

ENSAYOS DE UN CONCENTRADOR SOLAR CILINDRO PARABÓLICO CON FLUIDO CALOPORTADOR

Fabio Dri¹ - Arturo Busso², Marcelo Gea³

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

²GER - Grupo en Energías Renovables. FaCENA - UNNE

³INENCO – CONICET - UNSa.

RESUMEN: En el siguiente trabajo se muestran los resultados obtenidos de la medición del comportamiento un sistema de captación de energía solar mediante 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.

Palabras clave: energía solar, tecnología, concentradores cilindro parabólico, absorbedor, refrigeración.

INTRODUCCION

A nivel internacional, existen experiencias exitosas del uso de Concentradores Cilindro Parabólicos (CCP) en sistemas de aprovechamiento solar térmico en el rango de las temperaturas medias. Entre ellas, se pueden mencionar las nueve plantas SEGS (Solar Electricity Generating Systems) actualmente en operación en California, con más de 2,5 millones de m² de concentradores y una capacidad de generación de 354 MWe (FLP Energy, 2008), una planta de generación de 0,5 MW_E instalada en España en el año 1981 y las investigaciones en el campo de generación eléctrica que se están llevando a cabo en la Plataforma Solar de Almería (Cabrera et al, 2006; Min. Ed. España, 2008).

El impulso en el uso de CCP se debe principalmente al 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 kW_T.

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 exponen resultados 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.

MATERIALES Y METODOS

El sistema 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 (A_a) de 2,08 m², 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, mientras que en la Figura 2 se muestra un detalle de los componentes del receptor y las dimensiones de cada uno de ellos.

Entre la cubierta y el absorbedor existe una cámara anular de aire mientras que en el interior del absorbedor circula el fluido caloportador. El tubo auxiliar cumple la función de transportar el aceite hasta el extremo del absorbedor, ya que, tanto el ingreso como la salida del aceite se encuentran en un mismo extremo del receptor. Para mantener la separación entre el tubo auxiliar y el absorbedor, se colocaron espaciadores tal como puede apreciarse en la Figura 3.

Las mediciones de temperatura fueron realizadas mediante termorresistencias Pt100 acopladas a transductores programables Phoenix Contact MCR-T-UI-E-NC, los cuales entregan una señal escalada en el rango estándar de 0-10V a un equipo adquisidor de datos National Instruments NI USB-6215. La exactitud en la medición de temperatura se verificó introduciendo las termorresistencias en un baño termostático de laboratorio. A su vez, la determinación del mejor valor de cada punto de

¹ Ingeniero Electrónico - Maestrando en Maestría de Energías Renovables - Facultad de Ciencias Exactas. UNSa.

medición se realizó haciendo un promedio de 50 mediciones consecutivas, las cuales se realizaron con una frecuencia de 1Hz.

Las mediciones de caudal se realizaron por aforo en un recipiente previamente contrastado mediante control de peso, en balanza de laboratorio, utilizando como líquido de referencia agua destilada. Si bien se verificó el caudal de la bomba en cada punto de medición (escalón de temperatura), al utilizarse una bomba de engranajes, el caudal permaneció casi constante en todo el rango de temperaturas del ensayo, observándose variaciones mínimas debidas a la pérdida de eficiencia de la bomba con el aumento de la temperatura y la consecuente disminución de la viscosidad del aceite.



Figura 1.- Fotografía del concentrador

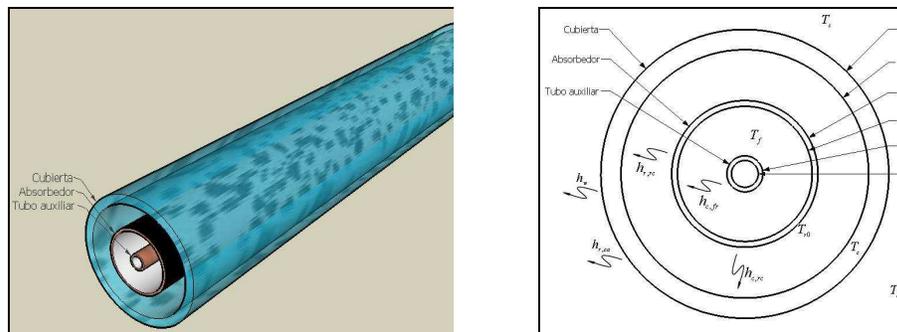


Figura 2.- Detalle de los componentes del receptor y sus dimensiones

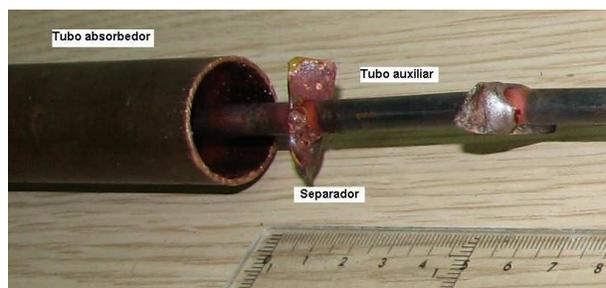


Figura 3.- Detalle de los espaciadores utilizados entre el tubo auxiliar y el absorbe

Para lograr que la temperatura de entrada al receptor se mantenga constante en cada punto de medición y se pudiera analizar el sistema en estado estacionario, se instaló una resistencia de calefacción que permitió controlar dicha temperatura de entrada por medio de un lazo cerrado de control tipo PID. Los distintos valores de temperatura de entrada utilizados en el análisis se lograron

modificando el punto de seteo del controlador, mediante lo cual se variaba la energía aportada por la resistencia al fluido térmico hasta conseguir la temperatura deseada.

La determinación de las pérdidas de calor se realizó en condiciones controladas ubicando el equipo en un recinto cerrado y manteniendo constante la temperatura del ambiente donde se realizó el ensayo. Bajo estas condiciones se midieron las temperatura de entrada (T_i), de salida (T_o), la temperatura ambiente (T_a) y el caudal de fluido térmico para distintas temperaturas de entrada.

Posteriormente, se ubicó el equipo en el exterior, enfocando la radiación incidente sobre el receptor y midiendo la temperatura de entrada al receptor (T_i), la temperatura de salida (T_o), la temperatura ambiente (T_a), la radiación incidente (G_T) 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.

MEDICIONES DE PERDIDAS DE CALOR EN RECINTO CERRADO.

Se realizaron diferentes ensayos sobre el sistema concentrador a fin de obtener datos que permitan determinar ganancias y pérdidas de calor en el mismo y evaluar su eficiencia.

Para estos ensayos se utilizó un calefactor de fluido caloportador con control de temperatura a fin de tener una temperatura de entrada al receptor constante y controlada. La temperatura de entrada se varió en escalones de 20°C desde temperatura ambiente hasta 180 °C de manera de poder determinar el comportamiento del conjunto para distintas temperaturas de entrada. El tiempo de permanencia en cada escalón de temperatura fue el suficiente para que el sistema alcance el régimen estable de trabajo.

Los resultados de una de las mediciones realizadas se pueden observar en la Figura 4. En la misma se observa la evolución de la temperatura de entrada y la temperatura de salida así como la diferencia creciente entre ellas debida a las mayores pérdidas térmicas del receptor a medida que aumenta la temperatura de trabajo del sistema.

En principio, en virtud de que el sistema se encuentra en un ambiente a temperatura constante y no recibe energía de ninguna otra fuente más que del calefactor, se asume que toda la energía disipada se producirá por pérdidas térmicas hacia el ambiente y bajo condiciones de aire estanco.

A partir de los resultados de estas mediciones se determinó las pérdidas térmicas del sistema para las distintas temperaturas de entrada haciendo uso de la siguiente expresión:

$$Q = mC_p(T_i - T_o) \tag{1}$$

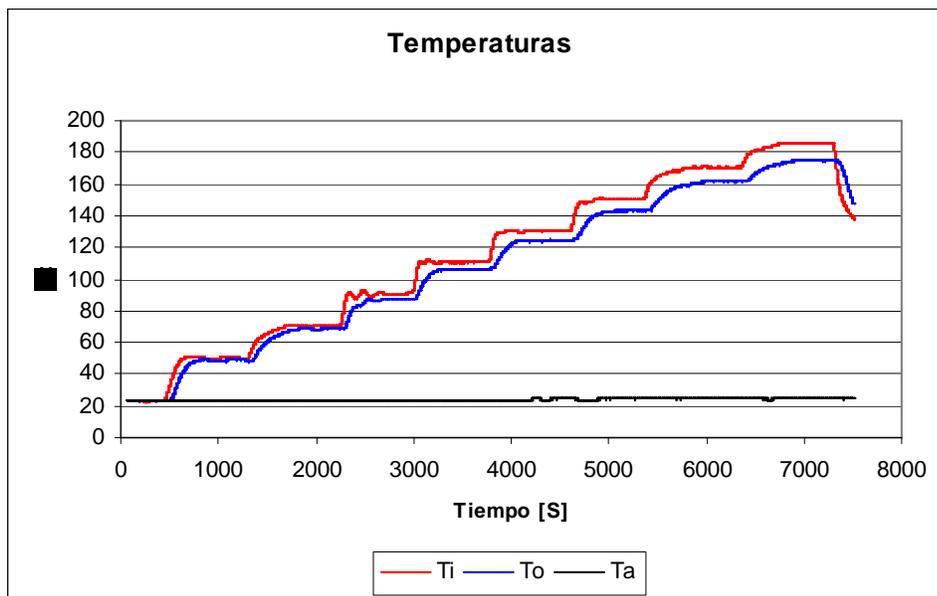


Figura 4- Evolución de temperatura de entrada y salida del absorbedor y temperatura ambiente durante el ensayo en ambiente controlado.

En la Figura 5 se muestra el valor del ritmo de pérdida de energía calculado aplicando la ec.[1] graficado en función de la diferencia entre la temperatura media en el receptor (T_m) y la temperatura ambiente (T_a). Superpuesta se presenta la recta de ajuste junto con su ecuación.

Esta medición de pérdidas de energía en condiciones controladas permitió luego, al realizar un estudio analítico del sistema, determinar las pérdidas globales del sistema, y de allí los diferentes coeficientes de transferencia térmica del mismo, pudiendo desarrollar en base a los mismos un modelo capaz de predecir el comportamiento del equipo.

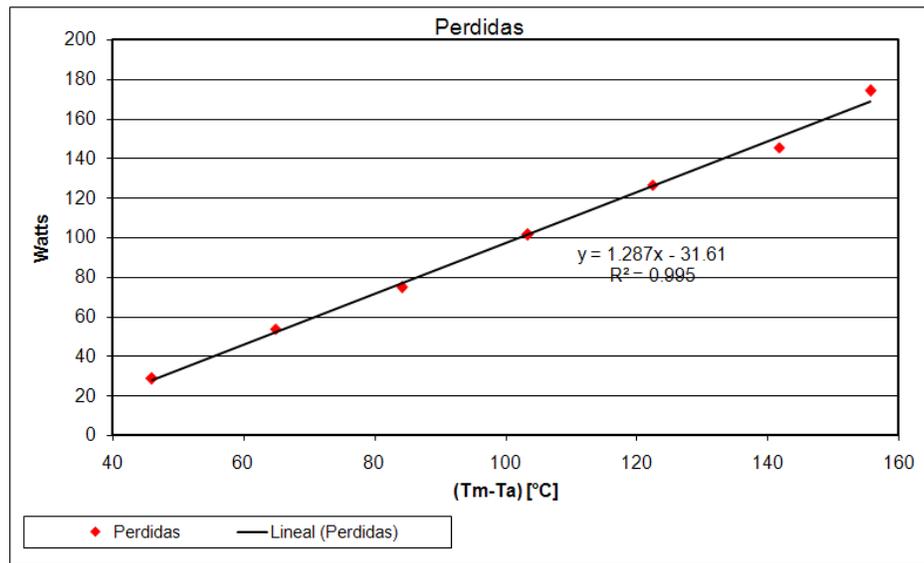


Figura 5.- Ritmo de pérdida de energía en el receptor en función de la diferencia de temperatura entre su temperatura media (T_m) y la temperatura ambiente (T_a)

$$Q = 1,29(T_m - T_a) - 31,6 \quad \text{con} \quad T_m = (T_i + T_o) / 2$$

MEDICIONES CON RADIACIÓN INCIDENTE

Durante las mediciones con radiación incidente también se utilizó un sistema de calefacción con control de temperatura de forma de mantener constante la temperatura de entrada durante ciertos períodos, haciendo evolucionar esta temperatura en escalones de 20°C. Se utilizó este procedimiento para poder analizar el sistema en estado estacionario durante los períodos mencionados. La Figura 6 muestra la evolución de las distintas variables medidas.

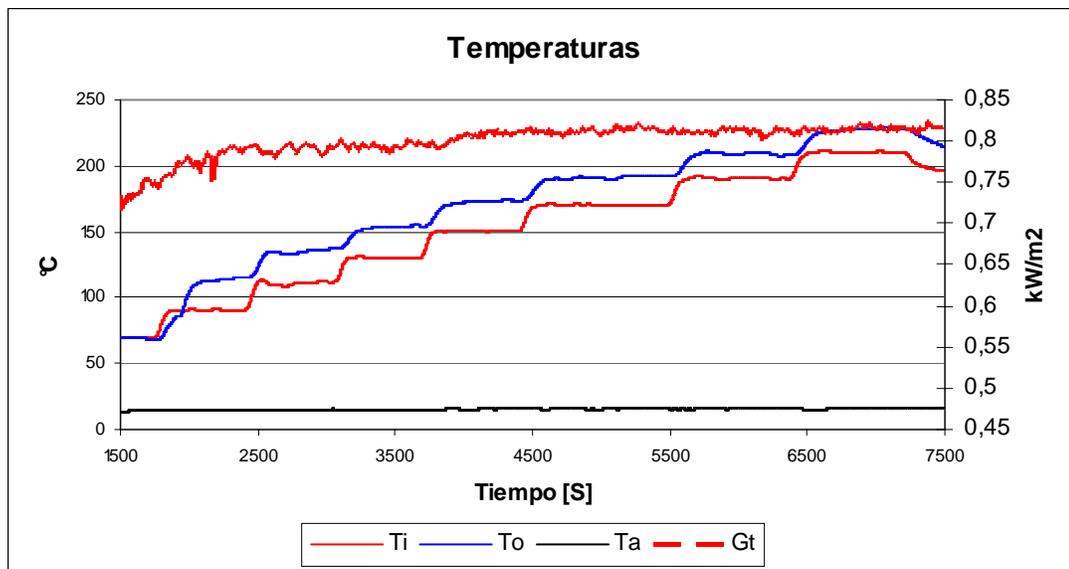


Figura 6: Evolución de temperatura de entrada y salida del absorbedor y temperatura ambiente durante el ensayo con aporte de radiación solar.

Con estos resultados se determinó la ganancia de energía útil del sistema mediante la siguiente relación:

$$Q_u = mC_p(T_0 - T_i) \quad [2]$$

Por otro lado, conociendo el área de apertura del concentrador y la intensidad de la radiación solar incidente, se determina el rendimiento a partir de la ec.[3].

$$\eta = \frac{Q_u}{A_a G_T} \quad [3]$$

Los resultados se presentan en la Figura 7. Superpuesta (línea negra) se presenta la recta de ajuste representada por la siguiente relación lineal:

$$\eta = 0,63 - 1,32 \frac{(T_i - T_a)}{G_T} \quad [4]$$

Desarrollando la expresión para el rendimiento del sistema ec.[5] y conociendo las dimensiones y parámetros físicos del mismo, estamos en condiciones de determinar, por comparación con la ec.[4] las distintas variables que rigen su comportamiento.

$$\eta = F_R \cdot (\tau\alpha\rho) \cdot \left(\frac{G_{Tb}}{G_T} \right) - F_R \cdot \frac{A_{r0}}{A_a} \cdot U_L \cdot \frac{(T_{fi} - T_a)}{G_T} \quad [5]$$

En el primer término de la ec.[5], la eficiencia del sistema está afectada por la relación entre energía radiante directa y la total, debido a que el concentrador solo es capaz de captar radiación directa y la eficiencia se deberá calcular tomando como referencia la energía total recibida.

Tomando las condiciones de cielo despejado, donde la radiación directa representa la mayor parte de la radiación total (condición en la que fueron realizados los ensayos), tendremos que:

$$F_R \cong 0,9 \quad U_L \cong 25W / m^2 \cdot ^\circ C$$

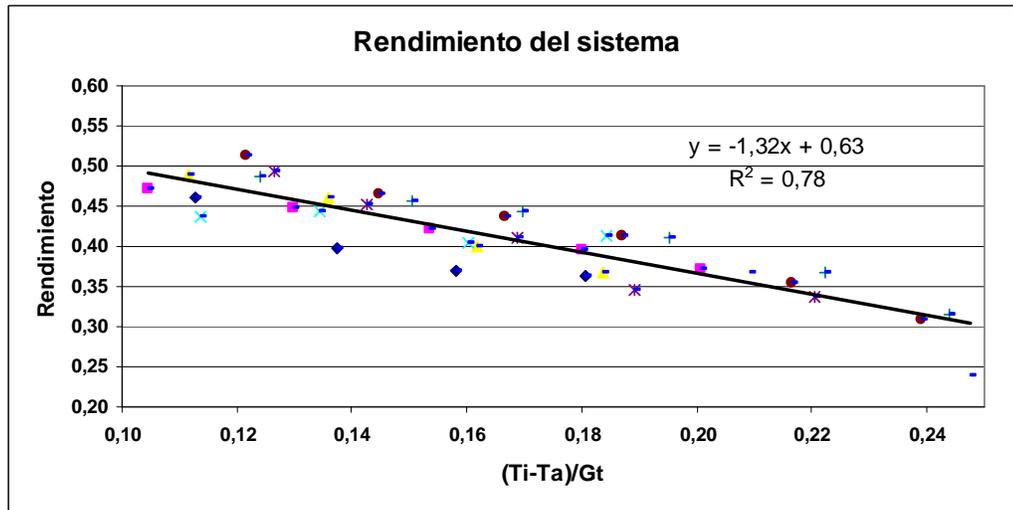


Figura 7: Curva de rendimiento del sistema.

SIMULACION DEL SISTEMA

Para corroborar los resultados obtenidos con las mediciones y cálculos, se realizó una simulación utilizando el software TRNSYS. En el modelo construido se empleó el Type 1 Solar Collector configurado para modo de trabajo 4 como CPC

Collector. Los parámetros requeridos por el modelo; área total de colección, factor de eficiencia de aleta, coeficiente global de pérdida, entre otros, son los correspondientes al concentrador ensayado.

Las simulaciones se hicieron durante seis (6) días consecutivos, manteniendo constante la temperatura de entrada al colector durante cada uno de los días, e incrementándola en 20°C para cada día consecutivo. De esta forma, tomando los resultados de la simulación durante las horas del mediodía solar, se obtuvieron las mismas condiciones en las cuales fueron realizados los ensayos del equipo.

En la Figura 8 se pueden apreciar las gráficas con los resultados de la simulación. Las gráficas muestran solo los periodos estacionarios en torno al mediodía solar, periodos para los cuales podemos efectuar una comparación directa con los resultados experimentales mostrados en la Figura 6. Se observa además que, a medida que la temperatura del sistema aumenta, la potencia útil disminuye debido a las mayores pérdidas térmicas al entrono.

Como se puede observar en ambos gráficos, la predicción obtenida a través de la simulación logra reproducir fielmente el comportamiento real del equipo.

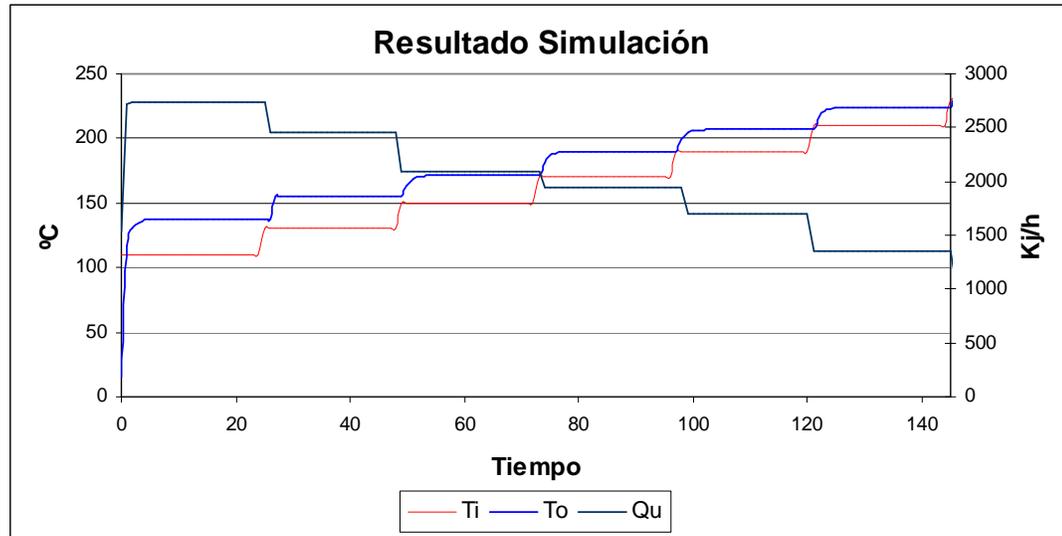


Figura 8: Resultados de la simulación del sistema en TRNSYS.

La concordancia entre los resultados de la simulación y los experimentales permite establecer que el modelo planteado reproduce de manera satisfactoria el sistema ensayado y puede emplearse para analizar situaciones y escenario de mas largo plazo.

CONCLUSIONES

Las mediciones realizadas permitieron determinar su curva de eficiencia y deducir el coeficiente de remoción de calor y coeficiente global de pérdida.

Los parámetros característicos obtenidos fueron utilizados en el modelo de simulación planteado en TRNSYS con resultados alentadores. La concordancia del comportamiento obtenido a partir de la simulación con los datos experimentales muestra que el modelo puede ser utilizado para analizar la respuesta del sistema ante diferentes escenarios de trabajo.

Se debe mencionar que estos son resultados preliminares ya que aun se están dando los últimos ajustes al CCP para luego comenzar un monitoreo sistematizado de todas las variables involucradas en el proceso. Este estudio permitirá evaluar la eficiencia del sistema y su posibilidad concreta de ser utilizado para energizar un ciclo frigorífico de absorción de amoniaco-agua.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bejan A. (1995). **Convection Heat Transfer**. Second Edition. Published by J. Willey & Sons Inc., New York, USA.
- Cabrera Jiménez, J.A. et al (2006). **Energía Solar Térmica de Concentración. Estado actual. Actores del sector.** Prospectiva y Vigilancia Tecnológica. CIEMAT. Ministerio de Educación y Técnica. España. http://www.flabeg.com/download/03_download/publ_14_EnergiaSolarTermicaDeConcentration.pdf
- 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
- 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.
- Forrinstall R. (2003). Heat Transfer Analysis and Modeling of a Parabolic Trough Solar Receiver Implemented in Engineering Equation Solver. National Renewable Energy Laboratory (NREL) Technical Report. Golden, Colorado, USA.
- FPL Energy. (2008). **Solar Electric Generating System**. http://www.fplenergy.com/portfolio/pdf/solar_factsheet.pdf. Fecha de consulta: 03/2008
- Ministerio de Educación y Técnica. España (2008). **Plataforma Solar de Almería**. www.psa.es/webesp/index.html. Fecha de consulta: 07/2008
- Tabor H. (1955). Solar Energy Collector Design, With Special Reference to Selective Radiation,” Bull. Res. Council Israel, Vol. 5C, pp. 5–27. National Physical Laboratory of Israel, Jerusalem.

ABSTRACT: In this work the results of several tests carried out on a parabolic trough concentrator (CPC) system with linear focus are presented. This system has been designed to work with a heat transfer fluid as means to transport the thermal energy with the purpose of 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.

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