

EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR DE USO INDUSTRIAL ASISTIDO CON ENERGÍA SOLAR CONCENTRADA

Rodolfo Stoll¹, Jorge Daghero¹, Ezequiel Podversic¹

¹Grupo de Energía Solar. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Río Cuarto.
Ruta 36. Km 601. X5804BYA – Río Cuarto. Prov. de Córdoba
Tel. 0358-46768842 e-mail: rstoll@ing.unrc.edu.ar

RESUMEN: En este trabajo se evalúa el desempeño de un sistema de generación de vapor de baja entalpía para uso industrial. El sistema incluye un circuito térmico acoplado a un captador de energía solar mediante un concentrador solar tipo cilíndrico parabólico. Además, cuenta con un sistema auxiliar de energía eléctrica que permite mantener una temperatura constante en el fluido térmico compensando, de esta manera, las fluctuaciones de la radiación solar incidente. Se realizaron ensayos experimentales de este sistema conectado al concentrador solar en el interior utilizando solo la energía proveniente del sistema auxiliar de energía con el fin de evaluar los saltos térmicos en cada uno de sus componentes y la capacidad de generación de vapor. Con el sistema aislado, el fluido térmico alcanzó una temperatura del orden 135 °C al ingreso del generador de vapor produciendo un salto térmico en el intercambiador de calor del generador de vapor de 15 °C. También se estudió el tiempo de respuesta del sistema que permitirá determinar el comportamiento del concentrador solar en un ensayo de exterior. El caudal de vapor generado en estado estacionario de este sistema fue de 1,0 kg/h y la eficiencia térmica global fue del 45 %.

Palabras clave: Energía térmica, concentrador cilíndrico parabólico, circuito térmico, producción de vapor.

INTRODUCCIÓN

La demanda de energía térmica representa casi la mitad del consumo global de energía. Los procesos industriales son responsables del 53 % de la energía consumida como calor mientras que otro 44 % se utiliza para la calefacción y agua caliente en edificios y en menor medida para cocinar. El resto se utiliza en la agricultura, principalmente para la calefacción de invernaderos. El creciente interés por el uso de energías renovables para cubrir esta demanda de energía se debe no sólo a consideraciones ambientales, sino también a la grave preocupación por la seguridad energética en el contexto de la actual crisis energética mundial. (IEA, 2022).

La utilización de la energía solar térmica se produce de tres maneras: baja temperatura (< 80 °C), media temperatura (80–250 °C) y alta temperatura (> 250 °C). Las aplicaciones de baja temperatura que utilizan sistemas de calefacción solar son relativamente maduras (Hansen & Vad Mathiesen, 2018). Por otro lado, las aplicaciones de alta temperatura que utilizan la tecnología de concentración solar de potencia (CSP) son para la generación de energía eléctrica (Behar, 2018). Las aplicaciones de temperatura media son utilizadas para generar calor solar en procesos industriales (SHIP: Solar Heat for Industrial Processes). Es un sector que ha mostrado en los últimos años un crecimiento significativo. En 2023 se instalaron en todo el mundo al menos 116 nuevas plantas SHIP con una capacidad de 94 MWth, triplicando la capacidad instalada en comparación con 2022. El número total de plantas SHIP es de aproximadamente 1.200 sistemas, con una superficie colectora de 1,4 millones de metros cuadrados y una capacidad de 951 MWth (Weiss & Spörk-Dür, 2024). Entre los proyectos destacados se incluye una

planta de producción de envases en Turnhout, Bélgica en donde se ha instalado la mayor planta termosolar de Europa. Esta planta utiliza concentradores cilíndricos parabólicos con una producción pico de 2,7 GW de potencia térmica (Azteq, 2024) y seis módulos de almacenamiento térmico con una capacidad de 5 MWh de energía térmica (Energynest, 2024). Este proyecto es uno de los ejemplos donde la tecnología de concentración solar se une al uso de sistemas de almacenamiento de energía (TES: Thermal Energy Storage) resolviendo de esta manera el desafío tecnológico de almacenar la energía que proviene de una fuente intermitente como lo es la energía solar y así poder suministrarla a demanda.

En Argentina, recientemente se han desarrollado herramientas numéricas para la simulación del comportamiento de sistemas de concentración solar. Para la validación experimental de un modelo propuesto por investigadores del INENCO en la Universidad Nacional de Salta se empleó un CCP con un área de apertura de 11 m² y un tubo receptor 6 m de longitud (Aparicio et al, 2023). En el INENCO también se ha desarrollado un modelo térmico mediante el programa Simusol. Para este modelo tomaron como caso de estudio un CCP con un área de apertura de 5,41 m² (Dellicompagni y Linares, 2023). Así mismo, el INENCO ha desarrollado, construido y ensayado un CCP con fines educativos para calentar agua. Las mediciones experimentales sobre este equipo permitieron obtener agua a 70 °C con una eficiencia global pico del 30 % (Dellicompagni et al. 2023)

El Grupo de Energía Solar (GES) de la Universidad Nacional de Río Cuarto ha estado investigando la tecnología de concentración solar desde el año 2013 enfocándose particularmente en el desarrollo de un prototipo de CCP destinado a la generación de vapor para uso industrial. La primera etapa consistió en el diseño del prototipo (Daghero et al, 2013), su construcción y evaluación experimental del rendimiento térmico (Daghero et al, 2015). Posteriormente se desarrolló un circuito térmico para transmitir la energía solar captada por el CCP a un generador de vapor de agua (Garnica et al, 2018). Para ello se seleccionó como fluido caloportador un aceite nafténico de grado alimenticio (Paratherm, 2023). Debido al bajo rendimiento térmico global obtenido por problemas asociados a la disipación de calor en el circuito térmico, se decidió realizar una modificación del sistema con el fin de mejorar la aislación térmica del mismo. En la nueva versión se incorporaron en el tanque pulmón del sistema, resistencias eléctricas halógenas para asegurar la estabilidad de la temperatura ante fluctuaciones de la radiación solar incidente. La performance de este sistema modificado funcionando en circuito cerrado (sin acoplar al CCP) se evaluó con éxito. El fluido térmico alcanzó una temperatura del orden 150°C al ingreso del generador de vapor. El caudal de vapor generado en estado estacionario fue de 1,3 kg/h con lo cual la eficiencia térmica global fue del 60 %. (Stoll et al, 2023)

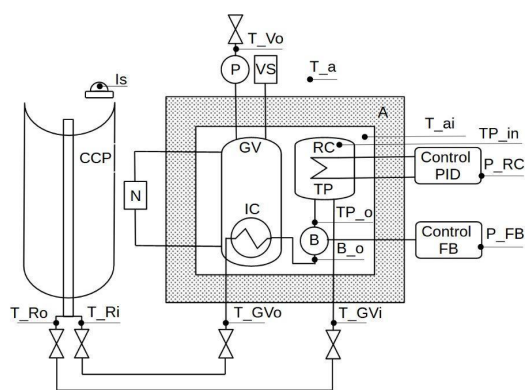
En este trabajo se presentan los resultados de los ensayos realizados a este sistema conectado al CCP en el interior utilizando solo la energía proveniente del sistema auxiliar que posee con el fin de evaluar los saltos térmicos en cada uno de sus componentes y la capacidad de generación de vapor.

EL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR

La configuración adoptada para la generación de vapor de uso industrial mediante un CCP (Akbarzadeh & Valipour, 2018) fue el uso de un generador vapor (GV) en donde la energía colectada por el CCP es transferida al agua mediante un fluido térmico. El fluido térmico utilizado es un aceite nafténico de grado alimenticio, cuyo nombre comercial, es Paratherm NF. Este fluido se ha diseñado para operar libre de mantenimiento y con alta durabilidad en sistemas cerrados de fase líquida hasta 300 °C, posee baja viscosidad y alto coeficiente de transferencia térmica. (Paratherm, 2023).

El sistema de generación de vapor está formado por un prototipo de CCP de 2,5 m² de superficie efectiva de captación. El eje de rotación del concentrador (línea focal) está orientado hacia el norte y gira en el sentido de este a oeste. La inclinación del eje con respecto al plano horizontal es regulable según el día del año. El concentrador se encuentra fijado en una estructura móvil que puede fijarse a la plataforma de ensayo exterior. La lámina reflectante modelo 4400 GP del CCP fue provista por la Alanod GmbH. El receptor tipo anular de este dispositivo está conectado a un generador de vapor mediante mangueras flexibles de caucho utilizadas comercialmente en sistemas hidráulicos.

El diagrama del circuito y su conexión con el CCP se muestra en la Figura 1 (a). El circuito está provisto con un generador de vapor (GV) construido en acero inoxidable, el fluido térmico circula en su interior por medio de un intercambiador de calor (IC) con forma de serpentina. El generador tiene incorporado un manómetro (P), un medidor de nivel de agua (N) con una escala graduada cuya apreciación es de 50 ml/mm y una válvula de seguridad tipo resorte (VS). Entre el generador de vapor y la bomba (B) se ubica un tanque pulmón (TP). La función principal del (TP) es permitir la expansión volumétrica del fluido térmico y mantener una temperatura constante a la entrada del intercambiador de calor (IC), compensando así cualquier fluctuación en la radiación solar incidente. Esta parte contiene un sistema de calentamiento auxiliar (RC) compuesto de 4 resistencias halógenas de 350W al TP, cada una de ellas alojadas en un tubo de acero de 25 mm de diámetro y de 1,6 mm de espesor, los cuales están soldados al TP con una aleación de cobre-zinc. El accionamiento del sistema auxiliar de calentamiento es por medio de dos relés de estado sólido comandados por un dispositivo de control tipo PID modelo N1100, de la marca Novus. El generador de vapor (GV), la Bomba (B) y el tanque de pulmón (TP) se encuentran en un recinto que está aislado térmicamente (A). El fluido térmico es impulsado por una bomba de bajo caudal modificada para funcionar a mayor temperatura, es del tipo a engranajes, marca Venturi Serie A92. Esta bomba tiene un caudal máximo de 8 l/min y es accionada con un motor trifásico de 0,5 Hp. El caudal del fluido térmico se puede modificar por un variador de frecuencia modelo ATV11, marca Schneider Electric, el cual permite modificar la velocidad de rotación del motor que acciona la bomba. La bomba serie A92 seleccionada desplaza 4 ml por rpm. En la Figura 1 (b) se muestra el prototipo de sistema descrito sin la aislación colocada en las mangueras flexibles.



(a)



(b)

Figura 1: (a) Esquema del circuito térmico con identificación de los sensores. (b) Imagen del sistema ensayado en el interior.

El TP se aloja por encima de B y dentro del recinto aislado. La salida de B está conectada al IC que se encuentra en el interior del GV, que es un recipiente de acero inoxidable. Estos elementos se encuentran montados en una sección de la caja aislada (A), que tiene un recubrimiento de madera de fenólico de 10 mm de espesor y está compuesta de placas de poliestireno expandido de alta densidad de 50 mm de espesor. Los detalles constructivos de este sistema fueron presentados por Stoll et al (2023).

EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR

Se llevaron a cabo dos tipos de ensayos experimentales en el interior con el CCP conectado al circuito térmico, el primero sin generar vapor y otro produciendo vapor.

Los ensayos sin generación de vapor consistieron en determinar las temperaturas en cada punto del sistema sin aislación colocada en las mangueras flexibles que conectan el CCP con el GV. Luego, se repitieron las mediciones, pero con aislación térmica aplicada en las mangueras flexibles. Durante estas pruebas, la energía fue provista por el sistema de calentamiento auxiliar, como se muestra en la Figura 1 (b). En ambas pruebas, se midió el consumo de energía necesario para alcanzar una temperatura de 125 °C a la entrada del intercambiador de calor (IC).

Los ensayos con generación de vapor se realizaron para determinar el tiempo de respuesta del sistema, la altura del fluido térmico que mejora el aprovechamiento de la estratificación y el caudal de vapor generado.

Para la medición de temperatura se utilizaron termocuplas calibradas tipo T, insertadas en vainas de acero inoxidable. Para mejorar la transferencia de calor entre las termocuplas y las vainas se utilizó grasa siliconada. Para registrar la temperatura ambiente (T_a), se utilizó una termocupla colocada a una distancia prudente de cualquier fuente térmica que pudiera alterar la medición. En el generador de vapor se midió la temperatura dentro del recinto aislado (T_{Ai}), la temperatura del fluido térmico a la salida del tanque pulmón (TP_o), a la salida de la bomba (T_{Bo}), a la salida generador vapor (T_{GVo}), y la temperatura del fluido que retorna al tanque pulmón (T_{GVi}). En el CCP se registraron la temperatura del fluido térmico a la entrada (T_{Ri}) y la salida T_{Ro} .

Las variables se almacenaron cada 30 segundos mediante un adquisidor de datos Agilent 34972A. Además, se colocaron dos vatímetros digitales monofásicos para medir el consumo de las resistencias calefactoras (P_{RC}). Los cuales fueron contrastados por un vatímetro digital YOKOGAWA modelo WT11. Para determinar el caudal de vapor generado, se utilizó un medidor de nivel acoplado al GV y se registraron las lecturas del nivel a intervalos regulares de tiempo.

Ensayo en el interior sin generación de vapor

Los ensayos consistieron en llevar al sistema hasta una temperatura de 125 °C a la entrada del intercambiador de calor (IC) mostrando el comportamiento desde que la temperatura T_{GVi} supera los 80 °C. Durante este tiempo se registraron las temperaturas en cada parte del circuito del fluido térmico cada 30 s y el consumo de energía eléctrica necesario para alcanzar esta temperatura. El flujo másico del fluido térmico se fijó en un caudal 0,0168 kg/s. Si bien en estas condiciones el flujo es laminar, de esta manera se maximiza el salto térmico en el tubo receptor; lo cual permite obtener una adecuada medición de ganancia de calor en el concentrador ya que se reducen los errores relativos en la medición de la temperatura (Garnica et al, 2018)

En la Figura 2 (a) y (b) se ven los detalles de la aislación efectuada a las mangueras flexibles que conectan el CCP con el GV. Se utilizó cinta de fibra de vidrio aislante ignífugo de 1,5 mm de espesor como primera capa en las tuberías metálicas y luego se recubrió a este conjunto con cobertor aislante aluminizado para caños con un diámetro de $\frac{3}{4}$ " (19,05 mm). La configuración adoptada es para prevenir la degradación por el contacto que puede sufrir el polietileno que compone la aislación del cobertor.



(a)



(b)

Figura 2: (a) Aislación interna con cinta de fibra de vidrio aislante. (b) aislación externa con cobertor aislante aluminizado.

El elemento que recibe energía es el tanque pulmón (TP) por medio de las resistencias halógenas adosadas. La bomba (B), el generador de vapor (GV) sin generación de vapor, las conexiones entre el CCP y el GV, y el CCP pierden energía al medio ambiente durante el funcionamiento. En la Tabla 1 se muestran los saltos de temperatura promedio de los distintos componentes del circuito del fluido térmico.

Tabla 1: Resumen de los saltos térmicos de cada elemento del circuito térmico.

Elemento del circuito térmico	Sin aislación [°C]	Con Aislación [°C]
Bomba Hidráulica (TP_o-T_Bo)	1,3	1,8
Generador de vapor (T_Bo-T_GVo)	2,3	2,1
Conexión GV - CCP (T_GVo-T_Ri)	15,7	4,8
Conexión CCP - GV (T_Ro-T_GVi)	15,1	4,3
CCP (T_Ro-T_Ri)	1,3	1,2

En la Figura 3 (a) se muestra una termografía del tanque pulmón en donde se distingue levemente la estratificación en la parte superior del cilindro que recubre la resistencia calefactora superior. Cuando la temperatura de salida del fluido térmico llega los 125 °C se establece una franja de 3 cm de altura donde el fluido tiene más temperatura. En la Figura 3 (b) se observa la termografía de la conexión entre el CCP y el GV.

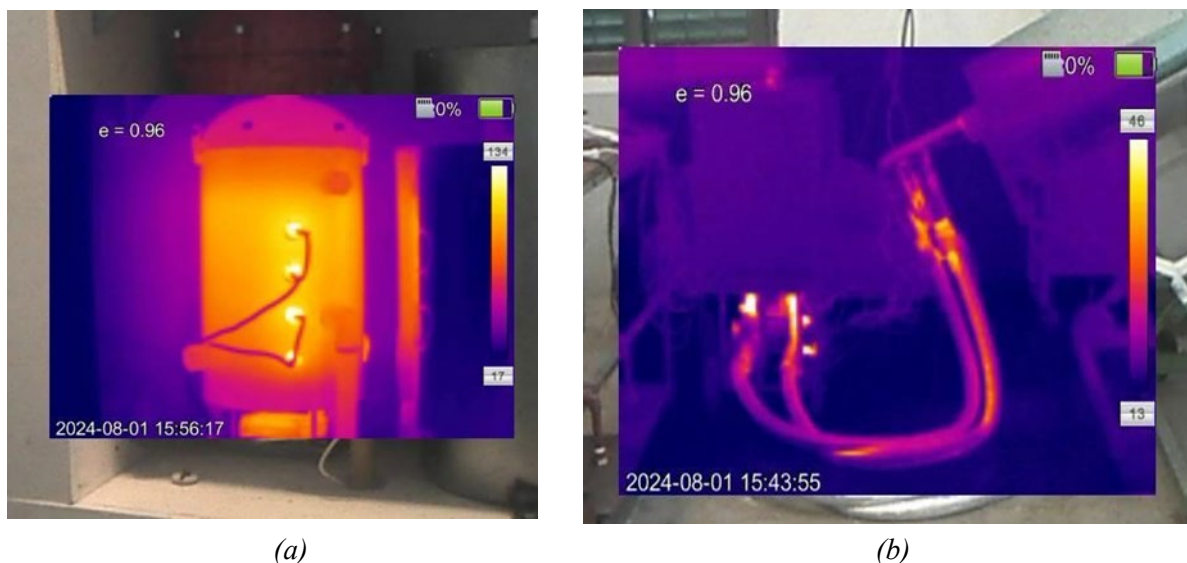


Figura 3: (a) termografía del tanque pulmón. (b) Termografía de las conexiones entre el CCP y el GV

Con el objetivo de aprovechar la estratificación del fluido y mejorar así el desempeño del sistema de generación de vapor, se llevaron a cabo ensayos enfocados en ajustar el nivel del fluido térmico dentro del tanque pulmón. El nivel inicial del fluido térmico se estableció 5 mm por encima del cilindro que recubre la resistencia calefactora superior. La bomba hidráulica extrae el fluido a ese mismo nivel. Durante los ensayos, se midió la altura del fluido con una pipeta insertada en la parte superior del tanque pulmón, observando un aumento de 25 mm en el nivel del fluido térmico durante el proceso de calentamiento debido a su expansión térmica. En la Figura 4 se muestran los resultados obtenidos, donde se observa un salto térmico inicial de 14,8 °C en el TP entre TP_o y T_GVi.

Por otro lado, se determinó que la eficiencia del sistema de calentamiento auxiliar construido, considerando el salto térmico del TP y el flujo másico, es cercano a la unidad. Las mediciones de

consumo de energía del sistema establecieron que se necesitan 1,385 kWh para elevar la temperatura a la entrada de IC de 18 °C a 126 °C en el lapso de una hora.

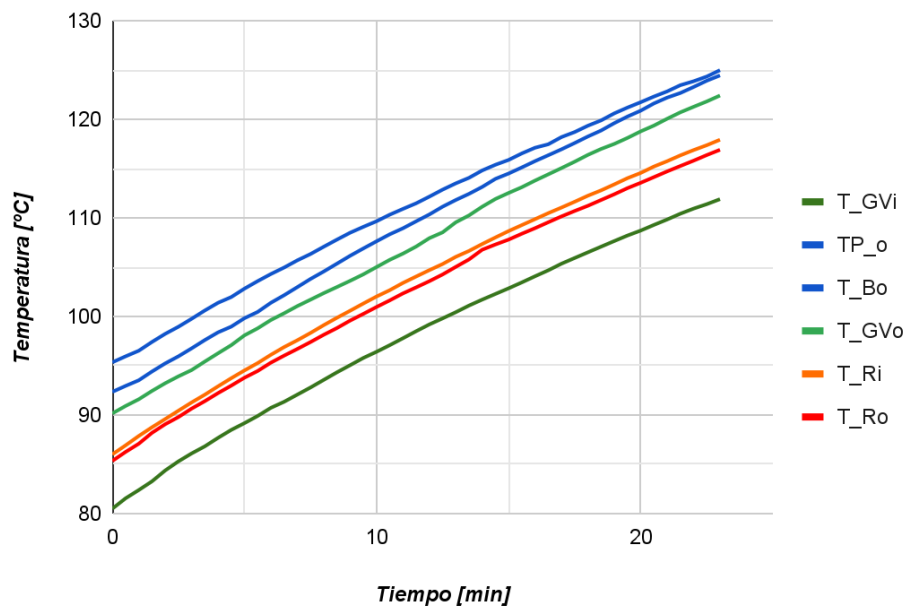


Figura 4: Evolución de temperaturas con aislación de las mangueras flexibles y con modificación de la altura del fluido térmico.

Ensayo en el interior con generación de vapor

En la Figura 5 se muestra la evolución de temperaturas del sistema de generación de vapor funcionando con el sistema de calentamiento auxiliar.

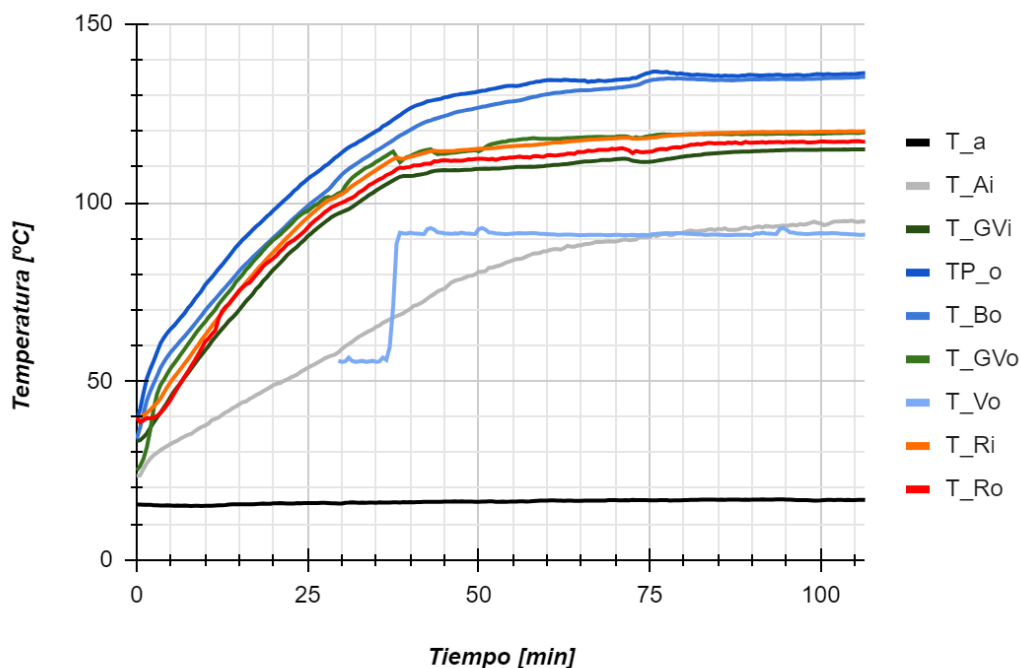


Figura 5: Evolución de temperaturas del sistema con generación de vapor.

Durante esta prueba se elevó la temperatura del sistema hasta que la temperatura T_{Bo} alcanzó los 100 °C, luego se agregaron 4,5 dm³ de agua destilada a una temperatura de 95 °C, se mantuvo la válvula de salida de vapor abierta. El flujo de vapor se estabilizó cuando la temperatura de T_{Bo} alcanzó los

125 °C. El llenado del generador de vapor con agua precalentada se realizó al minuto 26 y luego de 20 minutos se produjo el régimen estable de vapor, esta situación queda manifestado en la T_Vo, cabe aclarar que T_Vo es medida mediante un dedo frío colocado a la salida de GV, es por esto que su valor es menor que la temperatura de saturación del agua cuando se establece un flujo de vapor constante. Luego, cada un intervalo de 15 minutos se registró la variación de nivel de agua del generador de vapor para determinar el caudal de vapor. La temperatura del aire interior T_Ai muestra que el sistema tiende a estabilizarse.

En la Figura 6 se ilustra el fenómeno de ebullición de alberca. Según lo descrito por Bergman y Lavine (2011), este proceso es caracterizado por la formación de burbujas en puntos localizados de la superficie caliente. En la curva roja, se observa que cuando la temperatura del fluido T_Bo supera los 135 °C, el salto térmico en el intercambiador de calor (IC) también aumenta significativamente, superando los 15 °C. Este incremento en la diferencia de temperatura indica un cambio en el régimen de transferencia de calor, lo que sugiere una mayor eficiencia en el intercambio térmico. Durante esta prueba se observó que el sistema comienza a generar vapor de manera constante cuando la temperatura de T_GVo alcanza los 100 °C.

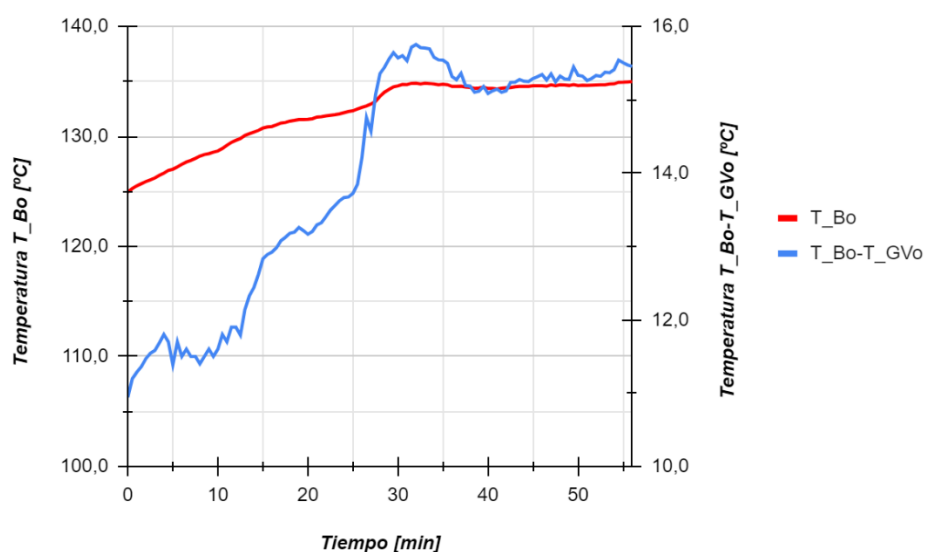


Figura 6: Saltos térmicos en el intercambiador de calor (IC).

En la Tabla 2, se muestran los resultados obtenidos en esta prueba. El cálculo de la eficiencia térmica (η) del sistema considerando solo el sistema auxiliar de calentamiento se realizó mediante la Ec. 1. Esta ecuación representa la relación entre la energía del vapor generado por unidad de tiempo y la potencia eléctrica aportada al sistema (P_{RC}) en vatios, en condiciones de funcionamiento de régimen estable. Donde \dot{m}_v es el flujo másico de vapor en kg/s y λ entalpia de vaporización del agua kJ/kg. Considerando las propiedades termofísicas del agua se obtuvo que el aprovechamiento de la energía es del 45 %.

$$\eta = \frac{\dot{m}_v \lambda}{P_{RC}} \cdot 100 \quad (1)$$

Tabla 2: Resultados del ensayo en el interior.

Vapor generado	Energía suministrada	Eficiencia térmica
1 kg/h	1,379 kWh	45 %

CONCLUSIONES

En este trabajo se realizaron distintas experiencias que permitieron determinar el comportamiento de un circuito térmico conectado a un CCP. Si bien no se evaluó el desempeño del CCP en el exterior, el sistema auxiliar de calentamiento permitió determinar la influencia de sus componentes en el funcionamiento.

Los resultados muestran que si bien la aislación térmica permite reducir el salto de temperatura que se produce en las mangueras flexibles, este valor sigue siendo considerable comparado con los saltos térmicos que se producen en las otras partes del sistema.

El nivel del fluido térmico tiene influencia en el desempeño del sistema, los resultados muestran que existe una estratificación del fluido en el tanque pulmón. Es por esto, que es conveniente ajustar el nivel de manera que la bomba succione la parte del fluido que está a mayor temperatura.

Las pruebas mostraron que el sistema tiene un tiempo de calentamiento de una hora sin generación de vapor. También el sistema estará en régimen cuando la temperatura de T_{GVo} sea de 100 °C.

El aprovechamiento de la energía provista a este sistema con aislación es del 45 %, esta performance está influenciada por el fenómeno de alberca, consiguiendo un mejor resultado cuando la temperatura en el ingreso del IC (T_{Bo}) es del orden de 135 °C.

Se propone como trabajo a futuro evaluar el desempeño del sistema de generación de vapor considerando la utilización de energía solar en condiciones de cielo claro.

FUENTES DE FINANCIAMIENTO

Este trabajo fue financiado por la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Río Cuarto por medio de los proyectos: PPI Período 2024 - 2026 y al PICT SSPR 2021.

REFERENCIAS

- Aparicio H., Dellicompagni P., Cadena C. (2023). Software para el estudio del desempeño térmico de sistemas de concentración solar. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol. 27, pp. 146-157, 2023, ISSN 2796-8111.
- Akbarzadeh S., Valipour M. (2018). Heat Transfer Enhancement in Parabolic Trough Collectors: A Comprehensive Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 92 198-218. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.093>.
- Azteq [en línea]: The largest concentrated solar thermal plant in Europe built in Turnhout. Dirección URL <The largest concentrated solar thermal plant in Europe built in Turnhout. - Azteq> [consulta: el 29 de Julio de 2024].
- Behar O. (2018). Solar thermal power plants – A review of configurations and performance comparison. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Volume 92, Pages 608-627. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.102>.
- Bergman, T. L.; Lavine, A. S.; Incropera, F. P.; DeWitt, D. P. (2011). *Fundamentals of heat and mass transfer* 7th ed., John Wiley & Sons.
- Daghero J., Garnica J., Barros J., Rodriguez R. (2013). Concentrador Cilíndrico-Parabólico Aplicado a la Generación de Vapor para la Extracción de Aceites Esenciales de Plantas Aromáticas y Medicinales. *Acta de la XXXVI Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol 1. pp 02.37-02.44.
- Daghero J., Garnica J., Buitrago A., Dubini D., Lorenzo C., Manero C., Marticorena M., Martinez M., Sayago U. (2015). Concentrador Cilíndrico Parabólico Aplicado a la Generación de Vapor de Uso Industrial. *Evaluación Óptica y Térmica de un Prototipo*. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* Vol. 19, pp.03.45-03.54. Impreso en la Argentina ISSN 2314-1433.

- Dellicompagni P., Linares J. (2023). Simulación numérica de un concentrador solar cilindro parabólico de baja entalpía con Simusol. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol. 27, pp. 181-192, 2023, ISSN 2796-8111.
- Dellicompagni P., Salvo A., Rojas Villena M. (2023). Diseño, construcción y ensayo de un concentrador solar cilindro parabólico para fines educativos. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol. 27, pp. 550-509, 2023, ISSN 2796-8111.
- Energynest [en línea]: Avery Dennison pone en marcha la mayor central termosolar y unidad de almacenamiento térmico de Europa en Turnhout (Bélgica). Dirección URL: <Inauguración del proyecto de almacenamiento térmico con Avery Dennison (energy-nest.com)> [consulta: 29 de Julio de 2024].
- Garnica, J., Daghero, J., Longoni, D., Ortiz, M. (2018). Circuito térmico para la generación de vapor de uso industrial utilizando un concentrador cilíndrico parabólico. Diseño, desarrollo y evaluación térmica. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol. 22, pp 02.13-02.23 Impreso en la Argentina. ISSN 2314-1433 - Trabajo seleccionado de Actas ASADES 2018.
- Hansen k., Vad Mathiesen B. (2018). Comprehensive assessment of the role and potential for solar thermal in future energy systems. *Solar Energy*, Volume 169, Pages 144-152. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.04.039>.
- IEA [en línea]: Renewable Heat. Recent Trends and Policy Update. Dirección URL <Renewable heat – Renewables 2022 – Analysis - IEA> [consulta: el 2 de Julio de 2024]
- Paratherm [en línea] Fluido de Transferencia Térmica.
Dirección URL <<https://grupoararat.com/pdf/Paratherm/Paratherm-nf-spanish-72.pdf>> [consulta: 08 de agosto de 2024].
- Stoll R., Daghero J., Podversic E., Capozzuca C., Paisio G. (2023). Evaluación del desempeño de un circuito térmico para la generación de vapor de uso industrial con energía solar. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol. 27, pp. 158-168, 2023, ISSN 2796-8111.
- Weiss, W., & Spörk-Dür, M. (2024). Solar Heat World Wide - Edition 2024. En *Solar-Heat-Worldwide-2024.pdf* (iea-shc.org). Recuperado de URL el 25 de Julio de 2024.

EVALUATION OF AN INDUSTRIAL STEAM GENERATION SYSTEM ASSISTED WITH CONCENTRATED SOLAR ENERGY.

ABSTRACT

In this work the performance of a low enthalpy steam generation system for industrial processes is evaluated. The system includes a thermal loop coupled to a parabolic trough solar collector. To compensate for fluctuations in incident solar radiation and ensure a constant temperature in the thermal fluid, an auxiliary energy system is included. In order to evaluate the thermal gap in each of its components and the steam generation capacity, experimental tests were carried out indoors using only the energy from the auxiliary system. With the system isolated, the thermal fluid reached a temperature of around 135 °C at the inlet to the steam generator. The thermal jump in the heat exchanger was 15 °C. The response time of the system was also studied. This will allow determining the behavior of the PTC in an outdoor test. The steam flow generated in steady state was 1.0 kg/h and the global thermal efficiency was 45 %.

Keywords: Thermal energy, parabolic trough collector, thermal circuit, steam production