

TERMOGRAFÍA INFRAROJA EN EL ESTUDIO DE SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN PASIVA

M. Victoria Mercado¹

Instituto de Ambiente Hábitat y Energía (INAHE)
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
Centro Científico y Tecnológico – CCT-Mza CONICET
C.C.131 C.P. 5500 – Tel. 0261-5244310 –e-mail: mvmercado@mendoza-conicet.edu.ar

Recibido 05/2023; Aceptado 07/2023

RESUMEN.- El mayor consumo de energía de los edificios es consecuencia de los sistemas de climatización. La comunidad científica ha desarrollado sistemas de climatización pasiva que, en su mayoría, conllevan largos períodos de prueba y monitoreo para conocer su desempeño en los espacios interiores. La termografía permite reducir estos tiempos en las primeras etapas de desarrollo. El trabajo se fundamenta en la utilización de la fotografía infrarroja para un análisis cuantitativo y cualitativo de dos sistemas desarrollados por los autores. El objetivo del presente trabajo es analizar la aplicación cuantitativa y cualitativa de la termografía infrarroja como herramienta de valoración rápida en sistemas de climatización natural. La metodología consta de cuatro etapas: a) determinar los horarios de toma, b) toma de las imágenes c) toma de registros monitoreados de temperatura superficial y d) la comparación de los resultados con mediciones de monitoreo de temperatura superficial de las placas. Los resultados muestran que el uso de la termografía es válido para una evaluación cuantitativa rápida ofreciendo un ajuste óptimo. Desde el aspecto cualitativo permite evaluar aspectos que requerirían equipos de monitoreo complejos y un tiempo extenso, lo que tardaría en llevar estos sistemas al uso masivo para la reducción del consumo energético.

Palabras clave: Radiación térmica, Termografía, Sistemas de climatización natural.

INFRARED THERMOGRAPHY IN THE STUDY OF PASSIVE AIR CONDITIONING SYSTEMS

ABSTRACT.- The largest energy consumption in buildings is a consequence of air conditioning systems. The scientific community has developed passive air conditioning systems that, for the most part, involve long periods of testing and monitoring to determine their performance in interior spaces. Thermography can reduce these times in the early stages of development. The work is based on the use of infrared photography for a quantitative and qualitative analysis of two systems developed by the authors. The objective of this work is to analyze the quantitative and qualitative application of infrared thermography as a rapid assessment tool in natural air conditioning systems. The methodology consists of four stages: a) determination of the timetables, b) acquisition of the images, c) acquisition of monitored surface temperature records and d) comparison of the results with surface temperature monitoring measurements of the plates. The results show that the use of thermography is valid for a quick quantitative evaluation offering an optimal adjustment. From the qualitative aspect it allows to evaluate aspects that would require complex monitoring equipment and extensive time, which would take time to bring these systems to mass use for the reduction of energy consumption.

Keywords: Thermal radiation, Thermography, Natural air conditioning systems.

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el interés mundial hacia la investigación, desarrollo y aplicación de sistemas de climatización pasiva de edificios viene dado por la irrefutable conclusión de que, con el uso de estos, integrados en una arquitectura bioclimática, se disminuirá los efectos del cambio climático a nivel global (IEA 2022).

Considerando que el mayor consumo energético de los edificios es consecuente del uso de los sistemas de acondicionamiento térmico, el interés y desarrollo de sistemas de climatización natural que los suplan ha ido en aumento en las últimas décadas. El diseño y

estudio de sistemas innovadores de climatización pasiva conlleva procesos metodológicos de monitoreo que permiten el análisis de su comportamiento. De esta manera es factible el ajuste de aspectos que generen mejoras en la performance y que cumplan con el objetivo buscado. Sin embargo, estos procedimientos extienden el tiempo de prueba y error dentro del proceso. La termografía infrarroja (TIR) se caracteriza por tratarse de una herramienta de medición no destructiva que determina la temperatura y su distribución en las superficies sin contacto.

Existen a la fecha numerosas investigaciones que abordan el uso de la TIR para el estudio del entorno construido. Un trabajo reciente

realiza una revisión de las diferentes escalas de uso, meso escala como las imágenes satelitales para identificar los efectos de la isla de calor urbana, escala local en el análisis de flujos de calor urbano y la micro escala en la determinación de la performance de la envolvente edilicia, la identificación de puentes térmicos, el comportamiento de paneles fotovoltaicos, etc. (Martí et al, 2022). En la utilización de la fotografía de IR el comportamiento de los materiales está determinado por sus propiedades ópticas y térmicas. El albedo y la emisividad térmica son los dos factores principales. (Alchapar y Correa, 2015).

En cuanto a escalas pequeñas la IR ha desempeñado un rol importante en la observación de fenómenos referidos a la radiación emitida y/o reflejada de diversos materiales y componentes en el área invisible del espectro electromagnético (Sang Chae Kim et al, 2019; Hongn y Flores Larsen, 2012). En relación con la evaluación de sistemas, esta herramienta ha permitido identificar la radiación de calor en el uso de la energía solar tanto en el equipamiento de conversión térmica como en el de conversión fotovoltaica, y en sistemas de energía eólica como los son los aerogeneradores (Kreuzinger, 2006; Bolun et al, 2020). En este campo de evaluación de sistemas por medio de la IR como herramienta auxiliar es donde se ubica este estudio.

El diseño y estudio de este tipo de sistemas conllevan metodologías de desarrollo extensas que pueden retrasar la transferencia de estos al campo del hábitat construido. En este sentido la termografía ha demostrado que facilita la evaluación térmica rápida y eficaz de edificios y sistemas, permitiendo diagnósticos masivos y fiables.

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar la aplicación cuantitativa y cualitativa de la termografía infrarroja como herramienta de valoración rápida en las primeras etapas del desarrollo de sistemas de climatización natural.

2. METODOLOGÍA

La metodología de termografía consiste en la toma de imágenes de inspección mediante la obtención de imágenes de su distribución de temperatura. Observando el comportamiento térmico de los componentes de un sistema puede evaluarse su desempeño. El presente estudio se realiza con dos casos de estudios, en cuatro etapas consecutivas: a) determinar los horarios de toma, b) toma de las imágenes c) toma de registros monitoreados de temperatura superficial y d) la comparación de los resultados con mediciones de monitoreo de temperatura superficial de las placas.

Los casos de estudios utilizados son dos sistemas de climatización natural desarrollados por los autores para las condiciones climáticas de la ciudad de Mendoza, un sistema de calefacción radiante solar pasiva (SIRASOL) y un sistema de enfriamiento radiante pasivo (SERA).

El 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. (Autor 2011, Autor et al. 2013, Autor et al, 2018, Barea et al, 2017). En la figura 1, se muestra un prototipo construido en un espacio de oficinas del INA-

HE CCT Mendoza, CONICET. Se trata de un espacio prismático de 3m de ancho por 6m de largo. Consta de construcción másica en la mitad de su envolvente vertical y envolvente liviana en la otra mitad. La cubierta está resuelta con madera, hormigón alivianado y membrana asfáltica. El sistema desarrollado se ubica en el centro del costado derecho del mismo.

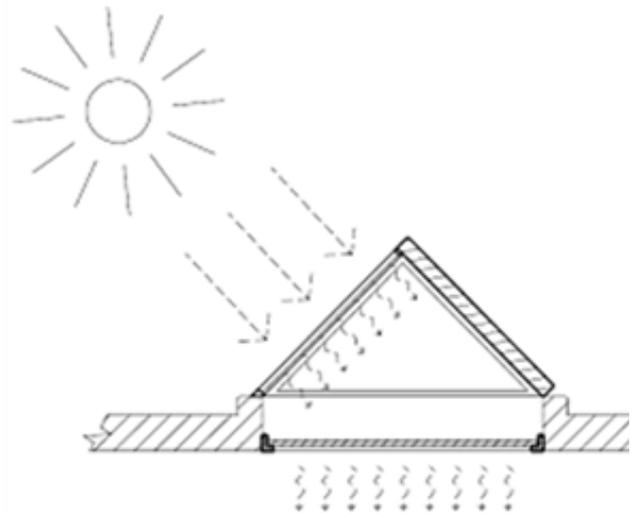


Fig. 1. Esquema e imágenes de sistema de calefacción radiante pasiva – SIRASOL-

El SERA, es un sistema de enfriamiento radiante. Se trata de un recinto prismático tipo cajón, que atraviesa de lado a lado el espacio de ensayo. Posee una placa radiante con una emisividad cercana a 0.88 (Yañez, 1982) expuesta hacia la bóveda celeste y que, a su vez, conecta directamente con el interior del local a enfriar. Hacia los dos costados donde se ubican las aberturas Norte y Sur, se ane-

xaron dos toberas para el ingreso y egreso del aire. El prototipo se orientó con la abertura de entrada orientada hacia el sur, respondiendo a la predominancia en la frecuencia de dirección de vientos para el período estival. Para evaluar la radiación de onda larga emitida por un radiador hacia el cielo, se trabajó con las propiedades de un prototipo construido en las instalaciones del Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE). En la figura 2, se presenta el SERA en el box de ensayo donde se construyó. Se trata de un box para experimentaciones de 2m de ancho por 3m de largo. La materialidad de este es liviana en toda la envolvente, tanto vertical como en la cubierta.



Fig. 2. Imagen de sistema de enfriamiento radiante pasivo –SERA-

2.1. Clima

La ciudad de Mendoza se encuentra ubicada en el centro oeste de la República Argentina con clasificación bioambiental IV, Templado frío según la Norma IRAM 11603 (IRAM 11603, 2011). Se trata de una localidad a 780msnm, con alta heliofanía y una amplitud térmica cercana a los 20 grados. La irradiancia solar es alta y permite su utilización para sistemas solares pasivos de calefacción. En el verano existe una mayor predominancia de cielo nocturno descubierto por lo que es propicio para el uso de sistemas de enfriamiento radiante (Autor et al, 2012, 2013, 2017, Barea 2018).

2.2. Horarios de toma

Para la determinación de los horarios de tomas, se consideraron campañas en días y noches representativas del mes de julio y enero por tratarse de los días más fríos (para el SIRASOL) y más calientes (para el SERA) del año respectivamente.

Para el SIRASOL, se determinó tomar los registros IR en el período de mayor radiación solar. A razón de ello se tomaron fotografías en un intervalo entre las 11:00 horas hasta las 15:00.

Para el caso del SERA, al ser un sistema de enfriamiento radiante, el período de funcionamiento real del sistema es por la noche y madrugada, por lo que las tomas se realizaron desde las 0:00 hasta las 9:00 de la mañana.



Fig. 3. Mapa de la República Argentina y la ubicación de la ciudad de Mendoza.

Tabla 1: Información climática de la ciudad de Mendoza para julio y enero. Fuente: Servicio Meteorológico Nacional. Ministerio de Defensa.

JULIO	
Temperatura media MAX	14
Temperatura media MED	7
Temperatura media MIN	3
Humedad relativa	63%
Radiación Global Horizontal	1089
Período de calefacción	27/04 al 06/10
VERANO	
Temperatura media MAX	32
Temperatura media MED	26
Temperatura media MIN	20
Humedad relativa	49%
Radiación Global Horizontal	576
Período de enfriamiento	06/11 al 08/03
ROSA DE LOS VIENTOS	
<p>Frecuencia de dirección de viento [escala N de 1000]</p> <p>Climas: Ene: 299 Jul: 307</p> <p>— Enero Frecuencia — Julio Frecuencia</p>	<p>Velocidad de viento por dirección [km/hr]</p> <p>— Enero Velocidad — Julio Velocidad</p>

2.3. Toma de las imágenes

Se utilizó una cámara Fluke modelo Ti55 con la siguiente configuración:

Emisividad	0.95
Temperatura de fondo	20.0 °C
Intervalo de la imagen	29.4 °C a 34.9 °C
Temperatura promedio	31.9 °C
Modelo de cámara	Ti55FT
Fabricante	Fluke
Intervalo de calibración	-20.0 °C a 100.0 °C
Número de serie de la cámara	Ti55FT-0910005
Descripción de la lente	20mm/F0.8

Fig. 4: Descripción que otorga la máquina de las características de una de las tomas realizadas.

En ambos sistemas se tomaron las imágenes en el espacio interior. Para el caso del sistema de calefacción, las imágenes fueron tomadas ubicándose en un lateral debajo del panel radiante, dado que no se podía acceder al punto de toma óptima (forma perpendicular a la superficie) por encontrarse sobre mobiliario inmóvil. En el caso del SERA, las imágenes termográficas se tomaron de forma perpendicular a la placa radiante a una distancia de aproximadamente un metro.

La aplicación de la termografía en este estudio es cuantitativa por lo que el valor de emisividad seteado en la cámara es fundamental para evitar errores graves en las mediciones de la señal energética para luego se pueda transformar en un dato de temperatura riguroso (Flores Larsen y Hongn, 2012). A nivel local se han realizado estudios de albedo de materiales de construcción local (Alchapar y Correa, 2015). Sin embargo, para la medición de valores de emisividad aún no se cuenta con valores cuantificados por lo que se ha utilizado valores de diversos estudios y bibliografía específica (Yañez, 1982). Un estudio que analiza y cuantifica esta propiedad en más de 5000 materiales (Alchapar et al, 2021) considera un valor de 0.95. Flores Larsen y Hongon advierten que para temperaturas mayores la emisividad de los materiales de construcción sería más bajas. Por esta razón para el sistema de enfriamiento que no supera temperaturas medidas de 30°C se tomó la emisividad expuesta por el estudio de Alchapar, mientras que, para el sistema de calefacción solar radiante, las temperaturas alcanzadas por el panel metálico han sido de hasta 70°C por lo que se optó por considerar una emisividad de 0.88 (Autor, 2011; Autor et al, 2013; Autor et al, 2017).

Las imágenes adquiridas se analizaron y procesaron con el software SmartView que proporciona el fabricante de la cámara termográfica. Este software puede calcular la temperatura correspondiente una vez ingresados los valores de emisividad, temperatura y transmitancia del aire, lo que permite introducir los valores posteriormente para tener un valor de temperatura a partir de la señal de eléctrica (Hongn y Flore Larsen, 2012). Se exponen los valores de mínima y máxima con marcadores en las fotografías IR.

2.4. Monitoreo de temperatura superficial de las placas

Previamente, en ambos sistemas para medir la temperatura superficial de la placa, se utilizaron termocuplas tipo T unidas a dataloggers Hobo U12. Las mediciones se tomaron por períodos más extensos y con intervalos de 15 minutos. Estas mediciones sirvieron en una primera instancia para la evaluación en el desarrollo de los sistemas (SIRASOL y SERA). La ubicación de los sensores en ambos sistemas fue en el centro geométrico de las placas radiantes. En el caso del sistema de calefacción también se colocaron en el eje transversal longitudinal desde el centro hacia el borde. Para el presente trabajo

se utilizó solo el registro del centro. Estas mediciones con sensores HOBO U12, se utilizan en el presente trabajo para contrastarlos con los valores cuantitativos obtenidos en los registros de IR.

3. RESULTADOS

3.1. Sistema de calefacción radiante solar pasivo (SIRASOL)

En las figuras 5 se presenta los resultados de los registros del monitoreo para 3 días característicos siendo 9, 10 y 11 de julio. Los datos expuestos corresponden al período diurno por tratarse de las mediciones realizadas para el sistema de calefacción y trabajar con las horas de alta radiación solar.

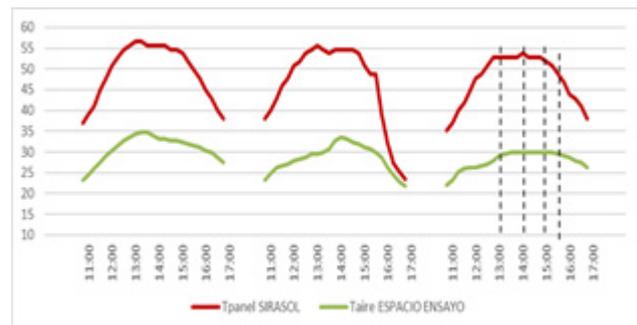


Fig. 5: Monitoreo del sistema de calefacción radiante solar pasivo (SiRASOL) en espacio de ensayo.

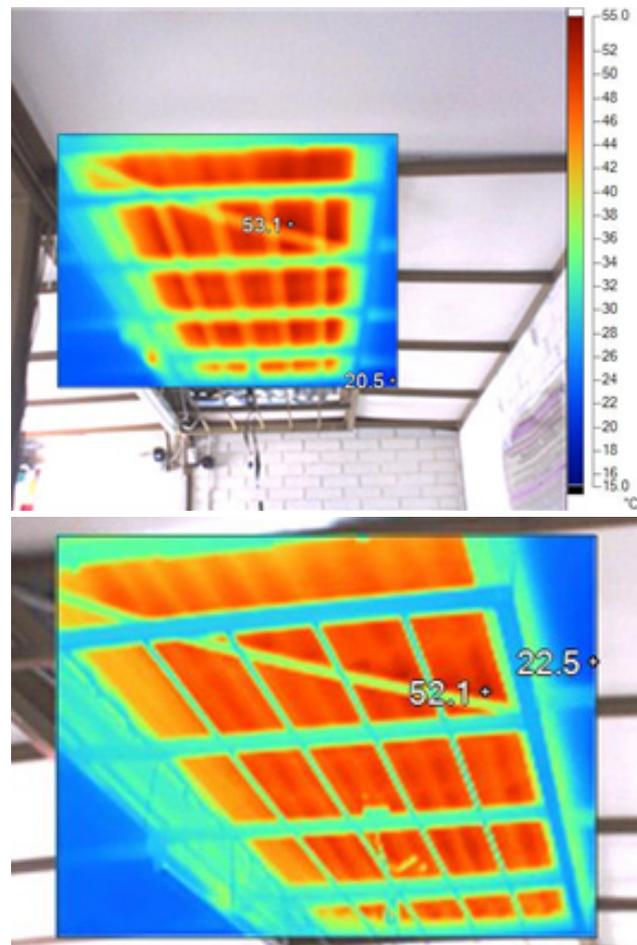


Fig. 6: Termografías del sistema de calefacción radiante solar pasivo (SiRASOL) en espacio de ensayo a las 13:00 y 14:00 horas.

Las figuras 6 y 7 presentan las termografías tomadas en las horas de mayor radiación del día 11 de julio, desde las 13:00 a las 15:40 con intervalos de una hora. Se puede observar que las temperaturas calculadas para la emisividad seteada se asemejan a los registros tomados con termocupla.

En el análisis cuantitativo se observa que la diferencia entre las termografías y los datos registrados por monitoreo no supera 1.5°C. Este delta entre ambas mediciones permite validar el uso de la termografía para la evaluación rápida de los sistemas radiantes en desarrollo, situación que agilizará los ensayos con otros materiales y otras configuraciones de los mismos.

Desde el aspecto cualitativo la FIR permite evaluar la condición de homogeneidad térmica de la placa radiante. En el desarrollo del SIRASOL se consideró como hipótesis de diseño, que todo el panel se comportaría de manera homogénea, es decir que toda la placa mantendría una sola temperatura. En la figura 6 se presentan las escalas en grados centígrados donde se evidencia que, cuando la temperatura llega a su máximo, la diferencia del punto más alto (marcador) y los bordes del panel no superan los 2°C. La intensa radiación solar permite que un material como el metal eleve su temperatura de forma uniforme. Con una superficie de 2m² panel radiante, para un espacio de 18m², se ratifica que la ubicación del sistema en el centro del local es la indicada y que influirá térmicamente de forma semejante en todo el espacio.

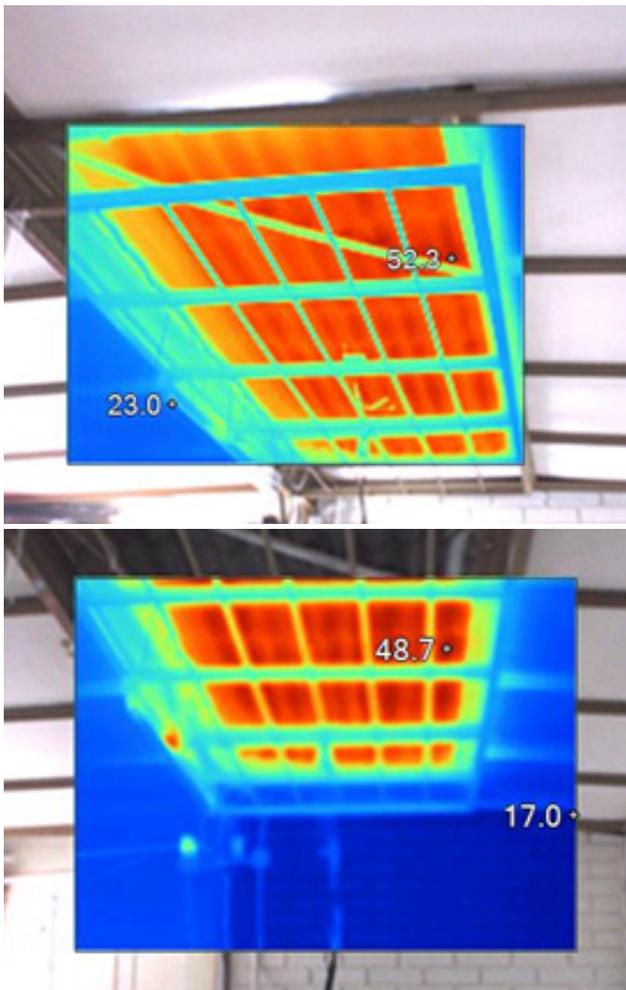


Fig. 7: Termografías del sistema de calefacción radiante solar pasivo (SiRASOL) en espacio de ensayo a las 15:00 y 15:40 horas.

3.2. Sistema de enfriamiento radiante pasivo (SERA)

La figura 8 presenta solo el período nocturno de las mediciones tomadas en el box de ensayo del sistema de enfriamiento para los días 19, 20 y 21 de enero. En las figuras siguientes, 9 y 10 se presentan las fotografías IR desde las 21:30 a las 7:30 horas del día 20 de enero.

La confrontación de los datos cuantitativos obtenidos a través del monitoreo y de las FIR muestra una semejanza con diferencias máximas de hasta 1°C. En relación a la posibilidad de evaluar la uniformidad de la placa radiante (evaluación cualitativa) la diferencia alcanza los 3.5°C. El mismo material como panel radiante que se utiliza para el SIRASOL, presenta mayor dificultad en comportarse homogéneamente cuando se trata de entregar calor a la bóveda celeste. Esto permite advertir que el factor de forma y la relación entre los sistemas de enfriamiento con el local a climatizar debe ser distribuido de forma diferente al sistema de calefacción radiante.

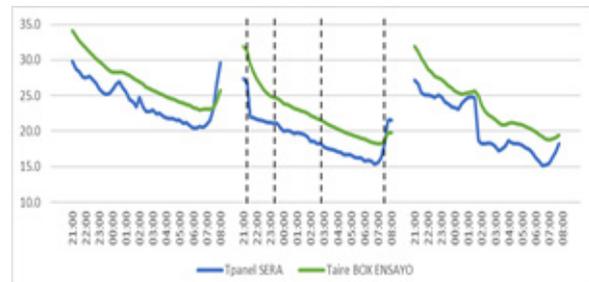


Fig. 8: Monitoreo del sistema de enfriamiento pasivo (SERA) en box de ensayo.

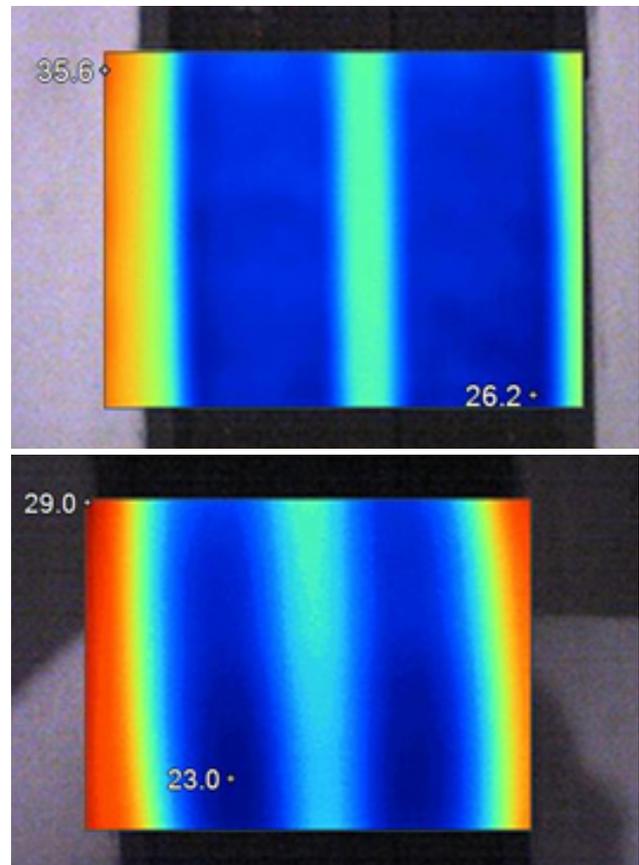


Fig. 9: Termografías tomadas del SERA en box de ensayo a las 21:30 y 23:30 horas.

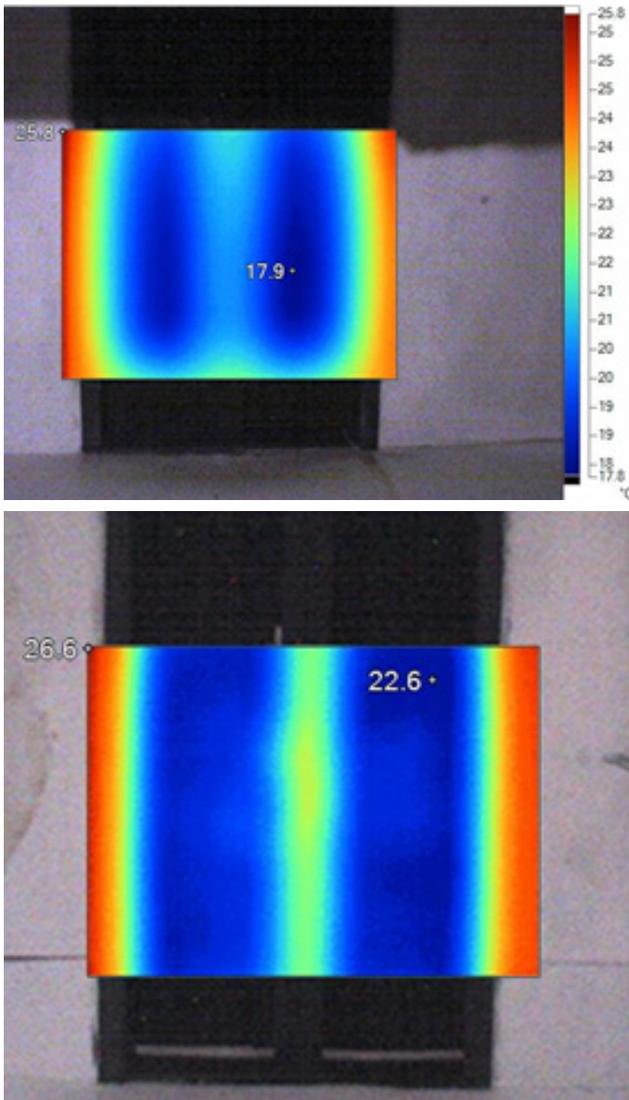


Fig. 10: Termografías tomadas del SERA en box de ensayo a las 3:00 y 7:30 horas.

3.3. Situación térmica de la placa radiante

En el estudio y desarrollo de ambos sistemas de climatización se tomó como hipótesis de trabajo que las placas radiantes poseerían una temperatura homogénea en toda su superficie. La termografía IR permitió evaluar esta situación. En la Tabla 2 se presentan los datos cuantitativos de las temperaturas de las placas del SIRASOL y SERA respectivamente. Los datos presentados responden a las temperaturas máximas y mínimas, el promedio y el gradiente térmico de la placa.

Para obtener esta diferencia se consideró desde el punto de referencia y de manera lineal a su opuesto. En el caso del SIRASOL, desde el punto con la temperatura más alta, en el caso del SERA, el punto de referencia es el punto donde se observa la temperatura mínima. De esta manera se puede calcular el gradiente térmico, es decir la diferencia de temperatura que presenta la placa en su composición.

En el caso del sistema de calefacción, la placa o panel radiante presenta una diferencia térmica de hasta 4.8°C, máximo observado 20 minutos después del medio día solar y en el lado sur de la chapa (hora de toma: 14:00). Esta situación se considera

Tabla 2: Temperaturas máximas, mínimas, promedios y gradientes a las diferentes horas de las tomas de los registros IR para el sistema de calefacción (SIRASOL) y el sistema de enfriamiento (SERA)

Horario	Temp. máx	Temp. min	Promedio	Gradiente en placa
SIRASOL [C]				
13:00	49.5	46.6	48	2.9
14:00	52.1	46.6	49.7	4.8
15:00	52.3	48	50.2	4.3
15:40	49.5	46.6	48.1	2.9
SERA [C]				
21:30	31.9	26.2	28.8	5.7
23:30	29.0	23	23.7	6
03:00	22.7	17.9	19.7	4.8
07:00	26.6	22.6	24.6	4

consecuente a la configuración geométrica del sistema, la mayor incidencia de la radiación solar se produce en esa franja. En la figura 11 se puede observar la disminución térmica explicada. Esta diferencia mayor se presenta una hora antes de la temperatura máxima registrada correspondiente a las 15:00 horas, lo que sugiere que la temperatura del panel tiende a equilibrarse a medida que alcanza el máximo térmico. En las tomas de registros IR donde las temperaturas han sido menores, las diferencias térmicas en el panel disminuyen hasta un 40%.

En el caso del sistema de enfriamiento, presenta dos sectores donde se observa una temperatura mayor que divide al panel en dos franjas de condiciones térmicas simétricas a partir del eje medio longitudinal. Esta situación responde a la presencia

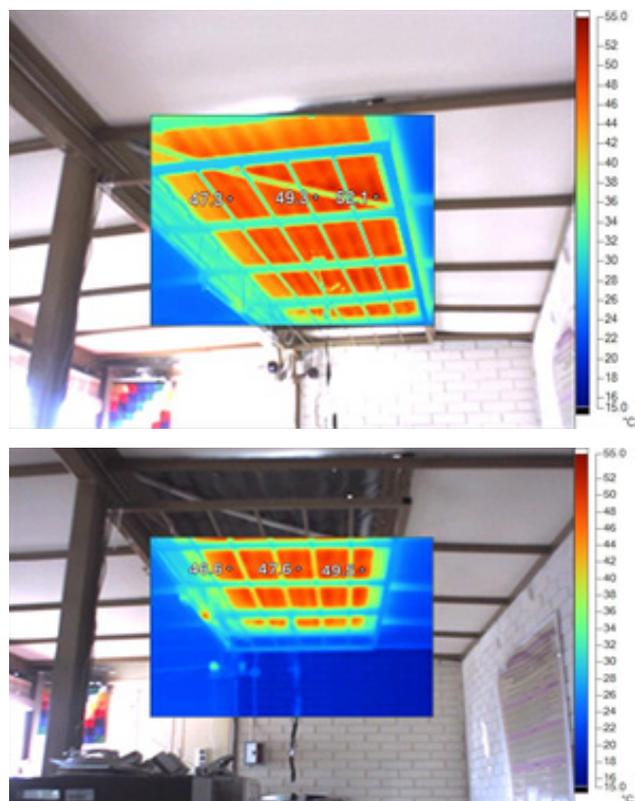


Fig. 11: Tomas IR del sistema de calefacción solar pasivo con los registros de forma lineal. Horas: 13:00 y 15:00 horas respectivamente.

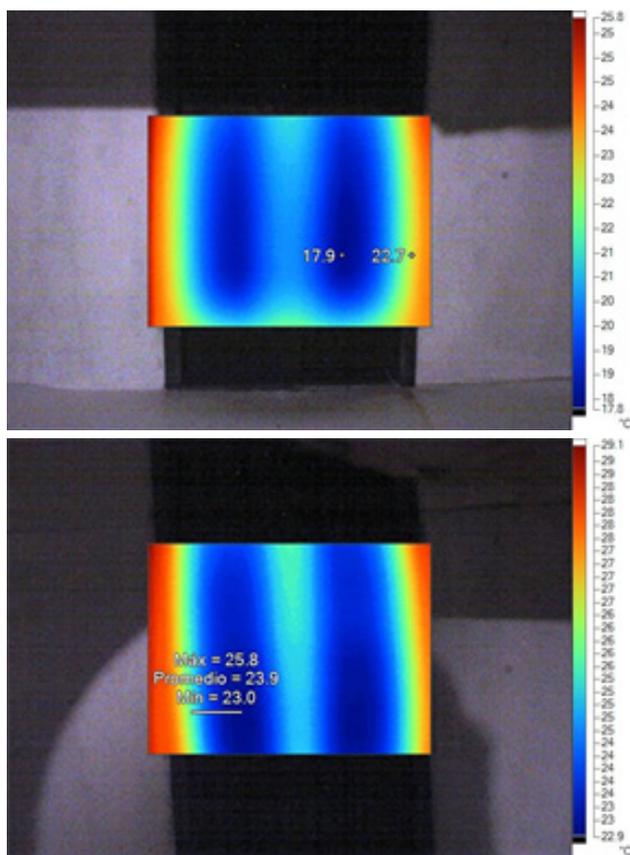


Fig. 12: Tomas IR del sistema de enfriamiento pasivo con los registros de forma lineal. Horas: 23:30 y 7:00 horas respectivamente.

de un elemento estructural que atraviesa el panel en este sentido. El gradiente térmico se propicia desde el centro de cada franja hacia el costado externo de cada franja. El valor mayor alcanzado es 6°C. Esto coincide con el horario donde comienza el proceso neto de enfriamiento del panel (esto se advierte en experimentaciones con periodos de tomas de registros extensos, se ha determinado una ventana de enfriamiento desde las 23:00h hasta las 5:30h- estos datos se encuentran en procesamiento para ser publicados). A medida que se afianza la noche y el proceso de enfriamiento radiante, esta disparidad en la temperatura del panel disminuye hasta un 33%. Este análisis resulta de gran interés para la investigación en proceso, dado que se evidencia una cierta inercia en los procesos de enfriamiento y calentamiento del panel. En la figura 12 se presenta el registro donde se observan marcadores en forma lineal, del registro con mayor gradiente térmico en el panel y el registro donde se observa el mínimo, siendo las 23:30 horas y las 7:00 horas respectivamente

4. CONCLUSIONES

El sistema de fotografía IR proporciona resultados fiables una vez que se ajusta correctamente la emisividad y el enfoque de la cámara.

Cuando se logra un ajuste óptimo de la emisividad es posible utilizar esta herramienta para una evaluación cuantitativa primaria de sistemas de climatización permitiendo realizar las mejoras de manera ágil y eficiente para una mejor performance de estos.

Las máximas observadas en las imágenes IR coinciden con las temperaturas monitoreadas. Por esto, el presente trabajo ratifica

que la FIR se puede utilizar en las primeras fases del diagnóstico de desarrollo innovativo de sistemas de climatización natural que, prioricen el intercambio radiante térmico, de manera rigurosa.

Las placas radiantes consideradas se encuentran ubicadas hacia el interior del espacio, por lo que no están sometidas a reflejos de radiación emitidas por otros cuerpos que, a su vez, estén sometidos a radiaciones solares o radiaciones térmicas. Esto la convierte en una herramienta factible de utilizar con menor rango de errores que los presentados en la bibliografía cuando se quiere utilizar la FIR para el análisis cuantitativo en el espacio exterior.

Desde el aspecto cualitativo, permite el análisis rápido de uniformidad térmica en placas radiante, que solo sería posible con una cantidad numerosa de termocoplas.

Como trabajo futuro se está dando continuidad al desarrollo y puesta en marcha de sistemas de enfriamiento radiante y su conjunción con elementos edilicios que deben aplicarse al diseño bioclimático como la masa térmica.

REFERENCIAS

- AAIchapar, N. y Correa, E. (2015). Solar reflectance of opaque enveloped and its effect on urban temperatures. *Informes de la Construcción*, (67). doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.14.13>
- Gustavo Barea y Victoria Mercado. Estudio de sistemas de climatización natural innovativos (Ventanas Multiaxiales - SIRASOL) en distintas localidades 2017. 3er Congreso sudamericano de simulación de comportamiento de edificios. 4ta jornada – BIM – FADU.UBA.
- Bolun Du, Yigang He, Yunze He, Chaolong Zhang (2020). Progress and trends in fault diagnosis for renewable and sustainable energy system based on infrared thermography: A review. *Infrared Physics & Technology*, Vol. 109, <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2020.103383>
- Silvana Flores Larsen1 y Marcos Hongn. 2012. Termografía infrarroja en la edificación: aplicaciones cualitativas. *Actas Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente* Vol. 16, pp. 08.25-08.32. Impreso en la Argentina. ISBN 978-987-29873-0-5.
- International Energy Agency 2022. World Energy Outlook.
- 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* pp 522-531, (50)
- Mercado M.V., Barea G. y Esteves A. (2017). Potencial de uso de sistemas de acondicionamiento termico pasivo (v.m. y sirasol) en diferentes climas con el uso de programa energy plus. Acta de la XL Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 5, pp. 08.207-08.215. Impreso en la Argentina. ISBN 978-987-29873-0-5.
- Mercado MV., Barea G., Esteves A. (2015). Auditoría y simulación energética en la ciudad de Mendoza, Argentina. Análisis del comportamiento térmico de una vivienda unifamiliar de diseño pasivo y consumo energético anual. Publicado en la revista *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*.

- M. Victoria Mercado, Alfredo Esteves, Celina Filippín, Silvana Flores Larsen. (2013). Passive solar radiant system, SIRA-SOL. Physical–mathematical modeling and sensitivity analysis. *Solar Energy*. Elsevier. Vol. 96; pp. 10-20.
- Mercado V., Esteves A., Filippin C. (2013). Enfriamiento pasivo: cálculo y experimentación de un sistema de enfriamiento radiante. *XII ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído y VIII ELACAC Encontro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído*. Setiembre. Brasilia. Brasil
- María Victoria Mercado (2011). Tesis Doctoral, “Sistema de Calefacción Radiante Solar Pasivo para Hábitat Construido sin Fachada disponible hacia el Ecuador en Mendoza, Argentina”. Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad Nacional de Salta.
- Miguel Martin, Adrian Chong, Filip Biljecki, Clayton Miller (2022). Infrared thermography in the built environment: A multi-scale review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 165.
- Silvana Flores Larsen y Marcos Hongn. (2012). Termografía infrarroja en la edificación: aplicaciones cualitativas. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184
- Sang Chae Kim , Il Cheol Park , Chan Geun Kang , Hyunchul Jung , Woon Kwan Chung , Kyeong Suk Kim. 2020. Evaluation of the characteristics of the reflection plate to measure defects in the invisible area using infrared thermography. *Nuclear Engineering and Technology*, Volume 52, Issue 4, Pages 856-862
- Yañez G. 1982. Energía Solar. *Edificación y clima*. España.
- Xinrui Lu , Ali Memari. (2019). Aplicación de termografía infrarroja para la determinación in situ de las propiedades térmicas de la envolvente del edificio. *Journal of Building Engineering*.