

## **ENSAYO BAJO NORMA IRAM DE COLECTORES SOLARES PLANOS Y DE TUBOS EVACUADOS. COMPARACIÓN DE CARACTERÍSTICAS**

**F.J. Nores Pondal<sup>1</sup>, M. Purucker<sup>4</sup>, F. Garreta<sup>2,\*</sup>, G. García Zuloaga<sup>3</sup>, M. Scheinckman<sup>4</sup>, M. Morale<sup>4</sup>, B. Calvo<sup>4</sup>, A. Abraham<sup>4</sup>, A. Haim<sup>5</sup>.**

Laboratorio de Estudios Sobre Energía Solar (LESES), Departamento de Ingeniería Civil, Facultad Regional Buenos Aires, Universidad Tecnológica Nacional (UTN.BA), Mozart 2300, C1407IVT, CABA. e-mail: fnorespondal@frba.utn.edu.ar

*Recibido 11/08/16, aceptado 09/10/16*

**RESUMEN:** Los colectores solares están en permanente equilibrio con el ambiente. La eficiencia de conversión del mismo depende de la radiación solar, la temperatura ambiente, la temperatura del agua de entrada y salida, la velocidad del viento y el caudal de circulación. De esta manera, no es posible asignar un solo valor de eficiencia a los colectores solares sino que es necesario determinar su curva de rendimiento. Esta curva representa el funcionamiento de los colectores solares bajo distintas situaciones ambientales y es necesaria para dimensionar cualquier sistema. La curva de rendimiento se determina experimentalmente bajo condiciones controladas de los parámetros mencionados y conforme a la norma IRAM 210002. En el banco de ensayos del LESES (Laboratorio de Estudios sobre energía Solar) se realizaron ensayos de diferentes colectores bajo la norma IRAM 210002. Este trabajo presenta una comparación de varios colectores ensayados y relaciona sus características constructivas con los parámetros determinados. Los resultados de este trabajo servirán para ser utilizados en el dimensionamiento de sistemas que utilicen los colectores ensayados. Asimismo, el LESES se encuentra transitando la adaptación del banco para cumplir con los requerimientos de la nueva versión de la Norma que entró en vigencia el corriente año y es objetivo del mismo, difundir la existencia de estas instalaciones para que sean consideradas a la hora de implementar una política de promoción de la energía solar térmica y para divulgar las actividades de investigación que allí se realizan.

**Palabras clave:** colector solar, rendimiento térmico, radiación solar, energía, Norma IRAM 210002.

### **INTRODUCCION**

Los colectores solares térmicos son elementos que transforman la radiación del sol en calor útil para calentamiento de fluidos. En esta transformación se involucran pérdidas por convección, conducción y radiación a lo largo de cada elemento que compone al colector. Luego, la energía obtenida es transferida mediante un intercambiador de calor al agua de consumo.

Actualmente se utilizan principalmente dos tipos de colectores solares para calefacción y producción de agua caliente de uso doméstico: colectores planos y colectores de tubos evacuados. Se caracterizan por costo y rendimiento diferentes, por lo que es muy importante elegir el colector adecuado para cada aplicación con el fin de optimizar el comportamiento de todo el sistema, el ahorro de energía y la recuperación de la inversión económico financiera.

Los colectores planos con cobertura de vidrio suelen estar constituidos por un absorbedor de metal en una carcasa o caja rectangular plana. La cubierta de vidrio sobre la superficie superior y el aislamiento en la parte inferior, limitan las pérdidas térmicas. La energía solar absorbida por la placa se transfiere al líquido que fluye dentro de los tubos colectores. Los tubos están en buen contacto térmico con la superficie absorbidora. Entre la placa absorbidora y la cubierta transparente hay presencia de aire, por lo tanto existen pérdidas por convección.

Los colectores de tubos evacuados consisten en tubos de vidrio sellados al vacío; la superficie absorbidora está situada en el tubo de vidrio interior y puede tener distintas formas. De este modo, se

<sup>1</sup> Investigador Asistente CONICET/YPF Tecnología      <sup>2</sup> Arq. Sursolar

<sup>3</sup> Ing. UTN.BA      <sup>4</sup> Estudiantes de Ingeniería UTN.BA      <sup>5</sup> Mg.-Ing. Investigador UTN.BA

\* Lugar de trabajo actual: Sursolar

reducen las pérdidas por convección en relación a los colectores planos. Estos colectores pueden subdividirse en dos tipos. El primero son los de flujo directo, donde el fluido transportador del calor está en contacto directo con la superficie absorbidora y el fluido se bombea a los tubos. El segundo tipo consiste en tubos de calor, por ejemplo de cobre, en el interior de tubos de vidrio sellados al vacío. Un reflector puede estar presente para optimizar la absorción de la radiación solar. Dentro de este último tipo se encuentran a su vez los colectores “heat pipe” y “U pipe”.

La elección del colector óptimo depende del nivel de temperatura requerido para la aplicación específica y de las condiciones climáticas del lugar de la instalación. Por lo tanto, en términos de eficiencia, cada colector muestra características que lo hacen más adecuado para una aplicación determinada.

En usos convencionales los colectores solares pueden proporcionar energía para calefacción de agua sanitaria o de ambientes en combinación con sistemas de baja temperatura de agua (aproximadamente 35 a 50 ° C), mientras que este calor tiene que ser provisto por encima de una temperatura mínima de 75 a 80 ° C en máquinas de enfriamiento por absorción (Schmid et al., 1984). En áreas con mucho sol, los colectores solares podrían utilizarse también en procesos de cocción (Hussein et al., 2008; Badran et al., 2005).

El conocimiento del comportamiento térmico de un colector solar es esencial para tomar una decisión correcta. La Norma IRAM 210002 establece un estándar único en toda Argentina para los ensayos de colectores solares térmicos. Esta norma especifica un procedimiento reproducible y garantiza resultados por lo tanto comparables.

En cuanto al laboratorio que realiza los ensayos, es deseable que éste se encuentre acreditado bajo norma ISO 17025, que es una normativa internacional más amplia que una norma relacionada al sistema de gestión de un laboratorio y establece los requisitos que deben cumplir los laboratorios de ensayo; con el objetivo de demostrar que estos son técnicamente competentes y capaces de producir resultados técnicamente válidos. Los laboratorios que deseen demostrar su competencia y credibilidad deberían implementar esta norma. En cuanto a las obligaciones reglamentarias o legales (nacionales, provinciales, municipales y MERCOSUR), éstas pueden requerir la acreditación del laboratorio para que los ensayos sean válidos en el marco legal.

El presente trabajo es de carácter tecnológico y tiene como objetivo comparar el rendimiento de distintos tipos de colectores ensayados en las instalaciones de la Plataforma Solar del Laboratorio de Estudios Sobre Energía Solar (LESES) del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad Tecnológica Nacional, (UTN-FRBA); de acuerdo a los lineamientos establecidos en la norma IRAM 210002. Un segundo objetivo que se desprende de estos ensayos, es el de presentar a la comunidad científico/tecnológica y empresarial, las capacidades del LESES en cuanto a caracterización de colectores según norma y bajo estándares de calidad. Dentro de las perspectivas a futuro y como plan estratégico, cabe mencionar que en este momento el LESES se encuentra pleno proceso de adecuación de sus instalaciones y procedimientos para la adecuación en el corto plazo del mismo para cumplir con los requerimientos de la nueva versión de la norma IRAM 210002-1 2016.

La Plataforma Solar donde se realizaron los ensayos se encuentra en el techo del Laboratorio de Estudios Sobre Energía Solar (LESES) del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires (UTN-FRBA), Villa Lugano, Ciudad Autónoma de Buenos Aires (58,48°, 34,58°). El banco de pruebas de la Plataforma Solar fue configurado para poder realizar las mediciones para la determinación del rendimiento de colectores solares según los lineamientos establecidos en la Norma IRAM 210002. Se ensayaron cinco colectores: colector plano con cubierta de vidrio, colector de polipropileno negro con aislante posterior, con y sin cubierta transparente de plástico, colector de tubos evacuados tipo “heat pipe” y colector de tubos evacuados tipo “U pipe” con reflector difuso posterior. Los mismos pueden englobarse dentro de tres categorías: colector plano (CP), colector plano de plástico (CPP) y colector de tubos evacuados (CTE). El tamaño de los colectores es el estándar para aplicaciones de

calentamiento de agua de uso doméstico en la zona centro de Argentina. Los ensayos se realizaron de manera independiente entre si y durante periodos de 3 a 4 meses cada uno.

El colector plano posee una cubierta de vidrio templado de 4 mm, parrilla de tubos con caños colectores superior e inferior de  $\frac{3}{4}$ " de cobre con pintura negro mate y caños de  $\frac{1}{8}$ " soldados por ultrasonido a franjas de aluminio con superficie selectiva. Los caños de las franjas están soldados a los caños colectores con plata. El colector tiene 25 mm de aislación de lana mineral con un film de aluminio a la vista. El colector plano de polipropileno negro posee aislación posterior y cubierta transparente de policarbonato de 3 mm de espesor sujeta al mismo mediante un marco. El circuito de circulación tiene una configuración del tipo serpentina. No tiene recubrimiento adicional. El colector tiene un tratamiento especial para resistir la acción del espectro UV. Por su parte, el colector de tubos evacuados "heat pipe" está formado por 30 tubos de vidrio de 50 mm de diámetro externo, el circuito de circulación está compuesto por un tubo de cobre que colecta el calor que generan los tubos de calor o "heat pipes". Estos se encuentran dentro de los tubos evacuados y transmiten el calor al tubo colector superior por medio de conducción. La transferencia de calor desde el colector al medio circulante es del tipo sólido-sólido, es decir, no hay mezcla de fluidos. La superficie absorbidora es una segunda ampolla de borosilicato con superficie selectiva. Entre medio de ambas ampollas existe un vacío. El colector de tubos evacuados "U-Pipe" está compuesto por 20 tubos de vidrio con recubrimiento selectivo y superficie externa CPC (Concentrador parabólico compuesto).

La **Figura 1** muestra una foto de la Plataforma Solar con uno de los colectores montado para el ensayo. Algunas de las características de los colectores ensayados se resumen en la **Tabla 1**. Un esquema del banco de pruebas de colectores de la Plataforma Solar se representa en la **Figura 2**.

El banco de pruebas de la Plataforma donde fueron montados los colectores era regulable en inclinación y orientación. En todos los ensayos se utilizó agua como fluido de trabajo. En el esquema de la **Figura 2** se representa el circuito hidráulico con dos colores que sugieren en forma intuitiva la entrada de agua a menor temperatura (azul) y la salida del colector a temperatura más elevada (roja). Las conexiones hidráulicas fueron realizadas mediante mangueras aisladas con aislantes de coquillas de 8mm de espesor. Para hacer circular el líquido por el circuito se utilizó una bomba. Antes de entrar en el colector, la temperatura del fluido se controló por medio de un calefactor eléctrico en línea. Un sistema de control, conectado a un sensor de temperatura insertado en el calefactor, actuó sobre el mismo para garantizar un control preciso de la temperatura del líquido en la entrada del colector. La temperatura del líquido en la entrada y en la salida de los colectores se midió por RTDs (*Resistance temperatura detectors*, por lo general de platino).

Dos piranómetros Kipp & Zonen CMP 11 se utilizaron para medir la irradiancia solar. Uno de ellos midió la radiación solar global en el plano del colector, mientras que el segundo piranómetro, a la sombra de la radiación solar directa, midió sólo la componente difusa sobre el plano horizontal. Para la medición de la radiación difusa, el piranómetro estaba equipado con un anillo que daba sombra al mismo. El ángulo de inclinación del colector fue de 30° o 40° dependiendo de la época del año.

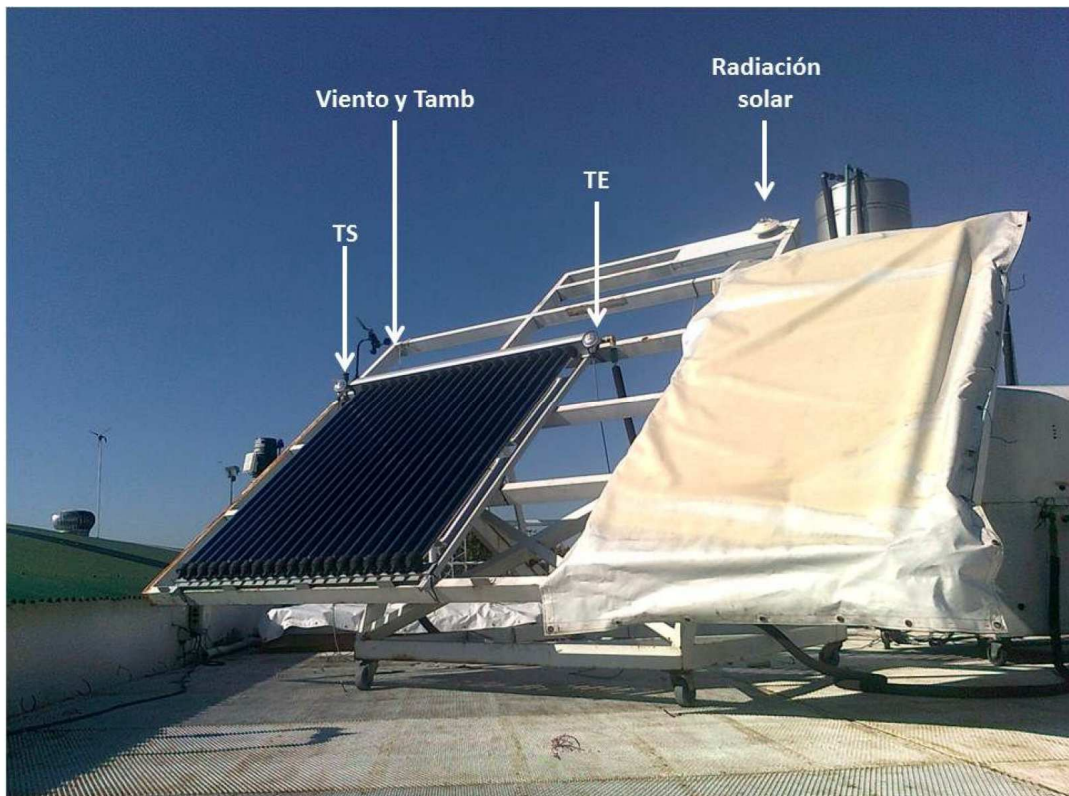


Figura 1: Foto de uno de los colectores (tipo U-pipe) montado en la Plataforma Solar para ser ensayado.

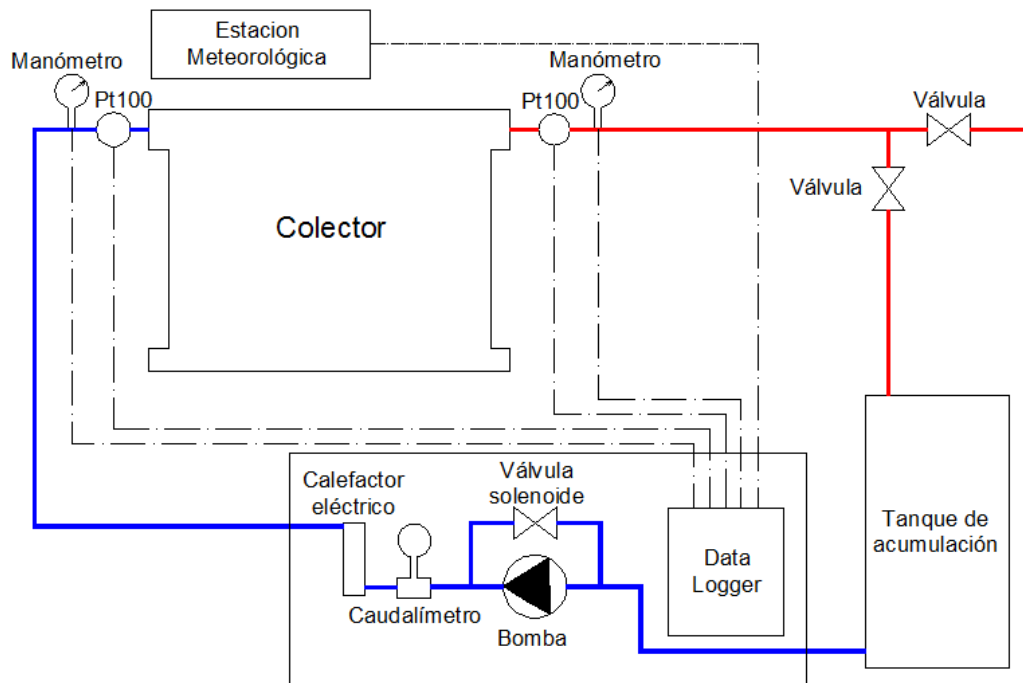


Figura 2: Esquema del banco de pruebas de colectores de la Plataforma Solar del LESES.

	<i>Plano</i>	<i>Plano (Polipropileno)</i>	<i>Plano (Polipropileno)</i>	<i>Heat Pipe (30 tubos)</i>	<i>U pipe (20 tubos)</i>
<i>Área total (m<sup>2</sup>)</i>	2,049	0,523	0,523	4,348	2,11
<i>Cubierta</i>	Vidrio templado 4mm	Polycarbonato transparente 3mm	Sin cubierta	Vidrio de borosilicato 1,8mm	Vidrio borosilicato
<i>Aislación</i>	25mm de lana mineral	25mm de espuma de poliuretano	Sin aislante	El caño colector está aislado con 50mm de lana de vidrio	El caño colector está aislado con lana de vidrio
<i>Masa del colector por unidad de área bruta (Kg/m<sup>2</sup>)</i>	21,76	6,834	6,834	94,8	10,64
<i>Capacidad volumétrica del colector por unidad de área bruta (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>)</i>	0,0097	0,002163	0,002163	0,000163	0,00834
<i>Intervalo de temperaturas de funcionamiento o recomendadas por el fabricante (K o °C)</i>	10 a 150	10 a 60	10 a 60	10 a 70	10 a 60
<i>Gasto mínimo del fluido transportador (Kg/s)</i>	0,04	0,011	0,011	0,05	0,042
<i>Gasto máximo del fluido transportador (Kg/s)</i>	0,04	0,011	0,011	0,05	0,042

*Tabla 1: Características físicas de los colectores ensayados.*

Para la medición del caudal de agua se utilizó un caudalímetro de tipo turbina de paso total. Para la calibración del mismo se midió el volumen de agua recogido en recipientes a distintos tiempos para cinco caudales característicos.

Dos estaciones meteorológicas marca Davis, se utilizaron para la medición de la temperatura ambiente y la velocidad y dirección del viento, factor que influye en la pérdida de calor del colector. El anemómetro de una de las estaciones midió la velocidad y dirección del viento en el plano del colector, mientras que el otro midió en el plano horizontal.

## **RESULTADOS Y DISCUSIONES**

En condiciones de operación de estado estacionario, la potencia de salida útil de un colector solar con ángulo de radiación solar incidente cercano al normal, puede expresarse de la siguiente manera (Duffie and Beckman 2006):

$$\dot{Q} = F' \cdot A_a \cdot [(\tau\alpha)_{en} \cdot G - U \cdot (t_m - t_a)] \quad 1(1)$$

donde  $\dot{Q}$  es la potencia de salida útil transmitida al líquido,  $F'$  el factor de eficiencia del colector,  $A_a$  el área de apertura del colector,  $(\tau\alpha)_{en}$  el producto efectivo de la transmitancia-absortividad en incidencia normal,  $G$  la irradiancia solar global,  $U$  el coeficiente global de pérdidas de calor del colector y  $(t_m - t_a)$  la diferencia entre la temperatura media del fluido en el colector  $t_m$  y la temperatura ambiente  $t_a$ .

El rendimiento es igual a:

$$\frac{\dot{Q}}{G \cdot A_a} = F' \cdot \left[ (\tau\alpha)_{en} - U \frac{(t_m - t_a)}{G} \right] \quad 2(2)$$

o equivalentemente:

$$\eta = F' \cdot [(\tau\alpha)_{en} - U \cdot T_m^*] \quad 3(3)$$

donde  $\eta$  es el rendimiento y  $T_m^*$  es la temperatura media reducida.

Si el coeficiente de pérdida de calor se considera como la suma de dos términos, uno constante y otro dependiente de la diferencia de temperatura entre el fluido y el ambiente  $(t_m - t_a)$ , la ecuación del rendimiento puede escribirse como:

$$\eta = \eta_0 - a_1 \cdot T_m^* - a_2 \cdot G \cdot (T_m^*)^2 \quad 4(4)$$

Esta forma está de acuerdo con la proporcionada por la norma IRAM 210002 para ensayos en estado estacionario.

Si se asume al coeficiente  $a_2$  estadísticamente despreciable, se obtiene una ecuación de primer orden, ecuación (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), lo que significa que la pérdida global de calor es función lineal de la diferencia de temperatura entre el fluido y el ambiente.

$$\eta = \eta_0 - a_1 \cdot T_m^* \quad 5(5)$$

Sólo altos niveles de irradiancia, y por ende una baja fracción de radiación difusa, en los ensayos son aceptados por la norma. Por lo tanto se necesitan condiciones climáticas muy estables y soleadas.

Los ensayos se realizaron según los lineamientos establecidos en la norma IRAM 210002. Las magnitudes medidas fueron las siguientes: irradiancia global, irradiancia difusa, temperatura de entrada y salida del fluido en los colectores, temperatura del aire circundante (ambiente), caudal del fluido y velocidad del aire circundante o viento (ver detalles en la parte experimental).

Los ángulos de incidencia de la radiación incidente sobre el área del colector fueron calculados para cada intervalo de tiempo de medición (entre 5 y 15 minutos según la constante de tiempo de cada colector).

Se fijó el caudal de fluido de acuerdo a lo sugerido por la norma; cada punto experimental se obtuvo estableciendo una temperatura de fluido constante a la entrada del colector.

Los datos de la velocidad del viento recolectados para este trabajo, en su mayoría entre 0,1 y 3 m/s, fueron en promedio un poco menor a los requisitos establecidos por la nueva norma IRAM 210002 publicada recientemente y por esto los resultados se acercan a la condición de velocidad de viento

despreciable. Sin embargo, estos resultados de velocidad del viento se ajustan a la versión de la norma vigente al momento de los ensayos.

Se considera que un colector opera en condiciones de estado estacionario si la desviación de los parámetros experimentales se encuentra dentro del rango reportado en la *Tabla 2*.

Parámetro	Valor	Desviación de la media
Radiación global G (W/m <sup>2</sup> )	>630 (700)*	(±50)*
Radiación Difusa G <sub>d</sub> /G (%)	<15	
Ángulo de incidencia (°)	<30	
Temperatura de entrada del fluido (°C)		±1
Temperatura ambiente (°C)		(±1)*
Caudal (%)		±1
Velocidad del viento (m/s)	<5 (2 – 5)*	(0,5)*

\* A modo indicativo se muestran entre paréntesis los valores establecidos en la nueva versión de la norma recientemente publicada, no vigentes en el momento de la realización de los ensayos del presente trabajo.

*Tabla 2: Condiciones de ensayo y desviaciones permitidas para ensayos de rendimiento térmico de colectores según norma IRAM 210002.*

Los ensayos incluyeron un período de preacondicionamiento de al menos 15 minutos, seguido por períodos de medición iguales a la constante de tiempo de cada colector, de entre 5 y 15 minutos por período según el caso. En cada período de medición los valores de las magnitudes registradas fueron promediados para obtener el punto de rendimiento correspondiente.

Este procedimiento se repitió variando la temperatura de entrada de fluido y, finalmente los resultados se presentan en gráficos de rendimiento en función de la temperatura reducida.

El proceso de cálculo de los puntos de rendimiento se realizó mediante el desarrollo de un programa en el entorno Excel de Microsoft Office.

La curva de rendimiento se trazó ajustando los puntos a una regresión lineal, siguiendo el procedimiento descrito en la norma IRAM 210002.

Las curvas de rendimiento obtenidas por regresión lineal de los datos experimentales en los ensayos de los colectores, se muestran en la **Figura 3**.

Para incidencias normales y temperaturas de fluido cercana a la temperatura ambiente, los colectores planos poseen mejor rendimiento que los de tubos evacuados. Para situaciones donde la temperatura de fluido es unos 30°C a 40°C mayor que la temperatura ambiente, los colectores de tubos evacuados presentan un mejor rendimiento.

Los colectores de plástico, ya sea con o sin cubierta, presentan menor rendimiento que los anteriores. Esto se debe a las dimensiones del colector y a la tecnología constructiva de los mismos.

En general y para aplicaciones de agua caliente sanitaria, los colectores de tubos de vacío y los colectores planos con superficie selectiva suelen tener eficiencias anuales similares. Es necesario recordar que en esta aplicación en particular, la velocidad de transferencia de calor está dada por la inercia del volumen de acumulación.

La constante de tiempo de los colectores planos es menor que la de los tubos evacuados. Este hecho implica que el colector plano se adapta más rápidamente a las condiciones cambiantes, como puede ser

un día nublado intermitente por ejemplo. Este hecho es de crucial importancia cuando se pretende acoplar colectores solares a procesos industriales o calefacción.

Los CTE suele tener menores pérdidas térmicas que los planos. Este hecho los favorece en situaciones de climas fríos. No obstante, en climas con nieve, este hecho evita que la nieve que cae sobre la cubierta no se derrita y en consecuencia rindan menos.

Por otro lado los CTE poseen mejor rendimiento a ángulos de incidencia no normales en contraposición a los planos que presentan su máximo rendimiento a incidencia normal. Este hecho también debe ser considerado a la hora de seleccionar la tecnología adecuada. Es decir adicionalmente al clima, es necesario conocer la altura solar en la época de utilización del colector de manera de realizar una selección tecnológica adecuada.

Por otro lado, para aplicaciones en verano, el colector de plástico ensayado, tiene casi el mismo rendimiento que uno de tubos evacuados. De manera que si la aplicación es solo en verano y particularmente la temperatura de uso es cercana a la ambiente, como por ejemplo la climatización de una piscina, resulta más práctico y económico utilizar un colector de plástico. Distinto es el caso si la aplicación es de uso diario durante todo el año.

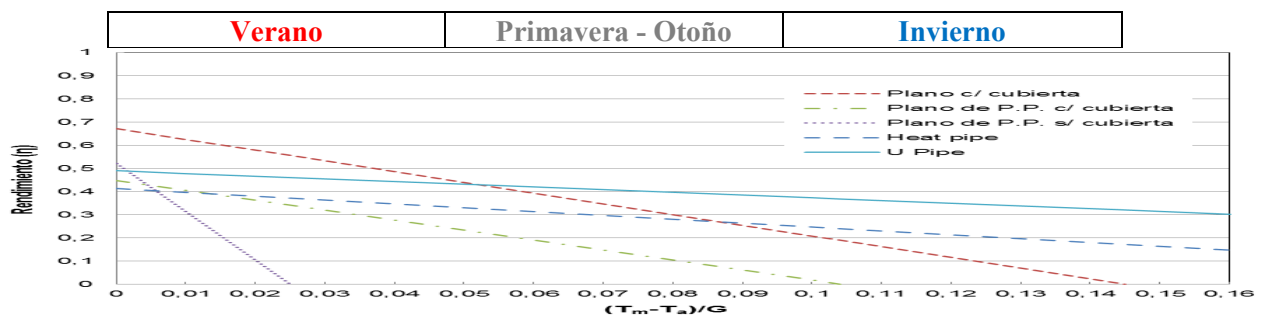


Figura 3: Curvas de rendimiento obtenidas por regresión lineal de los distintos tipos de colectores ensayados: plano con cubierta de vidrio, plano de polipropileno negro con aislante posterior, con y sin cubierta de plástico transparente, de tubos evacuados tipo "heat pipe", de tubos evacuados tipo "U pipe" con reflector difuso posterior.

En el caso en que la radiación solar incidente no incida en ángulos cercanos al normal sobre la superficie del colector, debe utilizarse el factor modificador del ángulo de incidencia,  $K_{\alpha}$ , para corregir la ecuación de rendimiento. En estos casos, en la ecuación del rendimiento, ecuación (3), debe reemplazarse  $(\tau\alpha)_e = (\tau\alpha)_{en} \cdot K_{\alpha}$ , que es el producto efectivo de la transmitancia de la cobertura y la absorptividad del captador para cualquier ángulo de incidencia.

De acuerdo a la norma IRAM 210002, la dependencia angular del factor modificador del ángulo de incidencia viene dada por:

$$K_{\alpha} = 1 - b_0 \cdot \left( \frac{1}{\cos \theta} - 1 \right) \quad (6)$$

donde  $b_0$ , es el coeficiente del factor modificador del ángulo de incidencia (Rönnelid et al., 1997).

La ecuación **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se ajusta bien a colectores planos. Para colectores de tubos evacuados la dependencia con el ángulo de incidencia suele ser más complicada y  $K_{\alpha}$  no depende de un único ángulo de incidencia como en esta ecuación. En lugar de ello, el haz incidente se debe dividir en dos dimensiones y el modificador puede describirse como  $K_{\alpha}(\theta_t, \theta_l)$ , donde  $\theta_t$  y  $\theta_l$  son la proyección transversal y longitudinal del ángulo de incidencia  $\theta$ , respectivamente.



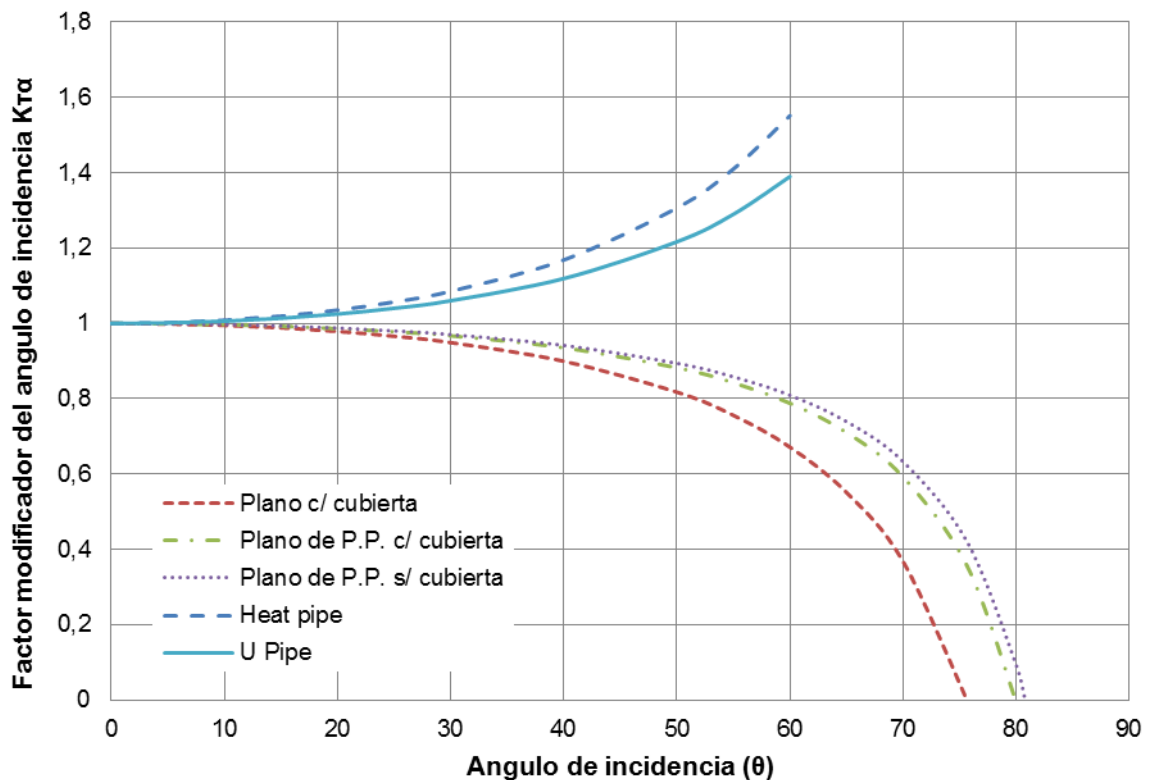


Figura 4: Curvas del factor modificador del ángulo de incidencia en función del ángulo, para los distintos colectores: plano con cubierta de vidrio, plano de polipropileno negro con aislante posterior, con y sin cubierta de plástico transparente, de tubos evacuados tipo “heat pipe”, de tubos evacuados tipo “U pipe” con reflector difuso posterior.

La **Figura 4** muestra las curvas del factor modificador del ángulo de incidencia. Se observa que las curvas correspondientes a los colectores de tubos evacuados toman valores mayores a la unidad a medida que aumenta el ángulo, esto se debe a que, como se explica en el párrafo precedente, la ecuación **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** establecida por la norma IRAM 210002 no es apropiada para colectores de tubos evacuados.

El factor modificador del ángulo de incidencia real de estos colectores de tubos evacuados, disminuye luego de los 60°. En esta versión de la norma, sólo se mide el  $K_{\alpha}$  transversal. En las normativas de otros países se miden tanto el transversal como el longitudinal. La combinación de ambos da el  $K_{\alpha}$  real, mientras que la norma IRAM 210002 sólo mide el transversal. Cabe notar que en la nueva versión de la norma IRAM esto ha sido incorporado.

En el caso de los colectores planos el factor modificador del ángulo de incidencia sigue el comportamiento esperado, disminuyendo a medida que aumenta el ángulo y se corresponde con una disminución del rendimiento a ángulos mayores.

La **Tabla 3** resume los parámetros característicos de cada colector obtenidos en los respectivos ensayos.

Colector	Parámetro		
	$\eta_0$	$a_1$	$b_0$
Plano c/ cubierta	0,67	4,63	0,33
Plano de P.P. c/ cubierta	0,45	4,30	0,21
Plano de P.P. s/ cubierta	0,52	20,6	0,19
Tubo evacuado “Heat pipe”	0,41	1,66	-0,55
Tubo evacuado “U pipe”	0,49	1,17	-0,39

*Tabla 3: Valores de los parámetros característicos de la curva de rendimiento,  $\eta_0$  y  $a_1$ , y del factor modificador del ángulo de incidencia,  $b_0$ , determinados experimentalmente para cada colector según norma IRAM 210002.*

## CONCLUSIÓN

Después de 10 años de trabajo ininterrumpido, el LESES ha logrado construir, equipar y poner en funcionamiento la plataforma solar, ha desarrollado la capacidad técnica necesaria para realizar la caracterización de colectores y ha realizado diversas experiencias en ensayos bajo normas locales e internacionales.

Los datos analizados corresponden solo a los colectores ensayados detallados en este trabajo. De esta manera, no se pretende establecer una selección de la mejor tecnología en base a ello sino sola mostrar las capacidades de ensayo del laboratorio.

Existe una diversidad muy grande de colectores planos, de tubos evacuados y de plástico. La selección de uso de una tecnología específica va a atada a la climatología del lugar, la aplicación requerida y el costo. No hay una tecnología mejor que la otra sino una tecnología adecuada para una aplicación específica. La curva de rendimiento permite identificar la utilidad de ese colector para diferentes aplicaciones. De aquí la importancia de contar con una infraestructura de calidad que pueda certificar la curva de rendimiento de diferentes colectores solares.

Asimismo, el LESES se encuentra transitando el camino hacia la adecuación de la Plataforma Solar para cumplir con los requisitos de la nueva versión de la norma IRAM 210002-1 2016, tanto en sus instalaciones, como en procedimientos. Es objetivo del mismo, difundir la existencia de estas instalaciones para que sean consideradas a la hora de implementar una política de promoción de la energía solar térmica y para divulgar las actividades de investigación que allí se realizan.

## REFERENCIAS

- Badran, A.A., Al-Hallaq, A.A., Eyal Salman, I.A., Odat, M.Z., 2005. A solar still augmented with a flat-plate collector. *Desalination* 172, 227–234.
- Duffie, A., Beckman, W.A., 2006. *Solar engineering of thermal processes* (Chapter 6).
- Hussein, H.M.S., El-Ghetany, H.H., Nada, S.A., 2008. Experimental investigation of novel indirect solar cooker with indoor PCM thermal storage and cooking unit. *Energy Conversion and Management* 49, 2237–2246.
- Rönnelid, M., Perers, B., Karlsson, B., 1997. On the factorisation of incidence angle modifiers for CPC collectors. *Solar Energy* 59, 281–286.
- Schmid, R., Collins, R.E., Mannik, E., 1984. Performance comparison of flat plate and evacuated tubular collectors used in the Sydney University solar cooling and heating project. In: *Biennial Congress of Int. Solar Energy Society Perth*, vol. 2, pp. 1056–1060.