

DISEÑO, CONTRUCCIÓN Y ENSAYO DE UN CONCENTRADOR SOLAR CILINDROPARABÓLICO PARA FINES EDUCATIVOS

Pablo Dellicompagni, Aien Salvo, Mónica Rojas Villena

Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO). Av. Bolivia 5150. Salta, 4400, Argentina. pablodellicompagni@gmail.com, aienweni@gmail.com, mireya_villena@yahoo.com.ar

RESUMEN: El artículo aborda el estado actual de los sistemas de concentración solar y su aceptación en la generación de energía, destacando cuatro diseños predominantes: torre central, cilindroparabólico, Fresnel lineal y disco parabólico. En el ámbito global, la capacidad instalada de concentración solar en 2021 fue de 6387 MW_e, con una disminución del 2% respecto a 2020 debido a la competencia de la energía fotovoltaica. Sin embargo se pronostica un crecimiento prometedor hacia 2050. A nivel nacional, diversos actores como INENCO y LOCE participan en proyectos de concentración solar. Se subraya la integración de esta temática en programas académicos de la Universidad de Salta, incluyendo posgrados y carreras de energías renovables. Este artículo presenta el proceso de diseño, construcción y pruebas de un concentrador solar cilindroparabólico a pequeña escala para calentar agua, desarrollado en la Tecnicatura Universitaria en Energía Solar de Cafayate. Se empleó software de diseño y se utilizaron materiales locales. Las mediciones experimentales demuestran la eficacia del concentrador, alcanzando 70°C con una eficiencia global pico del 30% y un coeficiente de pérdida promedio de 166 (W/m²°C). Además, se evalúa la experiencia de aprendizaje a través de encuestas a los estudiantes involucrados, con enfoque pedagógico, en la transferencia del conocimiento y tecnológico.

Palabras claves: concentración solar, generación de energía, Tecnicatura Universitaria en Energía Solar, transferencia de conocimiento, aprendizaje.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de concentración solar poseen un alto grado de maduración actualmente siendo cuatro los diseños que mayor aceptación tienen en el campo de la generación de energía: torre central, cilindroparabólico, Fresnel lineal y disco parabólico. Según el último reporte estadístico de la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA, 2022), la capacidad de potencia instalada total de las tecnologías de concentración para generación de energía eléctrica para el 2021 fue 6387 MW_e, registrándose un descenso del 2% entre 2020 y 2021 para llegar al mencionado valor. Las tasas de crecimiento y decrecimiento en la capacidad instalada se observan en la Fig. 1.a. El decremento registrado a la par de los incrementos cada vez menores, se deben principalmente al desbalance entre las cantidades de plantas que entran en funcionamiento versus las que salen de operación; combinadas con las caídas en los precios de generación eléctrica mediante tecnología fotovoltaica, situándose esta última en 0.048 USD/kWh versus 0.114 USD/kWh para solartérmico de concentración (IRENA, 2022), ver Fig. 1.b-c. No obstante, la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2022) muestra en sus reportes un escenario promisorio para el crecimiento de la capacidad instalada hacia el año 2050 de alrededor de 500 GW_e.

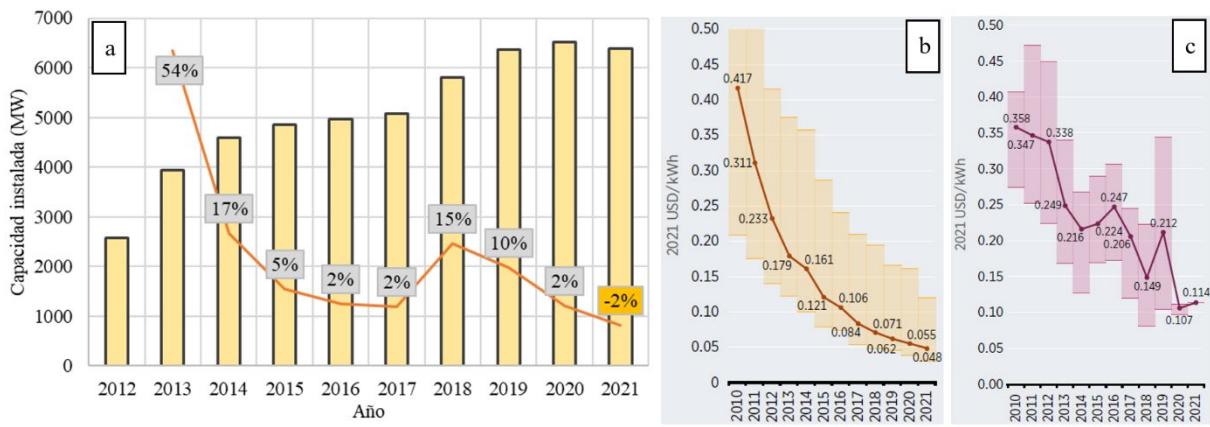


Figura 1: (a) capacidad de potencia instalada mundial, sobre la base de sistemas de concentración solar para generación de energía eléctrica, (b) costo nivelado de generación de energía para tecnología fotovoltaica, (c) costo nivelado de generación de energía para tecnología solartérmica.

En un marco nacional, se identificaron algunos actores que participan en la temática, ya sea a través de financiamientos nacionales, privados o combinación de ellas. Se puede mencionar al Instituto de Investigaciones en Energía no Convencional (INENCO), cuyos investigadores llevan adelante diversos proyectos, como ser Proyectos de Investigación Científica y Tecnológica (PICT), proyectos a través deñ Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta (CIUNSa) y del Fondo Argentino Sectorial (FONARSEC) referidos a concentración solar, principalmente cilindroparabólico, helióstatos de concentración y Fresnel lineal, respectivamente (Placco et al., 2019; Dellicompagni et al., 2019); no obstante, todos ellos con el propósito de generar energía térmica para la industria en general (minería, láctea, entre otras). También se puede mencionar al Laboratorio de Óptica, Calibraciones y Ensayos (LOCE) que ha incursionado en tecnologías de concentración cilindroparabólica y disco parabólico (Panaroni et al., 2017, Panaroni et al., 2020). Otros actores nacionales como Jujuy Energía Minería S. E. (JEMSE) e INVAP realizaron estudios de factibilidad para instalar una planta solar de torre central híbrida fotovoltaica en la Puna jujeña con vistas de diseño, construcción y comercialización en el mercado nacional, e incluso competir en el mundo (JEMSE, 2021). Las mencionadas líneas de investigación y desarrollo abren una oportunidad de aprendizaje al alcance de quienes se muestran interesados en participar en este tipo de proyectos, ya sea por interés propio o bien por poseer una trayectoria en las diversas temáticas referidas a concentración solar (Prieto Ríos, 2022; Niño Velásquez et al., 2020). En este marco, se ha comenzado a implementar la temática en los currículos de formación de grado y posgrado. En particular, en la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad de Salta se dictan carreras de posgrado como ser Doctorado en Ciencias-Área Energías Renovables (Res. CS-317/98), Especialización en Energías Renovables (Res. CS-134/21) y la Maestría en Energías Renovables, cuyo nuevo plan de estudio se encuentra actualmente en proceso de evaluación por parte del Ministerio de Educación (<https://exactas.unsa.edu.ar/postgrado>). Además, en la misma facultad se encuentra como oferta académica la Tecnicatura Universitaria en Energía Solar, tanto en sede central de la Universidad, como en la extensión áulica de la ciudad de Cafayate (Res. CS N°144/2012) (<https://exactas.unsa.edu.ar/carreras/info/9>). Estas carreras contemplan el dictado de cursos de posgrado y asignaturas dentro de los cuales, en la rama de energía solar, se incluyen los conceptos asociados a la energía solar de concentración.

En este trabajo se muestra el diseño, construcción, ensayo y significancia en el proceso educativo de un concentrador solar cilindroparabólico de baja escala para calentamiento de agua, empleado para afianzar conceptos referidos a la concentración solar desde la práctica de laboratorio en la esfera de dictado de la Tecnicatura Universitaria en Energía Solar, extensión áulica Cafayate. El diseño se realizó mediante software geométrico y de trazado de rayos Geogebra®, empleándose para la construcción materiales disponibles en el mercado local. Se realizaron mediciones experimentales que permiten caracterizar al concentrador, tomando datos de temperatura, irradiancia directa normal al haz y velocidad de viento. Los ensayos realizados indican que el concentrador es capaz de calentar agua a 70°C, con una eficiencia global pico de 30% y un coeficiente global de pérdida promedio de 166 (W/m²°C). Se realizó a su vez la evaluación de la experiencia de aprendizaje realizada mediante encuestas a alumnos participantes de la actividad académica.

MÉTODOS Y MATERIALES

Diseño y construcción del equipo concentrador

Se empleó el programa Geogebra® para el diseño geométrico del perfil parabólico. Como se indica en la Fig. 2, la distancia focal AD es de 0.23 m mientras que la apertura BC de la parábola a la altura del foco es de 0.9 m. La profundidad o largo de la superficie reflectiva es de 1 m. Este programa permite emular el recorrido de los haces solares incidentes y reflejados, cómo así también obtener la ecuación del perfil parabólico.

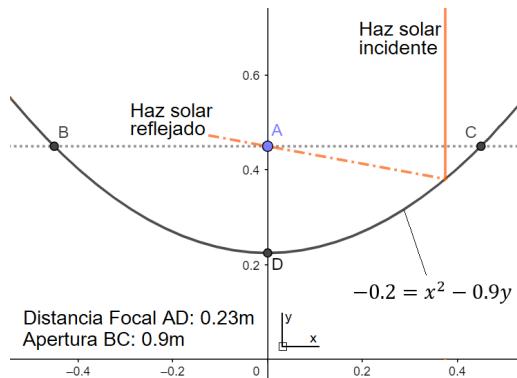


Figura 2: diseño geométrico en Geogebra®. Trazado del perfil parabólico del concentrador, emulación de los haces solares y determinación de la distancia focal, apertura y cuación de perfil.

La ecuación del perfil parabólico permitió diseñar la estructura metálica de soporte que contiene la curvatura, en la cual se asienta la superficie reflectiva. Esta última se construyó empleando chapa de aluminio pulido de alta reflectividad. La Fig. 3 muestra al concentrador construido. El absorbéedor consiste de un caño estructural rectangular cortado a la mitad y pintado con pintura color negra mate, de alta temperatura. En los extremos del absorbéedor se disponen los ejes de apoyo y rotación, de tal manera que éste se posiciona sobre la línea focal del concentrador sin volcarse, a medida que se realiza el seguimiento solar. El absorbéedor tiene capacidad para alojar 1 litro de agua, y se carga manualmente por la parte superior. El segundo eje de rotación es aquel que posee la estructura de soporte del concentrador y se vincula con los parantes verticales, para conferirle al equipo la inclinación según la altura solar. El bastidor inferior posee dos ruedas giratorias y otras dos ruedas fijas, para mover el equipo siguiendo el azimut solar.



Figura 3. Concentrador cilindroparabólico construido y orientado hacia el sol.

Arreglo experimental y mediciones realizadas

El montaje del equipo es relativamente sencillo. Se coloca la estructura del concentrador acoplando los ejes de rotación en los parantes del bastidor. El enfoque se realiza manualmente, direccionando el concentrador tanto en dirección acimutal como en la inclinación necesaria en función de la altura solar. Se toman las sombras proyectadas por la estructura como referencia del correcto enfoque como así la imagen formada sobre el absorbéedor. En cuanto a las mediciones realizadas, se tomaron datos de temperatura mediante termocuplas tipo k (ambiente y agua contenida en el absorbéedor) y un termómetro Fluke® para la toma de los datos. Mediante el empleo de una cámara termográfica Testo® se

determinaron las temperaturas promedio del absorbador de la parte posterior, anterior e inferior, para evaluar el coeficiente global de pérdidas al medio ambiente. Los datos de irradiancia directa normal al haz se tomaron por medio de un pirheliómetro Eppley®. Se empleó un anemómetro de hilo caliente TES® para medir la velocidad del viento en cercanías del equipo ensayado.

Se realizaron las mediciones de los parámetros mencionados, desde un estado térmico *frio*, hasta que el equipo alcanzó su régimen permanente, alrededor de los 70°C en el agua contenida. Cada ensayo se realizó en el lapso de una hora, en promedio. El descenso del nivel de agua en el absorbador se determinó midiendo al comienzo y al final de cada ensayo, con una regla milimétrica. La tasa de evaporación media se determinó con la Ec. (1).

$$\dot{m} = \frac{m_{in} - \delta * l * a * (h_i - h_f)}{\Delta t} \quad (1)$$

Donde.

- \dot{m} : tasa de evaporación media, kg/min,
- m_{in} : masa inicial, kg.
- δ : densidad del agua, asumida 1000 kg/m³,
- l : longitud del absorbador, m,
- a : ancho del absorbador, m,
- h_f : nivel final de agua, m,
- h_i : nivel inicial de agua, m,
- Δt : tiempo total del ensayo, min.

Dado que el volumen de agua desciende conforme se realiza el ensayo, la masa de agua m_i se determina considerando la tasa de evaporación \dot{m} y el periodo de tiempo transcurrido entre mediciones Δt_i , teniendo en cuenta la masa de agua de la medición previa m_{i-1} . La Ec. (2) determina la masa de agua para cada medición.

$$m_i = m_{i-1} - \dot{m} * \Delta t_i \quad (2)$$

Con respecto a la medición de temperaturas, se colocó una termocupla en el seno central del agua adentro del absorbador, y otra termocupla por detrás de la superficie reflectiva, para medir la temperatura ambiente. La temperatura de las caras del absorbador se midió con la cámara infrarroja y luego los datos se procesaron con el software correspondiente.

Rendimiento del concentrador

La Ec. (3) permite determinar el rendimiento solar-térmico global del concentrador, en términos de la energía térmica transferida al agua con respecto a la energía solar acumulada en el tiempo transcurrido entre mediciones.

$$\eta_i = \frac{E_{t,i} + E_{t,i-1}}{E_{s,i} + E_{s,i-1}} \quad (3)$$

Donde.

- $E_{t,i}$: es la energía térmica de la *iésima* medición, absorbida por el agua, J,
- $E_{t,i-1}$: es la energía térmica de la medición anterior a la *iésima*, J,
- $E_{s,i}$: es la energía solar acumulada en la *iésima* medición, J,
- $E_{s,i-1}$: es la energía solar de la medición anterior a la *iésima*, J.

Para cada medición, la energía térmica acumulada en el lapso de tiempo transcurrido se determina mediante la Ec. (4),, donde C_p es el calor específico del agua, adoptado igual a 4186 J/kg°C, $T_{f,i}$ y $T_{i,i}$ son las temperaturas final e inicial del agua, respectivamente. La Ec. (5) determina la energía solar

acumulada durante el período de medición Δt_i , donde I_i es la irradiancia directa normal al haz y A_c es el área de apertura del concentrador.

$$E_{t,i} = C_p * m_i * (T_{f,i} - T_{i,i}) \quad (4)$$

$$E_{s,i} = I_i * A_c * \Delta t_i \quad (5)$$

La diferencia de temperatura entre el absorbedor y el ambiente en conjunto con la evaporación de agua conforman los principales mecanismos de pérdida de calor. El coeficiente global de pérdida U_L se determina del balance de energía del equipo. Este balance esta dado por la Ec. (6), en la que $E_{v,i}$ es la pérdida de calor por evaporación de agua dado por la Ec. (7) y E_{UL} involucra las pérdidas de calor debidas a U_L (Duffie and Beckman, 2013; Bergman et al., 2011). El coeficiente h_v es el calor de cambio de estado del agua, adoptado como $h_v=2257 \text{ kJ/kg}$. Finalmente, la Ec. (8) determina el coeficiente global de pérdida del equipo U_L en $\text{W/m}^2\text{C}$, en la que A_a es el área total del absorbedor, $T_{ab,i}$ es la temperatura promedio de las caras externas del absorbedor, medidas con la cámara infrarroja y $T_{a,i}$ es la temperatura ambiente.

$$E_{UL,i} = E_{s,i} - E_{t,i} - E_{v,i} \quad (6)$$

$$E_{v,i} = \dot{m} * \Delta t_i * h_v \quad (7)$$

$$U_{L,i} = \frac{E_{UL,i}}{\Delta t_i * A_a * (T_{ab,i} - T_{a,i})} \quad (8)$$

En régimen permanente, este coeficiente U_L se estabiliza en un valor determinado por las cantidades de energía puestas en juego, pudiendo registrarse oscilaciones en la medida de que depende fundamentalmente de la acción del viento sobre las caras del absorbedor, lo que se traduce en una disminución de $T_{ab,i}$ y por ende el cociente de la Ec. (8) aumenta su valor, al disminuir el denominador. En este trabajo no se analiza la migración de las moléculas de vapor hacia el ambiente propiciado por la acción del viento. No obstante, el descenso del nivel de agua medido con la regla milimétrica contempla implícitamente todos los mecanismos de migración de vapor.

Entrevista realizada

Para conocer el proceso de aprendizaje a lo largo de la materia desde el punto de vista del alumnado, y en especial lo referido al laboratorio realizado con el concentrador solar cilíndrico parabólico educativo hasta aquí detallado, es que se confeccionó y realizó una entrevista semiestructurada, teórica y de carácter anónimo sobre la base de tres ejes: Eje 1 – Sobre el cursado de la materia, Eje 2 – Sobre la nueva tecnología y Eje 3 – sobre los aprendizajes. La misma se realizó de manera virtual.

RESULTADOS

Caracterización térmica del concentrador

Los ensayos se realizaron en tres días claros, denominándose primer, segundo y tercer ensayo para los días 5 de octubre de 2022, 11 de abril de 2023 y 23 de junio de 2023, respectivamente. Con respecto a la respuesta térmica del agua dentro del absorbedor, el equipo es capaz de elevar su temperatura hasta los 70 °C. Luego, este valor se estabiliza pasados los 15 minutos desde que se produce el inicio de los ensayos como se observa en la Fig. 4 - izquierda. A partir de allí, puede verse que el rendimiento global (Fig. 4) decae a valores muy bajos con tendencia a nulos. Esto se debe a que cada paquete de energía térmica que absorbe el agua se insume en el proceso de evaporación, no llegando a la ebullición. Resulta pues que el balance energético recae en que la energía solar que llega al absorbedor se dispersa en pérdidas hacia el ambiente.

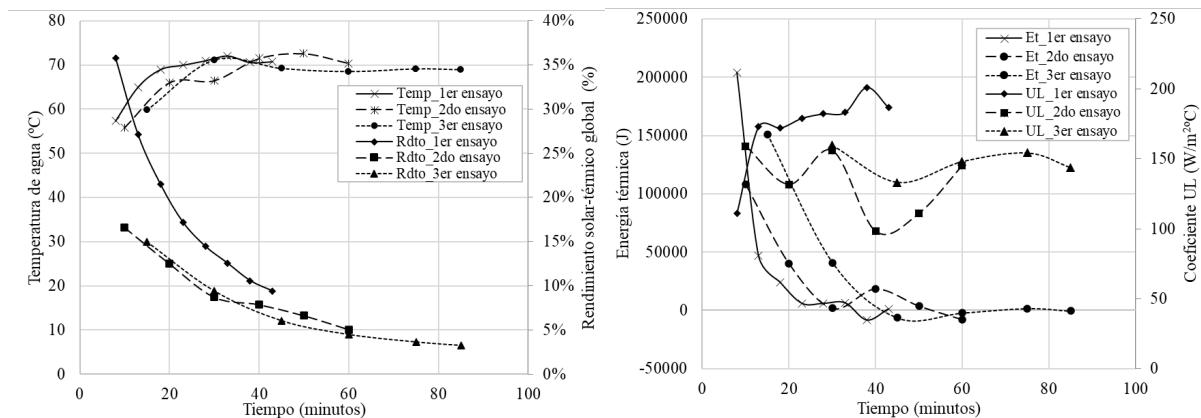


Figura 4. Izquierda: Desempeño térmico del absorbedor, en términos de la temperatura alcanzada por el agua y el rendimiento global solar-térmico. Derecha: Energía térmica transferida al agua y coeficiente global de pérdidas hacia el ambiente, para cada periodo medido.

La Fig. 4 – derecha, pone en evidencia lo mencionado en el párrafo anterior. Se observa que la ganancia de energía térmica es cada vez menor, dado que los incrementos de temperatura son cada vez menores, e inclusive en algunos casos existen descensos de temperatura, llegando el calor absorbido a valores nulos. En esta misma figura, pude verse que el coeficiente global de pérdidas varía en una franja de 100 a 200 W/m²°C, con un valor promedio -entre los tres ensayos- de 166 W/m²°C.

Mirada al proceso pedagógico

“Enseñar no es transferir conocimiento, sino crear las posibilidades para su propia producción o construcción” (Freire, 1997). Situada en la provincia de Salta, se encuentra una de las sedes de la Universidad Nacional de Salta, en la que se brinda la Tecnicatura Universitaria en Energía Solar y una de sus materias es Energía Solar Térmica I. Esta carrera está pensada en función al contexto, la ciudad de Cafayate, que es emblema de la producción de vinos de gran calidad la cual depende de la amplitud térmica y gran radiación solar. Es así que este lugar cuenta con plantas solares e innovaciones tecnológicas destinadas al aprovechamiento del recurso. Con respecto a los ejes temáticos abordados en la entrevista realizada al alumnado, se arribaron a los siguientes resultados.

Eje 1. Sobre el dictado de la materia. Desde lo pedagógico, es importante analizar este espacio curricular por las implicancias que el mismo tiene en la formación de la tecnicatura. La propuesta pedagógica está basada en un ida y vuelta permanente entre la teoría y la práctica. En este sentido, la estructura de la cátedra le da mucha importancia a lo que se denominan laboratorios, espacios en los que se sintetizan y aplican los conceptos aprendidos a lo largo de la materia. También cumplen la función de desarrollar las habilidades que les serán requeridas como futuros técnicos y técnicas. El laboratorio de concentración solar parte de un marco teórico, la descripción y desarrollo experimental del equipo, el cálculo de diferentes parámetros de eficiencia y desempeño, la construcción de datos con los mismos y su posterior lectura, que permite establecer conclusiones y desarrollar el sentido crítico.

Apelando a la frase de Freire (1997) que precede este apartado, se puede afirmar que lo importante es posibilitar las condiciones para la creación del conocimiento, no solo desde lo teórico sino también desde una postura dialógica entre docentes y alumnos, en vista de que todo proceso de aprendizaje está relacionado con una forma de ver el mundo desde el espacio aulico.

Desde el punto de vista de la enseñanza de la materia, se puede decir que las prácticas docentes, las prácticas de la enseñanza, parten de una actividad que todo docente conoce y que se denomina planificación, y para ello evidentemente no basta con señalar solo los objetivos, los contenidos, las actividades y los métodos. En su construcción, para el caso de la materia que se está presentando, también ha sido fundamental pensar en los tiempos, el espacio y el contexto de los alumnos y las alumnas puesto que varios de ellos proceden de comunidades cercanas – o no – a Cafayate, los escenarios y las escenas posibles a las estrategias que se van a desarrollar en el aula, los espacios, el uso de nuevas

tecnologías etc. Por lo tanto, la planificación de la cátedra se ha hecho desde una mirada y un abordaje epistemológico situado y complejo, en línea con lo establecido por Brailovsky (2019): “*La planificación es el punto de partida para ordenar las ideas y para conversar con otros sobre ese intento, ese deseo. La enseñanza se mueve al ritmo de las conversaciones, los tropiezos, los ajustes, las dudas, las reconsideraciones (...) la enseñanza, sea como fuere que se organice y se anticipe se caracteriza por ser un espacio de descubrimiento en el que rigen las reglas de la conversación (orientada, contextuada, pero conversación al fin) antes que el método*”.

Si bien es cierto que, dado al proceso de deserción de estudiantes debido al periodo de duración de la pandemia, la continuación de un número acotado de alumnos en el régimen presencial resultó, desde un cierto enfoque, en el desarrollo de la enseñanza en un proceso literalmente personalizado, donde lo dialógico es la característica privilegiada de la misma, es así que la alumna en cuestión, señala:

“*La manera de dictar la clase explicando de forma clara con ejemplos haciéndola más entretenida e interesante, donde también compartían sus experiencias vividas en el ámbito laboral. La teoría con la práctica se combinaba bastante bien, al terminar la parte teórica se continuaba con la práctica para aplicar todo lo visto. Con la presencia de ambos docentes por si surgía alguna duda referida a la teoría me pareció bastante bueno*” (Alumna 1, cátedra Energía Solar 1, 2023).

También es importante señalar que el contrato didáctico, entendido como los acuerdos iniciales que van a regir las interacciones y actividades, fue claro y consensuado desde el inicio. Esto no es una cuestión menor en tanto ordena las interacciones, da claridad en torno a lo que se espera y crea un clima de respeto en el dictado de la materia.

“*En mi caso el cursado de esta materia fue de manera condicional y presencial los días viernes y sábados. Con la realización de dos laboratorios en el cuatrimestre. La presentación de los contenidos de la materia desde un principio fue clara, dejando en claro la modalidad del dictado de clases, los medios para realizar las consultas y el material a utilizar*”. (Alumna 1, cátedra Energía Solar 1, 2023).

Eje 2. Sobre la nueva tecnología: En relación a la enseñanza de una nueva tecnología, hay una permanente relación entre el conocimiento tecnológico y la investigación porque si bien en el programa de cátedra, no se explica de manera directa, se dan procesos investigativos, parten de la pregunta y pretende desarticular el objeto que se construye y se analiza. Como característica interesante es que se incluyen en el aula los resultados de las propias investigaciones de los docentes por lo que en el espacio áulico confluyen la producción, la recontextualización y la reproducción del conocimiento.

Es evidente que la parte que resulta más interesante es la construcción de la tecnología, es decir, el diseño del prototipo, la elección de los materiales y el ensamblaje, así como el ensayo realizado.

“*Los pasos más gratificantes fueron el diseño y la elección de los materiales y la parte más complicada me pareció que fue el ensamblaje del equipo. No se tuvieron los materiales que quisieramos haber utilizado, ya sea por la dificultad para conseguirlos ya sea por sus costos, etc. Pero se pudo llegar a obtener una experiencia satisfactoria con lo que teníamos al alcance.*” (Alumna 1, cátedra Energía Solar 1, 2023).

Eje 3. Sobre los aprendizajes: Finalmente, en torno a los aprendizajes, las anteriores consideraciones confluyeron que el cursado de la materia fue significativa en tanto “*introdujo de lleno a todo lo que significa el mundo del aprovechamiento de la energía solar (...) con la cual termine de confirmar que no me equivoque en la elección de la carrera (...). Poder saber leer y comprender una carta psicométrica. (...), aprendí un nuevo tipo de tecnología que era desconocido en mi caso. No me imaginaba de qué otra manera se podía aprovechar la energía solar.*” (Alumna 1, cátedra Energía Solar 1, 2023).

También es importante señalar que los aprendizajes previos fueron importantes en el cursado de la materia, por lo que los conocimientos previos adquiridos en el primer año, sí funcionaron y fueron significativos para comprender y aprehender el contenido. “*Totalmente, todos los conocimientos que adquirí en el 1er año de la carrera fueron fundamentales para entender la materia.*” (Alumna 1).

DISCUSION

La metodología abordada para la enseñanza y prácticas de laboratorio se centran en una planificación previa al periodo de cursado, basada en los requerimientos de contenidos mínimos que el alumnado debe adquirir al finalizar la asignatura. Principalmente, al tratarse de una Tecnicatura Universitaria, prima la importancia de que los conocimientos adquiridos sean de orden técnico y práctico, pero con estrecha relación con los contenidos teóricos mínimos e indispensables para comprender el funcionamiento de las tecnologías abordadas. En el caso particular de la tecnología seleccionada (concentrador solar), ésta surge como consecuencia de un proyecto de investigación, fuera de la esfera de la Tecnicatura, pero abordada por el cuerpo docente, que contempla el diseño, construcción y ensayo de tecnologías de mayor tamaño. Los hallazgos dentro de dicho proyecto contribuyen a la adopción de herramientas conceptuales como así metodológicas para ser vertidas en la práctica de la enseñanza áulica y en las prácticas de laboratorio. Se resalta la relación entre la actividad docente para con la actividad investigativa científica, y viceversa. Si bien el alumnado no participa de forma directa en los procesos de diseño de las tecnologías, la dinámica de la enseñanza permitió la aprehensión del conocimiento sobre el diseño por parte del alumnado. Esto facilita el desarrollo de capacidades técnico-constructivas para confeccionar tecnologías similares. En este sentido, se fortalece el desafío cognitivo al proponer al alumnado interrogantes, como por ejemplo, ¿cómo mejorar la eficiencia térmica del equipo construido?, o bien ¿qué materiales podrían ser convenientes para el rediseño de las partes constitutivas del concentrador?

Por otro lado, de los resultados a raíz de la encuesta realizada, se destaca que la falta de motivación es una de las principales causas de la dificultad para el aprendizaje en ciencias. Los alumnos no aprenden porque no están motivados, y no están motivados porque no aprenden. La motivación es una condición compartida entre los alumnos y la educación que reciben, haciendo énfasis en el acierto en las decisiones metodológicas para tal fin. Un tema actual y bien trabajado puede ayudar a motivar a los estudiantes. Cuando los estudiantes se expresan positivamente sobre su carrera, están expresando que han encontrado sentido en la labor docente. Para el docente, el sentido está en la aceptación y el interés de los estudiantes. Para el estudiante, el sentido está en el interés que despierta en él la tarea que está realizando.

CONCLUSIONES

Acerca del concentrador solar

Se diseño, construyó y ensayó un sistema de concentración solar cilindro parabólico de pequeña escala para el calentamiento de agua. El diseño se realizó con la utilización de un software geométrico de acceso libre. La construcción fue llevada a cabo con materiales de fácil obtención en el mercado local, no siendo necesaria la incorporación de subsistemas complejos como ser el seguimiento solar, dada la finalidad pedagógica del equipo.

Los resultados experimentales indican que el concentrador es capaz de calentar agua hasta 70°C en valores promedios. Posee un alta constante entrada en régimen, lo que indica el correcto diseño geométrico y las bajas pérdidas por desenfoque y difusión de haces solares reflejados. Así mismo, el agua contenida en el absorbedor no alcanza a hervir debido a las elevadas pérdidas, principalmente de tipo convectivo, ocasionadas por estar el fluido caloportador y el absorbedor propiamente dicho en contacto con el aire atmosférico. Se registró un coeficiente global de pérdidas $U_L=166 \text{ W/m}^2\text{C}$, considerado elevado para este tipo de tecnologías.

La eficiencia global máxima alcanzada por el equipo concentrador fue del orden del 35% en régimen transitorio, decayendo a valores casi nulos en régimen permanente. Esto tiene explicación en el hecho

de que casi todo el calor absorbido se pierde al ambiente por evaporación, convección y radiación. No obstante, los resultados experimentales desde el punto de vista de funcionamiento y de la aplicación del equipo, se consideran satisfactorios.

Acerca de la evaluación pedagógica

Se puede decir que la experiencia de dictado de una materia que tiene que ver con la incorporación de nuevas tecnologías en torno a los recursos naturales supone un continuo ejercicio para moverse entre el conocimiento teórico y el práctico, preguntar, reflexionar, repensar y repensarse.

Tal como lo plantea Domingo Contreras (2006), es importante que al pensarse como educador se piense también que se es mediador, que no significa ser un mero intermediario, más bien pensarse como mediador entre los sujetos de aprendizaje, lo que cada uno y una porta como conocimiento, como experiencia, y lo que con ellos se quiere compartir y co-crear.

“Al fin y al cabo, lo que enseñamos, lo que mostramos y nuestros alumnos ven, es nuestra relación con el saber, lo que es saber para nosotros: si es algo encarnado o despersonalizado, si es fijo e inmutable o cuestionable, si nos permite disfrutar y crear o sólo sufrir y aceptar, etc. Y lo que aprenden siempre es también lo que el saber significa para ellos y para la vida. Enseñar en primera persona es por tanto, también enseñar la relación con el saber, el uso, y la creación de nuevo saber en la forma de interrogarse e inquirir. (...). Lo que enseñamos no es sólo el mundo, sino una manera de mirar al mundo, y lo que aprenden nuestros estudiantes no es sólo una manera de mirar al mundo, sino lo que les mostramos, lo que les enseñamos: alguien que mira al mundo, alguien que, si se ha sentido autorizado/a y se ha atrevido a interrogarse libremente sobre las cosas, muestra el camino, autorizándolo, en el uso y en la creación y recreación del saber. Siempre nos enseñamos, porque lo que en el fondo enseñamos es nuestra experiencia de saber” (Domingo Contreras, 2006).

REFERENCIAS

- Bergman T. L., Lavine A. S., Incropera F. P. and Dewitt D. P. (2011). Fundamentals of Heat and Mass Transfer, 7th ed. Jhon Wiley and Sons, 2011. ISBN 13 978-0470-50197-9.
- Brailovsky, D. (2019). *Pedagogía (entre paréntesis)* (pág. 264). Buenos Aires: Novedades Educativas. ISBN 9789875386648.
- Dellicompagni P., Franco J., Flexer V. (2019). Reducción de emisiones en la industria de litio en la Puna Argentina mediante tecnologías solares de concentración. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 23, pp 06.01-06.11, 2019. ISSN 2314-1433.
- Domingo Contreras J. (2006). La libertad que tenemos y la que necesitamos. Barcelona.
- Duffie, J. A. y Beckman W. (2013). Solar Engineering of Thermal Processes. Chichester: John Wiley and 688 Sons Ltd.
- Freire P. (1997). Pedagogía de la autonomía. Saberes para la práctica educativa. Siglo XXI Editores. México. ISBN 968-23-2069-0.
- IEA. (2022). World Energy Outlook 2022.
- IRENA. (2022). Renewable Energy Statistics 2022. The International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. ISBN: 978-92-9260-8.
- IRENA. (2022). Renewable Power Generation Costs in 2021. The International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. ISBN 978-92-9260-452-3.
- JEMSE. (2021). Artículo: JEMSE proyecta construir y vender usinas híbridas con INVAP. Disponible en <https://jemse.gob.ar/2021/04/29/jemse-proyecta-construir-y-vender-usinas-hibridas-con-invap/>, ultimo acceso: 30 de marzo de 2023.
- Niño Velásquez J. F., Sanabria Mahecha G., Montealegre Melo K. P. (2020). Estrategias de aprendizaje activo aplicadas al proceso de enseñanza de las energías renovables en introducción a la ingeniería. Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería. Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería. <https://doi.org/10.26507/ponencia.740>.
- Panaroni D., Castro Luna A., Martorelli L. (2020). Obtención de la eficiencia óptica de un disco parabólico mediante método SHOT modificado. AJEA – Actas de Jornadas y Eventos Académicos

- de UTNV. Jornadas de Intercambio y Difusión de los Resultados de Investigaciones de los Doctorandos en Ingeniería. ISBN: 978-950-42-0200-4. <https://doi.org/10.33414/ajea.5.684.2020>.
- Panaroni D., Mujica M., Abal Matos M., Corujo L., Cervini F., Castro Luna A., Martorelli L. (2017). Diseño óptico de un colector cilíndrico parabólico inclinado para generación directa de vapor. IV Congreso Internacional Científico y Tecnológico-CONCYT 2017.
- Placco C., Gea M., Casimiro R., Hongn M., Fernández C., Suligoy H., Lacuadra D. (2019). Construcción y ensayos de un helióstato de foco lineal para un horno solar. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 23, pp 02.45-02.56, 2019. ISSN 2314-1433.
- Prieto Ríos C. (2022). Ciclo de Mejora en el Aula (CIMA) en el estudio de la tecnología de concentración solar como clave de la descarbonización. Fase II. Ciclos de mejora en el aula. Año 2021: experiencias de innovación docente de la Universidad de Sevilla. pp. 2315-2331. ISBN/ISSN 978-84-472-2286-5. <https://doi.org/10.12795/9788447222865.132>.

DESIGN, CONSTRUCTION AND TEST OF A CILINDROPARABOLIC SOLAR CONCENTRATOR FOR EDUCATIONAL PURPOSES

ABSTRACT: This article addresses the current state of solar concentration systems and their acceptance in energy generation, highlighting four predominant designs: central tower, parabolic trough, linear Fresnel, and parabolic dish. Globally, the installed capacity of solar concentration reached 6387 MWe in 2021, with a 2% decrease compared to 2020 due to photovoltaic energy competition. However, a promising growth trend is projected towards 2050. Nationally, various stakeholders such as INENCO and LOCE are engaged in solar concentration projects. The integration of this theme into academic programs at the University of Salta is underscored, encompassing postgraduate degrees and renewable energy courses. This article presents the process of designing, constructing, and testing a small-scale cylindrical parabolic solar concentrator for water heating, developed within the University Technical Degree in Solar Energy in Cafayate. Geogebra® geometric and ray tracing software were employed for design, utilizing locally available materials for construction. Experimental measurements demonstrate the effectiveness, achieving 70°C with a peak overall efficiency of 30% and an average heat loss coefficient of 166 (W/m²°C). Furthermore, the learning experience is evaluated through surveys conducted among participating students, emphasizing a pedagogical focus on knowledge and technological transfer.

Key words: solar concentration, energy generation, University Technical Degree in Solar Energy, knowledge transferring, learning.