

## ANALISIS COMPARATIVO DE RENDIMIENTO COLECTORES SOLARES TÉRMICOS EN LA REPUBLICA ARGENTINA MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO

## COMPARATIVE ANALYSIS OF PERFORMANCE THERMAL SOLAR COLLECTORS IN THE ARGENTINE REPUBLIC THROUGH GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS

Haim, Pablo Alejandro <sup>1</sup>, Nores Pondal, Federico <sup>2</sup>, Canziani, Pablo <sup>3</sup>

[alehaim@hotmail.com](mailto:alehaim@hotmail.com), [federico.nores@hotmail.com](mailto:federico.nores@hotmail.com), [pocanziani@gmail.com](mailto:pocanziani@gmail.com).

<sup>1,2,3</sup> UTN-FRBA, CABA, 1407, Argentina.

Recibido 03/05/2020; Aceptado: 05/07/2020

**Resumen:** El crecimiento del mercado solar térmico tanto a nivel mundial como en la Argentina, ha generado el aumento de importaciones y producción local de diversos colectores solares térmicos con características muy heterogéneas. La extensión del territorio argentino presenta una gran amplitud de temperatura y radiación solar, estos son las variables principales que afectan el rendimiento de los colectores solares. Es trabajo analiza el rendimiento de 2 colectores solares típicos, placa plana y tubo de vacío, para valores de temperatura de ambiente y radiación medios anuales y para los meses de junio y enero, determinando como varían los rendimientos de ambos colectores, para luego realizar mapas de la Republica Argentina mediante Sistemas de Información Geográficas (SIG) que muestren como varían los rendimientos en todo el territorio para las condiciones anteriormente mencionadas.

**Palabras-clave:** SIG; rendimiento; colector; solar; Argentina

**Abstract:** The growth of the solar thermal market both globally and in Argentina, has generated an increase in imports and local production of various solar thermal collectors with very heterogeneous characteristics. The extension of the Argentine territory presents a great amplitude of temperature and solar radiation; these are the main variables that affect the performance of solar collectors. This work analyzes the performance of 2 typical solar collectors, flat plate and vacuum tube, for annual mean temperature and radiation values for the months of June and January, determining how the yields of both collectors vary, and then mapping of the Argentine Republic

through Geographic Information Systems (GIS) that show how yields vary throughout the territory for the aforementioned conditions.

**Keywords:** GIS; performance; collector; solar, Argentine.

## 1. Introducción

A principios de 2010, más de 100 países tenían algún tipo de política de promoción de la energía solar, ya sea para producción de calor a través de colectores solares o de electricidad a través de paneles fotovoltaicos [1].

Gracias a las diversas acciones de promoción implementadas, el mercado solar térmico mundial ha crecido a pasos agigantados en los últimos 10 años, figura 1. En todos los casos, el crecimiento del mercado ha sido sustentado no sólo por acciones de promoción sino también por planes que garantizaron la instalación de equipamiento de calidad certificada por profesionales capacitados. Estos planes y políticas de promoción han sido ejecutados sobre la base de diversos proyectos de investigación. Ejemplo de ello son los resultados del proyecto “Solar Keymark” [2], cuyos resultados permitieron unificar los criterios de eficiencia y calidad que deben cumplir los sistemas o equipos solares que se comercializan y que son subsidiados por las distintas políticas promocionales existentes en Europa. Más aún, los criterios determinados por este proyecto permitieron establecer estándares mínimos de eficiencia y calidad que debe tener un equipo solar térmico (colector o sistema) en función de la aplicación (agua caliente sanitaria, calefacción, piscinas u otros) y la zona geográfica/climática en la cual será implementado. “Solar Keymark” fue producto de un proyecto de investigación de la Unión Europea (UE) y es hoy, el requisito que define no sólo si un sistema o equipo recibirá subsidios sino también si ese equipo es el adecuado para la zona en donde se lo pretende instalar.

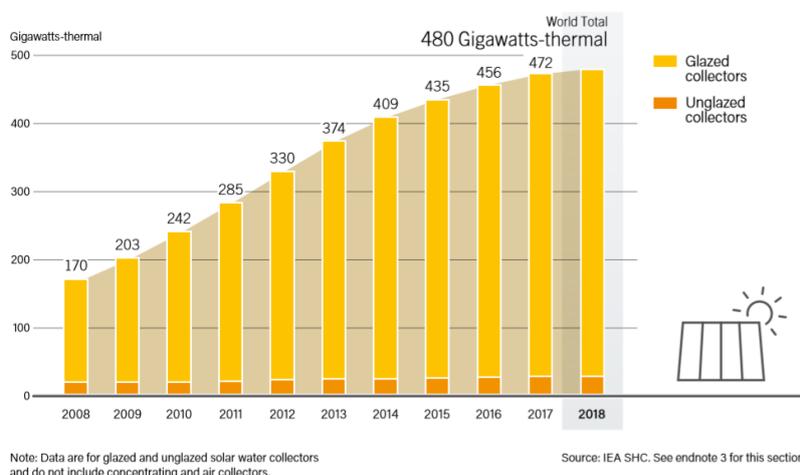


Figura 1 – Capacidad global de calentamiento solar térmico 2008-2018. [3]

A nivel nacional, el aumento de los precios del gas en Argentina y la disminución de los recursos fósiles, han impulsado la generación de un incipiente mercado solar térmico [4]. Ante esta situación, han surgido diversos importadores y fabricantes locales de colectores solares. Algunos poseen eficiencia y calidad certificada bajo “Solar Keymark” desde Europa, pero también existen otros de calidad y origen dudoso. Los equipos solares térmicos de fabricación nacional son de calidad variable y en la mayoría de los casos, su funcionamiento no está certificado en absoluto y tampoco respetaban estándares de calidad. Ante esta situación, y la variabilidad de tipos de colectores solares nacionales e importados es importante determinar que colectores tienen mejor rendimiento en nuestro territorio argentino que es muy extenso con condiciones meteorológicas muy variables que hace que algunos colectores tengan buen rendimiento en verano y muy bajo en invierno, y que otros colectores se rindan de diferente manera según la zona geográfica y la época del año. En este trabajo se analizará el rendimiento térmico de 2 colectores de tecnologías distintas (tubo de vacío y placa plana) para todo el territorio nacional, para valores anuales, mes de junio y enero; demostrando que depende de la zona y la época del año donde se quiera instalar el colector, va a convenir utilizar una tecnología u otra.

## **2. Colectores solares**

### **2.1. Tipos de colectores solares.**

Los colectores solares son dispositivos que captan la radiación solar para el calentamiento de un fluido, que generalmente es agua. Básicamente podemos distinguir los captadores o colectores solares en 3 tipos: placa plana, tubo de vacío y colectores de plástico sin cubiertas. Este último no es analizado en este trabajo ya que su utilización es solo para verano.

Los colectores de placa plana (figura 2) están compuestos por una parrilla de tubos (generalmente cobre) por donde circula el fluido, una placa absorbidora (aluminio o cobre) soldada o solidaria a los tubos (pintada de negro mate o pintura selectiva), un armazón o marco (aluminio), aislante lateral (no siempre) y trasero, que puede ser lana de vidrio, poliuretano expandido, entre otros aislantes, y una cubierta frontal transparente (generalmente vidrio).

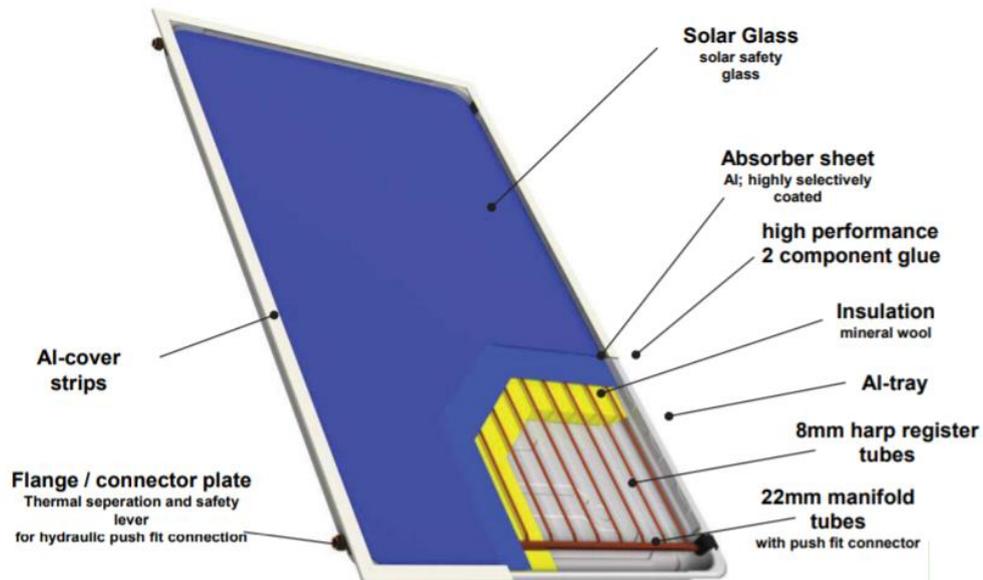


Figura 2 – Colector de placa plana [5].

Funcionamiento: la radiación solar incide sobre la cubierta transparente y es absorbida por la placa absorbidora, esta aumenta su temperatura transformando la radiación solar en calor y por conducción es transferida a la parrilla de tubos por donde circula el fluido, transfiriéndole calor al mismo, por lo tanto, aumentando su temperatura. Los aislantes traseros y laterales son para minimizar las pérdidas conductivas y convectivas con la atmósfera.

Los colectores de tubo de vacío (figura 3) o también denominados "all glass", están constituidos por 2 tubos de vidrios (boro silicato) concéntricos, el tubo externo es transparente y el tubo interno tiene depositado una pintura selectiva similar a la utilizada en los paneles de placa plana. Entre ambos tubos se le extrae el aire y se genera lo que se denomina vacío, de ahí el nombre de los tubos. El tubo de vacío de uso directo circula el agua por su interior y los indirectos o heat pipe tienen una lámina de aluminio en su interior y un caño de cobre sellado en sus extremos con un alcohol en su interior.



Figura 3– Colector solar térmico de tubo de vacío con heat pipe

Funcionamiento: La radiación solar incide sobre el tubo exterior y en su mayoría lo atraviesa y es absorbido por la película selectiva depositada en la parte externa del tubo interior, este transforma esa radiación en calor calentando el tubo interno y todo lo que está en su interior, ya sea el fluido caloportador como el sistema "heat pipe". La ausencia de aire que existe entre los tubos evita las pérdidas de calor del tubo interno por conducción y convección al no haber un medio para transmitirse. En caso de los tubos de uso directo, el agua absorbe el calor del tubo interior y aumenta su temperatura ascendiendo por diferencia de densidad. En el caso del "heat pipe" el calor del tubo interior es transferido a la placa interna de aluminio que está en contacto con el tubo de cobre que calienta y vaporiza el alcohol en su interior, el vapor sube y se condensa al intercambiar calor con el agua que circula por el caño horizontal que conecta todos los tubos de vacío.

## 2.2. Rendimiento de colectores solares.

El rendimiento de los colectores solares se puede calcular como la cantidad de calor útil o que entrega en función de la energía que recibe el panel por parte del sol, ecuación 1.

$$\eta = Q_{\text{util}} / (\text{Energía que recibe el panel}) \quad \text{ecuación 1.}$$

Siendo:

- $\eta$ : rendimiento del panel
- $Q_{\text{util}}$ : calor útil entregado por el panel

Tanto el calor útil que entrega el colector como la energía que recibe el colector son variables en el tiempo y dependen de varios factores como: la temperatura del aire, la temperatura del fluido que ingresa al colector, la radiación solar, la velocidad del viento. Además, el rendimiento del colector va a depender de sus características constructivas que están definidas por el rendimiento óptico y el coeficiente de pérdidas térmicas. Por lo tanto, podemos definir el rendimiento de un colector mediante la ecuación 2.

$$\eta = \eta_0 - \frac{k_1(t_m - t_a)}{I} - \frac{k_2(t_m - t_a)^2}{I} \quad \text{Ecuación 2}$$

Siendo:

- $\eta_0$ = rendimiento óptico, se da cuando el panel no pierde calor hacia el entorno ( $t_m = t_a$ ) en función de (transparencia de la placa de vidrio y la absorptividad de la pintura selectiva).
- $T_m$ = temperatura media del colector (suele fijarse en 50 grados centígrados).
- $T_a$ = temperatura de ambiente.
- $k_1$ : coeficiente de pérdidas térmicas (lineal)
- $k_2$ : coeficiente de pérdidas térmicas (cuadrático)
- $I$ : radiación solar global que incide en el colector en  $w/m^2$ .

Es importante destacar que el rendimiento del panel va a ser variable durante todo el año, ya que en parte depende de las variables meteorológicas, es por ello que no es correcto caracterizar un colector con un solo valor de rendimiento, sino con una curva que describa su comportamiento para distintas condiciones meteorológicas

### 2.3. Colectores solares seleccionados.

Los colectores solares seleccionados para este análisis son:

- Colector de placa plana: tipo parrilla, con colectores de cobre de 21 mm de diámetro, tubos absorbentes de 8 mm de diámetro, aislante de lana de mineral de 50 mm de espesor, marco de aluminio, placa absorbente con pintura selectiva, cubierta protectora de vidrio templado de 3,2 mm de espesor
- Colector de tubo de vacío: tipo "U-Pipe", compuesto por 20 tubos de vidrio boro silicato de 1,8 mm de espesor, con recubrimiento selectivo, el colector está aislado con lana de vidrio de 50 mm de espesor, (Nores Pondal & Haim, 2016).

A continuación, se tabulan (tabla 1) los datos característicos de los colectores:

Tabla 1 – Características de los colectores.

Descripción	unidades	Colector Solar	
		Placa plana	Tubo de vacío
<i>Tipo de colector</i>		parrilla	U pipe
<i>Área de captación</i>	m <sup>2</sup>	2,58	2,11
<i>Rendimiento óptico (<math>\eta_0</math>)</i>	W/m <sup>2</sup> k	80,30%	49%
<i>Coefficiente de pérdidas térmicas (<math>k_1</math>)</i>		3,7	1,17
<i>Cubierta protectora</i>	mm	vidrio templado de 3,2 mm de espesor	vidrio de borosilicato de 1,8 mm de espesor
<i>Aislante</i>	mm	lana mineral de 50 mm de espesor	lana de vidrio de 50 mm de espesor / vacío

#### 2.4. Base de datos utilizada para el análisis.

Para el cálculo de rendimiento se utilizaron datos de radiación solar global horizontal con valores promedio mensual y temperaturas promedio mensuales, de distintos puntos de todas las provincias de la Argentina, en total se utilizaron 116 puntos del país cubriendo la totalidad de las provincias de la Republica Argentina.

Los datos de radiación solar se obtuvieron del Atlas de Energía Solar de la República Argentina realizado por Hugo Grossi Gallegos y Raúl Righini en el marco del Programa de Energía y Transporte de la Dirección Nacional de Programas y Proyectos Especiales de la Secretaria de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, dentro del marco de sus proyectos emblemáticos con prioridad estratégica, y por el departamento de Ciencias Básicas de la Universidad de Luján. Los instrumentos de medición utilizados para medir la irradiación solar fueron: piranógrafos bimetálicos del tipo Robitzsch y piranómetros esféricos de Bellani (también llamados lucímetros a destilación) que tienen el objeto de registrar la radiación global incidente a diario sobre el plano horizontal (Grossi Gallegos & Righini, 2007) [7].

Los datos de temperatura media mensual fueron obtenidos del Servicio Meteorológico Nacional [8].

### 3. Determinación de mapas de rendimiento térmico para los colectores seleccionados.

#### 3.1. Procesamiento de datos y cálculos de rendimiento.

Para determinar el rendimiento térmico de los 2 colectores, se utilizó una planilla de cálculo de Excel en el que se ingresaron los datos de radiación, temperatura mensual; asociada a su ubicación mediante latitud y longitud. Mediante la ecuación 2 se calculó para cada punto el rendimiento anual, en junio y en enero.

#### 3.2. Generación de mapas mediante Sistema de Información Geográfica (SIG)

El programa de Sistema de Información Geográfica (SIG) utilizado fue ArcGIS. En dicho programa se cargaron resultados de rendimientos anuales, mes de junio y enero, cada uno con su correspondiente coordenada de latitud y longitud. Utilizando el método de interpolación de “kriging” de segundo orden se generaron 6 capas distintas, correspondientes al promedio anual y los meses de estudio para ambos colectores. Luego se cargó la capa de contorno de la República Argentina con sus correspondientes provincias para recortar y ajustar las capas de rendimiento a este contorno y así generar los 6 mapas de rendimiento solar de ambos colectores.

#### 3.3. Mapas de rendimiento térmico

A continuación, se muestran los mapas de rendimiento térmico para los colectores de placa plana y tubo de vacío correspondiente a valores de radiación y temperatura medios anuales, mes de junio y enero.

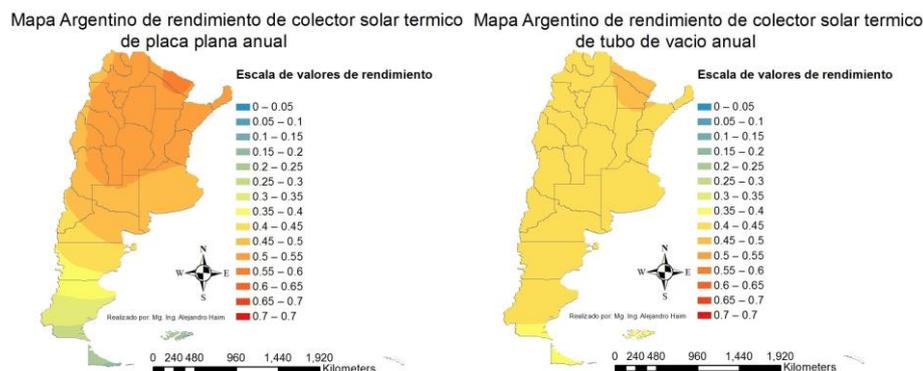


Figura 4– Mapas Argentinos de rendimiento de colector solar térmico de placa plana y tubo de vacío para valores anuales de radiación y temperatura,

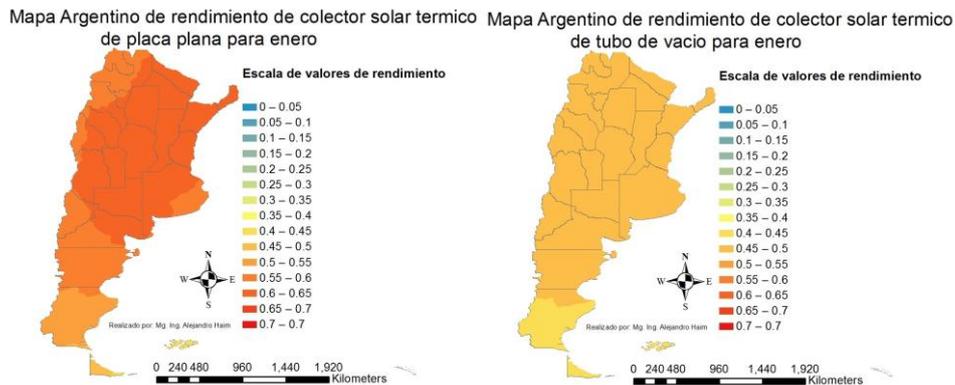


Figura 5– Mapas Argentinos de rendimiento de colector solar térmico de placa plana y tubo de vacío para valores medios de radiación y temperatura del mes de enero

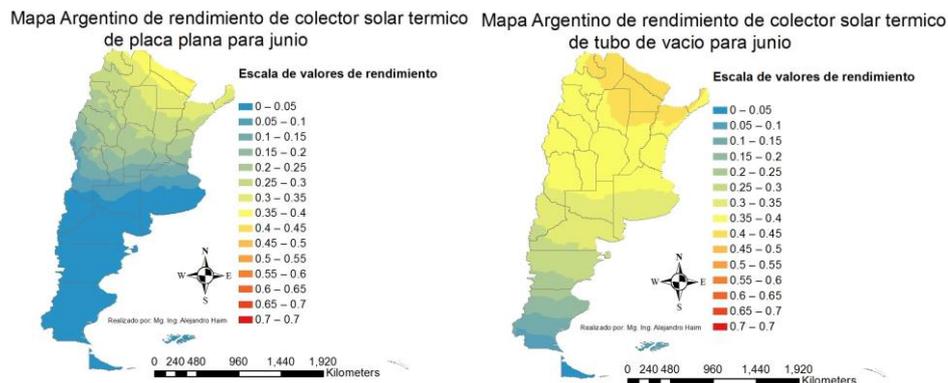


Figura 5– Mapas Argentinos de rendimiento de colector solar térmico de placa plana y tubo de vacío para valores medios de radiación y temperatura del mes de julio

#### 4. Conclusiones

Se puede concluir que el colector de placa plana analizado tiene mejor rendimiento anual que los tubos de vacío, lo mismo sucede en el mes de enero. Sin embargo, el rendimiento en el mes de junio es mayor el de tubo de vacío que el colector de placa plana, esto se debe a que el colector de placa plana tiene un coeficiente mayor de pérdidas térmicas que el colector de tubo de vacío, por lo que tiene mayores pérdidas para temperaturas muy bajas (-10 a 10 grados centígrados), lo que hace que su rendimiento disminuya de mayor manera que los tubos de vacío.

La Republica Argentina es un país muy extenso, especialmente en su latitud que se extiende desde Jujuy (21° 46') hasta tierra del fuego (55° 03'). También se puede notar el efecto de la Cordillera de los Andes, donde por aumento de la altura se producen cambios de radiación y de temperatura. Por consiguiente, muestra unas variaciones de temperatura y radiación solar son muy grandes a lo largo y ancho del territorio. Estas variaciones han sido utilizadas para analizar rendimientos de 2

tipos distintos de colectores solares, mostrando mediante mapas que depende la ubicación geográfica y la época del año va a convenir utilizar un colector en vez de otro según su rendimiento térmico. Esta información es importante conocerla a la hora de seleccionar un colector sea para su instalación, sea para la importación o producción de colectores según la zona en la que se desea explotar el recurso solar. También es importante tenerla en cuenta para la implementación de políticas de fomento de la utilización de energía solar mediante colectores solares, tanto para su instalación como su producción.

La gran cantidad y variedad de colectores solares, sumado a lo extenso que es el territorio argentino con su variabilidad estacional de temperatura y radiación, hace muy complejo el análisis de rendimiento y producción energética de colectores solares térmicos para cualquier punto de la Republica Argentina, por lo que tendría que utilizarse herramientas informáticas más avanzadas para procesar y analizar la cantidad de datos y variables, que permitan decidir sobre que tecnología es la óptima para cada ubicación, aplicación y época del año, en que se desea tener mayor rendimiento. Esta herramienta informática es el desarrollo de la tesis doctoral del Mg. Ing. Alejandro Haim, cuyo Director y Co-Director son Dr. Ing. Federico Nores Pondal y Dr. Pablo Canziani, incubado en un proyecto de investigación radicado en la UTN-FRBA en el Laboratorio de Estudios Sobre Energía Solar dependiente del Departamento de Ingeniería Civil.

## **5. Agradecimientos**

Se agradece a los docentes del curso doctoral “Sistema de Información Geográfico”, dictado por el Dr. Ing. Leandro Rodríguez y la Dra. Ing. Cristina Lafflito correspondiente al Doctorado en Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Lomas de Zamora.

## 6. Referencias bibliográficas.

[1] Informe “Renewables 2010: Global Status Report 2010”, REN 21.

Disponible en:

[http://www.ren21.net/Portals/o/documents/activities/gsr/REN21\\_GSR\\_2010\\_full\\_revised%20Sept2010.pdf](http://www.ren21.net/Portals/o/documents/activities/gsr/REN21_GSR_2010_full_revised%20Sept2010.pdf)

[2] [www.solarkeymark.org](http://www.solarkeymark.org)

[3] Informe “Renewables 2019, Global Status Report, REN21, Renewable Energy Policy Network for the 21st Century”

Disponible en:

<https://www.ren21.net/reports/global-status-report/>

[4] Informe “Energías Renovables: Diagnóstico, barreras y propuestas”. Secretaría de Energía de la Nación, REEEP y Fundación Bariloche, junio 2009

[5] Catálogo “Green one Tec, Solar Collectors FK900”, St.Veit/Glan, 2019

[6] NORES PONDAL, Federico y HAIM Alejandro, “Ensayo bajo norma IRAM de colectores solares planos y de tubos evacuados, comparación de características”. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. 2016. Vol. 20, pp 03.109-03.118.

Disponible en:

<http://www.asades.org.ar/Averma/Ensayo%20bajo%20norma%20iram%20de%20colectores%20solares%20planos%20y%20de%20tubos%20evacuados.%20compa%20racion%20de%20caracteristicas.%20Pondal%2C%20Purucker%2C%20Garreta%2C%20Garcia%20Zuloaga%2C%20Scheinckman%2C%20Morale%20%5B2016%20-%20Tema%20%203%5D.pdf>

ISSN 2314-1433

[7] GOSSI GALLEGOS Hugo y RIGHINI Raul. Atlas de Energía Solar de la República Argentina. 2007. Vol. 1, p 47

Disponible en:

[https://www.researchgate.net/profile/Hugo\\_Grossi\\_Gallegos/publication/317478062\\_Atlas\\_de\\_Energia\\_Solar\\_de\\_la\\_Republica\\_Argentina/links/594af49baca2723195de8898/Atlas-de-Energia-Solar-de-la-Republica-Argentina.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Hugo_Grossi_Gallegos/publication/317478062_Atlas_de_Energia_Solar_de_la_Republica_Argentina/links/594af49baca2723195de8898/Atlas-de-Energia-Solar-de-la-Republica-Argentina.pdf)

ISBN: 978-987-9285-36-7

[8] Servicio Meteorológico Nacional

Disponible en:

<https://www.smn.gob.ar>