

## **SIMULACIÓN MEDIANTE TRNSYS DE UN CONCENTRADOR SOLAR CILINDRO PARABÓLICO CON FLUIDO CALOPORTADOR**

Fabio Dri<sup>1</sup> - Arturo Busso<sup>2</sup>, Marcelo Gea<sup>3</sup>

<sup>1</sup>MASISA SA. - Cel.0345 156268470 - e-mail: dri.fabio@gmail.com

<sup>2</sup>GER - Grupo en Energías Renovables. FaCENA - UNNE

<sup>3</sup>INENCO – CONICET - UNSa.

**RESUMEN:** En el siguiente trabajo se describe el procedimiento y resultados obtenidos de la simulación mediante el software TRNSYS, de un sistema de captación de energía solar con un concentrador cilindro parabólico con receptor lineal y eje focal coincidente con el ángulo de inclinación del espejo concentrador. El diseño conceptual del conjunto está orientado a la obtención de energía térmica en el rango de temperaturas de 150°C a 250°C y una potencia inferior a 5kW, con el objeto de poder utilizar dicha energía en un ciclo de refrigeración por absorción. Para esto se utiliza un fluido caloportador, el cual remueve el calor desde el absorbedor ubicado en el receptor y permite su transporte hacia la carga. Los resultados predichos por esta herramienta de computo están en buena concordancia con los experimentales demostrando su utilidad para obtener, a muy bajo costo, los parámetros de optimización del equipo, que en caso contrario debería hacerse mediante métodos de prueba y error, o bien por cálculos muy complejos que requerirían mucho tiempo y experiencia para llegar a resultados concluyentes.

### **INTRODUCCION**

El impulso en el uso de CCP en sistemas de aprovechamiento solar térmico en el rango de las temperaturas medias se debe principalmente a la mayor simpleza operacional, desde el punto de vista tecnológico, que conlleva su instalación y operación en contraposición a los sistemas del tipo Receptor Central o Disco Parabólico, que son los que se presentan como alternativa a los aquí planteados (Duffie y Beckman, 1991).

Si bien hay mucha experiencia y material publicado en lo que se refiere al uso de los CCP en grandes centrales de generación, no es tanto lo que existe referido al uso de estos concentradores en pequeñas aplicaciones del orden de los kWt.

Este hecho, motivo la idea de implementar un sistema concentrador de construcción sencilla, empleando aceite térmico como fluido caloportador para el manejo secundario de la energía, con el fin de utilizarlo para energizar un ciclo de refrigeración por absorción, en el cual es necesario obtener calor de una fuente de alrededor de los 200°C (Esquivel et al, 2006). Los detalles del diseño y construcción del CCP ensayado fueron presentados en un trabajo anterior (Dri et al, 2008).

En el presente trabajo se expone un modelo de simulación del CCP implementado utilizando TRNSYS como herramienta de análisis. Así mismo, se presenta la comparación de los resultados predichos por el modelo con datos experimentales simulación obtenidos de los ensayos a los que fue sometido el sistema concentrador cilindro parabólico con el fin de determinar su comportamiento en el rango de temperaturas útil establecido (Dri et al, 2009).

### **MATERIALES Y METODOS**

El sistema de captación de energía solar a ser simulado mediante TRNSYS se compone de un subsistema de reflexión de los rayos solares, el cual responde a una geometría del tipo cilindro parabólica, con eje focal ubicado a 0,75 m del vértice de la parábola, con una superficie de apertura de 2m<sup>2</sup>, en cuyo foco se encuentra ubicado el receptor. El receptor está compuesto por un absorbedor conformado por un tubo de cobre pintado con pintura negra de alta temperatura y de una cubierta de vidrio borosilicato. En la figura 1 se puede apreciar una fotografía del prototipo del sistema. Por el interior del absorbedor circula fluido térmico, el cual es responsable de la remoción del calor obtenido (Dri et al, 2008).

El equipo tiene instalados sensores de temperatura que permiten medir la temperatura de entrada al receptor ( $T_i$ ), la temperatura de salida ( $T_o$ ), la temperatura ambiente ( $T_a$ ), la radiación incidente ( $I$ ) y el caudal de fluido térmico, de forma de obtener los datos necesarios para conocer la ganancia de energía útil del sistema y su eficiencia.

Para llevar adelante la simulación se toman como datos de entrada la temperatura de entrada al receptor ( $T_i$ ), la temperatura ambiente ( $T_a$ ), la radiación incidente ( $I$ ), el caudal de fluido térmico y los parámetros físicos y dimensionales que describen el sistema, y se obtiene como resultado la temperatura de salida ( $T_o$ ).

---

<sup>1</sup> Ingeniero Electrónico - Maestrando en Maestría de Energías Renovables - Facultad de Ciencias Exactas. UNSa.



Figura 1: fotografía del prototipo del sistema simulado.

### MODELIZACIÓN CON TRNSYS.

El software de simulación TRNSYS permite modelar el sistema a partir de módulos estándar, denominados “Types”, los cuales representan subrutinas de cálculo (modelo matemático), que predicen el comportamiento de componentes específicos de un sistema dado, o bien permiten el manejo, procesamiento o visualización de los datos involucrados en la simulación.

Para la simulación de este sistema se utilizaron los siguiente types:

- Type 9: Lectura de datos medidos durante los ensayos
- Type 16: Procesador de datos de radiación solar
- Type 1: Modelo de concentrador solar
- Type 25: Salida de resultados en formato archivo de texto
- Type 65: Salida de resultados en pantalla

Además de la definición de los distintos Types, al comienzo de la descripción del modelo de simulación se establecen distintos parámetros, entre ellos, los nombres de los archivos con los datos de origen, resultados y registro de errores.

En la Figura 2 se puede observar un diagrama de flujo de datos en el programa, iniciándose en la lectura de datos desde archivo de texto, hasta la escritura de los resultados y visualización en pantalla.

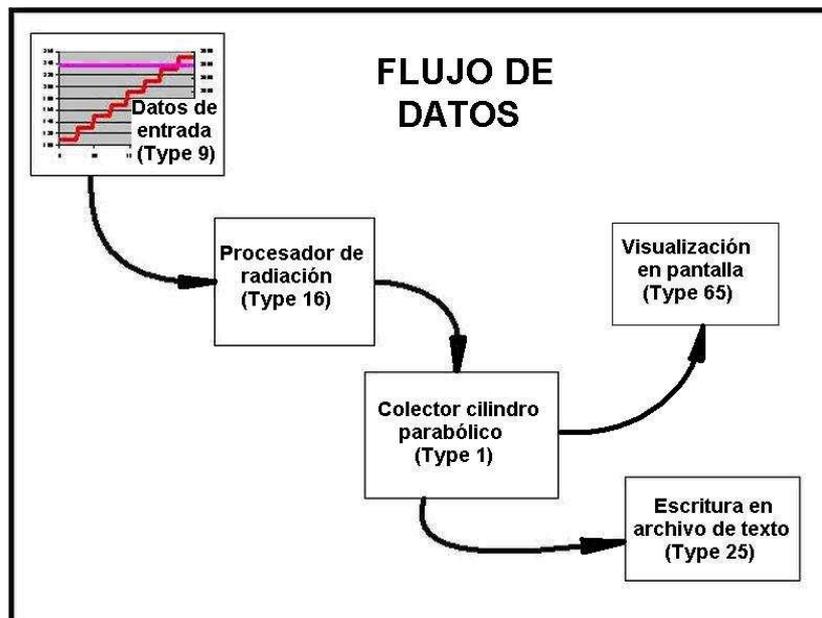


Figura 2: Diagrama de flujo de datos del programa de TRNSYS



### Bloque de Procesamiento de los datos de radiación solar

Este bloque permite obtener a partir de los valores medidos de radiación solar, latitud donde está ubicado el equipo, día del año y el tipo de seguimiento que se realiza, los valores de las distintas componentes de la radiación que inciden sobre el colector solar (radiación directa, difusa y total), y los ángulos de incidencia de la radiación, los cuales serán necesarios como datos de entrada del siguiente bloque, que es propiamente el bloque que modela el colector solar cilindro parabólico.

### Bloque de colector concentrador.

Mediante el bloque de simulación del colector concentrador es posible predecir el comportamiento del sistema a partir de los datos obtenidos del bloque anterior de procesamiento de datos de radiación solar y de los parámetros físicos y dimensionales del equipo.

Para definir este bloque se utilizaron los datos y magnitudes reales del prototipo ensayado, de forma que la simulación se ajuste al comportamiento real del equipo.

En la Tabla 1 se muestra un resumen de las dimensiones y valores correspondientes al colector concentrador prototipo de donde se tomaron los valores necesarios para definir este bloque. Estos valores fueron tomados por medición directa sobre el sistema ensayado o de la información del fabricante de los materiales (particularmente en el caso de la lámina reflectante, cubierta de vidrio y fluido térmico utilizado). Para otros parámetros, como es el caso de la absorptancia del tubo absorbedor, fueron tomados valores típicos indicados en la bibliografía (Duffie J. and W. A. Beckman. (1991)).

	Descripción	Valor	Unidad
$r_i$	Radio interior del tubo auxiliar	0,00233	m
$r_o$	Radio exterior del tubo auxiliar	0,00313	m
$r_{ri}$	Radio interior del tubo absorbedor	0,0117	m
$r_{ro}$	Radio exterior del tubo absorbedor	0,0127	m
$r_{ci}$	Radio interior de la cubierta	0,0215	m
$r_{co}$	Radio exterior de la cubierta	0,0250	m
$L$	Longitud del receptor	1,5000	m
$A_{ri}$	Área interior del tubo absorbedor	0,1103	m <sup>2</sup>
$A_{ro}$	Área exterior del tubo absorbedor	0,1197	m <sup>2</sup>
$A_{ci}$	Área interior de la cubierta	0,2026	m <sup>2</sup>
$A_{co}$	Área exterior de la cubierta	0,2356	m <sup>2</sup>
$L'$	Longitud del espejo	1,2400	m
$L''$	Ancho del espejo	1,7000	m
$A_a$	Área de apertura del concentrador	2,1000	m <sup>2</sup>
$n_{\text{glass}}$	Índice de refracción del vidrio (borosilicato)	1,4700	
$l$	Espesor del vidrio de la cubierta	0,0035	m
$\xi_c$	Emitancia infrarroja de la cubierta	0,8500	
$\zeta$	Transmitancia del vidrio de la cubierta	0,9200	
$\rho_c$	Reflectancia del vidrio de la cubierta	0,0800	
$K$	Coefficiente de extinción del vidrio de la cubierta	4,0000	1/m
$K_{\text{glass}}$	Conductividad térmica del vidrio (borosilicato)	1,2000	W/m.°C
$C_{p\text{glass}}$	Calor específico del vidrio de la cubierta	1,1200	Kj/Kg.°C
$\rho$	Reflectancia del espejo del concentrador	0,8500	
$\alpha$	Absortancia del tubo absorbedor	0,9000	
$\xi_r$	Emitancia infrarroja del absorbedor	0,8700	
$\beta$	Angulo de inclinación del concentrador respecto del plano horizontal		°
$K_{\text{air}}$	Conductividad térmica del aire	0,0257	W/m.°C
$\rho_{\text{air}}$	Densidad del aire (20°C)	1,2000	Kg/m <sup>3</sup>
$\mu_{\text{air}}$	Viscosidad dinámica del aire (20°C)	1,82E-05	Kg/m.s
$\sigma$	Constante de Stefan-Boltzmann	5,67E-08	W/m <sup>2</sup> .K <sup>4</sup>
$v$	Velocidad del viento		m/s
$D_h$	Diámetro hidráulico interior del tubo absorbedor	0,0172	m
$K_{\text{co}}$	Conductividad térmica del cobre	400,00	W/m.°C
$m$	Flujo másico del fluido térmico		Kg/s

Tabla 1: Valores de dimensiones y constantes utilizados para describir el prototipo de colector concentrador.

Como resultado del bloque se obtiene la temperatura de salida del fluido térmico y la potencia obtenida por el sistema a partir de la radiación solar recibida.

### **Bloque para la creación del archivo de datos de salida**

Por medio de este bloque generamos un archivo de texto conteniendo los datos de salida del bloque de simulación del colector concentrador.

Como este archivo de texto es genérico, se pueden incluir otras variables utilizadas en los cálculos, inclusive variables de entrada al proceso, que permitan agilizar luego la toma de estos datos por parte de otro software de cálculo que permita el tratamiento de los mismos.

### **Bloque para la impresión de datos de salida en pantalla**

Este bloque permite visualizar en pantalla los datos seleccionados, y valen las apreciaciones dadas para el bloque anterior.

Permite hacer una evaluación rápida de los resultados de la simulación y hacer ajustes en los parámetros del sistema en pro de su optimización o depuración del programa mismo.

### **DATOS DE ENTRADA Y RESULTADOS OBTENIDOS.**

Como se ha mencionado anteriormente los datos de entrada se deben proporcionar mediante un archivo de texto. Este archivo debe tener un arreglo de filas y columnas en los que cada columna se corresponde con una variable de entrada y las distintas filas establecen el valor de esta variable en función del tiempo.

Más concretamente, este archivo deberá tener la estructura de la Tabla 2, en la cual se muestran los datos de tiempo (en horas), temperatura de entrada, temperatura de salida, temperatura ambiente y radiación solar respectivamente en las cinco columnas.

11.10000007	83.4	81.2	18.7	3357.8
11.11666674	85.9	83.3	18.6	3339.7
11.13333341	88.5	85.8	18.6	3355.2
11.15000008	90.5	87.8	18.5	3350.2
11.16666675	90.7	89.1	18.6	3372.6
11.18333342	90.7	106.7	19.0	3384.3
11.20000009	90.7	111.0	18.9	3365.4
11.21666676	90.8	113.0	19.2	3372.1
11.23333343	90.4	114.1	19.1	3373.3
11.25000010	90.5	116.3	19.4	3362.9
11.26666677	90.2	115.2	19.3	3363.0
11.28333344	90.3	115.9	19.4	3357.4
11.30000011	90.9	116.5	19.7	3381.4
11.31666678	90.9	115.4	19.3	3392.7
11.33333345	90.7	116.3	19.0	3386.3
11.35000012	92.0	114.8	19.0	3406.3

*Tabla 2: Estructura del archivo de datos de entrada.*

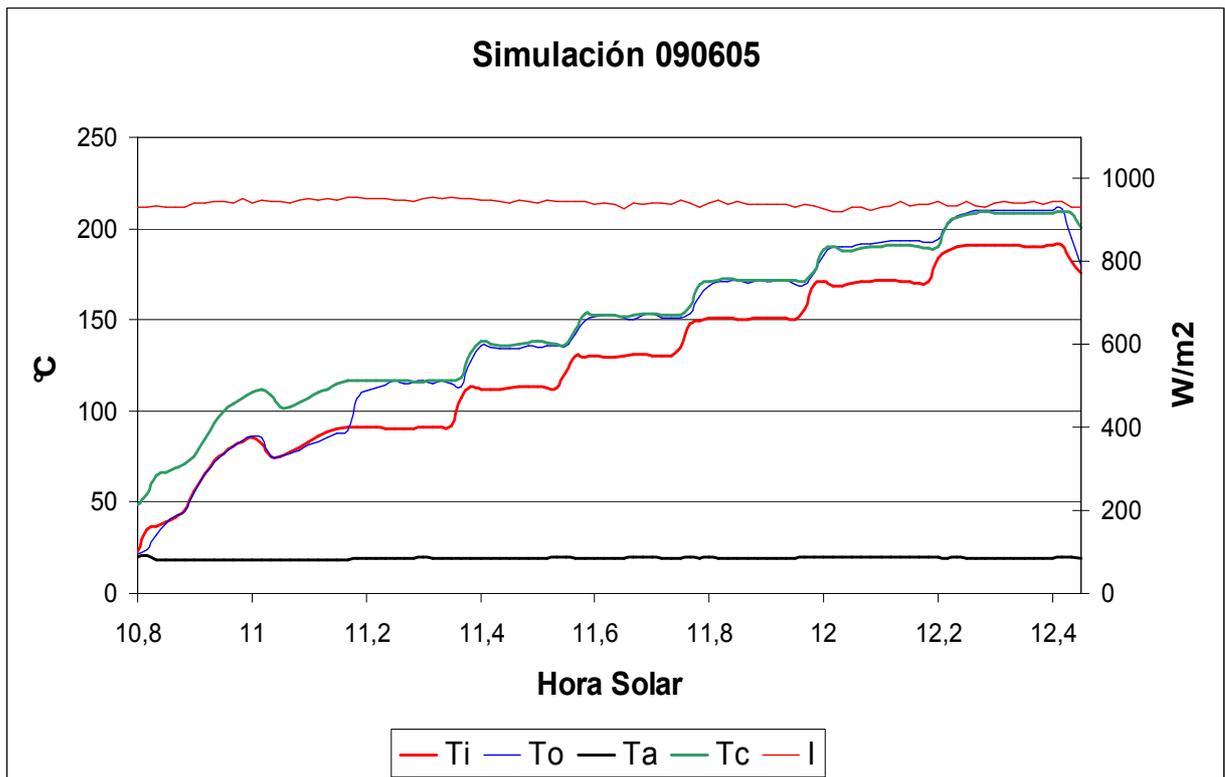


Figura 3: Resultado de la simulación del sistema

Los resultados obtenidos pueden tenerse en un archivo con un formato similar al anterior, o bien mediante gráficos. La Figura 3 muestra el gráfico obtenido de la simulación del sistema de captación de energía solar con concentrador cilindro parabólico.

Los datos de entrada para esta simulación fueron obtenidos mediante medición durante un ensayo del equipo realizada el día 05 Junio de 2009, aproximadamente entre la hora 10:45 y la hora 12:30 (hora solar)

En el gráfico se muestra en línea verde la temperatura de salida calculada mediante la simulación (Tc), y a su vez se grafica en línea azul la temperatura de salida (To) medida durante el ensayo del equipo. Se puede apreciar que al principio de la medición estas curvas no coinciden, debiéndose esto a que el enfoque del concentrador no se produjo sino hasta un tiempo después de iniciado el ensayo, momento en el cual se puede observar un crecimiento brusco de la temperatura de salida, para luego ubicarse y mantenerse muy próxima a los valores obtenidos mediante la simulación.

Durante este ensayo, la temperatura de entrada al sistema (Ti) se fue variando en escalones de alrededor de 20°C observándose, que los valores de temperatura calculados mediante la simulación, mantienen una muy buena correspondencia con los valores reales medidos.

Una vez ajustado el modelo, la utilidad del mismo radica en que permite ser utilizado para predecir el comportamiento del concentrador. Para ello, basta alimentar el modelo con datos de estaciones meteorológicas para obtener la respuesta estimada del mismo ante situaciones más generales.

En la figura 4 se muestra una simulación de 4 días de duración donde se han tomados valores de radiación solar (I) para mediados del mes de Enero en la ciudad de Corrientes. En este caso particular, se estableció que la temperatura de entrada (Ti) al equipo se incrementa a razón de 30°C por día, comenzando con una temperatura de entrada de 150°C. El trazo de color verde muestra la temperatura de salida esperada según estas condiciones. Esto permite determinar hasta que temperatura de trabajo el sistema es capaz de entregar energía útil.

En la Figura 5 se muestra un gráfico en el que se ha realizado la simulación del sistema variando la absortancia del tubo absorbedor, lo cual afecta la temperatura de salida calculada (Tc). En este caso se ha corrido la simulación con absortancias de 0.7, 0.8, 0.9 y 0.95, obteniéndose, como era de esperarse, temperaturas de salida crecientes a medida que se incrementa el valor de la absortancia.

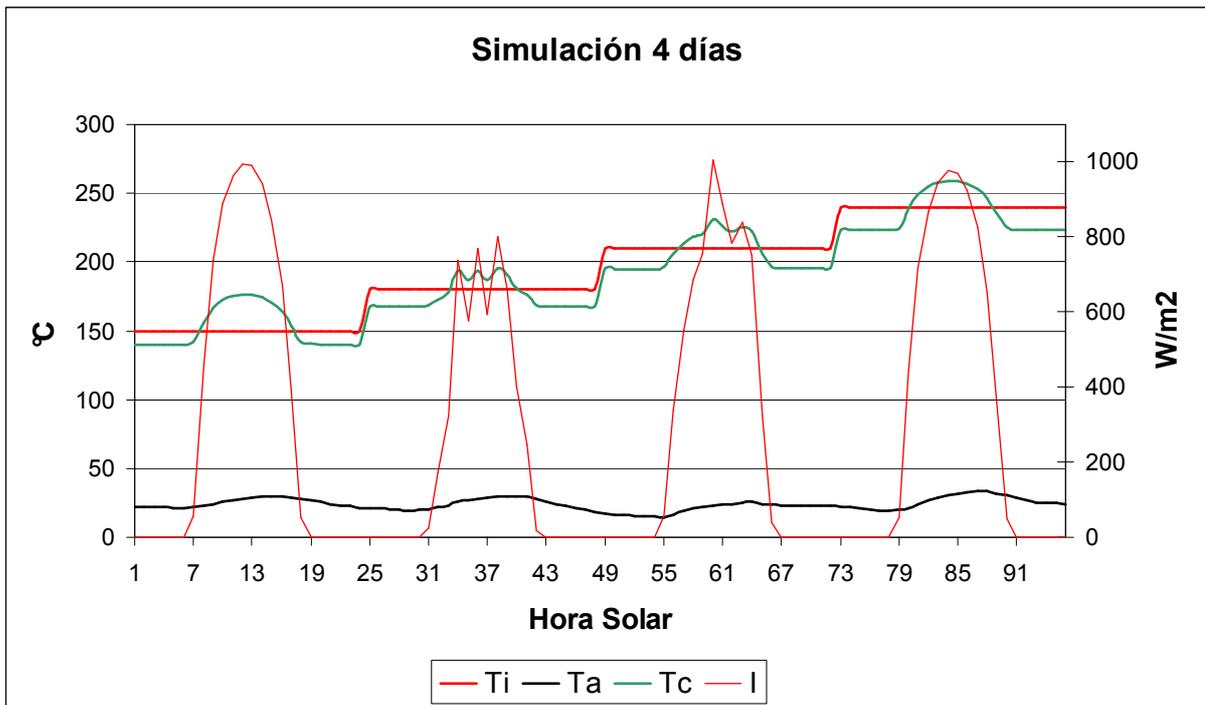


Figura 4: Resultado de la simulación del sistema con datos meteorológicos.

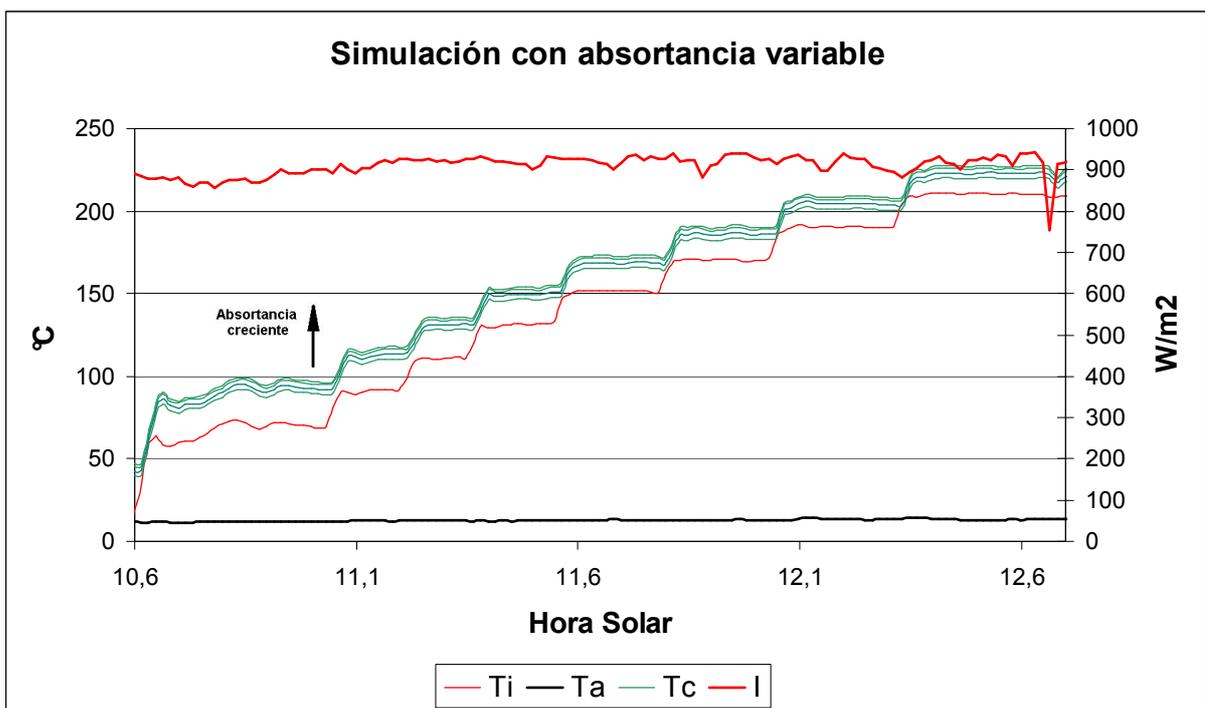


Figura 5: Simulación del sistema variando la absorptancia del tubo absorbedor

## CONCLUSIONES

Al lograrse un modelo de simulación que se ajusta al comportamiento real del sistema ha sido posible analizar diferentes alternativas de configuración del mismo, especialmente en lo que se refiere a características de los materiales constructivos y su impacto en el rendimiento del colector, tales como el uso de recubrimientos selectivos en el absorbedor, variaciones en las propiedades del vidrio de la cubierta, reflectancia del espejo, etc.

Esta herramienta da la posibilidad de obtener, a muy bajo costo, los parámetros de optimización del equipo, que en caso contrario debería hacerse mediante métodos de prueba y error, o bien por cálculos muy complejos que requerirían mucho tiempo y experiencia para llegar a resultados concluyentes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Duffie J. and W. A. Beckman. (1991). **Solar Engineering of Thermal Processes**. Second Edition. Published by J. Willey & Sons Inc., New York, USA.
- Esquivel, O. et al. (2006). **Refrigeración solar mediante ciclo de amoníaco-agua acoplado a un concentrador solar**. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Resumen T-058. Universidad Nacional del Nordeste. [www.unne.edu.ar/Web/cyt/cyt2006/07-Tecnologicas/2006-T-058.pdf](http://www.unne.edu.ar/Web/cyt/cyt2006/07-Tecnologicas/2006-T-058.pdf)
- Fabio Dri, Arturo Busso, Marcelo Gea (2008). Diseño De Un Concentrador Solar Cilindro Parabólico Con Fluido Caloportador. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 12. Nota Técnica.
- Fabio Dri, Arturo Busso, Marcelo Gea (2009). ENSAYOS DE UN CONCENTRADOR SOLAR CILINDRO PARABÓLICO CON FLUIDO CALOPORTADOR. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 13.

**ABSTRACT:** This work presents the procedure and results obtained in the simulation by means of the TRNSYS software of a solar trough concentrator collector. The system has been designed to work with a heat transfer fluid to transport the thermal energy. The final purpose is having a heat source with temperatures between 150°C and 250°C and a useful power below 5kW, to be used in an absorption refrigeration cycle. The results obtained by the simulation agree with experimental data, demonstrating the utility of the method for tuning parameters of the system at very low cost, which would otherwise have to be done by trial and error methods, or very complex calculations that require much time and expertise to reach conclusive results.

**Keywords:** Solar energy, simulation, technology, parabolic trough concentrator, optimization, absorber, refrigeration.