

DIMENSIONAMIENTO DEL PANEL RADIANTE DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN RADIANTE SOLAR PASIVO.

M. Victoria Mercado^{1,4}; Silvana Flores Larsen^{2,5}; Alfredo Esteves^{3,4} y Celina Filippín^{3,6}

⁴Laboratorio 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.

⁵Instituto de Investigaciones en Energías No Convencionales
 INENCO-Universidad Nacional de Salta-CONICET

Avda. Bolivia 5150 (4400) Salta

⁶CONICET – CC302, Santa Rosa, 6300 (La Pampa) Argentina, Tel./Fax: 54-952-434222

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

RESUMEN.

Se ha estudiado el sistema de calefacción radiante solar pasivo para acondicionar locales sin disposición de una fachada hacia el ecuador. El presente trabajo analiza el dimensionamiento del panel radiante del sistema a partir del concepto de la asimetría radiante, ligado al confort térmico y con el intercambio radiante. Se analiza la relación de la asimetría radiante y el porcentaje de disconfort que propone las normas ISO 7730:1994 y ASHRAE 55, estableciendo como máximo una diferencia de temperatura entre cabeza y techo de 10°C con un 20% de personas en disconfort. A partir de este dato se desarrolla el método de dimensionamiento analizando tres casos de estudio. De estos se advierte que la relación superficie panel-superficie cubierta del local debe mantenerse entre 1/8-1/4. Posteriormente, y utilizando una ecuación predictiva de la temperatura del panel elaborada a partir de un análisis multivariado, se dimensiona el sistema para un espacio diurno de una vivienda social del plan FONAVI, del cuál resulta que para maximizar el desempeño del sistema se pueden colocar dos dispositivos cubriendo 1/4 de la superficie del mismo. El local alcanza una temperatura operativa de 20.5, entrando de ésta manera en el rango de confort térmico para invierno.

Palabras Claves: Sistemas pasivos, Calefacción radiante, Asimetría Radiante, Confort térmico.

INTRODUCCIÓN

Atendiendo a la necesidad de calefacción pasiva para locales sin fachada disponible al Ecuador y la necesidad de respuestas energéticas sustentables de la vivienda social se ha estudiado y experimentado el *sistema de calefacción radiante solar pasivo -SRSP-* (Mercado y Esteves, 2005). Se trata de un sistema, ubicado en la cubierta del espacio, la cual en general está libre de obstrucciones. Es de forma piramidal alargada creando un recinto cerrado, de captación indirecta, sin acumulación de calor. La energía solar que absorbe un panel radiante es entregada al espacio interior por medio de transferencia por radiación y por convección libre (Balcomb et al, 1986). En el caso particular del sistema en cuestión, el intercambio de calor se produce principalmente por radiación. En trabajos anteriores se ha demostrado que el sistema responde satisfactoriamente a las expectativas y lleva al espacio a condiciones de confort durante las horas de sol (Mercado et al, 2005, 2006, 2007). Figura 1.

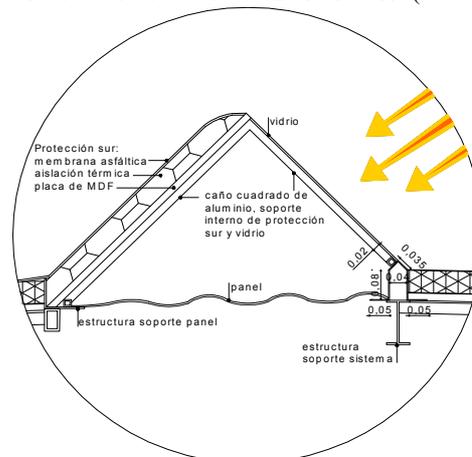


Figura 1: Sistema de calefacción radiante solar pasiva

¹ Becaria Doctoral Tipo II-CONICET

² Investigador Asistente- CONICET

³ Investigador Independiente- CONICET

El presente trabajo analiza el dimensionamiento del panel radiante del SRSP, basado en el estudio del confort térmico desde dos parámetros de igual y considerable importancia: la Temperatura Radiante Media y la Asimetría Radiante.

El sistema mencionado se ha estudiado experimentalmente en la ciudad de Mendoza. Ésta se encuentra situada en la región cuyana, en el centro-oeste de la República Argentina (32° 40' latitud sur, 68° 51' longitud oeste y 827 m.s.n.m.), en una zona con características de tierra mediterránea, de clima árido a semiárido y con una fuerte amplitud térmica. Las temperaturas promedio mensuales oscilan entre 24°C de y 7°C; los niveles de radiación global incidente -HGLO-, sobre plano horizontal se encuentran entre 30MJ/m²/día para el mes de enero y 11MJ/m²/día para el mes de junio. Las precipitaciones son reducidas con un mayor porcentaje de incidencia en la época estival marcando 218 mm anuales.

CALEFACCIÓN POR EL SISTEMA RADIANTE SOLAR PASIVO

En la calefacción radiante, el sistema intercambia calor con las superficies presentes en el espacio y con el cuerpo humano, generando una sensación de calor envolvente influenciado por la temperatura radiante que percibirá el individuo desde el panel radiante del sistema. Los sistemas de calefacción por intercambio radiante inciden con mayor efectividad en el confort térmico, además de ser energéticamente más eficientes y salubres para la calidad del aire interior que los sistemas de calefacción convectivos (Banhidi, 1991).

Con el objetivo de transferir masivamente el uso del sistema de calefacción radiante pasivo en climas templados, con buena radiación y alto porcentaje de días soleados; es necesario establecer un método de dimensionamiento del panel radiante del sistema. A partir de conocer la superficie necesaria de panel para calefaccionar un espacio determinado con el SRSP, se debe seguir con los lineamientos generales que hacen que el sistema funcione correctamente como:

- la geometría: el ángulo de área de captación β , para la ciudad de Mendoza $\beta = 50^\circ$
- la disminución de las pérdidas del sistema: la utilización de aislación térmica en la cara sur y estanqueidad del recinto del sistema.

TEMPERATURA RADIANTE MEDIA

La temperatura radiante media es un promedio de las temperaturas de las superficies que rodean a un individuo (Goulding, 1994). También se la puede definir como la temperatura uniforme de un recinto en el cual un ocupante intercambia la misma cantidad de calor radiante que el mismo ambiente (Banhidi, 1991). La temperatura radiante que sentirá la persona dependerá de su posición dentro de la habitación es decir, de la mayor o menor distancia a los elementos radiantes interiores.

La temperatura radiante para una persona ubicada en un ambiente rodeado de n superficies sólidas de áreas A_1, A_2, \dots, A_n , con temperaturas t_1, t_2, \dots, t_n y con factores de forma en relación a las superficies ff_1, ff_2, \dots, ff_n , se obtiene por medio de la ecuación 1.

$$TRM = \frac{t_1 ff_1 A_1 + t_2 ff_2 A_2 + \dots + t_n ff_n A_n}{ff_1 A_1 + ff_2 A_2 + \dots + ff_n A_n} \quad (1)$$

Donde:

- TRM = temperatura radiante media que recibe la persona en una ubicación determinada en el espacio [°C]
- $A_{1,2,n}$ = área de la superficie 1, 2, ..., n [m²]
- $t_{1,2,n}$ = temperatura de las superficies 1, 2, ..., n [°C]
- $ff_{1,2,n}$ = factores de forma de la persona en relación a las superficies del espacio.

Si las superficies no son isotérmicas se deben subdividir en superficies mas pequeñas, de modo que cada una de las mismas puedan considerarse isotérmicas (Canistrato et al, 1992).

La postura juega un rol determinado. La Temperatura Radiante Media -TRM- variará de acuerdo a una persona sentada o parada dado que se acerca o aleja de la superficie del techo. También variará de acuerdo al punto de ubicación de la persona con respecto al ambiente, lo que se determina por medio del factor de forma.

ASIMETRÍA RADIANTE

Puede suceder que dos personas dentro de un espacio y ubicadas en distintas posiciones perciban diferentes niveles de confort (por ejemplo, si se encuentran más cerca o lejos de una ventana). Es necesario procurar que esta variación sea la menor posible porque puede presentar disconfort debido a la asimetría de los intercambios corporales por radiación (Banhidi 1991). Las superficies frías y calientes (ventanas o radiadores) en ocasiones pueden causar disconfort debido al fenómeno térmico denominado *asimetría radiante*.

La asimetría radiante se presenta cuando una persona en un espacio con varias superficies a su alrededor, percibe una superficie más fría o caliente que las demás superficies que la rodean. Si la temperatura es mas baja que la del cuerpo humano, este último entregará calor en forma de radiación a la superficie. Si la temperatura de la superficie es más alta, el cuerpo humano recibirá calor de la misma. Es muy probable que una persona sufra radiación asimétrica. El problema es que ésta provoque sentimientos de disconfort.

Una persona puede sentir neutralidad térmica como un todo, pero también sentirá disconfort si una o más partes de su cuerpo están demasiado calientes o demasiado frías. La falta de esta uniformidad radiante puede deberse también a una variación temporal del intercambio radiante. Cada pequeña variación en el flujo de calor causa la compensación del sistema térmico regulatorio, esto incrementa el esfuerzo fisiológico para mantener la temperatura. Los límites de las zonas de confort de la norma ASHRAE 55 proveen un nivel de aceptabilidad térmica del 90% si el ambiente es térmicamente uniforme. Como el objetivo de la norma es definir condiciones de 80% de aceptabilidad, la norma permite que la falta de uniformidad disminuya un 10% (figura 2). Afortunadamente para los diseñadores y usuarios, el efecto de falta de uniformidad en el confort es cuantificable y predecible. Además, la mayoría de los humanos son muy sensibles al mínimo desequilibrio térmico.

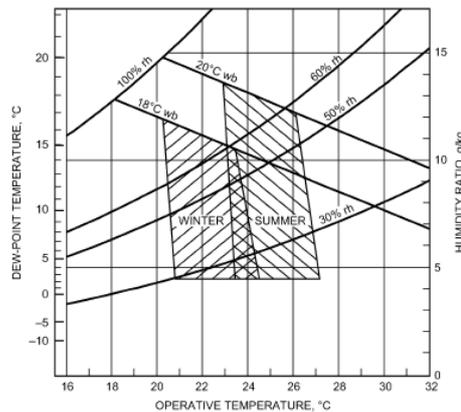


Figura 2: Zonas de confort para invierno y verano propuestas por la ASHRAE. (Rangos aceptables de temperatura operativa y humedad para personas con ropa típica para invierno y verano en actividad sedentaria)

Se han realizado numerosos ensayos para determinar el impacto de la asimetría radiante en las condiciones de confort. En los primeros estudios se evaluó su comportamiento indirectamente, analizando la respuesta térmica de las temperaturas superficiales de los paramentos verticales o la temperatura radiante media, en relación a la temperatura del aire. En 1948 Bedford y Liese proponen un diagrama de confort térmico, donde se establecen tres zonas diferenciadas: (1)-demasiado caliente, (2)-agradable y (3)-demasiado fría, al cual se ingresa con la temperatura del aire del espacio en las abscisas y un promedio de las temperaturas de los muros, en las ordenadas. Posteriormente Wenzel-Müller en 1967, presenta un esquema similar, utilizando en las abscisas la temperatura media radiante y en las ordenadas la temperatura del aire (Figura 3).

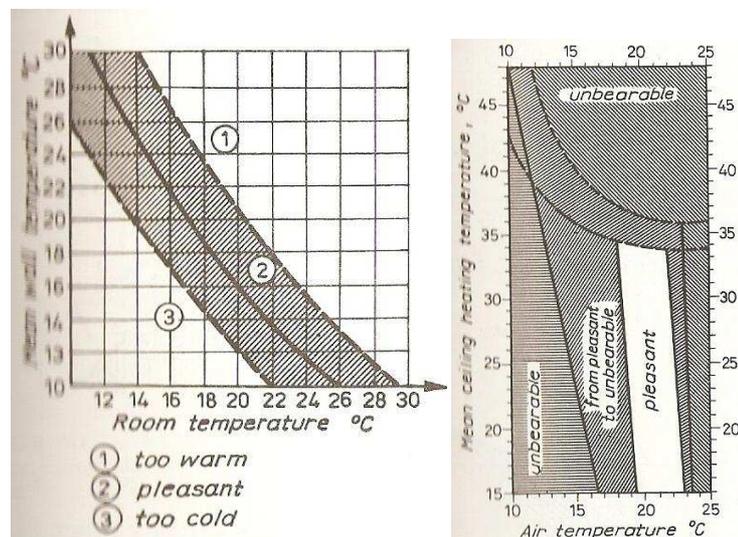


Figura 3: Diagramas de confort térmico agradable de Bedford-Liese, y Wenzel-Müller, respectivamente. Fuente: Banhidi 1991.

Otros estudios orientados a la influencia de la asimetría térmica son Fanger y Langkilde (1975), McIntyre (1974, 1976), McIntyre y Griffiths (1975), McNall y Biddison (1970), y Olesen et al. (1972). Todos estos estudios son para personas sentadas, con neutralidad térmica y expuestos sólo a la incomodidad resultante de la asimetría excesiva.

Una persona estará más sensible a la asimetría causada por superficies calientes por encima de la cabeza que por superficies frías verticales. La influencia de una superficie fría por encima de la cabeza o una superficie vertical caliente es mucho menor. Este antecedente es particularmente importante cuando se usan paneles radiantes para proveer de confort en espacios con grandes superficies frías o ventanas frías. Otros estudios con personas vestidas en ambiente neutros encontraron

aceptabilidad térmica por asimetrías radiantes de 10K o menos (Berglund and Fobelets 1987) y discomfort por asimetrías de 20K o menos (McIntyre et al. 1975).

Fanger en 1980 (en Banhidi, 1991) estudia la asimetría radiante desde la perspectiva de los calentadores radiantes y la define como la diferencia de temperatura entre la superficie radiante (s_1) y la superficie en posición opuesta a ésta (s_2), Δs_{12} .

Posteriormente especialistas del tema (Fanger, Banhidi, Olesen y Langkilde, 1980) efectúan una serie de pruebas a partir de calefactores ubicados en el cielo raso de un espacio. Siguiendo el método de Fanger, Banhidi determinó los factores de forma de una persona sentada en el centro de una habitación de 2m y 4.7m de distancia de las superficies verticales (figura 4). Los valores obtenidos son los siguientes:

- un valor de 0,11 para la relación entre la superficie radiante y la persona
- 0,38 para la relación de la persona y las superficies laterales y,
- 0,51 entre la persona y las demás superficies inmediatas.

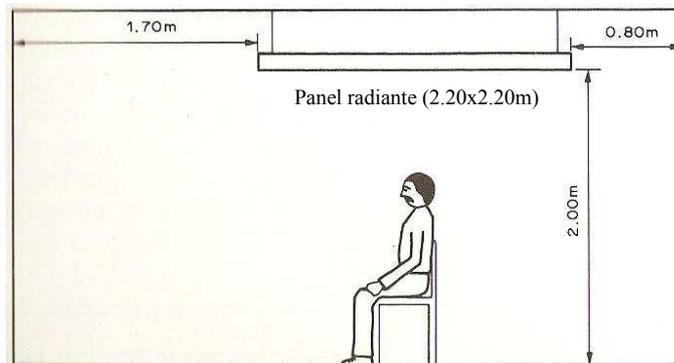


Figura 4: Esquema del ensayo. Fuente: Banhidi 1991

De los resultados se desprende la necesidad de incorporar la asimetría de temperatura radiante como un nuevo parámetro de confort. Se relacionó la sensación térmica de las personas expuestas y la asimetría de temperatura radiante, obteniendo datos para establecer los niveles de insatisfacción.

Según Chrenko (en Banhidi, 1991), para un 80% de aceptabilidad la asimetría radiante no debe superar los 3°C. También propone como límite que la diferencia promedio entre la temperatura radiante a nivel de la cabeza y a nivel del piso no debería superar los 2.5°C, o la diferencia entre la radiación intercambiada a nivel de la cabeza y a nivel del piso no debe superar los 11.8W/m². Figura 5.

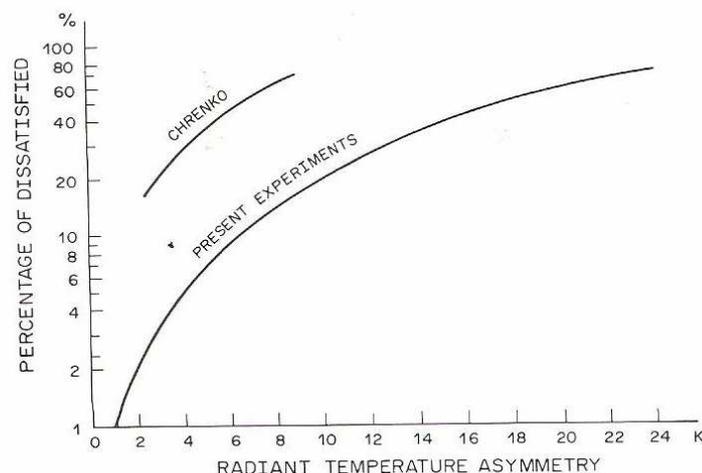


Figura 5: Porcentaje de personas que expresan discomfort en relación a la asimetría radiante térmica. Chrenko 1980.

Claramente se observa que los valores dados por Chrenko son sumamente restrictivos. Esta observación ya fue hecha por Fanger (Fanger et al., 1980), quien realizó nuevos experimentos para determinar la relación entre el porcentaje de personas en discomfort según distintos valores de asimetría radiante. Los estudios de Fanger et al (1989) fueron las bases para las recomendaciones que ofrece las normas ISO 7730 y la ASHRAE 55 que se utilizan en la actualidad. Estas normas incluyen guías relacionadas a la asimetría radiante ocasionada por superficies calientes (como la calefacción ubicada en el techo) y superficies verticales frías (ventanas). Figura 6.

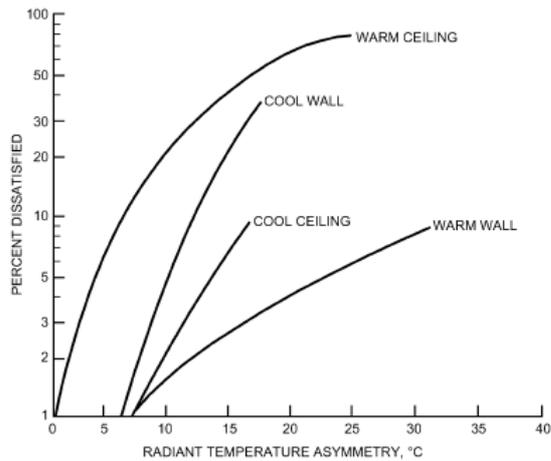


Figura 6: Porcentaje de personas que expresan disconfort en relación a la asimetría radiante térmica. Fanger 1985.

LA APLICACIÓN DE ESTOS CONCEPTOS AL DIMENSIONAMIENTO DEL PANEL RADIANTE

Es necesario determinar un método de dimensionamiento que permita obtener la mayor área posible de panel, de forma de maximizar el calor entregado al ambiente y homogeneizar el intercambio radiante para una persona que circula por el mismo. Se pretende que el método de dimensionamiento determine la superficie del panel con el objetivo de producir el máximo intercambio de calor radiante entre el panel y una persona ubicada debajo del mismo, sin causar disconfort por asimetría radiante.

Una vez definida la geometría del sistema y experimentado el prototipo (Mercado et al, 2007, 2009) se procede a buscar un método de dimensionamiento del panel radiante en relación al clima del lugar y al local que se calentará.

Para el análisis se utilizan los tres casos de estudio con los que se analizó un pre-dimensionamiento anterior al prototipo (Mercado 2005). Estos casos relacionan la superficie del panel con la superficie del local. La figura 7 muestra los casos de estudio y las relaciones dimensionales con la persona parada. Se consideró el panel ubicado en el centro del local y por encima de la persona. Siendo los casos:

- Caso1= superficie panel=1/8 de la superficie del espacio a calefaccionar (12.5%)
- Caso2= superficie panel=1/4 de la superficie del espacio a calefaccionar (25%)
- Caso3= superficie panel=1/2 de la superficie del espacio a calefaccionar (50%)

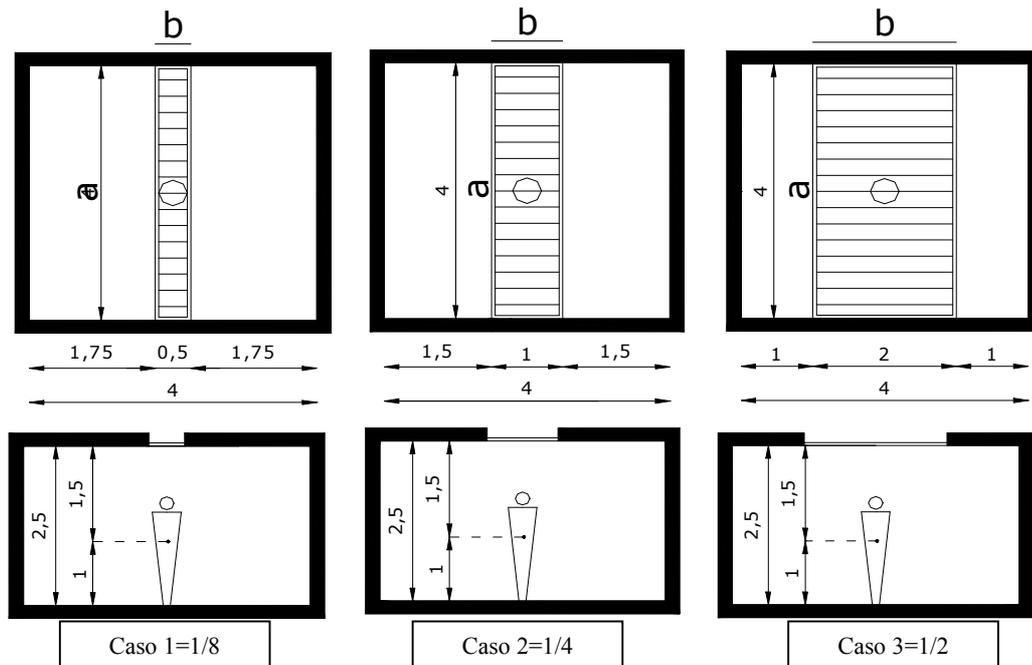


Fig. 7: Casos de estudios.

A partir de las figuras expuestas hasta aquí se destaca que, para una persona parada debajo del centro geométrico del panel se encuentre en confort térmico deben verificarse dos condiciones:

1. La temperatura operativa en ese punto, tomada como el promedio entre la temperatura media radiante y la temperatura del aire, debe estar dentro de los límites de confort. Estos límites se muestran en la Figura 2. En invierno, para climas secos, estos límites se ubican entre 20.5°C y 24.5°C (Figura 2).

2. La asimetría radiante Δt_{pr} debe ser menor o igual que 10°C. Este valor surge de considerar como límite un 80% de aceptabilidad (valor standard propuesto por ASHRAE), es decir, un 20% de personas en disconfort. De la Figura 6 se obtiene que la máxima asimetría radiante aceptable para 20% de personas en disconfort es 10°C (Figura 6).

Cálculo de la asimetría radiante

Por definición, la asimetría radiante se calcula como:

$$\Delta t_{pr} = t_{pr}(up) - t_{pr}(down) \quad (2)$$

Donde:

$t_{pr}(up)$ y $t_{pr}(down)$: temperaturas radiantes planas para un elemento plano ubicado a 0.6m del suelo. La temperatura radiante plana se define como la temperatura uniforme a la que se encontraría una cavidad en la cual el flujo radiante incidente en una cara de un plano infinitesimal es la misma que en la del entorno real (Kosgaard, 1949). A partir de esta definición, para una habitación rectangular con paredes a temperatura uniforme $T_{paredes}$, el piso a T_{piso} y el techo (el área sin considerar el panel radiante) a una temperatura T_{techo} , con un panel radiante T_{panel} , la temperatura radiante plana hacia arriba $t_{pr}(up)$ puede calcularse a partir de la expresión:

$$t_{pr}^4(up) = f_{dA-panel} T_p^4 + f_{dA-techo} T_{techo}^4 + f_{dA-paredes,up} T_{paredes}^4 \quad (3)$$

en donde los factores de forma se calculan a partir de las ecuaciones 4 y 5 correspondiente a la Figura 8.

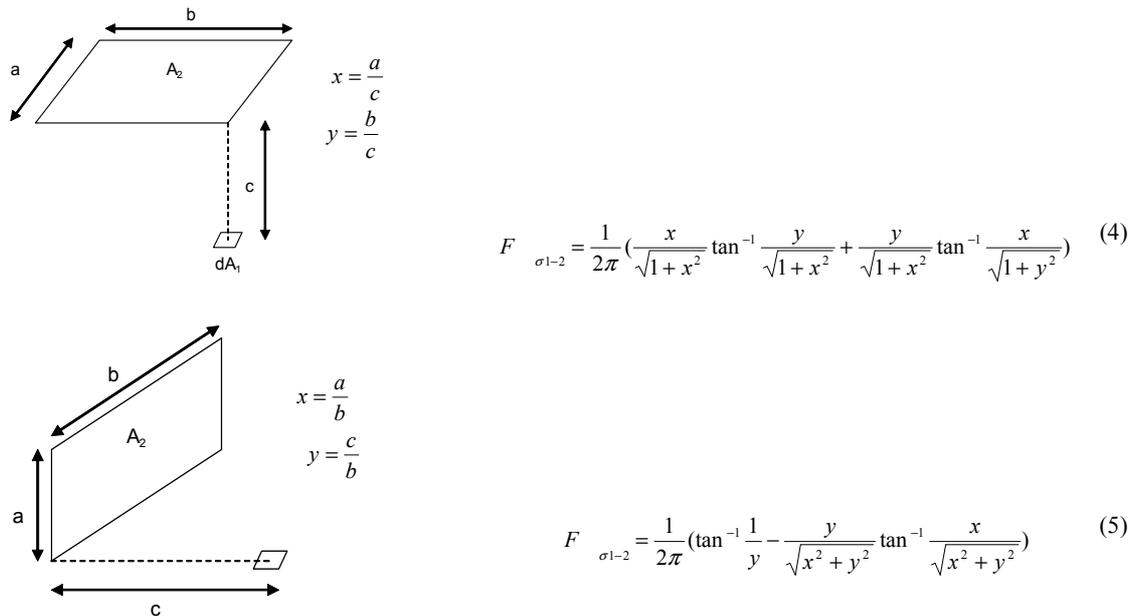


Fig. 8: Ecuaciones analíticas para el cálculo del factor de forma para elementos planos pequeños

De la misma manera, hacia abajo tendremos:

$$t_{pr}^4(down) = f_{dA-piso} T_{piso}^4 + f_{dA-paredes,down} T_{paredes}^4 \quad (6)$$

A continuación se determina si los paneles radiantes de los CASOS 1, 2 y 3 definidos previamente presentan disconfort por asimetría radiante. Para una habitación de 4m de largo y 4m de ancho, con un panel de 4m de largo y 0.5m, 1m y 2m de ancho respectivamente, los factores de forma y las temperaturas planas radiantes se muestran en la Tabla 1, para una persona parada y considerando que la distancia entre la cabeza y el techo es de 0.7m. Se supuso que paredes y techo se encuentran a 18°C, el piso a 16°C y el panel a 60°C.

| | CASO 1 | CASO2 | CASO 3 |
|-------------------|--------|-------|--------|
| fdA-panel | 0.14 | 0.26 | 0.46 |
| fdA-techo s/panel | 0.52 | 0.40 | 0.20 |
| fdA-piso | 0.88 | 0.88 | 0.88 |
| fdA-paredes up | 0.34 | 0.34 | 0.34 |
| fdA-paredes down | 0.12 | 0.12 | 0.12 |
| Tpr (up) | 24.6 | 30.5 | 39.3 |
| Tpr (Down) | 17.7 | 17.7 | 17.7 |
| ΔT | 6.9 | 12.8 | 21.6 |
| TRM espacio | 21.2 | 29.1 | 29.1 |

Tabla 1: factores de forma entre un elemento plano infinitesimal y las superficies de la habitación, temperaturas radiantes planas y asimetría radiante para diferentes dimensiones del panel.

De los tres casos analizados, el CASO 1 no presentaría desconfort por asimetría radiante. Para que el CASO 2 la asimetría presenta 12°C lo que representa un 25% de personas en desconfort; la temperatura del panel debería ser de 52°C para el CASO 2 y de 38°C para el CASO 3.

DIMENSIONAMIENTO DE LA SUPERFICIE DE PANEL RADIANTE PARA UN ESPACIO DE UNA VIVIENDA FONAVI

En un trabajo anterior se estudió la calidad térmica de una vivienda del plan FONAVI (Fondo Nacional para la Vivienda), (Mercado et al, 2008). Se concluyó que el edificio evaluado posee un marcado déficit en su calidad térmica, se le otorga al usuario un espacio que lo condena a vivir en condiciones térmicas precarias, a sostener un gran costo energético durante la vida útil de la vivienda y se lo priva de la posibilidad de hacer uso racional de la energía.

Se considera que el SRSP es una alternativa para calefaccionar pasivamente el local de uso diurno de mayor ineficiencia térmica de la vivienda en cuestión, y aumentar la temperatura operativa cerca de 10°C con respecto al exterior y 3°C en relación a la temperatura interior.

Se ha desarrollado una ecuación predictiva de la temperatura del panel radiante (ecuación 6), en función de la radiación solar incidente y la temperatura exterior media de las horas de sol (ecuación 5).

$$Text_{med-hsol} = \frac{1}{2} [Text_{max} + Text_{med}] \quad (7)$$

Se presenta la ecuación correspondiente para un panel de chapa con un 30% de policarbonato alveolar que permite la entrada de luz. La ecuación presenta el coeficiente de determinación $R^2=0.88$.

$$Tp = -8.54785 + (0.107966 * Rad) + (1.72581 * Text) \quad (8)$$

A partir del método de dimensionamiento explicado en el punto precedente y la ecuación predictiva de la temperatura del panel expuesta anteriormente se procede a calcular la superficie óptima de panel para la rehabilitación térmica de la vivienda FONAVI (Mercado et al, 2008, 2010). De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis de los casos de estudio, se procede a tomar una relación de 1/8 superficie panel-superficie cubierta local. Siendo la superficie del local de 15m² de 5m de largo y 3m de ancho, el panel debe ser 1.9 m², tomando todo el ancho del local como largo del panel las dimensiones para el estudio serán de 3m x 0.6m.

Para el local en cuestión, se asume que paredes y techo se encuentran a la temperatura del aire siendo 18.3°C, el piso a 16°C y la temperatura calculada de panel 64°C. En la Tabla 2 se presentan los resultados de: superficie del panel, diferencia entre las temperaturas radiantes, los factores de forma y las temperaturas planas radiantes. Por otro lado, con el objetivo de acrecentar el confort radiante del local se dividió la superficie del espacio en dos, quedando en un espacio de 3m de largo y 2.5m de ancho, los resultados se presentan en la Tabla 2.

| | Sup espacio= 3x5 | Sup espacio= 2.5x3 |
|-------------------|------------------|--------------------|
| Tp calculada [°C] | 64.0 | 64.0 |
| Sup panel m2 | 1.8 | 1.8 |
| fdA-panel | 0.16 | 0.16 |
| fdA-techo s/panel | 0.49 | 0.35 |
| fdA-piso | 0.83 | 0.74 |
| fdA-paredes up | 0.35 | 0.49 |
| fdA-paredes down | 0.17 | 0.26 |
| Tpr (up) | 27.1 | 27.1 |
| Tpr (Down) | 16.4 | 16.6 |
| ΔT | 10.7 | 10.5 |
| TRM espacio | 21.9 | 22.0 |

Tabla 2: Temperatura de panel calculada, superficie del panel calculada, factores de forma entre el panel y las superficies de la habitación, temperaturas radiantes planas, asimetría radiante y temperatura radiante del espacio correspondiente.

De los resultados presentados en la Tabla 2, es posible advertir que con la utilización de un panel que abarque 1/8 de la superficie del piso, se excede levemente la asimetría radiante máxima.

Por otro lado se ensaya la posibilidad de dividir en dos partes la superficie cubierta en pos de maximizar las ventajas entregadas por el sistema en el local de la vivienda y promover mayor uso de la energía solar. Se advierte que, sin exceder la asimetría radiante al nivel que para el caso de un solo sistema, el local permite dos paneles radiantes de iguales dimensiones, lo que aumentará directamente la temperatura radiante interior (TRM) y consecuentemente la temperatura operativa (TO).

Considerando las experimentaciones realizadas en el prototipo del sistema de calefacción radiante solar pasiva, la temperatura del aire interior (Tai), se ubica por debajo de la TRM cerca de 3°C. Esto permite evaluar que dentro del espacio a una temperatura radiante de 22°C –de acuerdo a lo calculado, Tabla 2- y una temperatura de aire interior supuesta a 19°C, la temperatura que percibirá el usuario, es decir la TO será de 20.5°C, entrando en el rango de confort de invierno que propone la ASHRAE 55. Esto permitirá a los usuarios estar en mayor confort térmico con un mínimo consumo energético convencional o sin él durante las horas de sol.

CONCLUSIONES

El sistema presentado es una opción válida para alcanzar niveles térmicos de confort, teniendo como valor agregado la independencia del factor norte sobre las fachadas. Su rendimiento ha sido estudiado en profundidad en trabajos anteriores (Mercado et al, 2005, 2006, 2007, 2009), a partir del análisis de los factores que interactúan en el intercambio radiante.

El sistema de calefacción radiante solar pasivo (SRSP), es una herramienta para la transformación de las viviendas en edificios bioclimáticamente responsables con la realidad energética-ambiental mundial. Permite a la población de menores recursos vivir dentro de un rango de temperaturas apropiadas para su salud durante el día, sin la necesidad de otro mecanismo de calefacción.

Por un lado, utilizando el análisis multivariado se obtuvo una ecuación para estimar la temperatura del panel de una localidad con buena radiación y alto porcentaje de días soleados esto abre el camino al método de dimensionamiento del panel y amplía la posibilidad de construcción del sistema en diferentes ambientes arquitectónicos. Por otro lado, el método de dimensionamiento permite obtener el área óptima del panel radiante para el local a calefaccionar, teniendo en cuenta disminuir la posibilidad de desconfort por exceso de intercambio radiante o asimetría térmica, elevando la temperatura radiante y consecuentemente la temperatura operativa.

El uso del método de dimensionamiento permitió evaluar la superficie necesaria para la implementación del sistema en el espacio diurno de una vivienda de plan tipo FONAVI. A partir del método se observa que se puede acrecentar la superficie útil para la calefacción solar pasiva multiplicando la cantidad de sistemas, frente a la posibilidad de un solo sistema de mayor tamaño.

La disponibilidad de un método de dimensionamiento del panel del SRSP permite la transferencia del sistema como un sistema de calefacción radiante solar pasiva para la refuncionalización térmica y medio ambiental de viviendas energéticamente deficitarias y/o el anteproyecto de viviendas nuevas.

REFERENCIAS

- Balcomb, J.D., Barley, D., McFarland, R., Perry, J., Wray, W., Noll, S. (1982) *Passive Solar Design Handbook*. Vol.1,2 y 3. United States Department of Energy.
- Banhidi L. (1991) *J.,Radiant Heating Systems*. New York, etc: Pergamon press.,G.
- Fuller Moore. (1982). *Data Acquisition in Test Modules*, Journal *Passive Solar*. Vol 1. N°4.
- Goulding (1994). *Energy in Architecture*". The Energy Research Group. School of Architecture. University of Dublin, IRL.
- Givoni B. (1976). *Man, Climate and Architecture*. Segunda Edición.
- 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 calefaccion 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. "Sistema de calefacción radiante solar pasivo. Diseño, construcción de un prototipo y obtención de resultados." Julio 2009. Publicado en ERMA, Vol. 12; pp. 53-61 Publicación Papel (con referato ISSN 0328-932X)

ABSTRACT: Previously the system radiant heating passive solar was studied for rooms without a facade to Ecuador. This paper analyzes the radiant panel sizing system based on the asymmetric heating's concept. Examines the relationship of the radiant asymmetry and the percentage of discomfort proposed ISO 7730:1994 and ASHRAE 55 standards, setting a maximum temperature difference between head and top of 10 ° C with 20% of people in discomfort. Since this information is developed the method of sizing by analyzing three case studies. From these we see that the panel surface-local-surface cover must be maintained between 1/8-1/4. Then used an equation for predicting panel temperature drawn from a multivariate analysis. The system is dimensioned for a day room for social housing FONAVI plan, of which is that to maximize the performance of the system can place two devices covering one fourth of the surface. The local reaches an operating temperature of 20.5, entering this way in the range of thermal comfort in winter.

Key Word: Passive system, Radiant heating, Radiant asymmetric, Thermal comfort.