

TRABAJO PRACTICO SOBRE CALENTAMIENTO DE AGUA CON ENERGIA SOLAR

Enrique D. Albizzati^{*}, Alicia N. Arese[#], Germán Rossetti[°]

Cátedra de Fundamentos de la Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería Química - U. N. del Litoral
Santiago del Estero 2654 - (3000) Santa Fe - Argentina

RESUMEN

Se describe la metodología y los resultados obtenidos en la realización del Trabajo Práctico, en el que participan activamente los estudiantes de la asignatura. En el mismo se han diseñado, construido y ensayado dos equipos simples para el calentamiento de agua con energía solar.

El método aplicado, dada la variedad de habilidades y de información que requiere, posibilita desarrollar en los alumnos aptitudes no contempladas en los trabajos prácticos tradicionales.

INTRODUCCION

En la asignatura Fundamentos de la Ingeniería Química se estudian los temas Ecuaciones de Balance y Fenómenos de Transferencia de Cantidad de Movimiento, Energía y Materia. Las actividades de enseñanza y aprendizaje comprenden clases teóricas y clases de resolución de problemas, y se complementan con la realización por parte de los estudiantes de un Trabajo Práctico intensivo (1).

El Trabajo Práctico tiene características extra-áulicas y grupal, realizándose en base a una metodología de participación activa de los estudiantes, que puede encuadrarse dentro del "método de proyectos".

En general las tareas se programan de manera tal que los resultados obtenidos por un grupo en un determinado período son revisados en el período siguiente por otro grupo con el fin de dar continuidad al diseño, construir un equipo, perfeccionar técnicas de medición, mejorar detalles constructivos u obtener e interpretar datos experimentales. De esta manera los resultados finalmente alcanzados son el producto del aporte sucesivo de varias comisiones.

El presente trabajo fue desarrollado como parte de un conjunto destinado al estudio de los Fenómenos de Transferencia de

* Profesor de la UNL

Jefe de T.P. de la UNL

° Jefe de T.P. de la UNL y Becario del CONICET

Energía, en los cuales están involucrados los mecanismos de Conducción, Convección y Radiación.

El objetivo final es comparar el comportamiento de dos equipos simples que colectan y acumulan energía solar(2).

En las experiencias se miden periódicamente la temperatura del agua, la temperatura del ambiente, y la radiación solar global incidente sobre el plano del colector.

Se define y se calcula el rendimiento térmico de cada equipo, como el cociente entre la energía útil y la radiación solar medida. Resulta posible también hallar a partir de los datos experimentales dos parámetros característicos de los dispositivos: el rendimiento óptico y el coeficiente de pérdidas de energía hacia el exterior.

DESARROLLO DEL TRABAJO PRACTICO

EL trabajo práctico está basado en el "método de proyectos". Consiste esencialmente en el planeamiento, ejecución y comunicación escrita y oral de un proyecto, entendiéndose a éste como una actividad tendiente a resolver una situación problemática concreta.

El método de proyectos puede desarrollarse, en líneas generales, de acuerdo a los siguientes pasos (3):

- a) Selección de un proyecto por parte del docente, del docente y los alumnos, o por parte de los alumnos solamente.
- b) planeamiento de todos los detalles del proyecto.
- c) determinación de la secuencia de ejecución por parte de un alumno o de un grupo de alumnos.
- d) recolección de informes - antecedentes - y selección del material necesario para la ejecución de las distintas fases del planeamiento del proyecto.
- e) ejecución de las tareas previstas para la efectivización del proyecto.
- f) redacción de un informe escrito.
- g) presentación oral de los resultados obtenidos al resto de los alumnos y a los docentes.

En el caso que nos ocupa, el Trabajo Práctico fue realizado por los estudiantes agrupados en comisiones, siendo el tema elegido por ellos mismos, basado en las propuestas efectuadas por la Cátedra. La formación de los grupos surgió de los propios alumnos, y el número de integrantes varió entre dos y tres.

Debe observarse que las tareas realizadas por cada grupo no siempre contemplaron la totalidad de los pasos enunciados en el método de proyectos, sino algunos de ellos.

Las actividades se programaron de forma tal que las tareas realizadas por un grupo fueron revisadas en el período siguiente por otro grupo sumándose de esta manera los aportes sucesivos de varias comisiones en la concreción de las distintas etapas del Trabajo Práctico.

Durante la preparación y ejecución del trabajo cada grupo tuvo el apoyo de un docente asignado al mismo, quien los orientó y supervisó las actividades, teniendo en cuenta los requerimientos de sus integrantes, y los objetivos que se persiguieron.

Cada etapa del Trabajo Práctico se caracterizó por enfatizar en: aspectos teóricos, diseño y construcción de equipos o determinaciones experimentales. En la construcción de los equipos se contó con el apoyo del Taller Mecánico de la Facultad, y los recursos materiales utilizados fueron reducidos.

FUNDAMENTOS TEORICOS DEL TRABAJO PRACTICO

Los equipos colectores-accumuladores están formados básicamente por una caja de chapa galvanizada que contiene al fluido, tienen una cubierta de vidrio en su parte superior y se encuentran aislados en los laterales y en el fondo. Ambos se visualizan en la Figura 1.

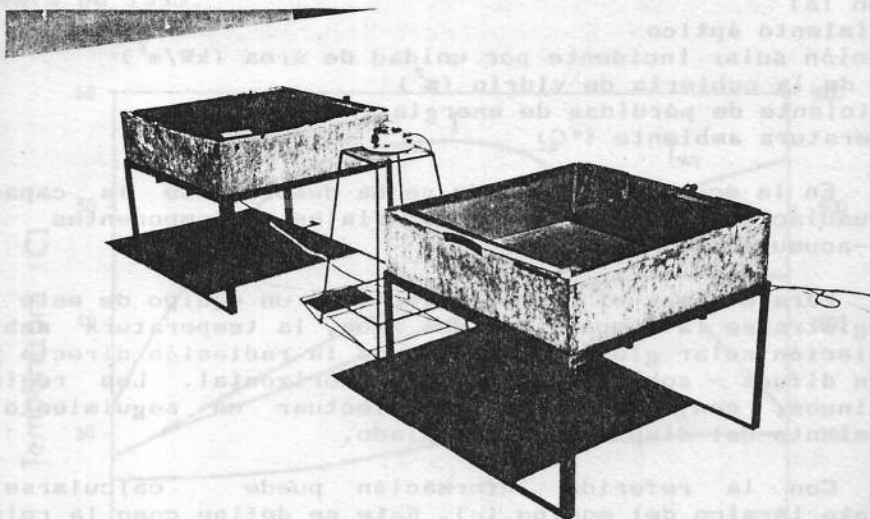


Figura 1. Fotografía de los equipos colectores-accumuladores.

Lo que distingue a los dos dispositivos colectores-accumuladores es que uno de ellos posee en contacto con

el agua, una placa metálica de chapa pintada de negro, la que está soldada por los bordes laterales. Sobre esta superficie absorbente la radiación incidente se convierte en energía térmica y el calor se transfiere hacia el agua por conducción. En el otro caso la radiación que atraviesa la cubierta de vidrio se convierte en forma directa (Equipo 2).

La masa de agua contenida en los equipos es de 35 litros y el área de la cubierta de vidrio expuesta al sol es de $0,34 \text{ m}^2$. El equipo de conversión directa tiene un vidrio de 4 mm de espesor y en el de conversión indirecta el espesor es de 3 mm.

Para cada uno de los equipos, que son discontinuos y se posicionan en forma horizontal, el balance térmico puede plantearse según:

$$(\text{Energía útil}) = (\text{Energía absorbida}) - (\text{Energía perdida})$$

$$M C_p dT_v / dt = \eta_o I A_c - U_c A_c (T_v - T_a) \quad (1)$$

donde

M: masa de agua (kg)

C_p : calor específico del agua (kJ/kg°C)

T_v : temperatura del agua (°C)

t: tiempo (s)

η_o : rendimiento óptico

I: radiación solar incidente por unidad de área (kW/m²)

A_c : área de la cubierta de vidrio (m²)

U_c : coeficiente de pérdidas de energía (kW/m²°C)

T_a : temperatura ambiente (°C)

En la ecuación formulada se ha despreciado la capacidad de acumulación de los materiales componentes del colector-acumulador.

Para evaluar el comportamiento de un equipo de este tipo deben registrarse la temperatura del agua, la temperatura ambiente y la radiación solar global - que abarca la radiación directa y la radiación difusa - sobre la superficie horizontal. Los registros son continuos, con el objeto de efectuar un seguimiento del funcionamiento del dispositivo estudiado.

Con la referida información puede calcularse el rendimiento térmico del equipo (η). Este se define como la relación entre la energía útil ($M C_p dT_v / dt$) y la radiación solar que incide sobre el plano del colector ($I A_c$), resultando:

$$(\text{Rendimiento térmico}) = (\text{Energía útil}) / (\text{Radiación incidente})$$

$$\eta = \eta_o - (U_c (T_v - T_a) / I) \quad (2)$$

En la ecuación (2) se observa que si se representan los valores de η vs $(T_w - T_a)/I$, y los puntos se distribuyen de manera tal que pueden correlacionarse con una línea recta, entonces es posible determinar los valores del rendimiento óptico (η_o) y del coeficiente de pérdidas de calor (U_c). Ambos son los parámetros que caracterizan el comportamiento del colector-acumulador.

En el equipo de conversión directa el rendimiento óptico va a depender sustancialmente de las propiedades del vidrio, tanto frente a la radiación solar como de la radiación infrarroja que abandona el agua. Cuando la conversión es indirecta, van a influir las propiedades (ópticas y térmicas) de la placa metálica además de las del vidrio.

Con respecto al coeficiente de pérdidas de calor hacia el ambiente, el mismo depende del espesor y conductividad de la aislación, de la capacidad emisora de la cubierta y de la placa absorbidora, y también de las condiciones ambientales (temperatura y velocidad del viento).

RESULTADOS OBTENIDOS Y CONCLUSIONES

En la Figura 2 se observan los registros efectuados en la ciudad de Santa Fe (Argentina), en un día típico de fines de la primavera de 1993.

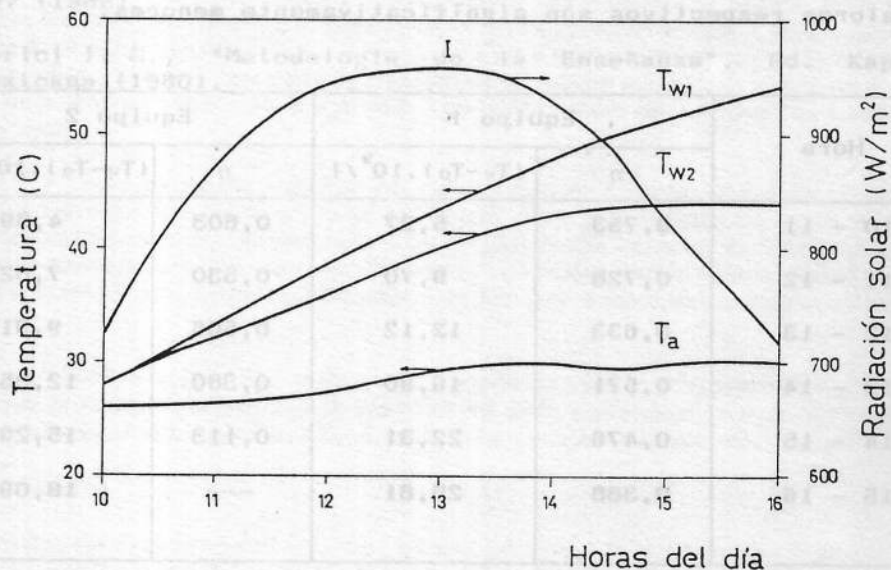


Figura 2. Datos experimentales obtenidos en el ensayo.

En la experiencia se cargaron los dispositivos con agua a igual temperatura y se iniciaron las mediciones cuando el valor de la radiación fue mayor a 700 W/m^2 . La radiación solar global se midió con un piranómetro Eppley Black and White, y las temperaturas se tomaron con termocuplas tipo J. El valor máximo de la radiación solar fue casi 960 W/m^2 sobre el plano horizontal.

En relación con las temperaturas, la correspondiente al ambiente creció desde $26 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta $30 \text{ }^\circ\text{C}$. La temperatura del agua en el colector de conversión directa, creció en menor medida que la temperatura del agua del colector de conversión indirecta.

Luego, se manifiesta una importante diferencia en la temperatura máxima alcanzada en ambos dispositivos, a favor de aquél que posee una placa negra absorbente de la energía solar. Mientras que uno de los colectores llega a $44 \text{ }^\circ\text{C}$, el otro trepa a $54 \text{ }^\circ\text{C}$, a la hora 16.

Con los datos graficados en la figura, se confeccionó la Tabla 1, donde se muestran los valores promedio del rendimiento térmico de los equipos en cada hora del ensayo. En la misma tabla se muestra el cociente entre los promedios de la diferencia de las temperaturas del agua y del ambiente, y la radiación solar global horizontal.

El rendimiento térmico (η) del Equipo 1 va desde 0,753 hasta 0,388, y siempre es decreciente para valores de $(T_w - T_a)/I$ crecientes. Similar tendencia se observa para el Equipo 2, aunque los valores respectivos son significativamente menores.

Hora	Equipo 1		Equipo 2	
	η	$(T_w - T_a) \cdot 10^3 / I$	η	$(T_w - T_a) \cdot 10^3 / I$
10 - 11	0,753	5,27	0,603	4,89
11 - 12	0,728	9,70	0,530	7,82
12 - 13	0,633	12,12	0,506	9,91
13 - 14	0,571	16,90	0,380	12,35
14 - 15	0,476	22,31	0,113	15,29
15 - 16	0,388	28,81	---	18,09

Tabla 1. Resultados del rendimiento térmico calculado para ambos equipos.

Los resultados volcados en la tabla resultan aceptables, en particular para el equipo con placa absorbente, que es el de mayor interés práctico, pero los mismos son aún insuficientes si se quiere estimar a través de ellos los parámetros característicos del colector-acumulador (η_0 y U_c).

Con este fin se han programado nuevas experiencias, tratando de abarcar más variadas condiciones climáticas y todas las estaciones del año. Simultáneamente se procederá a perfeccionar algunos detalles constructivos en los equipos desarrollados en colaboración con los estudiantes de la asignatura.

Se quiere hacer hincapié que existe un amplio campo, que incluye la etapa experimental y la simulación, donde pueden ser utilizados estos equipos con fines didácticos, para evaluar la influencia de las variables térmicas, ópticas y geométricas sobre su comportamiento.

REFERENCIAS

- 1.- E. Albizzati y A. Arese, "Experiencias de una metodología activa en la enseñanza de los Fundamentos de la Ingeniería Química", XIV Congreso Interamericano y III Congreso Argentino de Ingeniería Química (Buenos Aires, setiembre de 1991).
- 2.- H. P. Garg y U. Rami, "Theoretical and experimental studies on collector/storage type solar water heater", *Solar Energy*, 29, 467 (1982).
- 3.- Nérici I. G., "Metodología de la Enseñanza", Ed. Kapelus Mexicana (1980).