

# DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO Y DEL COEFICIENTE GLOBAL DE PÉRDIDA DE UN RAMAL COLECTOR PLÁSTICO MEDIANTE UN MÉTODO CALORIMÉTRICO SIMPLE.

A. J. BUSO\*, E. FORASTIER\*, E. PALASZCZUK\*, J. C. SCARAMELLINI\*, A. F. AEBERHARD#

\*Departamento de Física – Facultad de Ciencias Exactas – UNNE – Corrientes – Argentina.

# GIDER – Dpto. Termodinámica – Fac. Ingeniería – UNNE – Resistencia – Argentina.

e-mail: [ajbusso@exa.unne.edu.ar](mailto:ajbusso@exa.unne.edu.ar)

## RESUMEN

Se exponen en el presente artículo los resultados obtenidos para el valor del coeficiente global de pérdida térmica  $K$ , y el rendimiento  $\eta$ , de un ramal colector plástico. En la determinación experimental el ramal colector fue sometido a ensayos calorimétricos simples bajo diferentes condiciones: convección natural, circulación forzada y con la radiación solar como fuente de calor. Se plantea el modelo teórico base para el análisis de los resultados experimentales y su aplicabilidad a las particularidades del sistema ensayado.

## PALABRAS CLAVE

Colector Solar, Eficiencia, Coeficiente de Pérdida, Calentamiento de Agua, Calorimetría.

## ANTECEDENTES

Un colector solar plano es un tipo especial de intercambiador de calor que transforma la energía solar radiante en calor.

En general estos están constituidos por cuatro elementos principales: carcasa, absorbedor, aislamiento, y cubierta transparente, que cumplen las siguientes funciones: Carcasa – soporte mecánico de las otras tres partes; Absorbedor – colector la energía radiante y transmitirla al fluido; Aislamiento – reducir pérdidas térmicas hacia el exterior; Cubierta transparente – provocar el efecto invernadero y reducir pérdidas por convección.

Como todo intercambiador de calor, sus parámetros característicos dependen no solo de su diseño sino también de la calidad de los materiales utilizados para su construcción. El conocimiento de los valores de estos parámetros característicos es deseable a la hora de encarar cualquier análisis de comportamiento del sistema, dimensionamiento, simulación, etc.

En trabajos anteriores (Busso, *et al*, 1998; 1999) se detallan los resultados de un estudio técnico y económico acerca del empleo para calentamiento de agua de uso doméstico, de un colector modular totalmente construido en plástico, con botellas de gaseosas de descarte como cubierta transparente. Dado que no se disponían de resultados experimentales que caracterizaran al colector en forma individual, en los cálculos efectuados en dicho estudio se utilizó como valor para el rendimiento el determinado a partir de ensayos realizados sobre un sistema completo (colector + tanque de almacenamiento). La presente comunicación expone los resultados de experiencias realizadas con el fin de determinar la eficiencia del colector propuesto así como su coeficiente global de pérdida térmica y la influencia del viento sobre éste.

Los resultados aquí presentados forman parte de un estudio exhaustivo encarado tendiente a obtener hechos concluyentes sobre las bondades y defectos del colector propuesto a fin de caracterizarlo y determinar maneras de optimizarlo.

## FUNDAMENTOS TEORICOS

Bajo determinadas condiciones, el calor que un cuerpo entrega al ambiente o absorbe de él queda definido cuantitativamente por la ley de Newton (Worsnop-Flint, 1964; Welty, 1978).

Según esta ley, la pérdida de calor en la unidad de tiempo es proporcional a la diferencia de temperaturas entre el cuerpo y el ambiente.

Las condiciones que deben satisfacerse para poder aplicar esta ley son: que la diferencia de temperaturas sea pequeña,  $\sim 20^\circ\text{C}$ , y que el ambiente mantenga una temperatura constante.

En general toda pérdida de calor es la suma de tres procesos, convectivo, radiativo y conductivo. Si los dos últimos son despreciables, entonces la pérdida de calor se produce casi con exclusividad por el movimiento de aire alrededor del cuerpo.

En forma matemática la ley de Newton dice que:

$$\frac{dQ}{dt} = -K(T - T_{amb}) \quad (1)$$

La constante  $K$  depende de las propiedades de la superficie del cuerpo (grado de pulimento, extensión de la superficie expuesta, grado de limpieza, etc.).

Si ahora, por algún método se procede a suministrar energía al cuerpo, un balance energético determina que:

$$Pot = \frac{dQ}{dt} + K(T - T_{amb}) \quad (2)$$

Llamando  $W$  al equivalente en agua del cuerpo se puede reescribir le ec.(2) como

La cual tiene una solución de la forma:

$$Pot = W \frac{d(T - T_{amb})}{dt} + K(T - T_{amb}) \quad (3)$$

$$T = T_{amb} + \frac{Pot}{K} (1 - e^{-\frac{Kt}{W}}) \quad (4)$$

Si al tiempo  $t_1$ , para el cuál  $T = T_1$ , se interrumpe el suministro de energía la ec.(3) se transforma en:

$$W \frac{d(T - T_{amb})}{dt} = -K(T - T_{amb}) \quad (5)$$

Cuya solución es:

$$T = T_{amb} + (T_1 - T_{amb}) \cdot e^{-\frac{K(t-t_1)}{W}} \quad (6)$$

Las ecuaciones (4) y (6) constituyen las bases para los cálculos que exige el método empleado.

Por lo tanto, sometiendo al cuerpo a ciclos de calentamiento-enfriamiento con potencia de inyección constante y conocida y ajustando luego los datos experimentales al modelo teórico, es posible determinar el valor de  $K$  y  $W$ .

Por otro lado, conocidos estos parámetros con solo realizar ciclos de calentamiento y posterior ajuste de los datos experimentales, se podría cuantificar la potencia de la fuente de energía (solar en este caso) y la eficiencia del proceso de absorción de calor.

La aplicación de este método experimental simple a un sistema dinámico implica primero poder asegurar el calentamiento/enfriamiento uniforme de todo el volumen del mismo

Para lograr este objetivo y por tratarse nuestro caso particular de un colector solar plástico, se aprovechó del efecto combinado de dos variables; una la conductividad térmica de los materiales plásticos y la otra el caudal. Las pobres características térmicas de los materiales plásticos haría que, para un caudal lo suficientemente alto, la temperatura de salida del colector no varíe apreciablemente de la de entrada asumiéndose el proceso de pérdida o ganancia como uniforme a lo largo de colector.

## MATERIALES Y METODOS

La fig.1 muestra el dispositivo experimental utilizado. Las corridas realizadas incluyen ensayos tanto de laboratorio como de campo. El circuito hidráulico estaba compuesto por un ramal colector de 2 mts., de longitud similar al descrito en un trabajo previo (Busso, *et al*, 1998). Este se colocó en todos los casos formando un ángulo de trabajo de  $37^\circ$  con la horizontal. De esta forma, el pequeño tanque abierto quedaba conectado a su extremo superior y cumplía el doble propósito de reponer cualquier pérdida de agua que pudiera producirse durante la operación del sistema y de ventear el aire atrapado en el circuito hidráulico. La bomba de agua era del tipo de las utilizadas en equipos lavarropa, alimentada por 220V AC, de una potencia de 75 Watt a circuito cerrado y caudal de 0.25 lts/s medido a circuito abierto. El calefactor consistía en una resistencia inmersa en la corriente de agua, conectada a un regulador de potencia y con una disipación máxima de 750 Watt a 220V AC. La potencia inyectada al circuito era controlada mediante el monitoreo continuo de la tensión aplicada y corriente circulante a través del elemento calefactor.

Para la medición de temperaturas se emplearon termocuplas de tipo K en contacto con el fluido. Se monitoreó la evolución de la temperatura del fluido en tres puntos diferentes, antes del calefactor,  $T_{e\_cal}$ , a la entrada del colector,  $T_{ec}$ , y salida del mismo,  $T_{sc}$ .

Para reducir pérdidas hidráulicas y térmicas se minimizó la longitud de las cañerías de retorno y se las enfundó con un tubo aislante de espuma de goma. De esta forma solo quedó el colector como único elemento para el intercambio térmico con el medio.

La medición de intensidad de radiación solar se realizó con un solarímetro fotovoltaico de tipo clase 3 (~10% error) y la medición de velocidad de viento con un anemómetro de hilo caliente con 0.1 m/s de apreciación.

Basados en la fundamentación teórica y suponiendo al colector como el único elemento del sistema a través del cual se producen las pérdidas de calor, se realizaron ensayos de laboratorio sometiendo al sistema a:

- Calentamiento sin calefactor – para cuantificar cualquier contribución adicional de energía (bomba, fricción, otros).
- Ciclos de calentamiento-enfriamiento bajo condiciones de convección natural (ambiente estanco).
- Ciclos de calentamiento-enfriamiento bajo condiciones de convección forzada (simulación de viento – ambiente con movimiento de aire). Para este caso la velocidad media a la que se realizaron las determinaciones fue de ~1m/s quedando pendiente determinaciones a mayor velocidad.
- Ciclos de calentamiento con energía solar como fuente térmica – ensayos para determinar el rendimiento.

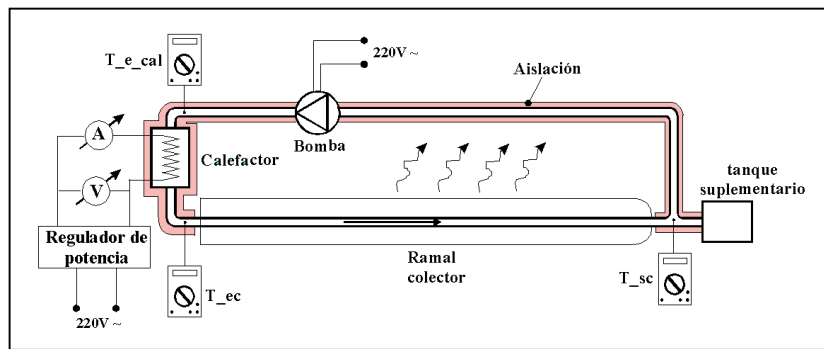


Fig.1.- Dispositivo experimental utilizado.

Durante cada ensayo se registraban a cada minuto las temperaturas del fluido, temperatura ambiente y cuando el ensayo lo requería, tensión y corriente sobre el calefactor, velocidad del aire ambiente e intensidad de la radiación solar. Mediante el programa ORIGIN5.0 se ajustaron los datos correspondientes a la porción del calentamiento. Como función de ajuste se utilizó la ec.(4) con  $P1 = Pot / K$  y  $P2 = K / W$  como parámetros de ajuste. Se debe destacar que todos los ciclos de calentamiento se realizaron cuidando que la temperatura que alcanzaba el sistema este siempre dentro del límite de aplicabilidad de la ley de Newton, esto es  $\sim 20^{\circ}\text{C} > T_{amb}$ .

### RESULTADOS OBTENIDOS

La fig.2 presenta un ciclo típico de calentamiento-enfriamiento. En la misma se observa que la  $T_{sc}$  se mantiene en todo momento  $\sim 1^{\circ}\text{C}$  por encima de las otras temperaturas. Se comprobó que esto se debía a un error sistemático producido por diferencias entre los instrumentos de medición ya que al intercambiar estos se revertía esta tendencia. Por otro lado, esta diferencia se encuentra dentro del intervalo de error indicado en las especificaciones del instrumento y mostrado en la figura. Corrigiendo esta diferencia aparente se concluye que, dentro de los errores de medición involucrados, la masa de agua se encuentra a la misma temperatura en todo punto del circuito hidráulico. La magnitud del caudal circulante por el circuito y la inercia térmica debida a las pobres características térmicas de los materiales plásticos que constituyen el colector serían la causa de esta fenómeno. Es posible entonces suponer al sistema como un cuerpo que absorbe/pierde calor en forma uniforme solo a través de la superficie libre del colector, haciendo aplicable la ec (4).

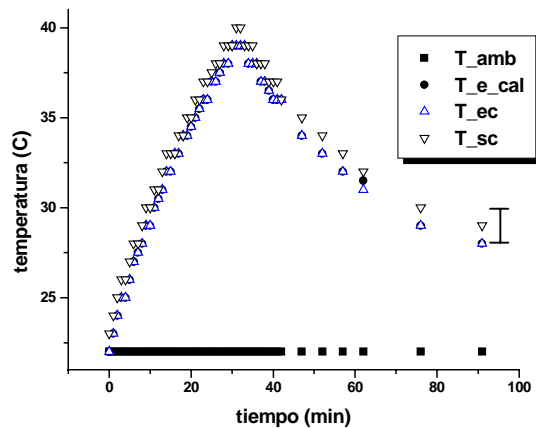


Fig.2.- Ciclo típico de calentamiento-enfriamiento.

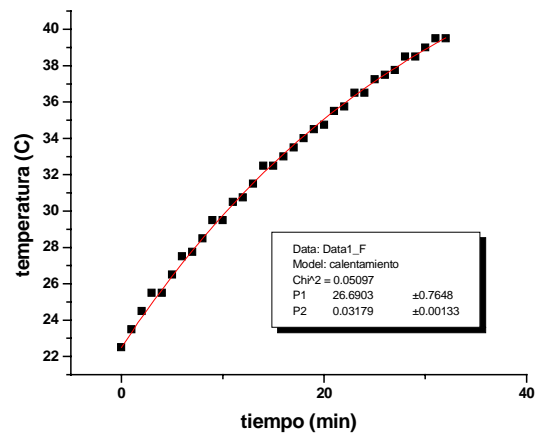


Fig. 3.- Ajuste de los datos experimentales aplicando la ec.(4)

La fig.3. presenta los datos experimentales correspondientes al proceso de calentamiento con la curva de ajuste superpuesta observándose una buena correlación entre ambas lo que sustenta la validez del modelo.

De modo similar se procedió durante los ciclos con movimiento forzado de aire.

En la fig.4. se observan los resultados típicos obtenidos para el caso de calentamiento mediante energía solar, graficándose en el eje de las abscisas la diferencia  $T - T_{amb}$ .

En esta serie de mediciones se verificaba una diferencia entre la temperatura a la entrada y salida del colector por tanto, en el análisis y ajuste de datos se trabajó con la temperatura media del fluido. La dispersión de los puntos experimentales se debe a la variación de la temperatura ambiente durante la experiencia.

La tabla 1 resume los resultados obtenidos a lo largo de la serie de experiencias realizadas.

	Unidades	Condición	Valor	+/-
<b>P'</b>	Watt	Sin calefactor	6.35	2
<b>K</b>	W/m <sup>2</sup> -°C	Aire estanco	2	0.44
<b>K</b>	W/m <sup>2</sup> -°C	Conv. Forzada (v ≈ 1 m/s)	3.1	0.62
<b>η</b>	- -	Con radiación solar como fuente de calor	25	3

Tabla 1.- Resumen de resultados obtenidos.

**P'** = potencia adicional inyectada (bomba, fricción, etc.)

**K** = coeficiente global de pérdida.

**η** = rendimiento del colector.

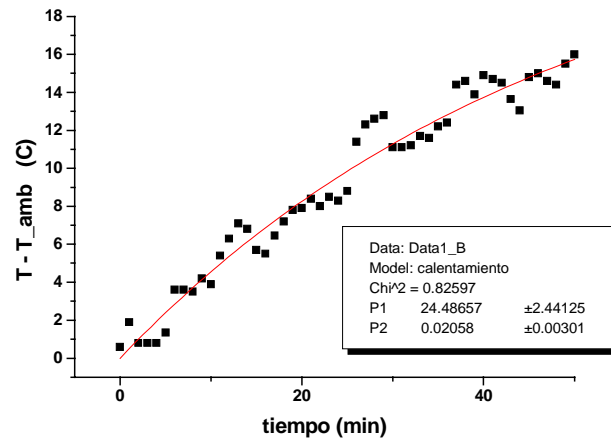


Fig.4.- Ajuste de datos experimentales con radiación solar como fuente de calor.

## CONCLUSIONES

Se expuso el modelo de ensayo calorimétrico propuesto, las condiciones de aplicabilidad y las bases matemáticas empleadas para el análisis de los datos recopilados.

Se determinó el coeficiente global de pérdida térmica, **K**, y el rendimiento **η**, para un colector plástico de un solo ramal sometiendo a ensayos calorimétricos simples tanto en laboratorio como en el exterior.

Para el caso del coeficiente **K** se determinaron dos valores, uno para condiciones de convección natural y otro para convección forzada con una velocidad media de aire de **1 m/s**. Los valores obtenidos fueron **2 W/m<sup>2</sup>-°C** y **3.1 W/m<sup>2</sup>-°C** respectivamente.

Se determinó experimentalmente que el rendimiento del ramal colector es de ~25%.

## REFERENCIAS

Busso A., Aeberhard A., Figueredo G., (1998). Un Colector Solar Plano Construido con Elementos Plásticos de Descarte: Viabilidad Técnica y Construcción, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol.2 N.1.

Busso A., (1998). Perspectiva Económica del Calefón Solar de Bajo Costo, GIDER – Grupo de Investigación de Energías Renovables, Informe Interno.

Busso A., Aeberhard A., (1999). Calefón Solar de Bajo Costo con Colector Plástico Plano Construido en Parte con Elementos Plásticos de Descarte: Primeros Resultados Experimentales, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol.3 N.1.

Welty James, (1978), Transferencia de Calor Aplicada a la Ingeniería, Ed. Limusa.

Worsnop B. L., Flint H. T., (1965). Curso Superior de Física Practica Tomo I, Editorial EUDEBA.

## ABSTRACT

The determination of the overall heat loss coefficient **K**, and the efficiency **η**, for a single line plastic collector is presented. The collector was the object of simple calorimetric tests under varying conditions: natural convection, forced convection and with solar radiation as heat source. The theoretical model used in the analysis of the experimental data and its applicability to our system is stated as well.

## KEYWORDS

Solar collector, efficiency, loss coefficient, water heating, calorimetry.