

# OBTENCIÓN DE MODELOS PARA PLANTAS DESALADORAS BASADAS EN ENERGÍA SOLAR

L. Roca\*<sup>†</sup>, L. Yebra\*, M. Berenguel<sup>†</sup>, D. Alarcón\*

\*Plataforma Solar de Almería (PSA), Carretera Senés s/n, 04200 Tabernas (Almería)  
[lidia.roca@psa.es, luis.yebra@psa.es, diego.alarcón@psa.es]

<sup>†</sup>Universidad de Almería. Escuela Politécnica Superior. Dpto. de Lenguajes y Computación. Ctra. Sacramento s/n, 04120 Almería [beren@ual.es]

## Resumen

*En este trabajo se presenta una breve descripción del sistema de desalación de agua de mar mediante energía solar que se está desarrollando en el ámbito del proyecto AQUASOL en la Plataforma Solar de Almería. Así mismo, se plantea un modelo físico de una parte importante del sistema, constituido por tanques interconectados, con la finalidad de utilizar la simulación para evaluar los límites que pueden alcanzar sus variables de estado cuando se excita al sistema con señales que cubren todo el rango de trabajo. Dado que un sistema de estas características sólo existía en la actualidad a nivel de diseño conceptual, los modelos desarrollados y los escenarios de simulación planteados han permitido evaluar partes del diseño de la instalación previa puesta en funcionamiento.*

**Palabras clave:** sistemas SCADA, energía solar, modelado y simulación.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad muchas regiones del planeta presentan un severo problema de escasez de agua que se ha ido incrementado notablemente en los últimos años, debido a factores tales como el crecimiento de población, desarrollo industrial y cambios climáticos. Muchos de estos lugares poseen abundantes recursos marinos y altos niveles de radiación solar, lo cual puede ser aprovechado para producir agua potable a partir de agua de mar mediante energía solar. A pesar del enorme potencial que presenta la energía solar en procesos de destilación, éstos no se han llegado a comercializar debido a que todavía no son económicamente competitivos cuando se comparan con sistemas de desalación convencionales de destilación y ósmosis inversa. Sin embargo, el avance de las tecnologías solares en el ámbito de la desalación tiene un reconocido y notable margen de mejora.

Dentro de las aplicaciones de la energía solar térmica en procesos de desalación se encuentran las plantas convencionales de destilación acopladas a un sistema solar térmico, constituyen-

do la llamada destilación solar indirecta [1]. Este es el caso de la destilación súbita multi-etapa (MSF) y la destilación multiefecto (MED).

En el proyecto Aquasol se lleva a cabo un estudio de destilación multiefecto mediante una planta de 14 efectos, que combinará energías de tipo solar y fósil con el objetivo de tener una disposición continua de agua potable aprovechando al máximo las energías renovables disponibles.

## 2. SISTEMA AQUASOL

### 2.1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El proyecto AQUASOL está formado básicamente por un campo de colectores solares tipo concentrador parabólico compuesto CPC [2], dos tanques de almacenamiento de agua, una planta desaladora tipo MED [3] y una bomba de absorción de doble efecto de LiBr (BADE) [3].

Como se observa en la figura 1, el agua procedente del tanque de agua fría TK1 es bombeada hacia el campo solar donde se calienta haciendo uso de energía solar. Cuando el agua de salida del campo alcanza una temperatura de consigna de 66,5°C es introducida en el tanque de agua caliente TK2, desde donde será bombeada hacia la planta MED. Si, por el contrario, la temperatura es menor, es necesario volver a circular el agua a través de los colectores para incrementar su valor. El sistema de control ha de ser capaz de alcanzar y mantener la temperatura necesaria de 66,5°C a la salida del campo solar actuando sobre la válvula V1 del tipo todo/nada y la bomba P1, ya que ésta es la temperatura de operación de la planta MED. Por otra parte, el agua que se encuentra en la parte inferior del tanque de agua caliente se podrá traspasar al tanque TK1 para volver a ser fuente del campo solar.

Como se ha indicado, para el correcto funcionamiento de la planta desaladora es necesario que la temperatura de entrada del agua esté en torno a los 66,5°C. Esta condición se consigue mediante la válvula reguladora V2 y el modo de operación en el que esté funcionando. En concreto, el sistema puede operar en tres modos con el fin de

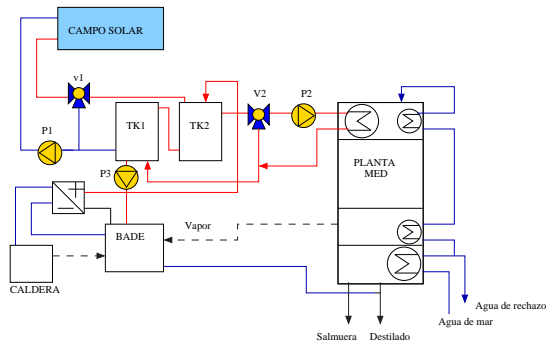


Figura 1: Diagrama planta desaladora

alcanzar dicha temperatura:

- **Sólo-Solar.** En modo Sólo-Solar la bomba de absorción BADE no está en funcionamiento, ya que la temperatura deseada se consigue únicamente con el aporte de la energía solar y a través del campo de colectores.
- **Sólo-Fósil.** En el caso de que la temperatura de salida del campo sea muy baja, ya sea debido a la existencia de nubes o a la operación nocturna, el sistema operará en modo sólo-fósil actuando únicamente la bomba de absorción de doble efecto.
- **Híbrido.** Puede ser que la temperatura alcanzada con el campo de colectores sea elevada pero no lo suficiente. En este caso se utilizará como energía de apoyo la caldera de gas por medio de la bomba de absorción de doble efecto.

## 2.2. SISTEMA SCADA

Las señales relacionadas con el sistema son recibidas a través de dos tarjetas de lectura IMP de Solartrón y un sistema PXI de National Instrument con 4 tarjetas analógicas y digitales de lectura y escritura que se comunican al PC industrial por fibra óptica y mediante servidores OPC que se encargan de manejar el hardware del sistema. Hay que añadir que la comunicación a Ethernet de la bomba de absorción de doble efecto se realiza a través de un procesador de comunicaciones SIMATIC CP 343-1 conectado al autómatas SIMATIC S7-300 asociado a la bomba.

Toda la recepción de las señales por parte de las tarjetas y el autómatas, así como las gráficas asociadas y el tratamiento de alarmas son visualizadas en varias pantallas del PCI del operador, utilizando como herramienta de desarrollo LabVIEW de National Instruments y el módulo "Datalogging and Supervisory Control".

A través de la pantalla de los tanques que se muestra en la figura 2 es posible actuar sobre las válvulas, bombas y controladores de proceso que regulan el flujo de agua. Del mismo modo, se visualizan sensores de temperatura, indicadores de nivel y de presión relacionados con esta zona del sistema.

Los diseños de las pantallas del campo solar, bomba de absorción y planta MED son similares a la anterior. En concreto, dentro de la pantalla de la planta MED, mostrada en la figura 3, es posible comprobar la presión que hay en algunos de los 14 efectos que la forman y obtener temperaturas de agua destilada o salmuera.

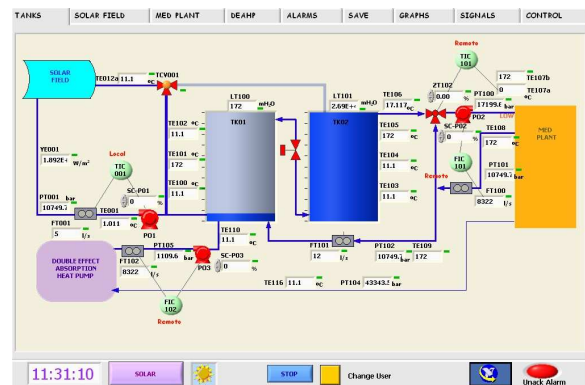


Figura 2: Pantalla de tanques

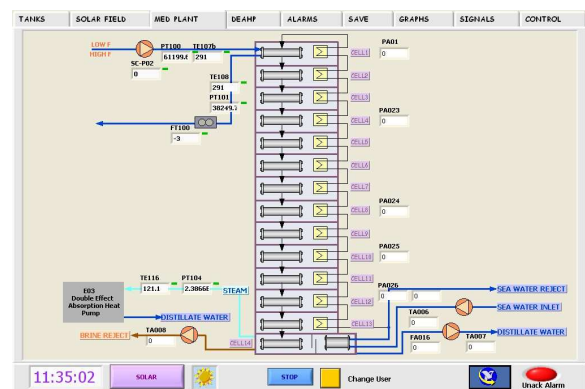


Figura 3: Pantalla de planta MED

## 3. MODELADO

El modelado del sistema AQUASOL se ha dividido en varios módulos, que están pendientes de validación con datos de planta dado que la construcción de la misma se está finalizando en la actualidad. Este trabajo se centra en el modelado del sistema de tanques interconectados. Se ha obtenido también un modelo del campo solar de parámetros distribuidos siguiendo la metodología indicada en [4], habiendo obtenido resultados muy aceptables. También se dispone de modelos de la planta MED

[3], siendo en cambio preciso modelar con más detalle el funcionamiento de la bomba de absorción BADE.

Centrando la atención en el sistema de tanques acoplados, en la figura 4 se muestra un esquema del sistema con cada una de las variables que van a ser de utilidad en el modelado.

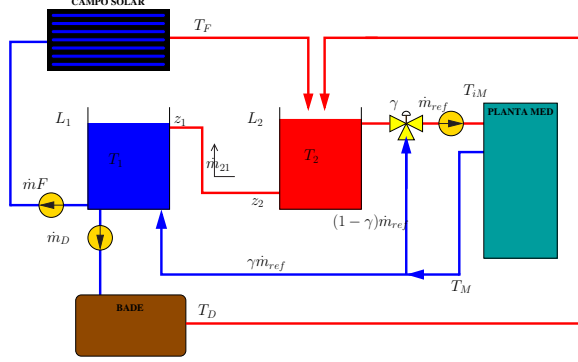


Figura 4: Variables del modelo

Debido al pequeño volumen de agua en los tanques ( $12 \text{ m}^3$ ), se ha supuesto como primera aproximación que no se producirán efectos de estratificación y por tanto la temperatura de cada uno de los tanques (TK1 y TK2) puede ser descrita por una única variable en cada caso ( $T_1$  y  $T_2$ ).

Hay que tener en cuenta también que se ha considerado  $\dot{m}_{21}$  positivo, es decir, que el flujo másico de agua en la tubería de comunicación de los tanques es desde el tanque TK2 al TK1. En el caso de que fuera en el sentido contrario, el valor de  $\dot{m}_{21}$  sería negativo, es decir,  $\dot{m}_{21} = -\dot{m}_{12}$ .

Las señales de entrada del modelo serán:

- $\dot{m}_F$ : Flujo másico de agua de entrada al campo solar
- $\dot{m}_D$ : Flujo másico de agua de entrada al absorbedor de la bomba de absorción de doble efecto
- $\dot{m}_{ref}$ : Flujo másico de agua de entrada a la planta MED
- $T_F$ : Temperatura de salida del campo de colectores
- $T_D$ : Temperatura de salida de la bomba de absorción de doble efecto
- $T_M$ : Temperatura de salida de la planta de la MED
- $\gamma$ : Variable de regulación de la válvula de tres vías Varía entre 0 y 1 de forma que cuando

$\gamma = 1$  el caudal que llega al primer efecto de la planta MED proviene en su totalidad del tanque TK2. A medida que se desee más o menos mezcla del agua del tanque con el de salida del primer efecto de la planta MED,  $\gamma$  se irá modificando dentro de dicho intervalo.

Las variables de estado en el problema de interés son:

- $T_1$ : Temperatura del agua en el tanque TK1
- $T_2$ : Temperatura del agua en el tanque TK2
- $L_1$ : Nivel de agua en el tanque TK1
- $L_2$ : Nivel de agua en el Tanque TK2
- $T_{iM}$ : Temperatura de entrada a la planta MED

Aplicando conservación de energía y masa [5] sobre ambos tanques se obtendrán las cuatro ecuaciones de estado que definen al sistema:

- Conservación de masa en TK1

$$\rho A \frac{dL_1}{dt} = -\dot{m}_F + \dot{m}_{21} + \gamma \dot{m}_{ref} - \dot{m}_D \quad (1)$$

- Conservación de energía en TK1

$$\frac{d}{dt}(\rho A L_1 T_1 c_p) = -\dot{m}_F c_p T_1 + \dot{m}_{21} c_p T_{12} + \gamma \dot{m}_{ref} c_p T_M - \dot{m}_D c_p T_1 \quad (2)$$

donde  $T_{12}$  es la temperatura del tanque de agua fría o del de agua caliente,  $T_1$  o  $T_2$ , en función del sentido del caudal  $\dot{m}_{21}$ . Es decir, si  $\dot{m}_{21} > 0$   $T_{12}$  será  $T_2$ , mientras que si  $\dot{m}_{21} < 0$   $T_{12}$  se convierte en  $T_1$ .

Combinando las ecuaciones (1) y (2) y considerando que los parámetros termohidráulicos son constantes en los rangos de trabajo, se obtiene que

$$\rho A L_1 \frac{dT_1}{dt} = -T_1(\dot{m}_{21} + \gamma \dot{m}_{ref}) + \dot{m}_{21} T_{12} + \gamma \dot{m}_{ref} T_M - \dot{m}_D T_1 \quad (3)$$

- Conservación de masa en TK2

$$\rho A \frac{dL_2}{dt} = \dot{m}_F - \dot{m}_{21} - \gamma \dot{m}_{ref} + \dot{m}_D \quad (4)$$

- Conservación de energía en TK2

$$\frac{d}{dt}(\rho A L_2 T_2 c_p) = \dot{m}_F c_p T_F + \dot{m}_D c_p T_D - \gamma \dot{m}_{ref} c_p T_2 - \dot{m}_{21} c_p T_{12} \quad (5)$$

Al igual que en el caso anterior, combinando (4) y (5),

$$\rho A L_2 \frac{dT_2}{dt} = -T_2(\dot{m}_F + \dot{m}_D - \dot{m}_{21}) + \dot{m}_F T_F + \dot{m}_D T_D - \dot{m}_{21} T_{12} \quad (6)$$

Simplificando las ecuaciones (1), (4), (3) y (6) quedan cuatro ecuaciones de estado para el sistema:

$$\dot{L}_1 = \frac{1}{\rho A} [-\dot{m}_F + \dot{m}_{21} + \gamma \dot{m}_{ref} - \dot{m}_D] \quad (7)$$

$$\dot{L}_2 = \frac{1}{\rho A} [\dot{m}_F - \dot{m}_{21} - \gamma \dot{m}_{ref} + \dot{m}_D] \quad (8)$$

$$\dot{T}_1 = \frac{1}{\rho A L_1} [-T_1(\dot{m}_{21} + \gamma \dot{m}_{ref}) + \dot{m}_{21} T_{12} + \gamma \dot{m}_{ref} T_M] \quad (9)$$

$$\dot{T}_2 = \frac{1}{\rho A L_2} [-T_2(\dot{m}_F + \dot{m}_D - \dot{m}_{21}) + \dot{m}_F T_F + \dot{m}_D T_D - \dot{m}_{21} T_{12}] \quad (10)$$

La principal salida que se debe controlar del sistema es la temperatura de entrada a la planta MED,  $T_{iM}$ , cuya ecuación se puede obtener aplicando conservación de energía en el nodo de la válvula de tres vías:

$$\gamma \dot{m}_{ref} T_2 c_p + (1-\gamma) \dot{m}_{ref} T_M c_p = \dot{m}_{ref} c_p T_{iM} \quad (11)$$

o lo que es lo mismo

$$T_{iM} = \gamma T_2 + (1-\gamma) T_M \quad (12)$$

### 3.1. CÁLCULO DE $\dot{m}_{12}$

El flujo másico  $\dot{m}_{12}$  entre los tanques se puede escribir en función de la velocidad  $v$  del agua en el interior de la tubería

$$\dot{m}_{12} = v \rho A_{12} \quad (13)$$

donde  $A_{12}$  es la sección de la tubería que comunica ambos tanques y  $\rho$  la densidad del fluido.

Haciendo un balance simplificado, se ha aplicado el Teorema de Bernoulli [6] entre los puntos  $z_1$  y  $z_2$  de los tanques

$$\frac{p_1}{\rho g} + z_1 - H_{12} = \frac{p_2}{\rho g} + z_2 \quad (14)$$

donde  $H_{12}$  son las pérdidas de carga total en la tubería y se definen en función de la geometría del tubo y velocidad del fluido:

$$H_{12} = f \left( \frac{L + \sum L'}{D} \right) \frac{v^2}{2g} \quad (15)$$

siendo  $L$  y  $D$  la longitud y diámetro del tramo de tubería entre los tanques, mientras que  $\frac{\sum L'}{D}$  hace referencia a las pérdidas locales que se producen en los codos de la tubería y depende del material y geometría. Por otra parte  $f$  es el factor de fricción y dependerá de la cinemática del fluido dentro del tubo.

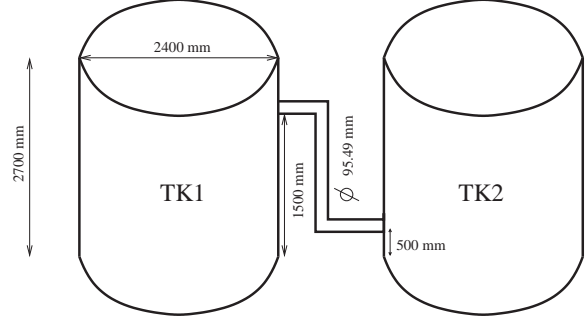


Figura 5: Dimensiones de los tanques

Combinando (13), (14) y (15), la expresión del flujo másico que va desde el tanque TK1 al TK2  $\dot{m}_{12}$  es

$$\dot{m}_{12} = K_v \sqrt{p_1 - p_2 + \rho g L_{12}} \quad (16)$$

o, en el caso de que el flujo másico sea de sentido contrario,

$$\dot{m}_{21} = K_v \sqrt{-p_1 + p_2 - \rho g L_{12}} \quad (17)$$

siendo  $L_{12}$  la distancia entre los puntos  $z_1$  y  $z_2$  de los tanques y donde se ha definido  $K_v$  como

$$K_v = \sqrt{\frac{2\rho A_{12}^2}{f \left( \frac{L + \sum L'}{D} \right)}} \quad (18)$$

Los valores de las presiones y flujo másico,  $p_1$ ,  $p_2$  y  $\dot{m}_{21}$ , dependerán del nivel de agua en los tanques. En concreto se pueden distinguir cuatro casos:

1.  $L_1 < z_1$  y  $L_2 < z_2$   
En este caso no puede existir flujo entre ambos tanques y, por tanto,  $\dot{m}_{21} = 0$ .
2.  $L_1 < z_1$  y  $L_2 > z_2$   
Aplicando la ecuación general de la hidrostática sobre los puntos  $L_1$ ,  $z_1$  y  $L_2$ ,  $z_2$  se obtiene que  $p_1 = p_{atm}$  y  $p_2 = p_{atm} + \rho g(L_2 - z_2)$ , y hay que volver a distinguir dos casos:
  - Si  $L_2 > (z_2 + L_{12}) \rightarrow \dot{m}_{21} > 0$
  - Si  $L_2 < (z_2 + L_{12}) \rightarrow \dot{m}_{21} = 0$
3.  $L_1 > z_1$  y  $L_2 < z_2$   
De forma similar al caso anterior,  $p_1 = p_{atm} + \rho g(L_1 - z_1)$  y  $p_2 = p_{atm}$ , pero ahora el flujo másico va siempre en el sentido de tanque TK1 a tanque TK2,  $\dot{m}_{21} < 0$ .

4.  $L_1 > z_1$  y  $L_2 > z_2$

Las presiones ahora son  $p_1 = p_{atm} + \rho g(L_1 - z_1)$  y  $p_2 = p_{atm} + \rho g(L_2 - z_2)$ , y se distinguen de nuevo dos casos:

- Si  $z_1 - L_1 + L_2 - z_2 - L_{12} > 0 \rightarrow \dot{m}_{21} > 0$
- Si  $z_1 - L_1 + L_2 - z_2 - L_{12} < 0 \rightarrow \dot{m}_{21} < 0$

### 3.2. CÁLCULO de $K_v$

En el apartado anterior se definió un parámetro  $K_v$  para el cálculo del flujo másico  $\dot{m}_{21}$  que depende de la geometría del tanque y de ciertas propiedades del fluido, dado por la ecuación (18). Entre los distintos tipos de flujo, en el modelo del sistema se considerarán los dos más representativos, laminar y turbulento.

- Régimen laminar  $Re < 2000$ :  $f = \frac{64}{Re}$
- Régimen turbulento  $Re > 2000$ : En este caso  $f$  depende no sólo de  $Re$  sino también de la rugosidad relativa  $\frac{k}{D}$ . Debido al desconocimiento del parámetro  $k$ , es conveniente hacer un ajuste del modelo teniendo en cuenta que según el diagrama de Moody [6]  $f \in [0,009, 0,06]$ .

## 4. SIMULACIONES

Como se ha indicado en la introducción de este trabajo, el desarrollo de los modelos en este caso no va tanto orientado al análisis del comportamiento dinámico del sistema cuando se emplean estrategias de control automático (etapa futura de investigación) sino como apoyo al diseño de la instalación que está previsto para los próximos meses. De esta forma, aunque los modelos no han sido calibrados y validados con datos experimentales al no estar construida definitivamente la instalación, si sirven como herramienta de análisis y evaluación del diseño hecho sobre planos de la instalación. En concreto, el objetivo de los modelos incluidos en este trabajo es comprobar si en todo el rango de condiciones de trabajo existen algunas circunstancias en las que se sobrepasen los valores límites que se pretende controlar, esto es, conocer a priori si los niveles de agua pueden superar la altura de los tanques y si la temperatura de entrada a la planta MED sobrepasará la temperatura de  $66.5^\circ\text{C}$  para la cual está diseñada.

Para realizar la simulación preliminar de la planta a partir del modelo anteriormente desarrollado se ha utilizado el entorno Simulink con un bloque *S-function* a partir del cual se pueden obtener las salidas y variables de estado de un sistema de ecuaciones que son definidas en código Matlab. El

uso de entornos de modelado y simulación orientados a objetos está previsto cuando se integren los distintos módulos que componen la instalación para aprovechar sus características fundamentalmente en cuanto a causalidad computacional y tratamiento de eventos se refiere. Hay que hacer notar que los modelos que componen la instalación no son muy complejos al nivel que se están tratando.

Debido a que las condiciones del sistema varían continuamente, fundamentalmente como consecuencia de las características de la radiación solar, es necesario comprobar en cada instante el sentido del caudal entre los tanques y el régimen en el que se encuentra el fluido para utilizar las variables y parámetros adecuados. Hay que hacer notar que evaluando las ecuaciones de estado en régimen permanente se consigue analizar los puntos de trabajo alcanzables bajo condiciones de perturbación estacionarias o cuasi-estacionarias.

Se ha estudiado en este apartado una simulación donde todas las perturbaciones son señales sinusoidales de distinta frecuencia y en un rango del 10% respecto a su valor nominal, como se muestra en la tabla 1. Por último, para que todas las bombas se encuentren en funcionamiento, se ha supuesto que se está operando en modo híbrido.

Cuadro 1: Perturbaciones.

| Nombre          | Rango                    |
|-----------------|--------------------------|
| $\dot{m}_F$     | $[4, 5] \text{Kg/s}$     |
| $\dot{m}_D$     | $[11, 13] \text{Kg/s}$   |
| $\dot{m}_{ref}$ | $[11, 13] \text{Kg/s}$   |
| $\gamma$        | $[0, 1]$                 |
| $T_D$           | $[60, 73]^\circ\text{C}$ |
| $T_F$           | $[60, 73]^\circ\text{C}$ |
| $T_M$           | $[57, 70] \text{Kg/s}$   |

Inicialmente cada uno de los tanques tendrá un volumen de agua de  $12 \text{ m}^3$ , razón por la que se ha decidido elegir como condiciones iniciales de nivel de agua  $1.6 \text{ m}$ . Como temperaturas iniciales en los tanques y entrada de la planta MED se han tomado los valores nominales, es decir,  $T_1 = 63,5^\circ\text{C}$ ,  $T_2 = 66,5^\circ\text{C}$  y  $T_{iM} = 66,5^\circ\text{C}$ .

Utilizando como entradas las mostradas en la tabla 1 en un intervalo de 10000 segundos se puede observar en la figura 6 que los niveles de agua en ambos tanques se mantienen por debajo del límite ( $2.7 \text{ m}$ ), y existe un margen importante de  $0.7 \text{ m}$  para que se produzca el desbordamiento. Este aspecto es muy importante dado que, aunque habitualmente no ocurre, el sistema de control de temperatura del campo solar puede provocar perturbaciones en el flujo másico de entrada al mismo para compensar por ejemplo el paso de nubes,



que se transmitirán al nivel de los tanques. Como se ha demostrado en otras aplicaciones [4], estas oscilaciones se pueden amortiguar con el uso de estrategias de control avanzado adecuadas. Hay que hacer notar que bajo condiciones de fuertes variaciones en la radiación como consecuencia de la existencia de nubes, ninguna planta solar puede operar, debiendo pasar al funcionamiento en modo tradicional usando combustibles fósiles.

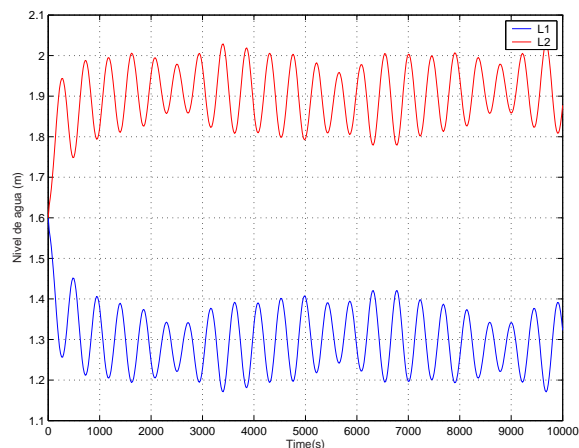


Figura 6: Simulación de los niveles de los tanques

En esta simulación se da el caso de que en todo el intervalo temporal el nivel del tanque de agua caliente, TK2, está por encima del punto  $z_2$  mientras que el nivel en el tanque TK1 se encuentra por debajo del punto  $z_1$ , por lo que las condiciones son similares al caso 2 que se mostró en la sección 3.1 y el caudal ha de ir en sentido desde el tanque de agua caliente al de agua fría como se comprueba en la figura 7.

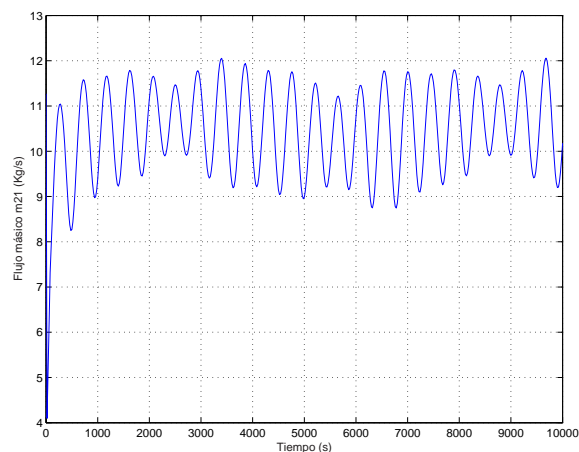


Figura 7: Simulación del caudal entre los tanques

El hecho de que el sentido del caudal sea el que se muestra indica un comportamiento aceptable del sistema, ya que lo deseado es que el agua procedente del tanque TK2 vaya hacia el tanque TK1

y no al revés que produciría un enfriamiento en el agua del tanque de agua caliente.

Sin embargo, la temperatura de entrada al primer efecto de la planta MED (figura 8), supera en ocasiones la condición de temperatura de  $66,5^{\circ}\text{C}$  para el correcto funcionamiento de la planta. Es importante también destacar que la temperatura del agua fría de entrada a la bomba de absorción de doble efecto no debe superar los  $63,5^{\circ}\text{C}$ , ya que se pueden ocasionar daños, y según la simulación de la temperatura del tanque TK1, ésta se mantiene siempre por encima.

El hecho de sobrepasar algunos de los límites definidos es debido fundamentalmente a la combinación de entradas oscilatorias que se han definido, pero al mismo tiempo es inevitable señalar el importante papel que juega el sistema de control en esta planta en caso de no operar en condiciones nominales. Se ha querido por tanto reflejar en este trabajo la complejidad inherente al uso de energía solar en distintas aplicaciones (en este caso la desalación), que puede ser compensada mediante el uso de estrategias de control adecuadas. Se están planteando una serie de experimentos de simulación encaminados a analizar el margen de regulación del proceso objeto de estudio y fundamentalmente la respuesta dinámica a perturbaciones más realistas, puesto que el escenario de simulación planteado en este apartado no abarca la excitación de rangos dinámicos del sistema, al tratarse de una excitación senoidal.

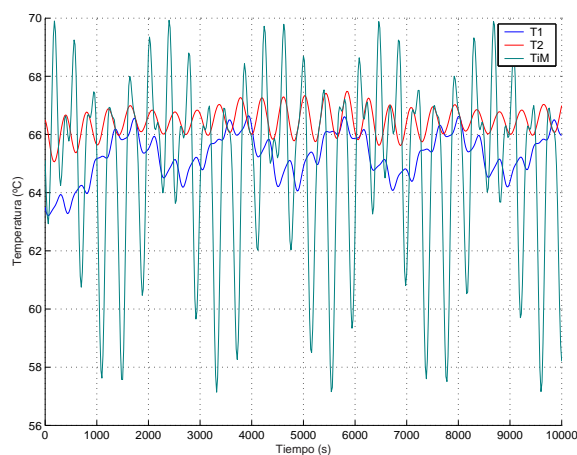


Figura 8: Simulación de las temperaturas del sistema

## 5. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En este trabajo se han presentado resultados preliminares de la simulación de uno de los subsistemas fundamentales para el funcionamiento de

una planta de desalación que hace uso de energía solar. Los resultados obtenidos han servido para analizar y validar el diseño estructural realizado por una Ingeniería de Diseño en el ámbito de un proyecto de la UE denominado AQUASOL. Dicho proyecto está en la actualidad concluyendo los trabajos de cableado eléctrico y tiene como objetivo estar en pleno funcionamiento a finales del presente año. El primer paso antes de comenzar con la recepción de señales y control del sistema, será comprobar el correcto funcionamiento del sistema SCADA desarrollado para tal efecto y que ha sido descrito en el apartado 2.2.

Con el objetivo de poner en funcionamiento la planta sin riesgos de sobrepasar ciertos límites en variables críticas como se ha comprobado en la sección 4, se probará un control simple pero efectivo para más tarde poder ir desarrollando e investigando nuevos controladores más complejos. Al mismo tiempo se procederá a la calibración de los diversos modelos que se están elaborando tanto para los tanques, como se ha mostrado en este artículo, como para el campo de colectores CPC, planta MED y bomba de absorción de doble efecto.

### Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado en el ámbito del acuerdo específico de colaboración de entre la Plataforma Solar de Almería y el Grupo de Investigación “Automática y Robótica” de la Universidad de Almería (TEP197) titulado “Desarrollo de sistemas y herramientas de control para plantas termosolares” y de los proyectos financiados por CICYT-FEDER DPI2002-04375-C03 y DPI2004-07444-C04-04 y por la Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa de la Junta de Andalucía. Así mismo este trabajo se enmarca dentro de las actividades desarrolladas por el proyecto AQUASOL (“Zero Discharge Seawater Desalination Using Hybrid Solar Technology”, EVK1-CT2001-00102) de la Comisión Europea.

### Referencias

- [1] García-Rodríguez L. and Gómez-Camacho C. “Perspectives of solar-assisted seawater distillation”. *Distillation*, 136 (2001) 213-218.
- [2] John A. Duffie, (1991) “Solar Engineering of Thermal Processes” A Wiley Interscience Publication.
- [3] Zarza E., (1995) “Solar Thermal Desalination Project Phase II Results & Final Project Report” Colección Documentos Ciemat.

- [4] Camacho E.F., Berenguel M., Rubio F.R., (1997) “Advanced Control of Solar Plants” Springer Verlag.
- [5] Potter M., and Wiggert D., (1997) “Mecánica de Fluidos” Prentice Hall.
- [6] López Andrés L., (1997) “Manual de Hidráulica” Publicaciones Universidad de Alicante.