

CLIMATIZACIÓN NATURAL DE ESPACIOS. ESTUDIO Y POTENCIAL DE ENFRIAMIENTO RADIANTE NOCTURNO PARA LA CIUDAD DE MENDOZA. ARGENTINA.

M. Victoria Mercado^{1,3}; Alfredo Esteves^{2,3}

³Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda (LAHV), (INCIHUSA)
Centro de Ciencia y Técnica (CCT) (CONICET)
Avda. Ruiz Leal s/n Parque General San Martín (5500), Mendoza, Argentina.

E-mail : mvmercado@lab.cricyt.edu.ar

RESUMEN.

El estado actual y disponible de la tecnología ha permitido que edificios modernos puedan ofrecer confort térmico independientemente de su diseño en relación con el medio donde se emplaza. Sin embargo esta situación se asienta en un elevado consumo de energía proveniente de fuentes no renovables. Las técnicas de climatización natural, y específicamente los sistemas de enfriamiento pasivo tienen un alto potencial para reducir estos problemas. Previamente se ha desarrollado un sistema de calefacción radiante solar pasivo SIRASOL, de captación indirecta sin acumulación de calor, donde la disipación de calor se realiza principalmente por medio de radiación. El presente trabajo forma parte del estudio y desarrollo del SIRASOL para ser utilizado también como un sistema de enfriamiento radiante pasivo en verano. El resultado principal del presente trabajo es el aporte de datos de emisividad y temperatura de cielo para la ciudad de Mendoza a partir de métodos validados.

Palabras Claves: Enfriamiento pasivo radiante, Temperatura y Emisividad de Cielo, Sistemas de climatización pasivo.

INTRODUCCIÓN

En la República Argentina se estima que entre el 35 y 40% de todos los recursos energéticos primarios utilizados es destinado al acondicionamiento del hábitat construido. De esto, el 53% es destinado al uso residencial. Las necesidades energéticas de la estructura socio-económica de la República Argentina están cubiertas en un 89% por petróleo y gas natural -43% y 46% respectivamente- (De Dicco, 2005). El 75% de la electricidad se genera con la quema de combustibles fósiles, lo que produce al año 110 millones de toneladas de CO₂ según datos de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Esto evidencia lo altamente ineficiente y peligrosa que es la base energética de la electricidad desde el aspecto del agotamiento del recurso y del aspecto medioambiental.

El estado actual y disponible de la tecnología ha permitido que edificios modernos puedan ofrecer confort térmico independientemente de su diseño en relación con el medio donde se emplaza. Sin embargo esta situación se asienta en un elevado consumo de energía proveniente de fuentes no renovables. Para la situación estival, dentro de este contexto, en el país la venta de equipos de aire acondicionado creció 100 % respecto del verano 2005 (INDEC, 2010). Tendencia que acompaña el aumento en la facturación energética eléctrica residencial.

Además, en la época estival se presenta una problemática que provoca una situación compleja para el refrescamiento de los edificios, el fenómeno de isla de calor que consiste en un aumento de la temperatura en la ciudad en relación a la periferia. Particularmente en la ciudad de Mendoza, esta diferencia es cercana a los 10°C creando un microclima urbano que altera las condiciones climáticas del lugar (Correa, 2007). Esto impacta directamente en el mayor uso de electricidad como fuente energética prioritaria para el refrescamiento de los edificios en los sectores con niveles de recursos económicos medios y altos. Por otro lado en el sector de menores recursos y ante la imposibilidad económica de acceder a mecanismos de enfriamiento convencional o hacerle frente al costo energético se presenta la falta de confort térmico en los espacios hasta hacerlos inhabitables, debiendo buscar soluciones extremas como por ejemplo dormir en los sectores de patios.

Las técnicas de enfriamiento natural y pasivo tienen un alto potencial para reducir estos problemas. Es posible prevenir los problemas de sobrecalentamiento, reducir la carga de refrigeración y mejorar las condiciones de confort térmico. Santamouris y Asimakopoulos (2001), acuerdan que se puede lograr un ahorro energético total del 20% en edificios nuevos y/o existentes con el uso de estrategias de enfriamiento pasivo: ventilación, enfriamiento evaporativo, enfriamiento por suelo y enfriamiento radiante.

Todas las técnicas de enfriamiento implican utilizar sumideros de energía. Para el enfriamiento radiante se utiliza la atmósfera y sus características regionales. La temperatura del subsuelo hacia la media anual de 15.6°C y el cielo nocturno con temperaturas por debajo de los -10°C en los meses de verano (libre de nubes), permite la utilización de enfriamiento radiante en la ciudad de Mendoza.

¹ Becaria Posdoctoral-CONICET

² Investigador Independiente- CONICET

En cuanto a sistemas de enfriamiento radiante por medio de paneles ubicados en el techo, existen avances que describen su funcionamiento, las características de su climatización y su relación con el confort térmico (Abdeslam Chebihi et al 2006; Fonseca 2010a; Nagano and Mochida 2004). Sin embargo los sistemas estudiados y encontrados en la bibliografía trata de paneles de refrigeración enfriados por medio de aire o agua acondicionados mecánicamente a baja temperatura (Buigues Nollens y Rojo 1999; Takehito et al 1999; J. Miriel et al 2002; Santamouris et al 2007; Fonseca et al 2010b). Esta situación enfatiza la necesidad de desarrollar un estudio de paneles de refrigeración radiante enfriados de forma pasiva sin el consumo de energía.

Previamente se ha desarrollado un sistema de calefacción radiante solar pasivo SIRASOL de captación indirecta sin acumulación de calor, donde la disipación de calor se realiza principalmente por medio de radiación (Mercado et al, 2005,2006, 2007, 2009, 2010, 2011). El presente trabajo forma parte del estudio y desarrollo del SIRASOL para ser utilizado también como un sistema de enfriamiento radiante pasivo en verano. Se pretende caracterizar al sistema como un sistema tipo indirecto, por tratarse de un elemento que se enfría por radiación y está en contacto inmediato con el espacio a acondicionar. El panel estará en contacto con el aire interior, enfriándolo por debajo de su temperatura inicial.

METODOLOGÍA

El trabajo se inicia con el análisis de los principales requerimientos climáticos para la utilización del enfriamiento radiante como estrategia de enfriamiento pasivo.

La metodología consta de dos etapas: a- la estimación de emisividad y temperatura de cielo para la ciudad de Mendoza a partir de métodos reconocidos y validados y la etapa b-el cálculo de la radiación nocturno y el potencial disponible de enfriamiento para la ciudad de Mendoza para un día crítico de Enero.

Luego se prosigue con el cálculo de emisividad y temperatura de cielo con el propósito de obtener el potencial de enfriamiento disponible que tenga un radiador pasivo en la ciudad de Mendoza.

Por último se realiza un balance térmico para un local de ensayo considerando una temperatura del aire interior de 24°C, a partir de la obtención del requerimiento de enfriamiento para un día crítico del mes de enero.

ENFRIAMIENTO RADIANTE

El caso de la utilización de enfriamiento radiante pasivo como climatización de espacios, está basado en la pérdida de calor por radiación de onda larga hacia el cielo, debido a que la temperatura de este será más baja que la temperatura de la mayoría de las construcciones sobre la tierra. Esta situación se ve beneficiada, además, por lo que se denomina ventana atmosférica. Este fenómeno se sustenta en que entre la porción que va de los 8 μ a los 13 μ la radiación atmosférica es débil. Esta porción del espectro electromagnético permite el paso de la radiación a través de la atmósfera, sin absorción por partes de los gases de vapor de agua, dióxido de carbono y ozono (siendo el 99% del contenido de la atmósfera).

Una consideración importante a saber para la utilización de este fenómeno como método de enfriamiento, es la existencia de mediciones que comprueban que el valor de radiación de onda larga proveniente del zenith es menor que el valor de radiación proveniente del horizonte. Por lo tanto la posición de una placa radiante para enfriamiento es horizontal y no depende como en el caso de un colector solo, de la latitud del sitio. Por lo tanto la utilización de la superficie del techo de los edificios, siendo el elemento de la envolvente que mayor exposición al cielo, representa la superficie radiativa más apropiada y la localización natural para un radiador nocturno (Givoni, 1994). Por lo tanto el esquema de funcionamiento se conformará por un panel radiante, el local a enfriar y el mecanismo que realice la transferencia térmica entre el panel y el local.

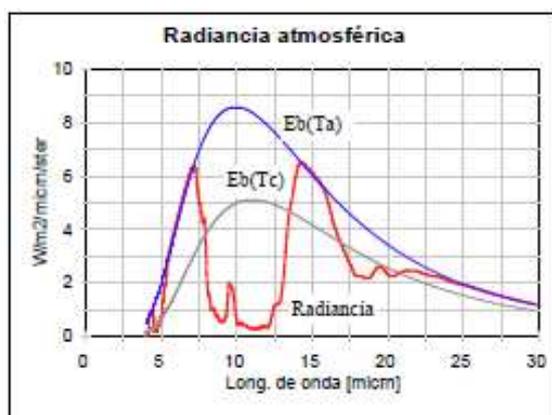


Fig. 1-a: Espectro electromagnético y ventana atmosférica

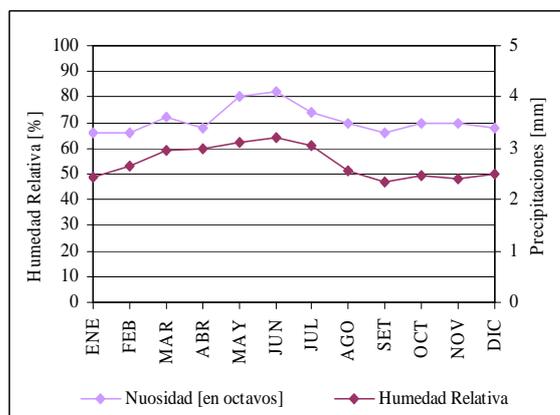


Fig. 1-b: Nubosidad y Humedad Relativa para datos mensuales del SMN para la ciudad de Mendoza.

En cuanto al requerimiento climático presenta la necesidad de cielos claros, con poca nubosidad durante las noches y bajo porcentaje de humedad relativa. Climas secos en regiones áridas, características naturales de la ciudad de Mendoza en la estación estival. En la figura 1-b, se presenta la cantidad de días nublados en octavos y el porcentaje de humedad relativa mensual en base a datos del Servicio Meteorológico Nacional.

Para conocer el potencial de enfriamiento radiante es necesario poseer datos de emisividad y temperatura de cielo de la localidad, valores que se pueden hallar en función de variables climáticas como: -humedad relativa, -temperatura de rocío y -temperatura de bulbo húmedo.

CÁLCULO DE EMISIVIDADES Y TEMPERATURA DE CIELO PARA LA CIUDAD DE MENDOZA.

La bibliografía presenta numerosos métodos para el cálculo de la emisividad de cielo (Berdahl and Fromberg,1982 Berdhal and Martin, 1989 Clark and Allen, 1978) y temperatura de cielo (Berdahl and Fromberg,1989 Perez and García, 2004 Gouldin et al, 1998) en función de las temperaturas de punto rocío (Tr) y temperatura de bulbo húmedo (Tbh).

En la Figura 2 se presenta los resultados de los diferentes métodos de cálculo en forma comparativa en base a datos de temperaturas mensuales mínimas del Servicio Meteorológico Nacional.

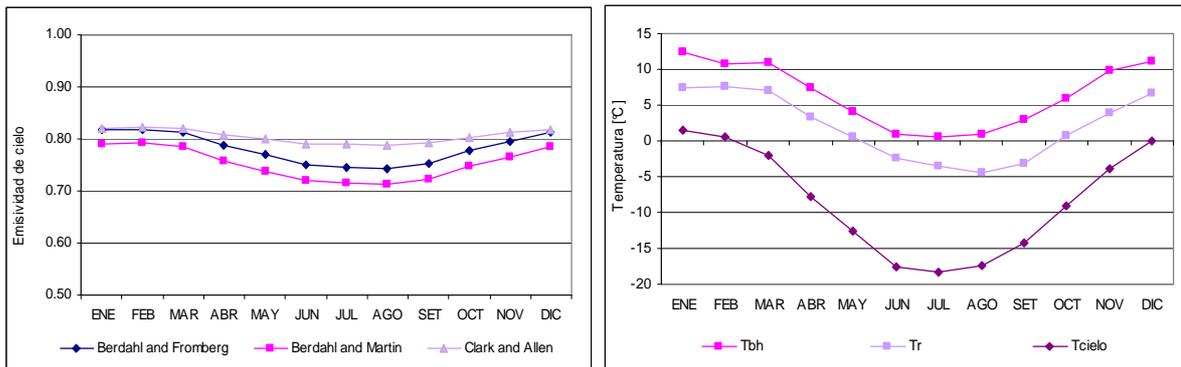


Fig. 2: Resultados de emisividad y temperatura de cielo para datos mensuales del SMN.

Como se puede apreciar la diferencia que se establece entre las emisividades de cielo (ϵ_{cielo}) calculadas es mínima. Se continúa el estudio utilizando las ecuaciones presentadas por Berdhal and Fromberg, 1982. Se presentan las ecuaciones del método seleccionado para calcular la emisividad y la temperatura de cielo ecuación 1 y 2 respectivamente.

$$\epsilon_{\text{cielo noche}} = 0.741 + 0.0062 * Tr \quad (1)$$

$$T_{\text{cielo}} = \epsilon_{\text{cielo noche}}^{1/4} * T_{\text{ext}} \quad (2)$$

Donde:

0.741 y 0.0062 son constantes de las correlaciones;

Tr es la temperatura de punto de rocío en °K;

ϵ , emisividad de cielo;

T_{ext}, es la temperatura ambiente media del período nocturno (20:00-8:00) en °K.

A partir de los resultados obtenidos de emisividad y temperatura de cielo se prosigue a calcular la radiación de onda larga que llega a la tierra mediante la ecuación 3.

$$R = \sigma * T_{\text{cielo}}^4 = \epsilon_{\text{cielo noche}} * \sigma * T_{\text{ext}}^4 \quad (3)$$

Donde:

R, potencia nocturna;

σ es la constante de Stefan Boltzman ($5.7E^{-0.8}$);

ϵ , emisividad de cielo;

T_{ext}, es la temperatura ambiente media del período nocturno (0:00-8:00) en °K.

A continuación se define la potencia de enfriamiento radiante disponible para enfriar con un radiador con una emisividad de 0.95 (ecuación 4), valor que se puede conseguir con pinturas antiselectivas (Frigerio 2004). La potencia indicada proporcionará una aproximación de la máxima potencia teórica que podrá emitir la superficie para enfriar.

$$\text{Potencia disponible} = \epsilon_{\text{sup}} * ff * \sigma * T_{\text{ext}}^4 - R \quad (4)$$

Donde:

ϵ_{sup} , emisividad de la superficie;

ff, es el factor de forma. Siendo $ff = ((1 + \cos \beta) / 2) + ((1 - \cos \beta) / 2)$

σ es la constante de Stefan Boltzman ($5.7E^{-0.8}$);

T⁴, es la temperatura ambiente media del período nocturno (0:00-8:00) en °K, elevada a la cuarta potencia;

Tabla 1: Radiación de onda larga y potencia disponible para una placa de $\epsilon=0.95$ para datos mensuales del SMN.

A partir de este cálculo de la potencia disponible de enfriamiento para datos medios mínimos de la ciudad de Mendoza para los doce meses del año, es posible proceder con el análisis del SIRASOL como estudio de caso como sistema de enfriamiento radiante pasivo.

POTENCIAL DE ENFRIAMIENTO RADIANTE EN LA CIUDAD DE MENDOZA.

A partir de datos medidos del período estival 2008-2009 (Noviembre y Diciembre de 2008; Enero y Febrero de 2009) se calcula por medio de la ecuación 1 y 2 la emisividad de cielo (ϵ_c) y la temperatura de cielo (T_c) para el período nocturno (00:00-8:00) de los meses mencionados. Los resultados se presentan en gráficos de dispersión ambas variables. Figuras 4.

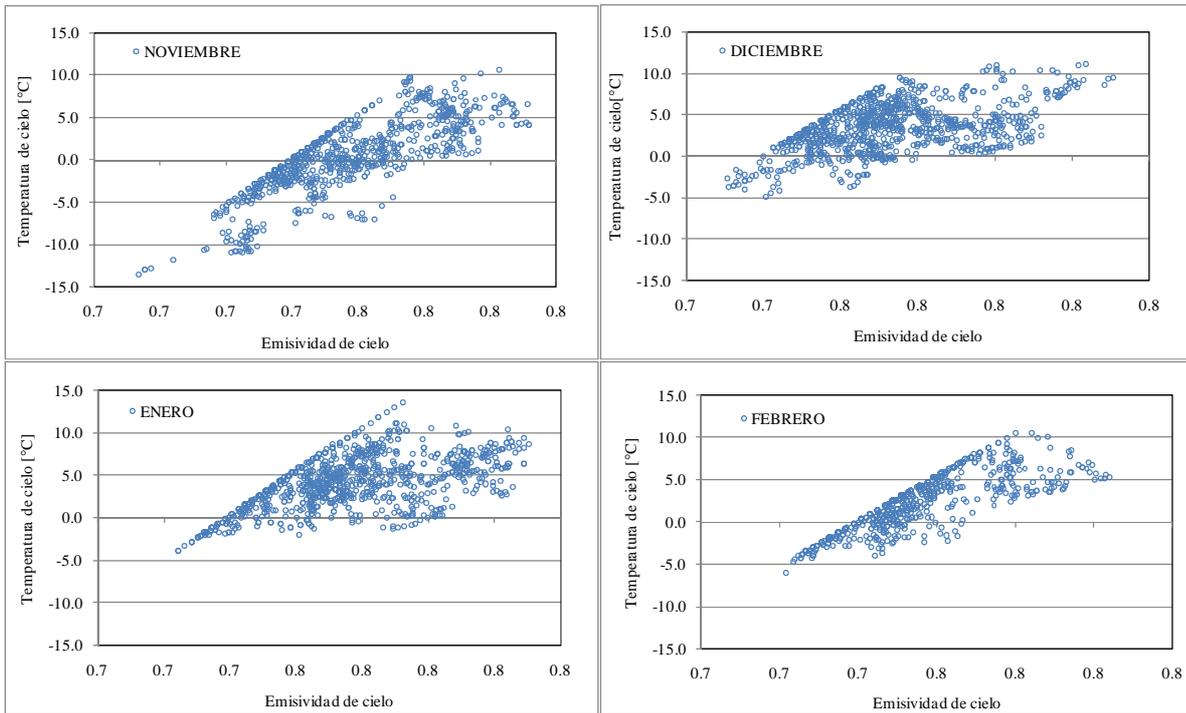


Fig. 4: Relación de Temperatura de cielo y emisividad de cielo para el período nocturno desde las 0:00 a las 8:00hs.

En función de los datos obtenidos se estima un promedio diario de radiación nocturna y de potencia disponible para cada mes a partir de las ecuaciones 3 y 4. Tabla 2.

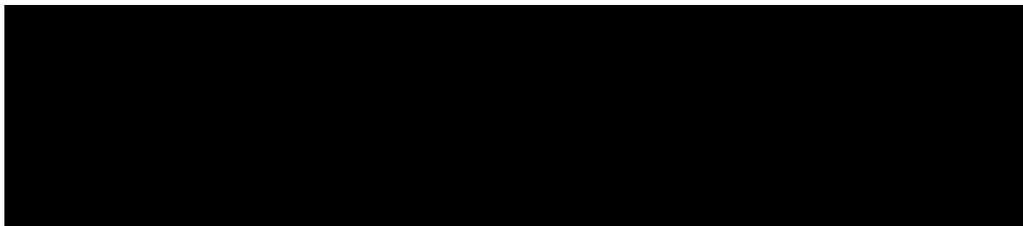


Tabla 2: Radiación de onda larga y potencia disponible para una placa de $\epsilon=0.95$ para el período estival 2007-2008.

Considerando el requerimiento de enfriamiento del local de ensayo obtenido a partir del balance térmico para la estación de verano se obtiene que la carga interna es de 14733 Wh (Esteves, 2000); se obtiene que:

Requerimiento de enfriamiento para un día crítico de Enero	=	14733 Wh
Área del panel radiante frío	=	2.0 m²
Potencia radiante disponible	=	418.87 Wh/día.m²
Potencia radiante disponible del panel frío	=	837.74 Wh/día

La cantidad de calor que quitará un sistema radiante de enfriamiento dependerá de la superficie de la placa fría.

Se pretende continuar con el presente trabajo evaluando el SIRASOL como sistema de enfriamiento radiante. Para ellos se seguirá el estudio del panel radiante frío y del balance global que involucre la transferencia de calor radiativa hacia el cielo, hacia el fondo del canal de circulación del aire, las pérdidas convectivas exterior hacia el ambiente y la ganancia convectiva desde el aire del interior a la placa emisora.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha realizado un análisis del potencial de la ciudad de Mendoza para la utilización de enfriamiento radiante como medio de refrescamiento pasivo, contribuyendo y aportando al estado del arte datos de emisividad y temperatura de cielo para la ciudad de Mendoza a partir de métodos validados.

Se pretende continuar con el presente estudio en pos de optimizar el rendimiento del sistema mencionado y su potencial de enfriamiento para la época estival.

REFERENCIAS

- Abdeslam Chebihi, Ki-Hong Byun, Jjin Wen, Theodore f. Smith. (2006) Radiant cooling of an enclosure. *Energy Conversion and Management* 47. Pp. 229–252
- A. Buigues Nollens y E. Rojo. (1999) Módulo de refrescamiento económico para interiores averma 3 7.
- Clark E. and Allen C. (1978) The estimation of atmospheric radiation for clear and cloudy skies. *Proceedings of the Second National Passive Solar Conference*. Vol. 2, pp. 675-678.
- P. Berdhal and M Martin. (1984). Emissivity of clear skies. Technical Note. *Solar Energy* Vol 23, pp 663-664.
- P. Berdhal and R. Fromberg. (1982). The thermal radiance of clear skies. *Solar Energy* Vol 29. Pp. 299-314.
- Correa E. N.; De Rosa C; Lesino G. (2007). Climate, urban configuration and thermal comfort in outdoors spaces. The case of Mendoza's city, Argentina. *International Conference on Sustainable Energy Technologies*. Chile. Pp. 1-7.
- De Dicco Ricardo Andrés. Argentina: ¿Planificación o Colapso Energético?. Publicado digitalmente 5 de diciembre de 2005.
- Erico Frigerio. (2004) AVERMA, Vol. 8; pp. 11.25 – 11.28.
- Néstor Fonseca, Cristian Cuevas, Vincent Lemort. (2010) Radiant ceiling systems coupled to its environment part 1: Experimental analysis. *Applied Thermal Engineering* 30. Pp. 2187e2195
- Néstor Fonseca, Stephane Bertagnolio, Cristian Cuevas. (2010) Radiant ceiling systems coupled to its environment part 2: Dynamic modelling and validation. *Applied Thermal Engineering* 30. Pp. 2196 – 2203.
- Givoni. (1992). "Confort, Climat analysis and Building Design Guidelines". *Energy and Buildings* 18, pp 11-23.
- Givoni. (1994). "Passive and Low Energy Cooling of Buildings". Van Reinhold. Estados Unidos de América.
- Goluding J., Owen Lewis J. Y Steemers T., (1994). *Energy in Architecture. The European Passive Solar Handbook*. London: B.T. Bastford Limited.
- Mercado V., Esteves A. (2005) .Sistema de calentamiento solar para viviendas de bajo costo sin fachadas hacia el Ecuador AVERMA, Vol. 9; pp. 3.49 – 3.54.
- Mercado V., Esteves A. (2006). Sistema de calefacción solar radiante - variables de diseño y mediciones experimentales. ENTAC.
- M. V. Mercado, A. Esteves y C. Filippín (2007). Sistema de calefacción solar radiante. Mediciones experimentales de invierno y evaluación con software de simulación térmica SIMEDIF. ENCAC.
- Mercado V, Esteves A, Filippín C, Flores Larsen S. (2009). Sistema de calefacción radiante solar pasivo. Diseño, construcción de un prototipo y obtención de resultados. Publicado en ERMA, Vol. 12; pp. 53-61 Publicación Papel (con referato ISSN 0328-932X)
- Mercado M.V., Esteves A., Filippín C. (2010) Comportamiento térmico-energético de una vivienda social de la ciudad de Mendoza. Argentina. *Revista Ambiente Construido* 10. pp.87-101
- Mercado María Victoria, (30/03/2011). Tesis Doctoral: Sistema de calefacción radiante solar pasivo para el hábitat construido sin fachada disponible hacia el Ecuador en Mendoza, Argentina. Facultad de Ciencias Exactas. Universidad Nacional de Salta.
- J. Miriel, L. Serres, A. Trombe (2002) Radiant ceiling panel heating-cooling systems: experimental and simulated study of the performances, thermal comfort and energy consumptions. *Applied Thermal Engineering* 22. Elsevier Pergamon. Pp 1861–1873.
- M. Perez-García. (2004). Simplified modelling of the nocturnal clear sky atmospheric radiation for environmental applications. *Ecological Modelling* 180, pp 395-406.
- K. Nagano, T. Mochida. (2004) Experiments on thermal environmental design of ceiling radiant cooling for supine human subjects. *Building and Environment* 39 (2004) 267 – 275
- Paul Berdhal and Richard Fromberg. (1982). The thermal radiance of clear skies. *Solar Energy*, Vol.9, N°4, pp. 299-314. Pergamon.
- Paul Berdhal and Marlo Martin, (1984). Technical Note. Emissivity of clear skies. *Solar Energy*, Vol.32, N°5, pp. 663-664. Pergamon.
- M. Santamouris and D. Asimakopoulos, (2001). *Passive cooling of buildings*. Second print 2001. Ed. James & James.
- M. Santamouris, K. Pavlou, A. Synnefa, K. Niachou, D. Kolokotsa. (2007). Recent progress on passive cooling techniques: Advanced technological developments to improve survivability levels in low-income households. *Energy and Buildings* 39. Pages 859-866.

ABSTRACT: State of art the technology available has allowed modern buildings can provide thermal comfort regardless of design in relation to the environment in which it is located. However, this situation is based on a high consumption of energy from conventional energy sources. Natural cooling techniques, and specifically passive cooling systems have a high potential to reduce these problems. Previously we have developed a system of passive solar radiant heating SIRASOL, indirect uptake without heat buildup, where the dissipation of heat takes place mainly by radiation. This work is part of the study and development of SIRASOL to be used also as a passive radiant cooling system in summer. The main result of this work is the data input emissivity and sky temperature for the city of Mendoza from validated methods.

Key Word: Passive radiant cooling, Sky temperature, Sky emissivity, Passive system.