

Determinación del rendimiento diario del sistema:

- La temperatura de agua extraída ( $T_d$ ) se debe medir al menos cada 15 s y registrarse el valor medio al menos cada vez que se extraiga una décima parte del volumen del acumulador (para un tanque de 150 lts sería 1'30'').
- Se debe extraer un volumen de agua igual a tres veces el acumulador del depósito. Si la diferencia de temperatura entre la entrada y la salida del acumulador es mayor a 1 K después de tres veces el volumen del acumulador, la extracción debe continuar hasta que la diferencia de temperaturas sea menor a 1 K.
- Durante la extracción, la temperatura de agua fría que entra al acumulador no debe fluctuar más de  $\pm 0.25$  K y no debe variar en más de 0.2 K durante el período de extracción.
- El caudal durante la extracción se debe mantener constante en 600 lts/h  $\pm$  50 lts/h.



# Ensayo de Sistemas Compactos

Determinación grado de mezcla del acumulador durante extracción:

- El colector debe permanecer siempre tapado.
- Se preacondiciona el depósito calentándolo uniformemente hasta una temperatura superior a 60°C.
- Antes de comenzar el ensayo, se mezcla el agua en el acumulador utilizando una bomba para hacer circular el agua desde la parte superior hasta la parte inferior, a un caudal de al menos cinco veces el volumen del depósito por hora.
- Se supone que el agua en el acumulador está a una temperatura uniforme cuando la temperatura del agua a la salida del acumulador varía menos de 1°C en 15 minutos. Entonces se para la bomba y se cierran las válvulas.

# Ensayo de Sistemas Compactos

Determinación grado de mezcla del acumulador durante extracción:

- Se debe extraer un volumen de agua igual a tres veces el acumulador del depósito. Si la diferencia de temperatura entre la entrada y la salida del acumulador es mayor a 1 K después de tres veces el volumen del acumulador, la extracción debe continuar hasta que la diferencia de temperaturas sea menor a 1 K. La temperatura de agua extraída ( $T_d$ ) se debe medir al menos cada 15 s y registrarse el valor medio al menos cada vez que se extraiga una décima parte del volumen del acumulador (para un tanque de 150 lts sería 1'30'').
- Durante la extracción, la temperatura de agua fría que entra al acumulador debe estar constante a una temperatura menor a 30°C, no debe fluctuar más de  $\pm 0.25$  K y no debe variar en más de 0.2 K durante el período de extracción. El caudal durante la extracción se debe mantener constante en 600 lts/h  $\pm$  50 lts/h.

# Ensayo de Sistemas Compactos

## Ensayo de pérdidas nocturnas:

- Se preacondiciona el depósito calentándolo uniformemente hasta una temperatura superior a 60°C.
- Antes de comenzar el ensayo, se mezcla el agua en el acumulador utilizando una bomba para hacer circular el agua desde la parte superior hasta la parte inferior, a un caudal de al menos cinco veces el volumen del depósito por hora. Se supone que el agua en el acumulador está a una temperatura uniforme cuando la temperatura del agua a la salida del acumulador varía menos de 1°C en 15 minutos. Se toma como temperatura media sobre estos 15 minutos como la temperatura inicial del acumulador. Entonces se para la bomba y se cierran las válvulas y se deja enfriar el acumulador durante 12 hs y 24 hs.
- Durante el periodo de enfriamiento, el aire con una velocidad media de entre 3 m/s y 5 m/s debe pasar libremente a través de apertura, por detrás y lados del colector y a través del acumulador. Se debe medir la temperatura ambiente en la localidad del acumulador cada hora durante el periodo de ensayo.

# Ensayo de Sistemas Compactos

Ensayo de pérdidas nocturnas:

- Al final del periodo de ensayo, se recircula el agua en el acumulador hasta que se alcance una temperatura uniforme. Se supone que el agua en el acumulador está a una temperatura uniforme cuando la temperatura del agua a la salida del acumulador varía menos de  $1^{\circ}\text{C}$  en 15 minutos. Se toma como temperatura media sobre estos 15 minutos como la temperatura final del acumulador.
- Se debe llevar a cabo un segundo ensayo idéntico para determinar los coeficientes de pérdida de calor del acumulador con el circuito del colector desconectado.