

# Laboratorio remoto móvil de energía solar térmica para evaluar el comportamiento de un calefón solar

REVISTA  
DE  
ENSEÑANZA  
DE LA  
FÍSICA

Gastón Saez de Arregui<sup>1</sup>, Miguel Angel Plano<sup>1</sup>, Sonia Beatriz Concari<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario, Av. Pellegrini 250, CP 2000, Rosario, Argentina.

<sup>2</sup>Facultad Regional Rosario, Universidad Tecnológica Nacional, Zéballos 1371, CP 2000, Rosario, Argentina.

E-mail: gsaez218@gmail.com

## Resumen

Se presenta un trabajo práctico de laboratorio desarrollado para la enseñanza de temas de energía solar térmica en el marco de la asignatura electiva "Laboratorio de energía renovable" de la Maestría en Energía para el Desarrollo Sostenible de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la Universidad Nacional de Rosario. Se describen los fundamentos de la propuesta didáctica, las actividades de aprendizaje propuestas, el laboratorio remoto utilizado y los resultados preliminares de la primera implementación de la actividad.

**Palabras clave:** Laboratorios remotos, Energía solar, Calefones solares, Energías renovables, Educación de posgrado.

## Abstract

A laboratory practical work for teaching topics of thermal solar energy is presented. It was developed for the elective subject "Laboratory of renewable energy" of the Mastery in Energy for the Sustainable Development of the Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura of the Universidad Nacional de Rosario. The foundations of the didactic proposal, the learning activities proposed, the remote laboratory used and the preliminary results of the first implementation of the activity are described.

**Keywords:** Remote laboratories, Solar energy, Solar heaters, Renewable energies, Postgraduate education.

## I. INTRODUCCIÓN

Ante la creciente demanda energética y el uso de fuentes de energía contaminantes, es imperioso profundizar medidas enfocadas hacia el ahorro energético, una mayor eficiencia energética y la incorporación progresiva de fuentes energéticas menos nocivas o de bajo impacto ambiental. Entre ellas, la energía solar térmica ocupa un lugar de relevancia en el ámbito doméstico, para la producción de agua caliente sanitaria (ACS) mediante el empleo de colectores solares

Estos sistemas son objeto de estudio en asignaturas de posgrados para ingenieros, arquitectos y otros profesionales. En este nivel educativo se profundizan conocimientos teóricos previamente abordados en los programas de grado, pero también se pone al alumno en contacto con equipos, instrumentos, técnicas y procedimientos que consoliden la formación experimental que demanda la especialización para el futuro desempeño del profesional.

Por ello, se requiere disponer de materiales didácticos que favorezcan el aprendizaje de estos temas, fundamentalmente referidos a actividades de aprendizaje de tipo experimental.

El relevamiento realizado por Martínez et al. (2011) sobre recursos didácticos de uso libre sobre temas de energía ha mostrado que los mismos son casi inexistentes para nivel de posgrado. Utilizando un laboratorio remoto, se desarrolló un trabajo práctico para el aprendizaje de las variables relevantes en el rendimiento de calefones solares, las relaciones entre ellas y la determinación experimental de las mismas. La actividad de aprendizaje fue diseñada para su empleo en la asignatura electiva "Laboratorio de energía renovable" de la Maestría en Energía para el Desarrollo Sostenible de la FCEIA-UNR, con el título: "Energía Solar Térmica - Comportamiento de Calefón Solar".

## II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### A. Calefones solares

Existen distintos tipos de calefones solares, dependiendo del tipo de colectores que utilicen. Cualquiera sea el tipo de colector, un aspecto esencial de los calefones solares utilizados para proveer ACS lo constituye el rendimiento energético, evaluado como:

$$\eta = \text{Energía útil/Energía recibida} \quad (1)$$

Diversos ensayos han sido realizados en laboratorio sobre colectores de placa plana (Garnica et al., 2010; Polo Bravo et al., 2011), los que han permitido conocer más de la mecánica y funcionamiento de los equipos, planificar mejoras, evaluar nuevos materiales y realizar ensayos en diferentes condiciones.

Pero los calefones están instalados en una unidad habitacional determinada, con hábitos de uso particulares y en una cierta localidad, afectada de niveles de radiación y condiciones climáticas características. Esta heterogeneidad en las condiciones de uso implica que las mediciones que se hagan en el laboratorio, de las variables relevantes para calcular el rendimiento de un mismo equipo, arrojarán valores diferentes y en consecuencia distintos rendimientos. Por ello resulta necesario evaluar el rendimiento de estos equipos en el contexto en el cual son efectivamente utilizados y respetando también los diferentes hábitos de uso de los mismos.

Para ese fin ha sido desarrollado un equipo denominado Laboratorio Remoto Móvil. El mismo tiene la capacidad de acoplarse al sistema de calentamiento de agua para monitorear y controlar su funcionamiento a distancia, operado desde el Laboratorio de Energía Renovable de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura (FCEIA) de la Universidad Nacional de Rosario (UNR).

Esto posibilita que el sistema bajo medición pueda ser ensayado en el lugar donde el mismo esté emplazado. La comunicación entre el laboratorio remoto y el fijo se establece a través de la red de telefonía celular y de Internet. Realizados los ensayos, los datos obtenidos de los valores de las variables de interés son procesados para evaluar el comportamiento del sistema, así como para proponer mejoras al mismo y prácticas de uso más eficientes.

### B. Laboratorios remotos

Un laboratorio remoto (LR) es un conjunto de dispositivos físicos reales, situados en determinadas instituciones, dotados de un conjunto de instrumentos, sensores, motores, cámaras de video, etc., de manera que pueden ser manipulados a distancia a través de Internet. Los LR posibilitan la experimentación sobre dispositivos reales sin necesidad de estar físicamente en un laboratorio y constituyen un recurso potencialmente valioso para la enseñanza de la física (Kofman y Concari, 2011; Marchisio et al., 2011). El empleo progresivamente creciente de los LR proporcionará en un futuro próximo, información para investigar sobre sus usos (Gravier et al., 2008).

### C. Los trabajos prácticos de laboratorio

El denominado trabajo práctico experimental o de laboratorio, puede ser planteado, en general, como un problema a ser resuelto por el estudiante.

De acuerdo con el tipo de problema propuesto y los procedimientos para su resolución, el problema puede ser cerrado o abierto, o según la clasificación del Watts (1994), un problema dado (*given*), un problema de objetivo (*goal*), o un problema propio (*own*). En todos los casos, la actividad debe responder a objetivos de aprendizaje que sean relevantes para los estudiantes, y contar con la guía del docente.

Desde hace tiempo se ha alertado sobre la necesidad de plantear actividades experimentales que no sean meras comprobaciones de las leyes físicas (Hodson, 1994), y que permitan al estudiante avanzar en su propio proceso de aprendizaje, construyendo conocimientos relevantes.

La propuesta aquí presentada ha sido diseñada con este propósito, la cual se describe a continuación.

## III. LA PROPUESTA DIDÁCTICA

## A. El contexto

La asignatura “Laboratorio de energía renovable” se ofrece como electiva para los estudiantes de la Maestría en Energía para el Desarrollo Sostenible de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura (FCEIA) de la Universidad Nacional de Rosario. La misma comprende tres grandes temas: energía solar térmica, energía solar fotovoltaica y energía de biomasa.

Para cada uno de estos temas han sido desarrolladas actividades de aprendizaje experimentales, teniendo en cuenta la formación de los profesionales que optan por tomar el curso: ingenieros de distintas especialidades, físicos y arquitectos. Los mismos poseen ciertos conocimientos generales sobre los temas tratados, que han ido diferenciando progresivamente, a lo largo de su carrera de grado, y es en las asignaturas del posgrado donde los mismos deben ser integrados en una “reconciliación integradora”, analizando casos particulares y notando las generalidades que los atraviesan (Ausubel et al., 1976). De este modo, se los enfrenta a los estudiantes a explorar, analizar y profundizar casos concretos de producción y uso de energía renovable.

## B. La secuencia didáctica

El trabajo práctico desarrollado se titula: “Energía Solar Térmica - Comportamiento de Calefón Solar”. Tiene como objetivos, que el estudiante observe y analice el comportamiento de un calefón solar ensayado bajo cierto protocolo de extracción de agua, que determine su rendimiento diario y que evalúe la radiación solar incidente y la contraste con los valores medios históricos, en el período de observación. En el Anexo se reproduce la guía didáctica que se le entrega al estudiante.

En una clase se describe el trabajo práctico y se dan pautas orientadoras para que el estudiante pueda encarar el trabajo propuesto. El mismo consiste en realizar ensayos sobre un calefón solar ubicado en la terraza del edificio de la FCEIA, operado en forma remota, y utilizar valores de las variables que registra el Laboratorio Remoto Móvil, descrito en otro trabajo (Plano et al., 2015), y en la guía didáctica, para evaluar radiación solar incidente y rendimiento del calefón. El acceso al laboratorio se hace desde cualquier sitio con conexión a Internet (Figura 1).



FIGURA 1. Página del Laboratorio Remoto Móvil. (<http://labremf4a.fceia.unr.edu.ar/labs/solargsm/>)

Como puede verse en la guía didáctica, según la clasificación “abierto-cerrado” para los problemas, el trabajo práctico propuesto puede considerarse como un problema cerrado en tanto la solución del mismo es única. De acuerdo con la categorización hecha por Watts (1994), se trata de un problema de objetivo (*goal*), en el sentido que el alumno debe diseñar su propia estrategia para obtener la solución. Los estudiantes poseen la autonomía suficiente para abordar el problema de este modo, trabajando en grupos, tal como deberán trabajar como profesionales.

#### IV. RESULTADOS

La propuesta didáctica fue utilizada en las últimas dos ediciones de la asignatura. Dado que se trata de una asignatura electiva, la misma fue tomada solo por seis alumnos en cada una de las ediciones. A modo de ejemplo, se presentan los resultados obtenidos por dos de los grupos de estudiantes, consignados en el respectivo informe escrito presentado, que hasta la fecha han sido solo tres.

El intervalo de días analizado por uno de los grupos, fue del 15/11/14 al 19/11/14, y los valores registrados fueron presentados en una tabla, parte de la cual se muestra en la Tabla I.

**TABLA I:** Valores obtenidos del ensayo del calefón solar

Fecha/Hora	$T_{amb}$ °C	$T_{ent}$ °C	$T_{sal}$ °C	Rad W/m <sup>2</sup>	V extraído
15/11/2014 0:00	22,81	26,38	45,44	0	1 litro
15/11/2014 6:00	20,75	20,44	43,13	0	1 litro
15/11/2014 7:00	20,62	21,75	42,56	12	1 litro
15/11/2014 8:00	23,06	22,37	41,88	119,5	1 litro
15/11/2014 9:00	25,25	24,87	41,75	360,8	1 litro

De estas tablas los estudiantes calcularon la energía solar recibida para un día de alta radiación y otro de baja, a partir de la integración de la gráfica radiación recibida vs tiempo, utilizando una curva de ajuste. De este modo resultó la energía recibida el día 18/11/2014 la más alta en el período: 6198,3 Wh/m<sup>2</sup> y la energía recibida el día 19/11/2014, la más baja: 2583,5 Wh/m<sup>2</sup>. Según las tablas provistas por la NASA para la ciudad de Rosario, la radiación promedio para noviembre fue de 4560 Wh/m<sup>2</sup>, en tanto que la máxima sería de 5563,2 Wh/m<sup>2</sup> y la mínima de 3009,6 Wh/m<sup>2</sup>.

De acuerdo con estos valores, la energía máxima medida en el laboratorio supera la máxima informada por la NASA, en tanto que la energía mínima es inferior a la informada por ese organismo, dando cuenta de una amplitud mayor que la proporcionada por la NASA.

Según los datos experimentales, la duración del día (período de horas en el que el calefón recibió radiación solar) fue estimada en 14 horas, mientras que el promedio que indica la NASA para noviembre es de 13.7 horas, con lo cual los valores presenta nuevamente discrepancia. Esto puede deberse, entre otros factores, a que los datos de la NASA no diferencian zona dentro de la ciudad, la cual tiene una extensión de casi 180 Km<sup>2</sup>.

Algunos grupos utilizaron también las expresiones teóricas para evaluar la duración del día, en función de la latitud y la declinación, constatando diferencias importantes con los valores obtenidos experimentalmente, argumentando la posible presencia de nubes u otra contingencia similar.

Para el cálculo de la energía obtenida por el agua en cada uno de los días del período considerado, los estudiantes evaluaron la diferencia entre la energía interna del agua al inicio de la misma y la que posee al final de esa hora, a partir de la relación (2) referida a los 150 Kg de agua contenidos en el tanque del calefón.

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (2)$$

Los valores obtenidos resultaron entre 1500 y 3500 Wh para el período comprendido entre el 15 y el 19 de noviembre de 2014.

Para calcular el rendimiento diario los estudiantes tuvieron en cuenta que el colector tiene 2 m<sup>2</sup> aproximadamente, por lo cual la energía recibida registrada por el sistema fue multiplicada por esa área. De ese modo, calcularon el rendimiento día por día, consignado en la Tabla II.

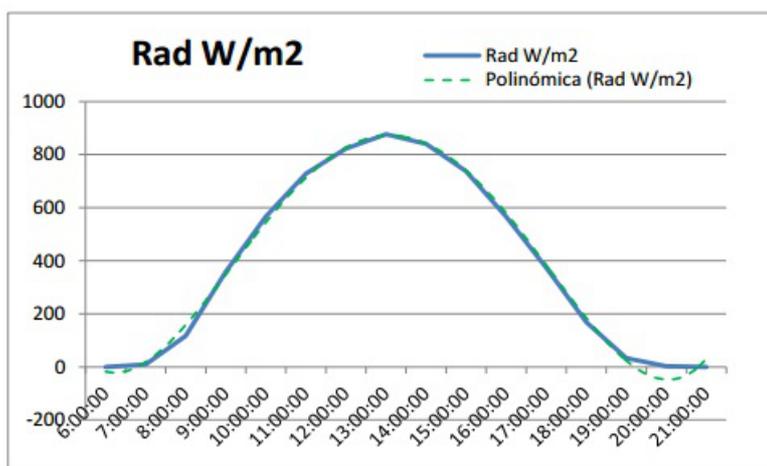
**TABLA II:** Rendimiento diario en el período comprendido entre el 15 y el 19 de noviembre de 2014.

Fecha	$E_{int}$ ganada (Wh)	$E_{recibida}$ (Wh)	$\eta$ (%)
15/11/2014	3479	12377	28,11
16/11/2014	2761	12159	22,71
17/11/2014	3130	12339	25,36
18/11/2014	3441	12397	27,76
19/11/2014	1565	5167	30,29

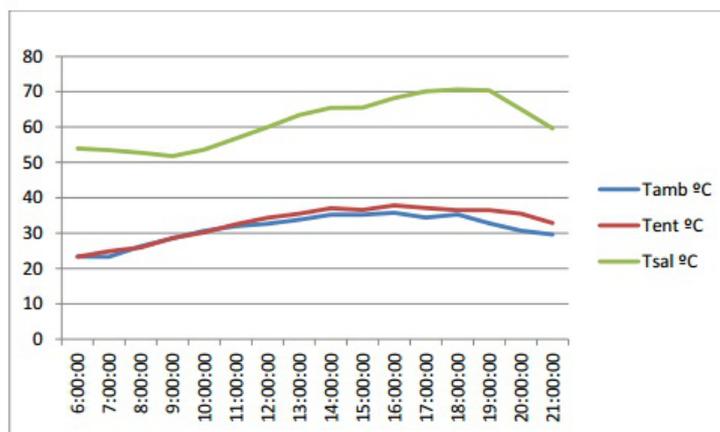
La radiación solar efectiva de los últimos 5 días de mediciones fue evaluada como alrededor de 2,6 KWh/m<sup>2</sup> día.

Finalmente, eligiendo la noche que va del 17/11/2014 al 18/11/2014, la energía interna del agua cuando comienza a bajar la temperatura el día 17 (a las 19:00 hs) era de 9,71 KWh en tanto que la energía interna del agua cuando comienza a calentarse el día 18 (a las 10:00 hs) fue de 7,32 KWh. Por lo tanto, la energía perdida en esa noche fue calculada en 2,39 KWh.

Adicionalmente, los estudiantes confeccionaron las gráficas solicitadas, algunas de las cuales se reproducen en la Figura 2.



- Gráfica de temperaturas de entrada, salida y ambiente vs. tiempo, del intervalo seleccionado.



**FIGURA 2.** Curva de radiación en función del tiempo con ajuste (figura superior), y gráfica de temperatura en función del tiempo (figura inferior), presentadas por un grupo de alumnos en su informe.

## V. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

A partir de los informes analizados, los estudiantes han evidenciado habilidad para aplicar conocimientos e integrarlos para resolver un problema nuevo, mostrando capacidad para analizar críticamente sus propios resultados y los obtenidos de otras fuentes.

Se espera avanzar en la evaluación de los resultados de esta primera implementación del trabajo práctico a medida que los estudiantes entreguen sus informes, así como introducir mejoras en la guía didáctica, a partir de los resultados de esa evaluación.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Universidad Nacional de Rosario por el apoyo otorgado para la realización de este trabajo mediante el subsidio correspondiente al proyecto de investigación IING374.

## REFERENCIAS

Ausubel, D. P.; Novak, J. D. y Hanesian, H. (1976). *Psicología educativa: un punto de vista cognoscitivo*. 2da ed. México: Trillás.

Garnica, J. H.; Lucchini, J. M.; Stoll, R. G. y Barral, J. R. (2010). Ensayos normalizados de colectores solares y sistemas de calentamiento de agua en Argentina: análisis de la situación, avances y dificultades. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, V 14, 03.147-03.154 <http://www.cricyt.edu.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2010/2010-t003-a020.pdf> (10/07/15)

Gravier, C. Fayolle, J. Bayard, B. Ates, M. & Lardon, J. (2008). State of the Art about Remote Laboratories Paradigms - Foundations of Ongoing Mutations. *International Journal of Online Engineering*, 4(1), pp. 19-25 [http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/31/96/12/PDF/rlab\\_proposedguideline.pdf](http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/31/96/12/PDF/rlab_proposedguideline.pdf) (10/07/15)

Hodson, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (3), pp. 299-313

Kofman, H. A. & Concari, S. B. (2011). Using remote labs for Physics teaching. In: *Using Remote Labs in Education*. Javier García Zubia and Gustavo Alves (Eds.), University of Deusto Publications, pp 293-308 [http://www.weblab.deusto.es/web/weblab.content/using\\_remote\\_labs\\_in\\_education.pdf](http://www.weblab.deusto.es/web/weblab.content/using_remote_labs_in_education.pdf) (10/07/15)

Marchisio, S., Concari, S., Kofman, H. & Lerro, F. (2011). Real Experiments by Remote Laboratories for Physics Teaching at Argentina. In T. Bastiaens & M. Ebner (Eds.), *Proceedings of EdMedia: World Conference on Educational Media and Technology 2011* (pp. 1950-1955). Association for the Advancement of Computing in Education (AACE). <http://www.editlib.org/p/38128> (06/06/15)

Martínez, M.; Properzi, M. F.; Concari, S. B. (2013). En: Memorias de la Jornada de Jóvenes Investigadores Tecnológicos JIT2013. Primera Jornada de Jóvenes Investigadores Tecnológicos de las Regionales UTN de la Provincia de Santa Fe. *Rafaela (Sta. Fe), 8 de noviembre de 2013*. [http://www.edutecne.utn.edu.ar/publicaciones/jit2013/FR-ROSARIO/RO\\_11\\_recursos\\_de\\_uso.pdf](http://www.edutecne.utn.edu.ar/publicaciones/jit2013/FR-ROSARIO/RO_11_recursos_de_uso.pdf) (02/08/15)

Plano, M. A.; Saez de Arregui, G.; Lerro, F.; Concari, S. (2015). Tecnología de sensoramiento remoto para la evaluación del funcionamiento de calefones solares. En: *Memorias de la Cuarta Edición del Congreso Latinoamericano de Ingeniería y Ciencias Aplicadas - CLICAP 2015*. San Rafael, 15 al 17 abril 2015. [http://www.researchgate.net/publication/280948769\\_TECNOLOGIA\\_DE\\_SENSORAMIENTO\\_REMOTO\\_PARA\\_LA\\_EVALUACION\\_DEL\\_FUNCIONAMIENTO\\_DE\\_CALEFONES\\_SOLARES\\_\(05/05/15\)](http://www.researchgate.net/publication/280948769_TECNOLOGIA_DE_SENSORAMIENTO_REMOTO_PARA_LA_EVALUACION_DEL_FUNCIONAMIENTO_DE_CALEFONES_SOLARES_(05/05/15))

Polo Bravo, C. A.; Torres Muro, H. A. (2011). Métodos experimentales para la evaluación de colectores y termas solares. <http://fc.uni.edu.pe/mhorn/IF%20442%202011/evaluacion%20de%20terma%20solar%20%28articulo%20Polo%20y%20Torres%29.pdf> (10/07/15)

Watts, M. (1994). *Problem solving in science and technology*. David Fulton Publishers: Londres.