



Universidad Nacional  
Autónoma de  
México



El Instituto de Energías Renovables de la  
Universidad Nacional Autónoma de México

otorga el presente

## RECONOCIMIENTO

a

**J.A. Escobedo-Bretado; R. Chávez-Torres;  
I.R. Martín-Domínguez, M.T. Alarcón-Herrera**

por su participación en el

**2º Simposio Internacional sobre Energía Renovables y Sustentabilidad**

los días 21, 22 y 23 de marzo de 2013

con el trabajo

*DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR ASISTIDO POR GAS PARA  
EL SUMINISTRO DE AGUA CALIENTE A REGADERAS EN UN CUARTEL  
MILITAR, MEDIANTE SIMULACIÓN DINÁMICA EN TRNSYS*

Temixco, Morelos a 23 de marzo de 2013

Dr. Alipio G. Calles Martínez  
Coordinador General del AIEST

Dra. Julia Tagüeña Parga  
Encargada del Despacho de Asuntos  
Administrativos de la  
Dirección del IER

Dr. Edgar R. Santoyo Gutiérrez  
Comité Organizador



2012  
AÑO INTERNACIONAL DE LA  
ENERGÍA SOSTENIBLE  
PARA TODOS



# DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR ASISTIDO POR GAS PARA EL SUMINISTRO DE AGUA CALIENTE A REGADERAS DE UN CUARTEL MILITAR, MEDIANTE SIMULACIÓN DINÁMICA EN TRNSYS

J.A. Escobedo Bretado, R. Chávez Torres, I.R. Martín Domínguez, M.T. Alarcón Herrera  
 Centro de Investigación en Materiales Avanzados S. C. Energía Renovable y Protección del Medio Ambiente. Chihuahua, Chih. México.  
 \* ignacio.martin@cimar.edu.mx

## Introducción

El abastecimiento de agua caliente para uso sanitario puede requerir más de la mitad del consumo energético térmico de un cuartel militar del ejército mexicano. La principal fuente de combustibles para su calentamiento son los gases natural y LP, los cuales pueden ser sustituidos por energía solar si se diseñan adecuadamente los sistemas necesarios para la captación y almacenamiento térmico. Para diseñar dichos sistemas es necesario el uso de simulación dinámica, debido a la variabilidad intrínseca del recurso solar. La simulación en TRNSYS permite estimar el comportamiento de los sistemas termo-solares y con ello optimizar su diseño.

## Descripción del Sistema Requerido

Un cuartel militar alberga a 315 elementos de tropa, y se requiere suministrarles para su aseo diario 12,600 L de agua a 40°C. Cuentan con solo dos horas para ducharse todos, de 12 a 14 horas. Actualmente el calentamiento de agua se lleva a cabo utilizando gas L.P., y se desea diseñar un sistema que permita utilizar energía solar térmica para minimizar el costo energético.

## Propuesta

Debido a que el suministro de agua a las regaderas consume un volumen de 2,600 L @ 40°C en un periodo de tiempo de solo 2 h, se propone un sistema con dos termo-tanques, cada uno de 13,000 L, que se utilizarían alternadamente uno cada día. El sistema de captación solar calentaría uno de los tanques un día, y el otro al siguiente día. El tanque calentado el día anterior suministraría el consumo de agua hasta vaciarse, y se llenaría nuevamente con agua fría durante la tarde, para ser calentado al día siguiente por el sistema solar.

Debido a que el horario de consumo coincide con el de captación solar, un sistema dotado de un solo tanque de almacenamiento térmico necesariamente tendría simultáneamente los procesos de calentamiento solar, suministro de agua caliente hacia las regaderas, y alimentación de agua fría de la red para reponer el gasto hacia las regaderas. La entrada de agua fría de repuesto reduce la temperatura existente en el termo-tanque, y consecuentemente reduce la temperatura del suministro hacia las regaderas. Ello origina que la caldera auxiliar pueda requerir entrar en operación para mantener la temperatura de suministro.

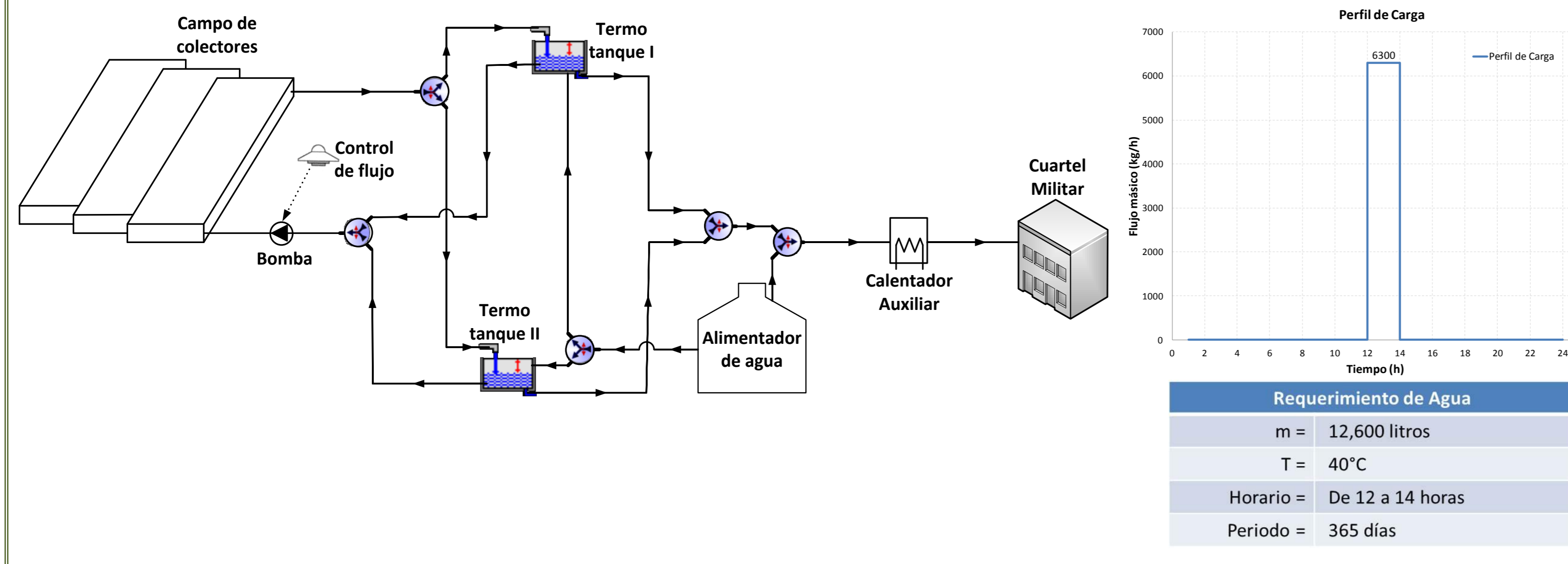
Si la temperatura del agua suministrada a las regaderas es inferior a los 40°C, una caldera de paso situada entre los termo-tanques y las regaderas suministraría el calor requerido para mantener el flujo de agua a la temperatura requerida.

Si la temperatura del agua suministrada a las regaderas es superior a los 40°C, una válvula de atemperamiento mezclará agua fría (de la red) con la corriente caliente proveniente de los tanques, para mantener la temperatura del suministro a las regaderas al valor deseado.

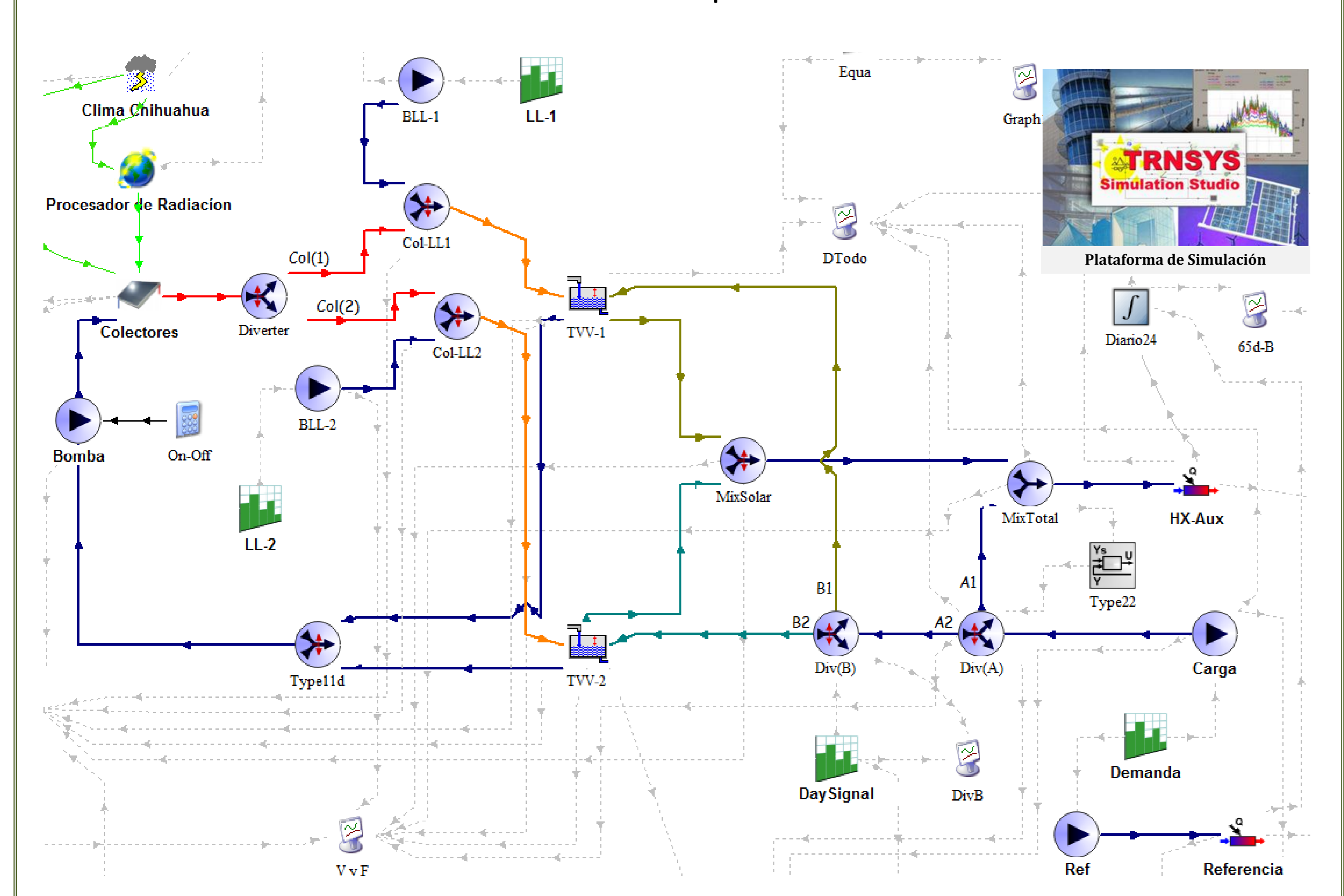
### Las ventajas del arreglo propuesto son:

- La temperatura del agua de suministro permanece constante durante las 2 h de consumo, pues se utiliza el volumen almacenado y previamente calentado el día anterior. El tanque se vuelve a llenar durante la tarde con agua de la red.
- Cada tanque inicia su proceso de calentamiento a una temperatura cercana a la del agua de la red (fría), lo que origina una mejor eficiencia en la operación de los colectores solares.
- El tamaño de los termo-tanques requeridos es solo ligeramente mayor al volumen consumido diariamente, pues no se requiere amortiguamiento térmico.

Se estima que todo lo anterior minimiza el costo inicial y de operación del sistema.

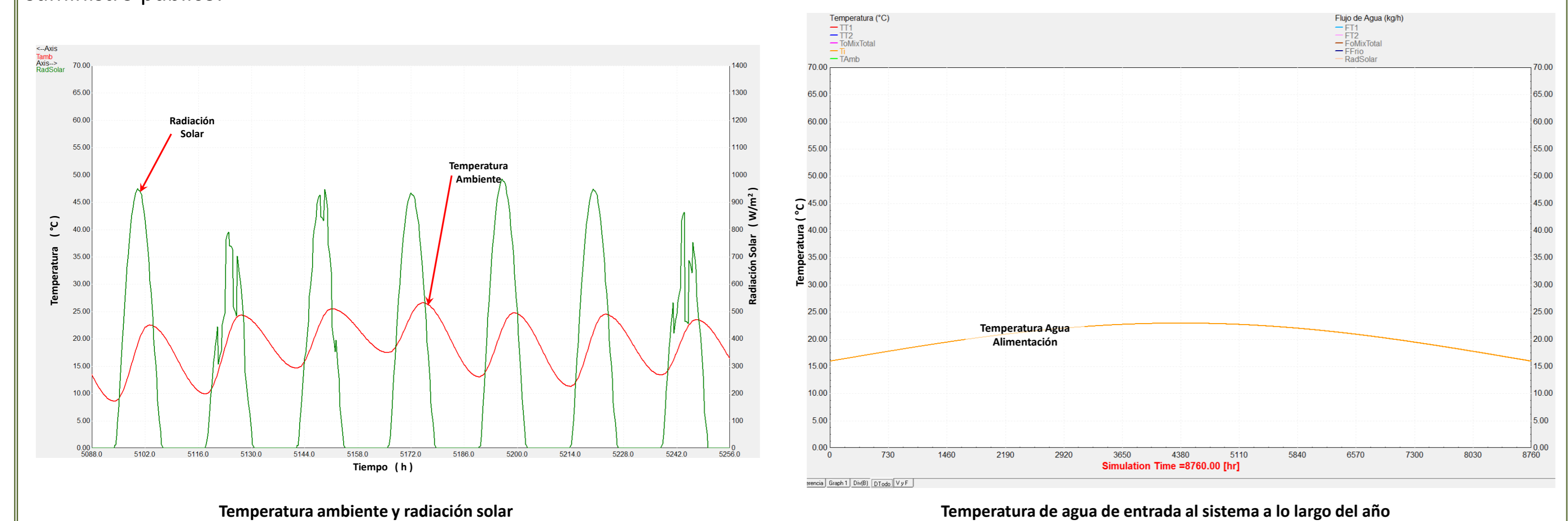


## Modelo de simulación implementado en TRNSYS

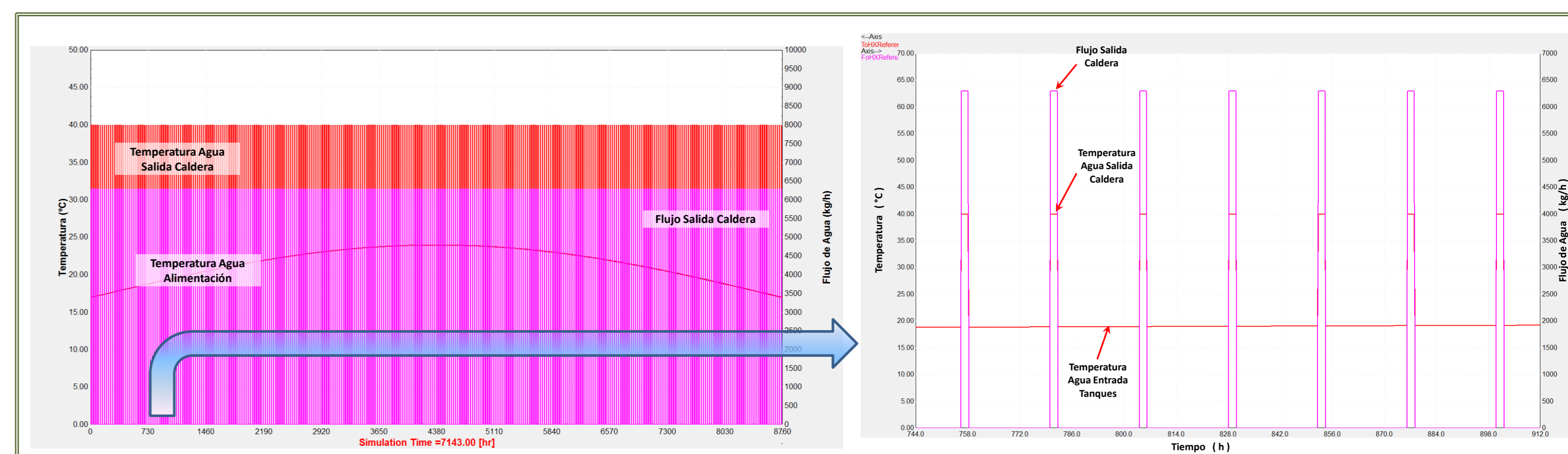


## Variables Ambientales Locales

Se tomaron las condiciones climáticas de la ciudad de Querétaro para el desarrollo de la simulación aquí presentada. En la figura se muestra la disponibilidad esperada de irradiación solar y temperatura ambiente (se muestra una semana) y la variación en la temperatura del agua de la red de suministro público.



## Calentamiento por Gas LP



### Sistema operando solo con gas L.P.

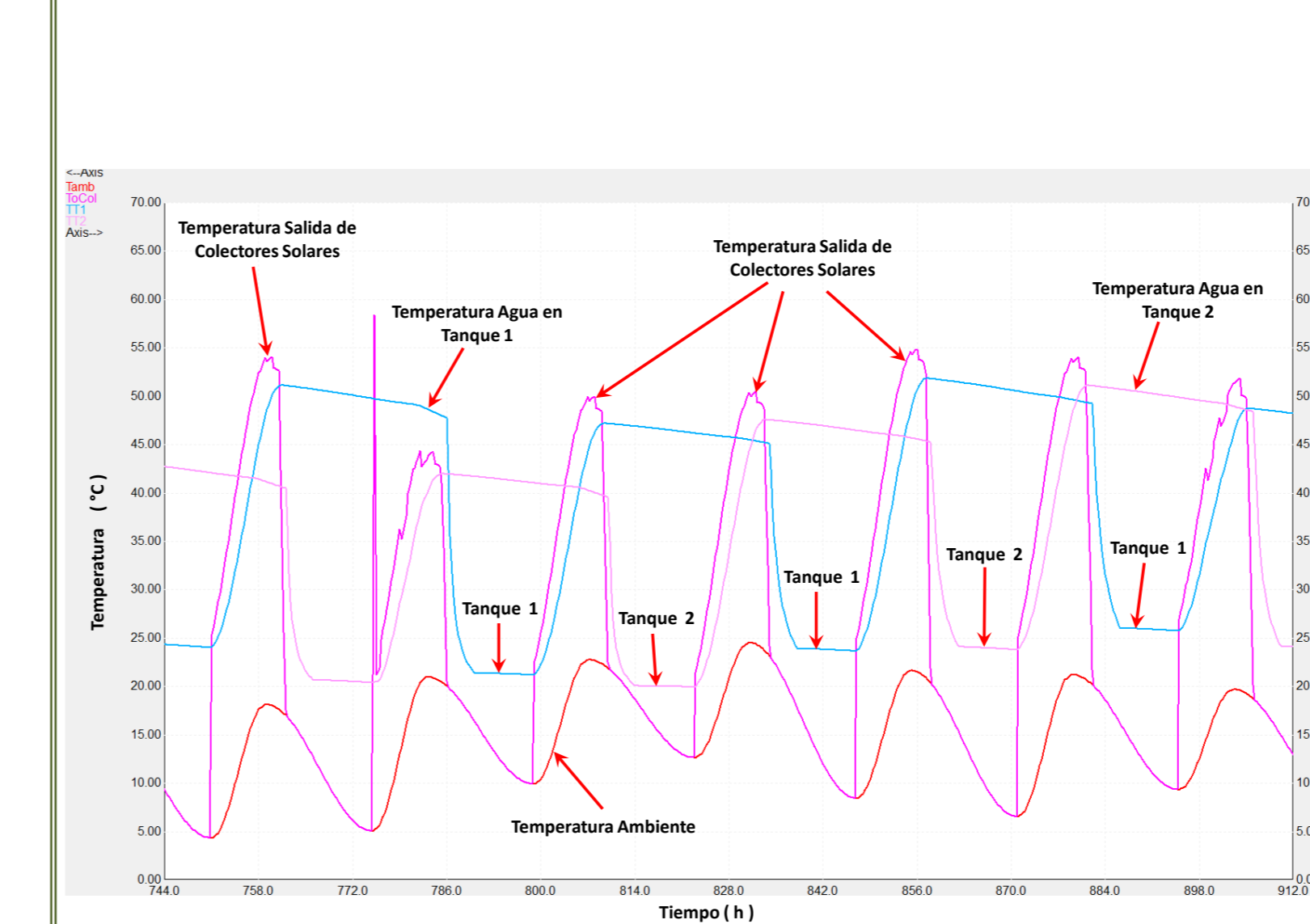
Cuando el sistema opera solo con gas, el ciclo de calentamiento se repite diariamente en forma idéntica. El agua fría es calentada hasta 40°C a su paso por la caldera auxiliar. Si bien el sistema actualmente en uso no tiene la misma configuración que el aquí propuesto, el consumo energético es casi el mismo, pues se tiene que calentar el mismo volumen de agua, que inicialmente está a la temperatura de la red.

Como se observa en la figura anterior, la caldera solo opera durante el periodo de consumo. La figura de la izquierda muestra el funcionamiento del sistema durante todo el año. La figura de la derecha muestra una semana de funcionamiento.

## Calentamiento Solar Asistido por Gas LP

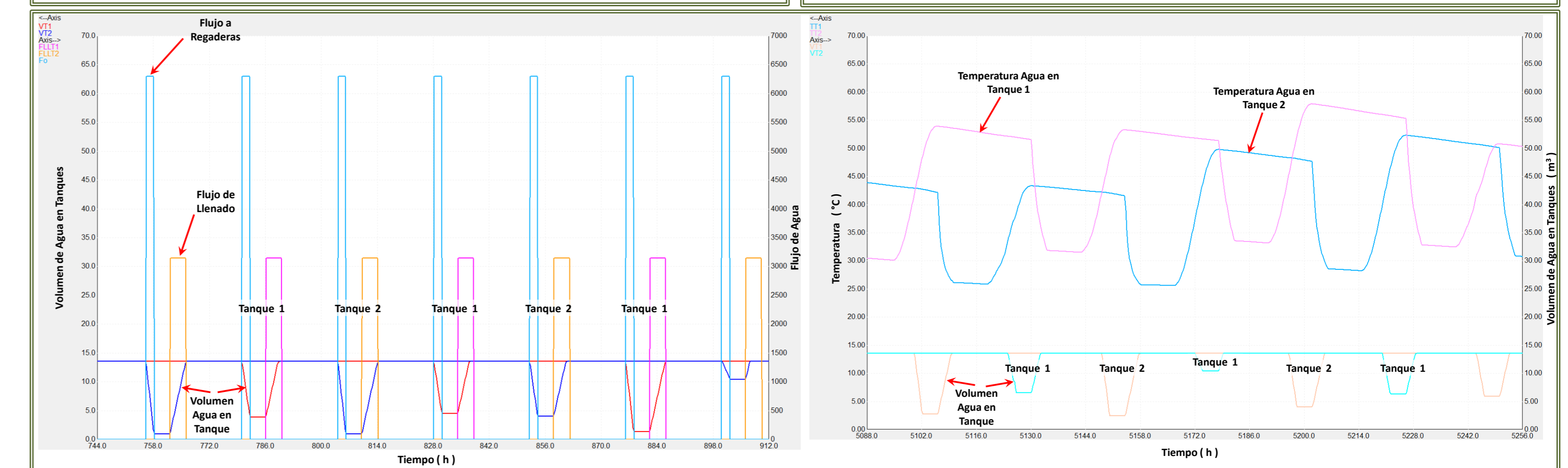
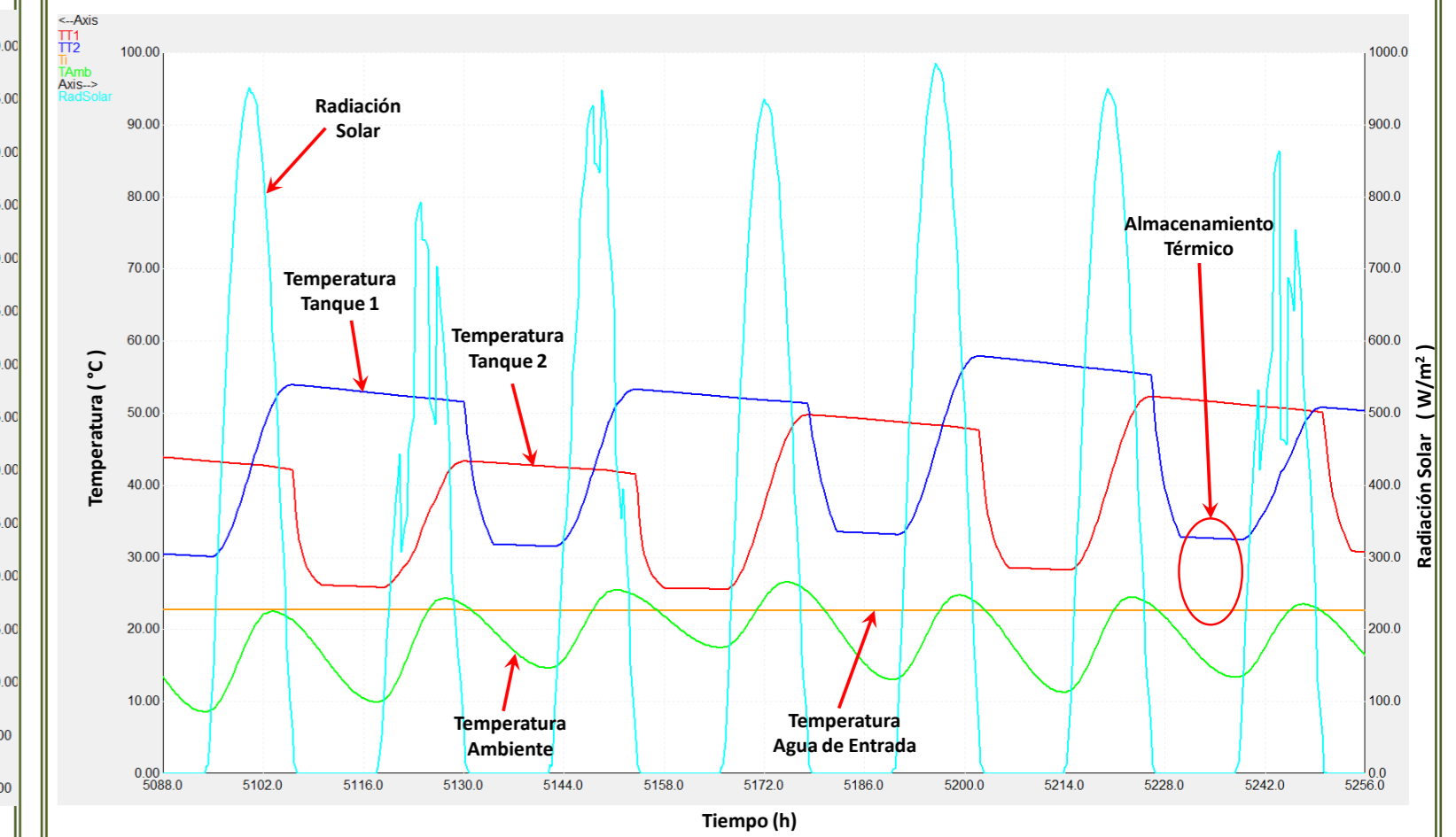
### Calentamiento solar del agua en termo-tanques

En la figura se observa como el sistema de colectores calienta en forma alternada a los tanques, dependiendo de la temperatura inicial de cada uno y de la disponibilidad de radiación solar en ese día.



### Comportamiento Térmico en tanques

En la figura se observa la disponibilidad diaria de radiación solar y su efecto sobre la temperatura alcanzada en cada termo-tanque. Se observa también que luego de un día con abundante insolación, la temperatura en el tanque sobrepasa los 40°C y al existir atemperamiento por mezclado con agua fría, el tanque suministra menos agua, quedando almacenado un volumen caliente.



### Suministro de agua caliente y recarga de agua fría en tanques

En las figuras se observan los procesos de vaciado y llenado de los tanques, y el efecto de la variación de disponibilidad diaria de irradiación solar en el comportamiento de cada tanque. El suministro de agua caliente a regaderas es de 12 a 14 horas y la recarga es de 18 a 22 horas.

## Optimización Económica

Los resultados mostrados en las figuras anteriores corresponden a un sistema de calentamiento solar dotado de 40 colectores planos, de un modelo disponible en el mercado nacional.

En el modelo de simulación aquí desarrollado es posible variar fácilmente el tipo y el número de colectores utilizados, así como la localidad geográfica en donde se pretenda instalar el sistema.

Como puede observarse de los resultados mostrados, el consumo de gas incurrido dependerá de los tres factores mencionados, y con el simulador aquí presentado se puede determinar el tipo y el número óptimo de colectores solares que resultan en el menor costo financiero del proyecto. El costo financiero debe incluir los costos de adquisición y operación del sistema, durante el periodo de tiempo que se desea considerar (número fijo de años, vida útil de los equipos, etc.) y considerando gastos de mantenimiento y reposición de equipos.

El análisis financiero de un proyecto de ésta naturaleza debe incluir los siguientes:

Costos Iniciales de adquisición e instalación de

- Colectores solares
- Termo-tanques
- Caldera
- Equipo de control
- Tubería y auxiliares

Costos periódicos:

- Combustible
- Mantenimiento

Vida útil de los equipos

Valor de rescate de los equipos

Aumento esperado en el costo de combustibles

Tasa de inflación

## Conclusiones

Un sistema térmico que utiliza energía solar depende de la disponibilidad del recurso solar, el cual es intrínsecamente variable (localidad geográfica, variabilidad horaria, variabilidad diaria, variabilidad estacional).

El dimensionamiento y optimización de un sistema termo-solar requiere necesariamente del uso de herramientas computacionales de simulación dinámica, que permitan evaluar el desempeño de diversas configuraciones a lo largo de periodos de tiempo extendidos.

La decisión final deberá tomarse en base al desempeño físico y a consideraciones económicas.

El sistema aquí presentado ilustra objetivamente lo anterior.