

## **POTENCIAL DE USO DE SISTEMAS DE ACONDICIONAMIENTO TERMICO PASIVO (V.M. y SIRASOL) EN DIFERENTES CLIMAS CON EL USO DE PROGRAMA ENERGY PLUS.**

**G. Barea<sup>1</sup>, M.V. Mercado<sup>1</sup> y A. Esteves<sup>2</sup>**

Instituto de Ambiente Hábitat y Energía (INAHE). Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). CCT-Mendoza C.P. 5500 – Mza.  
e-mail: mvmercado@mendoza-conicet.gob.ar

*Recibido 28/07/17, aceptado 26/09/17*

**RESUMEN:** Las ventanas multiacimutales (vm) se caracterizan por la posibilidad de proporcionar una mayor cantidad de energía que las ventanas planas (VP). El SIRASOL es un sistema de calefacción solar radiante que se utiliza para acondicionar los locales sin ganancia solar desde el Ecuador. En este trabajo se presenta el potencial térmico-energético de ambos sistemas pasivos que ofrecen en otras latitudes de la Argentina. Para el estudio se basó en una metodología analítica predictiva basada en dos modelos previamente ajustados en el programa de simulación EnergyPlus. Las localidades elegidas fueron Salta, Mendoza y Bariloche. El comportamiento energético y térmico de las V.M. registra mayores ventajas, que una ventana plana, en climas fríos y días nublados, debido a su mayor superficie expuesta. Es factible el uso del SIRASOL en localidades frías, dando respuesta a locales negados a la ganancia solar directa. Sin embargo, el presente estudio proporcionó la información necesaria para afirmar que el sistema funcionará efectivamente en localizaciones donde los valores de radiación solar sobre plano horizontal sean mayores a  $400\text{W/m}^2$ .

**Palabras clave:** sistemas pasivos de calefacción, tecnología solar térmica, simulación dinámica

### **1. INTRODUCCION**

A nivel mundial, los edificios son responsables del el 40% de todo el consumo de energía primaria, las emisiones de gases de efecto invernadero, y la generación de residuos. En los edificios de residencias, la calefacción es el mayor consumidor de energía. La cantidad de energía consumida por calefacción, refrigeración e iluminación en un edificio está influenciada principalmente por sus sistemas de aberturas (J.W. Lee).

Dentro de las fuentes renovables, la energía solar térmica, se destaca por ser una tecnología viable y factible en diversos usos domésticos, industriales y en aplicaciones tecnológicas. La ganancia directa es el sistema más sencillo e implica la captación de la energía del sol por superficies vidriadas que son dimensionadas para cada orientación y en función de las necesidades de calor en el local a climatizar. En Mendoza, se desarrollaron dos sistemas pasivos para calefacción de edificios: V.M. y SIRASOL (Barea et al, Mercado et al), ambos estudiados y validados en un clima templado continental.

Las V.M. son ventanas multiacimutales que se caracterizan por la posibilidad de aportar una mayor cantidad de energía que las ventanas planas (VP). La evaluación y cuantificación de dicha ganancia de energía solar para diferentes conformaciones geométricas permiten seleccionar el tipo de VM adecuada y anticipar su rendimiento como sistema pasivo de acondicionamiento térmico. Desde el

---

<sup>1</sup> Investigador Asistente - CONICET

<sup>2</sup> Investigador Principal - CONICET

aspecto geométrico, contienen un paño central, paralela a la fachada y paños laterales que pueden tener diferentes ángulos de amplitud  $\alpha$  (el ángulo formado entre la ventana lateral y la línea de fachada).

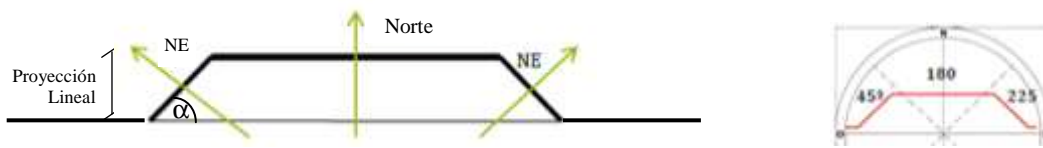


Figura 1: Esquema de la VM

Gracias a su geometría, las VM tienen mayores posibilidades de captación solar que las VP: poseen mayor cantidad de superficie expuesta al exterior en relación al mismo tamaño de vano que una ventana plana y por lo tanto se maximizan los intercambios de flujos energéticos, térmicos y lumínicos. (Barea et al. 2012, 2017).

El sistema de calefacción radiante solar pasivo (SIRASOL) es un sistema de calefacción radiante utilizado para climatizar locales sin disposición de una fachada hacia el Ecuador, por lo que la utilización de sistemas convencionales de calefacción solar pasiva no es posible. Se trata de un sistema ubicado en el centro del techo, de forma piramidal alargada, tipo lucernario, con cuatro superficies en contacto con el exterior y una superficie que lo vincula con el interior del espacio a climatizar denominado panel radiante, siendo el elemento que transfiere la energía solar como energía térmica al ambiente interior. (Mercado et al. 2013)

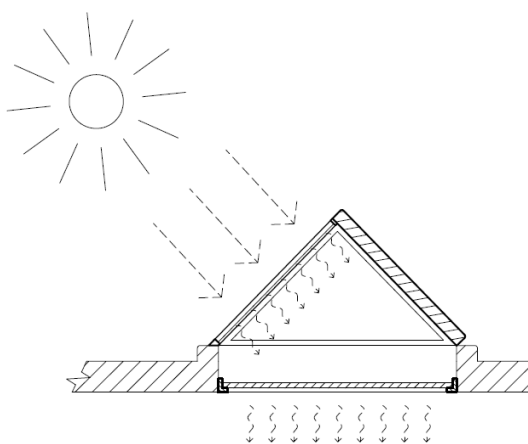


Figura 2: Esquema y fotografías del SIRASOL

Este trabajo aborda el potencial térmico-energético de ambos sistemas pasivos en tres climas distintos de la Argentina, por medio del software de simulación Energy Plus. Previamente se han logrado los modelos de simulación de cada uno de los sistemas en el mencionado programa, han sido ajustados logrando modelos fidedignos que permiten la continuación del estudio en diferentes escenarios (Barea et al, 2011; Mercado et al, 2011). El objetivo de este trabajo es analizar los comportamientos térmicos y rendimiento energético de las VM y del SIRASOL, en condiciones climáticas diferentes, de esta manera será factible extender a otros climas el uso de estas tecnologías desarrolladas en Mendoza.

## 2. METODOLOGÍA

El presente estudio está basado en una metodología principalmente analítica, dado que se contemplan los resultados estableciendo relaciones entre ellos. Consta de tres etapas: 1- modelos de simulación computacional, 2- selección de los climas para el estudio y 3- simulación de los modelos en los climas determinados.

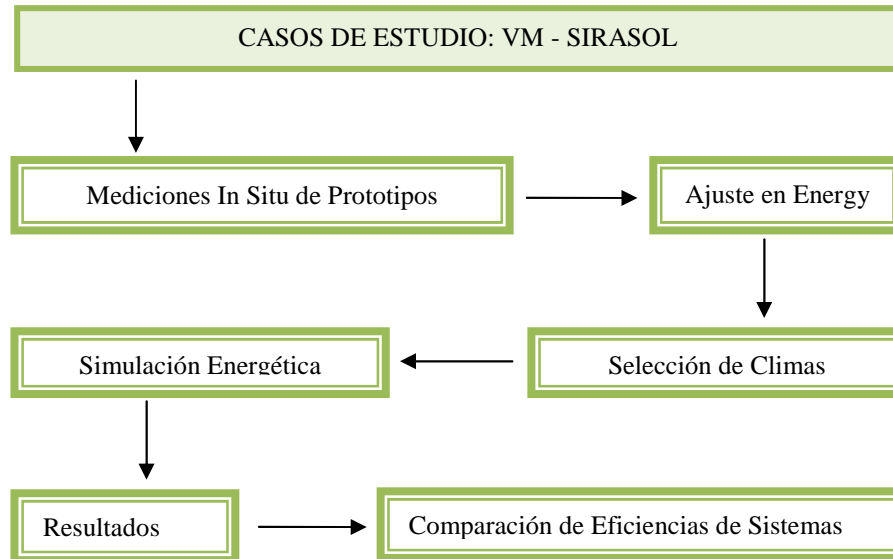


Figura 3: Esquema metodológico

### 2.1. Modelos para el estudio en Energy Plus

En el caso de las VM, el modelo de simulación cuenta de dos box de ensayos diferentes en el tipo de ventana que poseen. En uno se modela una ventana plana y el otro la ventana multiacimutal (VM), se presenta en la Figura 4. Una vez cargadas las características fidedignas a la realidad, se procedió a realizar el ajuste necesario. Las variables de ajuste fueron las renovaciones por hora y la incorporación de masa térmica en el piso interior. En el gráfico se observa la temperatura interna del módulo A y la temperatura simulada. La diferencia entre ambas curvas presenta un ajuste aceptable, con picos máximos de diferencia de  $1.5^{\circ}\text{C}$ . Este valor se considera aceptable a los fines de este trabajo. (Barea et al. 2011).

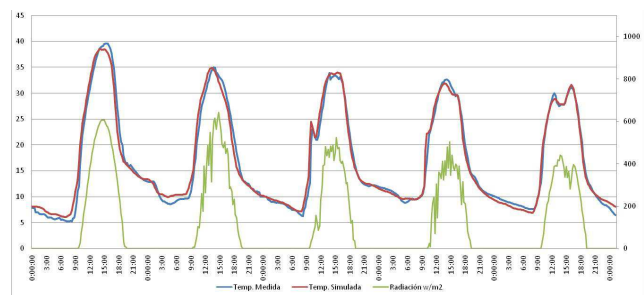
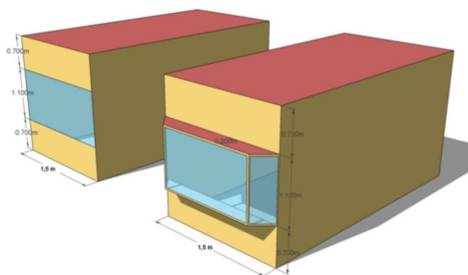


Figura 4: Modelo VM de Energy Plus y gráfico de ajuste

En el caso del SIRASOL, en la Figura 5 se presenta el modelo del sistema en un espacio. Se contemplaron las características reales medidas para la tarea de ajuste. Para este se adaptaron los valores de los coeficientes convectivos interiores relacionados al espacio que recibe el sistema (de  $5.3$  a  $1 \text{ w/m}^2\text{C}$ ) y las renovaciones de aire del recinto cerrado del sistema (de  $1$  a  $0.2$ ). En la figura 5 se observa también que las curvas de las temperaturas medidas y simuladas del panel radiante del sistema, presentan diferencias máximas que menores a los  $0.5^{\circ}\text{C}$ . (Mercado et al. 2011).

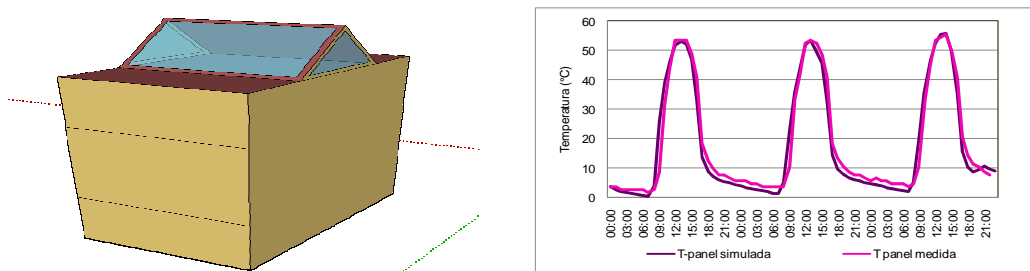


Figura 5: Modelo SIRASOL de Energy Plus y gráfico de ajuste.

## 2.2. Climas de estudio

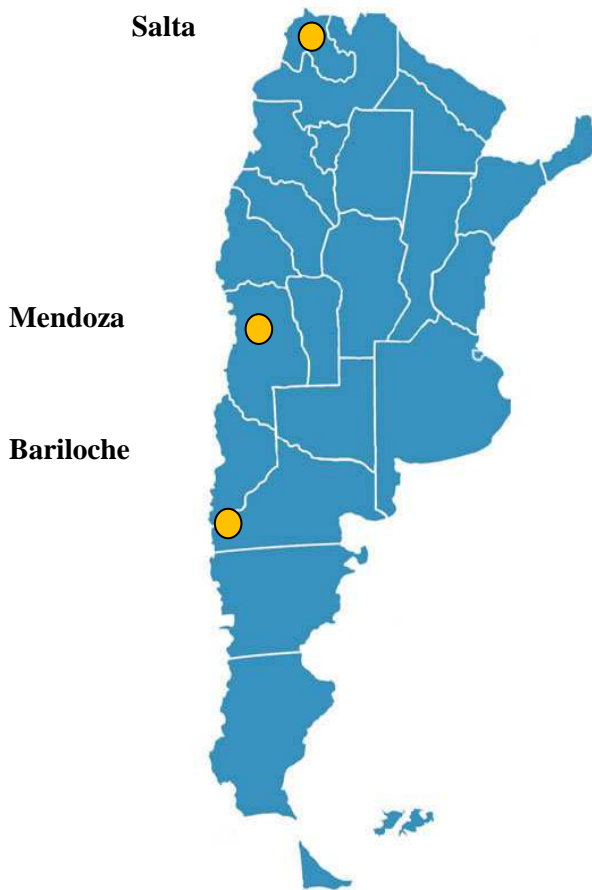
Los sistemas mencionados se caracterizan por sistemas solares pasivos, por lo cuál la radiación solar incidente se convirtió en la variable primordial a considerar en la selección de los climas. Se buscaron climas con alta heliofanía, debido a que el trabajo apunta al estudio de los sistemas en diferentes condiciones de potencial y su desempeño con bajos niveles cuantitativos de la misma.

En base a esto se trabajó con tres ciudades de la Argentina: Salta, Mendoza y Bariloche. Las ciudades seleccionadas se separan en  $10^\circ$  de latitud de distancia (aproximadamente) con altas altitudes, entre 820 y 1200msn. Los archivos climáticos fueron extraídos del Meteonorm 6 y convertidos a la extensión EPW (Energy Plus).

**Salta**, se ubica en la región Noroeste de Argentina ( $24.8^\circ$  S,  $65.5^\circ$  O, 1216 m sobre el nivel del mar), en la zona bioambiental IIIa (IRAM 11603), que corresponde a un clima templado cálido, con amplitudes térmicas diarias mayores a  $14^\circ\text{C}$ . Los veranos son relativamente calurosos e inviernos no muy fríos.

**La ciudad de Mendoza**, ( $32^\circ 40'$  latitud sur,  $68^\circ 51'$  longitud oeste y 827 m sobre el nivel del mar), presenta un clima templado continental. La necesidad anual de calefaccionamiento en Grados- Día (base  $18^\circ\text{C}$ ) es de  $1384^\circ\text{C día/año}$ . Las temperaturas varían entre  $-6^\circ\text{C}$  en Invierno y  $37^\circ\text{C}$  en verano, con variaciones diarias de aproximadamente 10 a  $20^\circ\text{C}$ . La radiación global promedio anual sobre superficie horizontal en Junio es  $9.4 \text{ [MJ/m}^2\text{.día]}$  y en Diciembre  $26.10 \text{ [MJ/m}^2\text{.día]}$ .

**Bariloche**, se ubica al sudoeste de la provincia de Río Negro ( $41^\circ 08'$  latitud sur,  $71^\circ 18'$  longitud oeste y 839 m sobre el nivel del mar). Tiene 3600 grados días, base  $18^\circ\text{C}$ . El clima de Bariloche es de alta montaña, con lluvias invernales abundantes en forma de nevadas, temperaturas frías, una escasa amplitud térmica anual pero una alta amplitud diaria. Las horas anuales de sol corresponden a 40 % del total, con días nublados y lluviosos distribuidos durante todo el año. Sin embargo, la radiación solar en verano es intensa, debido a la altura, alcanzando temperaturas estivales máximas de  $24^\circ\text{C}$ .



	Junio	Diciembre
<b>SALTA</b>		
Tmax Media	19.8	28.3
Tmedia	10.4	21.3
Tmin Media	4.0	18
HR	77%	71%
Rad. Sup. Hor (MJ/m2.día)	10.8	19.2
Velocidad Media de viento (km/h)	4.7	5.7
<b>MENDOZA</b>		
Tmax Media	14.6	29.2
Tmedia	7.9	22.3
Tmin Media	3.8	17.3
HR	64%	50%
Rad. Sup. Hor (MJ/m2.día)	9.1	25.4
Velocidad Media de viento (km/h)	7.1	9.2
<b>BARILOCHE</b>		
		E
Tmax Media	6.9	20.4
Tmedia	2.7	13.3
Tmin Media	-0.6	6.1
HR	89%	54%
Rad. Sup. Hor (MJ/m2.día)	3.6	27
Velocidad Media de viento (km/h)	17.8	21.4

Figura 6: Localización Ciudades analizadas y datos meteorológicos del Servicio Meteorológico Nacional. Los datos de irradiación solar y heliofanía relativa se obtuvieron del Atlas de Energía Solar de la República Argentina (Grossi Gallegos y Righini, 2007)

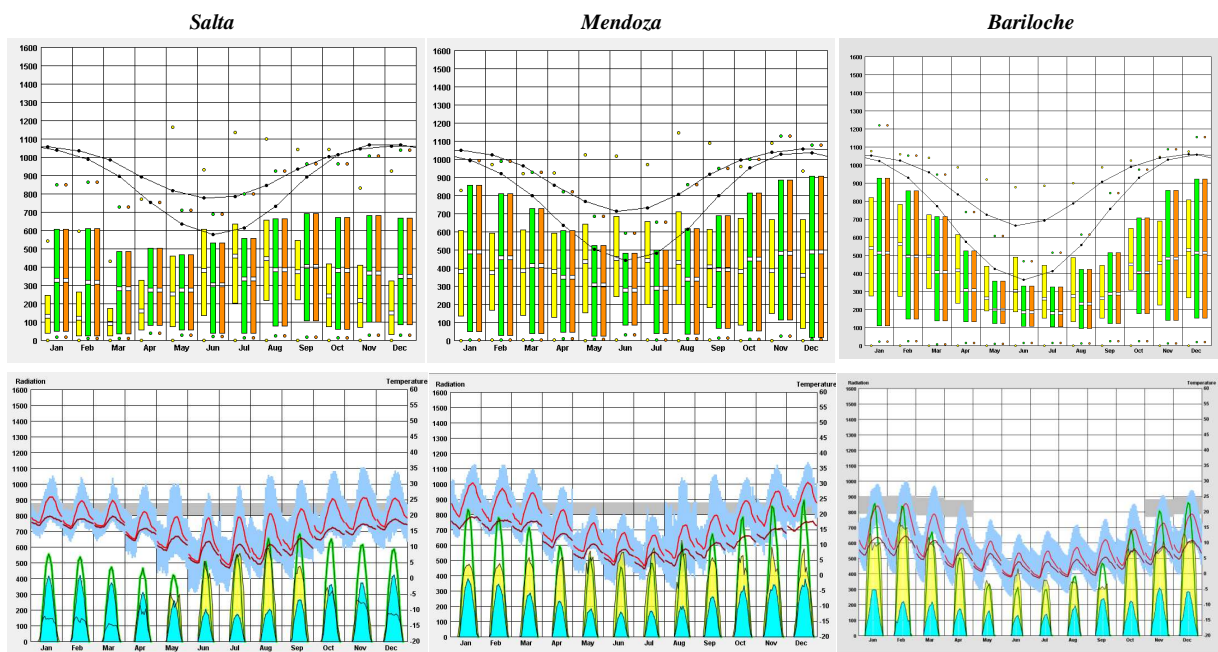


Figura 7: Datos extraídos del Archivo climático EPW de: Salta, Mendoza y Bariloche. En la primera fila radiación directa y radiación difusa, en la segunda fila, temperatura exterior y radiación global.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Comparación de ambos sistemas. Aporte Energético VM + SIRASOL

Para la comparación se utilizó el indicador “Energía solar ganada por cada sistema por metro cuadrado de ventana”, en horario diurno. En la figura 8 se presentan los gráficos correspondientes. Para el clima de Salta, a las 9 y 10hs, el SIRASOL colecta 200 W/m<sup>2</sup> más que la VM. Al medio día solar la energía colectada es similar, 440 W/m<sup>2</sup>; mientras que en horario de tarde el rendimiento de la VM vuelve a descender en relación al SIRASOL.

Para el clima de Mendoza, en horarios de mañana, ambos sistemas se comportan muy parecidos. A las 10hs el SIRASOL capta 40 w/m<sup>2</sup> más que el VM. Al medio día, 12hs, ambas curvas se cruzan predominando la VM por sobre el SIRASOL. A las 14 hs la VM llega a 472 W/m<sup>2</sup> de ventana mientras que el SIRASOL a 365 W/m<sup>2</sup>.

En Bariloche, la VM capta más energía de mañana y el SIRASOL más energía de tarde. La VM logra su punto máximo a las 12hs con un valor de 436 W/m<sup>2</sup>. El SIRASOL mantiene su ganancia estable desde las 12hs hasta las 15 hs, con un valor de 400 W/m<sup>2</sup>, aproximadamente.

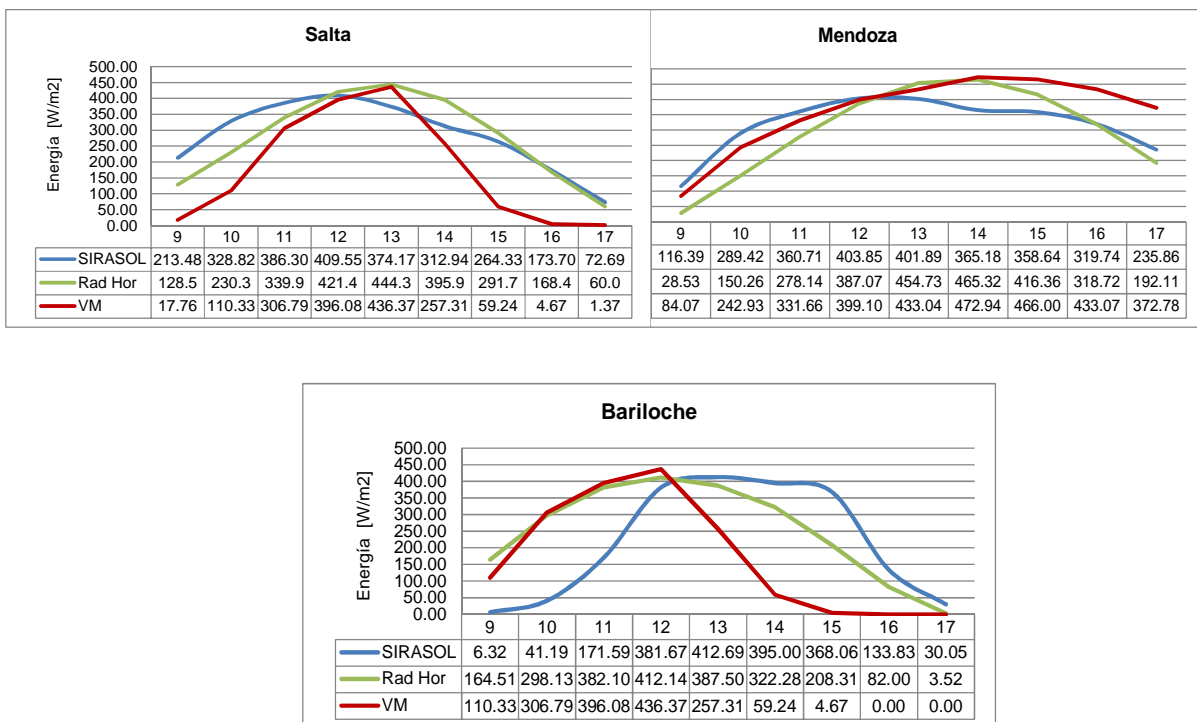


Figura 8: Energía VM+SIRASOL

#### 3.2. Temperatura Media Radiante VM + SIRASOL

Para evaluar la influencia térmica de cada sistema en el espacio, se simuló la Temperatura Media Radiante. Para la situación de Salta, a las 15hs, la VM (43°C) se separa en 5 °C por encima del SIRASOL (38°C), con una temperatura exterior de 29°C y una radiación solar de 300 W/m<sup>2</sup>. En horarios donde no hay radiación solar las TMR de ambos sistemas son similares a las temperaturas exteriores. (Figura 9).

En Mendoza, la VM (31°C), logra su punto máximo a las 15hs, con una diferencia con el SIRASOL (26°C) de 5 °C, igual que en el caso con Salta. En horarios sin radiación solar exterior las TMR se

comportan muy parecido a las temperaturas exteriores. No obstante, se puede observar que la VM tiene picos por debajo de SIRASOL, producto a su mayor envolvente expuesta. (Figura 9).

En la ciudad de Bariloche, sucede lo mismo que el caso del clima de Salta pero con menores temperaturas. A las 13hs la VM llega a 23°C y el SIRASOL a 16°C, 7°C de diferencia. Y en horario nocturno las curvas se asemejan al a la temperatura exterior. (Figura 9).

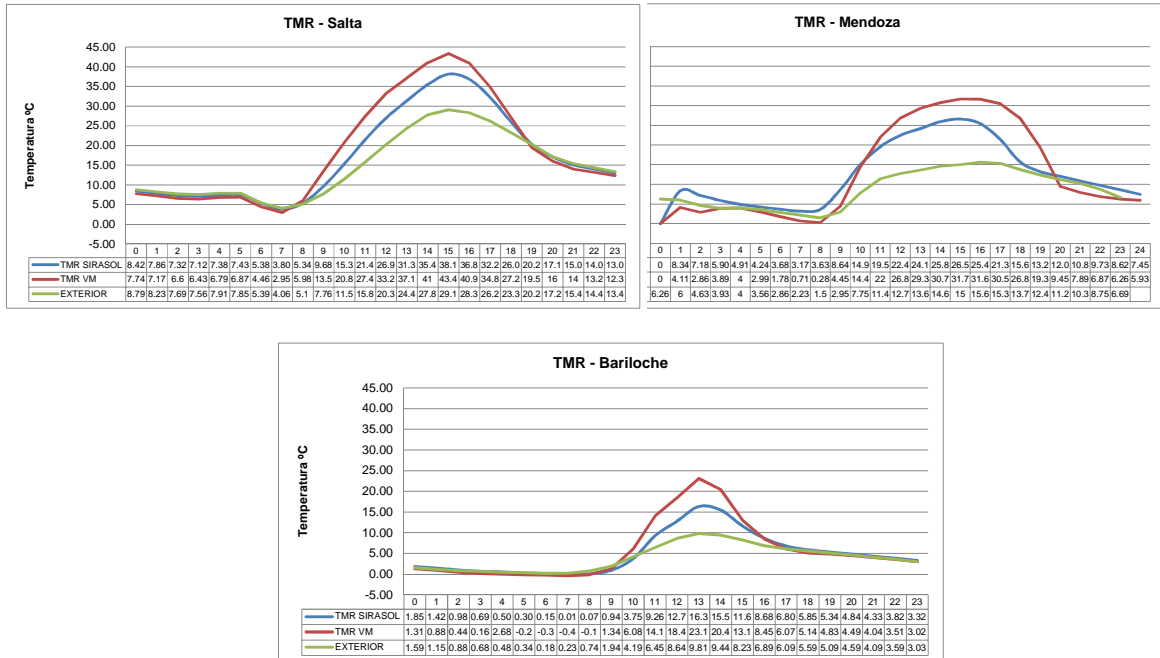


Figura 9: Energía VM+SIRASOL

### 3.3. Indicador de Conveniencia de las VM

El indicador de conveniencia, indica la ventaja de usar una VM en relación a la VP, con el mismo tamaño de vano. En los gráficos siguientes (Figura 10), se muestran en el eje x las horas de sol, y en el eje y, los porcentajes de conveniencia al cambiar la VM por la VP. La curva azul corresponde a un día soleado de invierno y el rojo a un día nublado de invierno.

Para el clima de Salta, el indicador va decreciendo. A las 9hs alcanza un valor de 41.93% y a las 17hs un 33.69%. Para un día soleado a las 9hs toma un valor de un 25.61%, al medio día desciende a 15.24% y luego vuelve a crecer a las 17hs a un valor de un 72.62%.

En la ciudad de Mendoza, ambos días se comportan parecidos en horas de la mañana y tarde (33% y 36% respectivamente). En las horas de mayor altitud solar, el día asoleado toma un valor de 13.84% y para el día de cielo cubierto un 20.85%.

En Bariloche, en la curva del día nublado se observan valores estables a lo largo del día, 130% en promedio. El día asoleado a las 8hs y a las 15hs llega a un valor de 31% en promedio, mientras que al medio día un 15%.

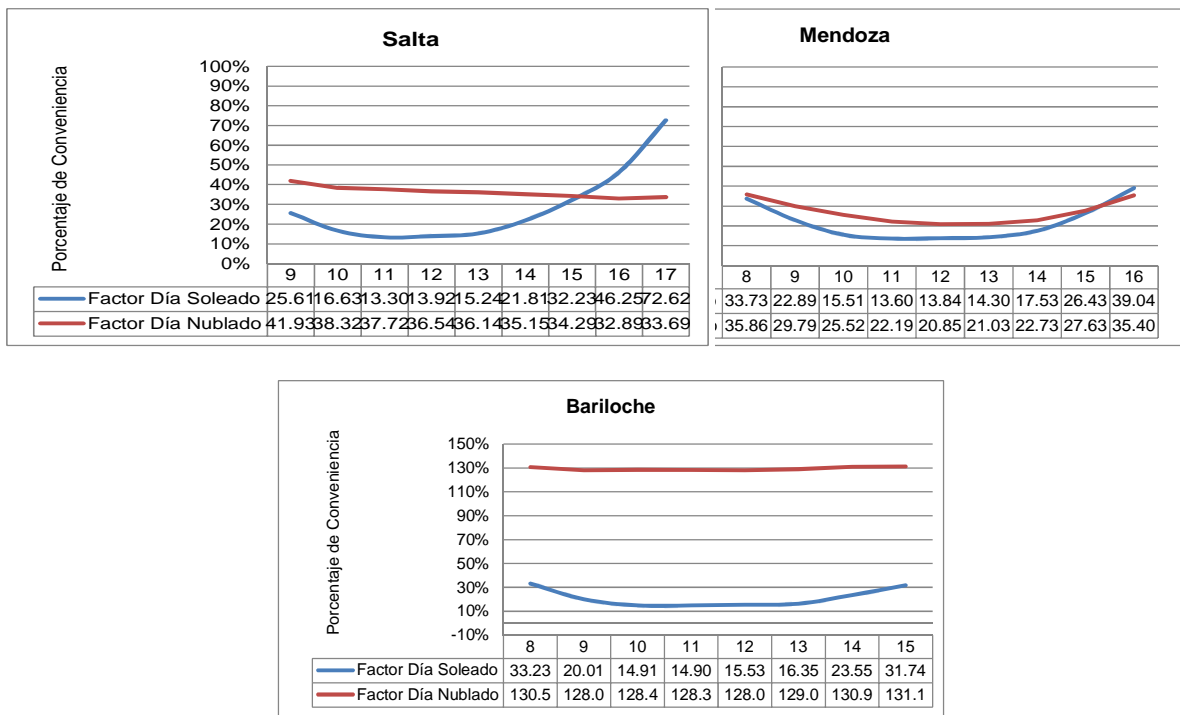


Figura 10: Factor de conveniencia VM

#### 4. CONCLUSIONES

El desarrollo de este trabajo permitió realizar un análisis comparativo de dos sistemas solares pasivos de calefacción para invierno, en localidades de climas templados y fríos de la Argentina.

Mediante herramientas de simulación, EnergyPlus (DOE), se comparó las ventajas de incorporar dos sistemas pasivos, Ventana Multiacimutal y SIRASOL, a un espacio arquitectónico para calefaccionar un espacio arquitectónico.

De acuerdo a los resultados, consideramos que el comportamiento energético y térmico de las V.M. registra mayores ventajas, que una ventana plana, en climas fríos y días nublados, gracias a su mayor superficie expuesta. Estas ventajas se puede observar comparando el factor de conveniencia de Salta, 40%, con el de Bariloche, un 120%. No obstante, si se comparan las TMR de ambas ciudades, en Salta alcanza un valor de 42°C y en Bariloche de 22°C al medio día solar. Esto es debido a las bajas temperaturas exteriores de la última localidad. Se debe considerar la incorporación de protecciones, tanto en verano, como en horarios nocturno de invierno, para evitar el sobrecalentamiento en verano y mayores pérdidas energéticas en invierno.

El SIRASOL, es factible su uso en localidades frías, dando respuesta a locales negados a la ganancia solar directa. Sin embargo, el presente estudio proporcionó la información necesaria para afirmar que el sistema funcionará efectivamente en localizaciones donde los valores de radiación solar sobre plano horizontal sean mayores a 400W/m<sup>2</sup>.

La información proporcionada en este análisis permite tomar decisiones sobre el tipo de sistema más conveniente en cada caso, o poder cuantificar rápidamente los beneficios energéticos. Se plantea la necesidad de expandir este análisis a otras localidades, ya que la metodología es la misma que se utiliza en este trabajo.

En cuanto a los edificios receptores, es importante que posean buena calidad térmica de la envolvente para potenciar la utilización de la energía solar captada y utilizada.

#### 5. REFERENCIAS



- BAREA G., GANEM C., ESTEVES A., FLORES LARSEN, S. Multi-azimuthal windows as passive solar systems. *Energy Procedia*. 2013.
- BAREA G., GANEM C., ESTEVES A. The multi-azimuthal window as a passive solar system: a study of heat gain for the rational use of energy. *Energy and Building*, Volumen 144, pp 251-261. 2017.
- BAREA G., ESTEVES A., GANEM C., FLORES LARSEN S. Evaluación térmica de ventanas multiacimutales en la ciudad de Mendoza mediante prototipos a escala 1:1 y el programa Energy Plus. *AVERMA*. Vol. 15-2011.
- BAREA G. Sistemas de Aventanamientos Multiacimutales para Edificios Sustentables en Climas Templados Continentales. Evaluación Térmica, Energética y Lumínica. Tesis Doctoral. UNSa.Argentina; 2013.
- DOE EnergyPlus - Software de simulación de energía. Estados Unidos Departamento de Energía Disponible en: <https://energyplus.net>.
- GIVONI, B. *Climate considerations in buildings and urban design*. New York: Van Nostrand Reinhold; 1998.
- GROSSI, GALLEGOS Y RIGHINI. Atlas de Energía Solar de la República Argentina. Universidad Nacional de Luján; 2007.
- J.W. LEE, H.J. JUNG, J.Y. PARK, J.B. LEE, Y. YOON (2013). Optimization of building window system in Asian regions by analyzing solar heat gain and daylighting elements. *Renewable Energy* n° 50, pp 522-531.
- MERCADO MV., ESTEVES A., FILIPPÍN C., FLORES LARSEN S. Passive solar radiant system, SIRASOL. Physical-mathematical modeling and sensitivity analysis. *Solar Energy*, Volumen 96, pp10-20. 2013
- MERCADO M.V., FLORES LARSEN S., ESTEVES A, FILIPPÍN C. Utilización del programa energy-plus para el análisis del comportamiento térmico del sistema de calefacción solar pasivo en una vivienda social del plan fonavi. *AVERMA*. Vol. 15-2011.
- MERCADO M.V., FLORES LARSEN S., ESTEVES A, FILIPPÍN C. Dimensionamiento del panel radiante del sistema de calefacción radiante solar pasivo. *AVERMA*. Vol. 14-2010
- PEARSON, C. *Manual del Vidrio Plano*. New Press; 2005.
- Sampson, Sue; Delucia, Ellen. *Window Treatments*. Idea Book. Tauton; 2005.
- U.S. Department of Energy (DOE). 2010 buildings energy data book.

**ABSTRACT:** Multiacimutales windows (VM) are characterized by the possibility of providing an amount of energy than the flat windows (VP). SIRASOL is a radiant solar heating system that is used to condition the premises without solar gain from Ecuador. This paper presents the thermal-energy potential of both passive systems offered in other latitudes of Argentina. For the study was based on a predictive analytical methodology based on two models previously adjusted in the EnergyPlus simulation program. The chosen localities were Salta, Mendoza and Bariloche. The energy and thermal behavior of the V.M. has greater advantages than a flat window, in cold climates and cloudy days, due to its greater exposed surface. It is feasible to use SIRASOL in cold locations, responding to premises denied direct solar gain. However, the present study provided the information necessary to assert that the system will effectively operate in locations where the values of solar radiation on the horizontal plane are greater than  $400\text{W/m}^2$ .

**Keywords:** passive heating systems, solar thermal technology, dynamic simulation.