

CONFORT TÉRMICO E INTERCAMBIO RADIANTE EN EL USO DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN RADIANTE SOLAR PASIVO (SIRASOL)

M. Victoria Mercado – mvmercado@mendoza-conicet.gob.ar

Alfredo Esteves – aesteves@mendoza-conicet.gob.ar

Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda (LAHV), INCIHUSA - CCT- Mendoza CONICET

Resumen. En la calefacción solar pasiva de edificios resulta imprescindible una fachada disponible hacia el Ecuador, sobre la cuál “instalar” los sistemas solares pasivos de calefacción. En este sentido se ha diseñado, estudiado y desarrollado el sistema de calefacción radiante solar pasivo (SIRASOL). Se trata de una opción de sistema solar pasivo no convencional que prepondera la autonomía de la orientación norte sobre las fachadas. Contribuye al confort térmico por medio del aumento de la temperatura radiante media (TRM) y, consecuentemente a la temperatura operativa (TO) que será el indicador del confort térmico. En el presente trabajo se presenta y analiza los factores que intervienen en el confort térmico con la utilización del SIRASOL, comprendiendo las ventajas del intercambio radiante como medio para el logro de confort térmico. Se corrobora el aporte del intercambio radiante para elevar la temperatura operativa y acercarse al alcance de confort, por medio de simulaciones térmicas dinámicas en el programa Energy-Plus, del sistema de calefacción radiante solar pasivo en un espacio de ensayo y en una vivienda social del plan Fondo Nacional para la Vivienda (FONAVI). Dentro de los resultados más importantes se observa que el SIRASOL eleva la temperatura operativa 5°C sobre la situación del mismo espacio sin el sistema como consecuencia de enfatizar el intercambio radiante y la influencia que ejerce este en la temperatura final que percibirá el usuario.

Palabras Calves: Confort térmico, Intercambio Radiante, Sistema de calefacción radiante solar pasivo.

1. INTRODUCCIÓN

Una arquitectura deficitaria en cuanto a la calidad térmica de la misma ejerce mayor presión sobre el sistema energético como consecuencia de la búsqueda de confort térmico dentro de los espacios en zonas de inviernos severos. Se ha estudiado y experimentado un sistema de panel radiante utilizado para calefaccionar pasivamente locales sin disposición hacia el Ecuador, el mismo ha sido motivo de una tesis doctoral defendida en 2011 (Mercado, 2011). El intercambio de calor se produce principalmente por radiación. Se ha desarrollado el sistema de calefacción radiante solar pasivo (SIRASOL). Se trata de una opción válida para alcanzar niveles térmicos de confort, preponderando la autonomía de la orientación norte sobre las fachadas y disminuyendo la dependencia de un recurso energético agotable y de un importante costo económico. En trabajos anteriores se ha demostrado que el sistema responde satisfactoriamente a las expectativas y propicia que el espacio alcance más fácilmente condiciones de confort durante las horas de sol (Mercado et al, 2005, 2006, 2007). Fig. 1.

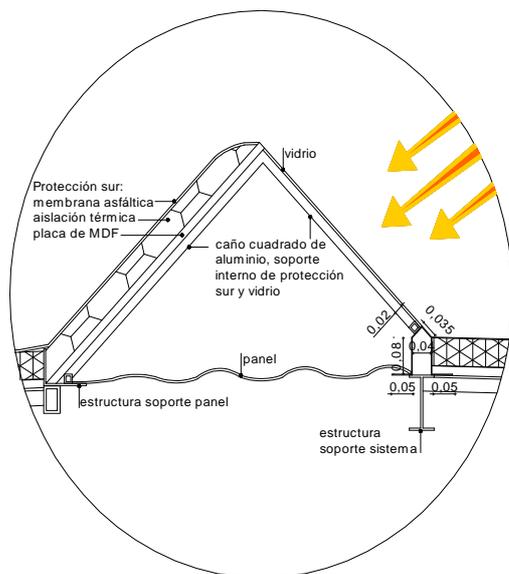


Figura 1- Esquema del sistema de calefacción radiante solar pasivo.

2. INTERCAMBIO RADIANTE Y CONFORT TERMICO

El intercambio de calor por radiación entre dos cuerpos se produce sin necesidad de un medio de transferencia. Esto depende específicamente de las propiedades físicas y las temperaturas de los cuerpos intervinientes. Para estimar el intercambio radiante, al cuerpo humano se lo modeliza como un cuerpo “gris”, debido a que los cuerpos reales nunca se comportan como cuerpos negros ideales. El intercambio radiante entre el cuerpo y una superficie cualquiera se calcula mediante la Ec. 1 que incluye la fracción de radiación que es interceptada por el cuerpo humano (ff) y la diferencia de las temperaturas absolutas elevadas a la cuarta potencia, desarrollada a partir de la ecuación de la potencia emitida por un cuerpo gris, Ec. 2.

$$E = \varepsilon \times \sigma \times T^4 \quad (1)$$

$$Q_{rad} = \varepsilon \times \sigma \times ff \times (T1^4 - T2^4) \quad (2)$$

Donde:

Q_{rad} = Intercambio de calor por radiación [W/m^2]

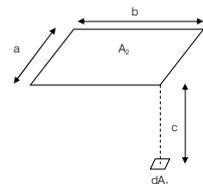
σ = constante de Stefan-Boltzman= 5.678×10^{-8} [$W/m^2 \cdot K$]

T = temperatura absoluta [$^{\circ}K$]

ε = emisividad de un cuerpo gris

ff = factor de forma

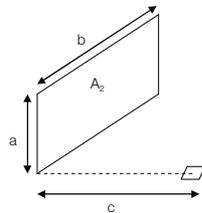
Para calcular la energía radiante emitida por el sistema, se consideró pertinente utilizar un método analítico para obtener el factor de forma. De esta manera se utilizaron las Ec. 3 y Ec. 4, (correspondientes a la Fig. 2) que plantea la ASHRAE para la determinación de este factor en el dimensionamiento final del sistema (ASHRAE 55, 1998).



$$x = \frac{a}{c} \quad (3)$$

$$y = \frac{b}{c}$$

$$F_{\sigma_{1-2}} = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{x}{\sqrt{1+x^2}} \tan^{-1} \frac{y}{\sqrt{1+x^2}} + \frac{y}{\sqrt{1+x^2}} \tan^{-1} \frac{x}{\sqrt{1+y^2}} \right)$$



$$x = \frac{a}{b} \quad (4)$$

$$y = \frac{c}{b}$$

$$F_{\sigma_{1-2}} = \frac{1}{2\pi} \left(\tan^{-1} \frac{1}{y} - \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}} \tan^{-1} \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}} \right)$$

Figura 2 - Gráficas indicativas de las ecuaciones analíticas para el cálculo del factor de forma para elementos planos pequeños. (Fuente: ASHRAE 55)

La temperatura radiante media (TRM) se establece por medio de la Ec. 5.

$$TRM = \frac{t_1 ff_1 A_1 + t_2 ff_2 A_2 + \dots + t_n ff_n A_n}{ff_1 A_1 + ff_2 A_2 + \dots + ff_n A_n} \quad (5)$$

Donde:

TRM = temperatura radiante media que recibe la persona en una ubicación determinada en el espacio [$^{\circ}K$]

$A_{1,2,n}$ = área de la superficie 1, 2, ..., [m^2]

$t_{1,2,n}$ = temperatura de las superficies 1, 2, ..., [$^{\circ}K$]

$ff_{1,2,n}$ = 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 determinante. 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, en este caso, cuando sea relevante su temperatura. 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.

Puede suceder que dos personas dentro del espacio y ubicadas en distintas posiciones perciban diferentes niveles de confort (por ejemplo, si se encuentran más cerca o lejos del sistema). Es necesario procurar que esta variación sea la menor posible porque puede presentar disconfort debido a la asimetría de los intercambios corporales por radiación y a la variación del confort en un mismo espacio arquitectónico (Korsgaard, 1949).

La superficie caliente del sistema (panel radiante) puede causar disconfort por asimetría radiante vertical. La persona estará expuesta a varias superficies a su alrededor, percibirá 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.

Estudios orientados a la influencia de la asimetría térmica para personas sentadas, con neutralidad térmica y expuestos sólo a la incomodidad resultante de la asimetría excesiva de Fanger y Langkilde (1975), McIntyre (1974, 1976), McIntyre y Griffiths (1975), McNall y Biddison (1970), y Olesen et al. (1972); establecen que una persona estará más sensible a la asimetría causada por superficies calientes por encima de la cabeza que por superficies frías verticales (en Banhidi, 1991).

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 disconfort 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, otros especialistas del tema (Fanger, Banhidi, Olesen y Langkilde) efectúan una serie de pruebas a partir de calefactores ubicados en el cielo raso de un espacio. Siguiendo el método de Fanger (Banhidi, 1991) 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 3). 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. (Fig. 3)

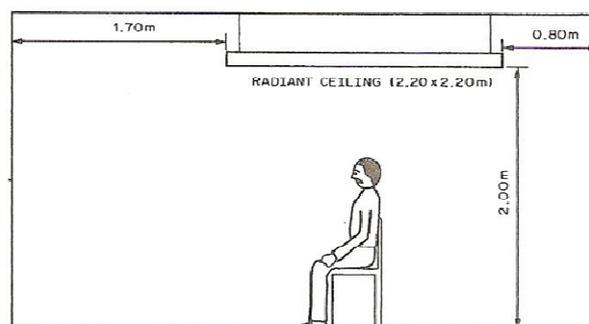


Figura 3 - Esquema del ensayo de los estudios de Fanger, Banhidi, Olesen y Langkilde. (Fuente: Banhidi)

De los resultados de este estudio se desprende la necesidad de incorporar las asimetrías térmicas como un nuevo parámetro de confort. En el caso presentado en la Fig. 4, se relacionó la diferencia aceptable de temperatura entre el techo y el aire en relación al factor de forma (denominado por los autores como factor de ángulo), obteniendo valores porcentuales de las personas que se encontrarían con insatisfacción térmica.

Entonces se define como asimetría de temperatura radiante a la diferencia entre la temperatura radiante plana de la cara superior de un elemento plano infinitesimal ubicada a 0.6m del suelo y la temperatura radiante plana de la cara inferior de dicho elemento. 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 (ASHRAE 55' 1988).

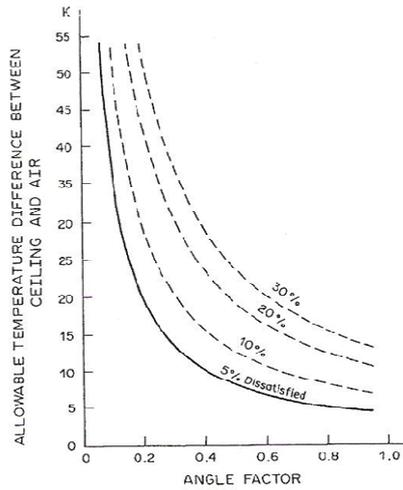


Figura 4 - Diagrama esbozado de los resultados del ensayo. (Fuente : Fanger, 1979)

Fanger realizó nuevos experimentos para determinar la relación entre el porcentaje de personas en confort según distintos valores de asimetría radiante. Los estudios de Fanger, Melikov y Hanzawa en 1989 fueron las bases para las recomendaciones que ofrece la norma ASHRAE 55 que se utiliza en la actualidad y los que toma como parámetro el presente trabajo. 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). Fig. 5.

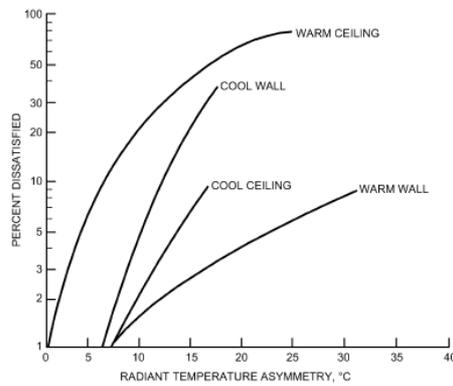


Figura 5 - Porcentaje de personas que expresan disconfort en relación a la asimetría radiante térmica. Fanger 1985, en ASHRAE 55.

Para un sistema de calefacción ubicado en el techo del local (hot roof, as SIRASOL), según la Fig. 4, un 80% de las personas estará en confort con una asimetría radiante de 10°C. Este límite se utilizó en el presente trabajo. Por definición, la asimetría radiante se calcula como:

$$\Delta t_{pr} = t_{pr}(up) - t_{pr}(down) \quad (6)$$

Donde: $t_{pr}(up)$ y $t_{pr}(down)$: son las temperaturas radiantes planas para un elemento plano ubicado a 0.6m del suelo. 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:

$$t_{pr}^4(up) = f_{dA-panel} T_p^4 + f_{dA-techo} T_{techo}^4 + f_{dA-paredes,up} T_{paredes}^4 \quad (7)$$

De la misma manera, hacia abajo tendremos:

$$t_{pr}^4(down) = f_{dA-piso} T_{piso}^4 + f_{dA-paredes,down} T_{paredes}^4 \quad (8)$$

En las ecuaciones anteriores, las temperaturas de paredes, techo, piso y panel están expresadas en Kelvin, por lo que las temperaturas planas radiantes se obtienen en Kelvin. Los factores de forma se calculan a una distancia de 0.6m del suelo.

Para simplificar el cálculo y obtener un método rápido de dimensionamiento, se supone que la envolvente del local a calefaccionar se encuentra a una temperatura uniforme, es decir, se asume que paredes, piso y techo se encuentran a una temperatura T_{piso} . Ahora bien, analizando la Ec. 6, se puede concluir que, debido a que el factor de forma entre un elemento infinitesimal dA y el piso es muy cercano a la unidad, por lo que la temperatura radiante plana $t_{pr}(down)$ puede considerarse, sin cometer un error considerable, igual a la temperatura del piso, es decir:

$$t_{pr}(down) = T_{piso} \quad (9)$$

Considerando el valor límite admisible de $10^{\circ}C$ (o $10^{\circ}K$) para la asimetría radiante, la Ec. 9 puede reescribirse como:

$$t_{pr}(up) \leq (10^{\circ}K + T_{piso}) \quad (10)$$

la cual, utilizando la Ec. 10 y el álgebra de factores de forma, puede expresarse como:

$$t_{pr}^4(up) = f_{dA-panel} T_p^4 + f_{dA-techo} T_{techo}^4 + f_{dA-paredes} T_{paredes}^4 \quad (11)$$

de la cual, operando algebraicamente, se obtiene:

$$f_{dA-panel} \leq \frac{(10^{\circ}K + T_{piso})^4 - T_{piso}^4}{(T_p^4 - T_{piso}^4)} \quad (12)$$

El miembro de la izquierda de la Ec. 12 puede calcularse a través de la expresión matemática de la Fig. 2, utilizando la Ec. 2 que propone la Norma ASHRAE '55. A partir de la asimetría radiante como parámetro de confort fue posible elaborar el método de dimensionamiento del sistema de calefacción radiante solar pasiva SIRASOL, el cuál será presentado en un trabajo posterior.

3. TEMPERATURA OPERATIVA Y CONFORT TÉRMICO.

La temperatura operativa se define a partir de los parámetros físicos del confort, (temperatura, humedad y velocidad del aire y temperatura radiante media (TRM). Se puede obtener de acuerdo a la siguiente expresión (ISO 7730, 1994).

$$TO = \gamma \cdot TBS + (1-\gamma) \cdot TRM \quad (13)$$

Donde:

γ = coeficiente que depende de la velocidad de viento (V) cuyo valor se indica en la Tab. 1.

V [m/s]	< 0.2	0.2 a 0.6	0.6 a 1.0
γ	0.5	0.4	0.3

Tabla 1. Valores del coeficiente γ para la Ec. 13, donde V es la velocidad del aire.

La velocidad de viento en la época invernal en ambientes interiores y sin la existencia de sistemas de acondicionamiento centralizado, puede considerarse prácticamente nula. La norma internacional ISO 7730 (1994), establece que para velocidades de aire menores a 0.2m/s, es posible calcular la temperatura operativa (TO) como el promedio de la temperatura del aire y la temperatura radiante media. Para las condiciones de viento de la ciudad de Mendoza este valor es escasamente superior en recintos cerrados. Por esta razón se considera viable el uso de la Ec. 14 para el cálculo de la TO. A partir de ésta expresión se advierte que el aumento de la TRM afectará directamente el estado de confort térmico del individuo. Destacando que el individuo como cuerpo sólido percibirá directamente el calor irradiado por panel radiante del SIRASOL.

$$TO = \frac{T_{ai} + TRM}{2} \quad (14)$$

El valor de temperatura operativa ofrece un valor de temperatura corregida para las condiciones existentes en un espacio. Sin embargo este, aislado de los factores sociológicos (nivel de metabolismo y vestimenta) no indica el logro de la condición de confort. Fanger (en Gouldins et al, 1994), elabora una grilla relacionando la TO con el nivel de actividad (met) y vestimenta (clò), a partir de la cuál es posible evaluar el confort térmico de un individuo bajo

circunstancias particulares. En la Tab.2 se presenta una síntesis de ésta, se indica el rango de confort ($TO \pm \Delta TO$) alrededor del óptimo dentro del cuál el 80% de los ocupantes percibirán el ambiente en condiciones de confort.

Actividad	[met]	Vestimenta	[clò]	TO °C
Alta:trabajo pesado	3	Ropa interior, pantalón, camisa y chaqueta.	1	10 +/- 4
Media:trabajo liviano	2	Ropa interior, pantalón, camisa y chaqueta.	1	16 +/- 3
Baja:higiene personal	1.4	Desnudo	0	27 +/- 1
Sedentaria:oficinas, aulas, bibliotecas	1	Ropa interior, pantalón, camiseta, sueter y chaqueta.	1.5	20 +/- 2.5
Acostado	0.8	Ropa interior, pijama liviano.	2.2	18 +/- 3

Tabla 2. Rango de temperaturas de confort a partir de la relación de la TO, nivel de actividad y nivel de vestimenta.

Por tratarse de un parámetro de fácil asociación se toma la temperatura operativa como una variable que, en conjunto con la asimetría radiante, se utilizó en la evaluación del confort térmico en los ensayos del sistema de calefacción radiante solar pasivo.

Una influencia indirecta de la radiación solar sobre algún elemento de la envolvente del ambiente, contribuirá al aumento de la temperatura radiante media y consecuentemente la temperatura percibida o TO, debido a que la temperatura de los elementos que rodean al ambiente interior se habrá incrementado. De esto se deduce que si se incorpora una fuente térmica que intercambie calor radiante y eleve la temperatura de las paredes de un espacio, la temperatura operativa se verá directamente afectada por su relación lineal con la TRM en las condiciones interiores mencionadas anteriormente.

2. CALEFACCIÓN RADIANTE

En la actualidad se utilizan numerosos sistemas de calefacción radiante. Los sistemas tipo hidrónicos, que funcionan con agua caliente, como la losa radiante o los módulos utilizados para la calefacción central. Por otro lado, existen también sistemas que se conectan directamente a la red eléctrica, como las estufas de cuarzo, las pantallas eléctricas y las placas o paneles verticales. El mercado ofrece además placas o paneles eléctricos para ser ubicados en el techo del local, siendo los menos utilizados. Se encuentra que la calefacción por sistemas radiantes presenta ventajas en comparación con los sistemas de calefacción convectiva:

Ahorro energético: Para un día frío de invierno, con sistemas convectivos se calienta el aire, una mezcla de gases que se calienta y enfría rápidamente, debido a su baja densidad, alta movilidad y baja capacidad calorífica. El resultado es un requerimiento casi permanente de una fuente energética.

Menor estratificación térmica: Con la utilización de calefacción convectiva el gradiente (diferencia de temperatura por metro vertical) es aproximadamente de $2^{\circ}\text{C}/\text{m}$. Con un sistema de calefacción radiante ubicado en el techo, este valor decrece a $1^{\circ}\text{C}/\text{m}$ (Banhidi, 1991). En una vivienda social tipo, donde la altura normalmente es de 2.5m se ganarían 2.5°C , entre piso y techo, dado que para un sistema convectivo la estratificación sería de 5.7°C , mientras que para un sistema radiante es de 2.5°C . Este punto toma importancia si se tiene en cuenta que la norma internacional ISO 7730 recomienda que la diferencia de temperatura entre cabeza y pies no debe ser mayor a 3°C para no afectar el confort térmico.

Impacto en la estructura edilicia: La ventaja que presentan los sistemas radiantes ante este tema es la posible inclusión en la estructura misma del edificio, siendo un ejemplo la calefacción central por piso radiante.

Calidad del aire interior: Los niveles elevados de contaminantes generados por combustión: monóxido y dióxido de carbono (CO , CO_2) óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de azufre (SO_2), partículas y formaldehído, en espacios interiores, proceden por lo general de artefactos de calefacción de gas, cocinas y hornos. Los sistemas de calefacción convectiva mencionados, calientan el aire produciendo contaminación interior cuando la ventilación es insuficiente (Sola et al, 1991).

En la vivienda social, debido a su pobre calidad térmica, la envolvente edilicia es deficiente. Esto genera, por parte del propietario un sellamiento total de las infiltraciones. Sumado a esto, un bajo poder adquisitivo lo lleva a utilizar artefactos de calefacción más económicos: pantallas, o la cocina como calefactor, lo que implica un alto riesgo por falta de salubridad (mala calidad del aire interior) y de seguridad (riesgo de pérdida de gas o explosión) para los usuarios.

La calefacción radiante resguarda la calidad del aire interior por no utilizarlo como fluido de conducción del calor, siendo una de las ventajas más importantes que presentan estos sistemas frente a los sistemas de calefacción convectiva.

Los sistemas de calefacción radiantes comprenden ambos tipos de transferencia de calor (radiación-convección). En la Fig. 6 se observa el porcentaje de intervención de cada clase de intercambio, de acuerdo al tipo de calefacción radiante, se advierte que la utilización de sistemas ubicados en la cubierta del local alcanzan más de un 80% de intercambio radiante. Esto enfatizará el aumento de la temperatura radiante media y consecuentemente de la temperatura operativa.

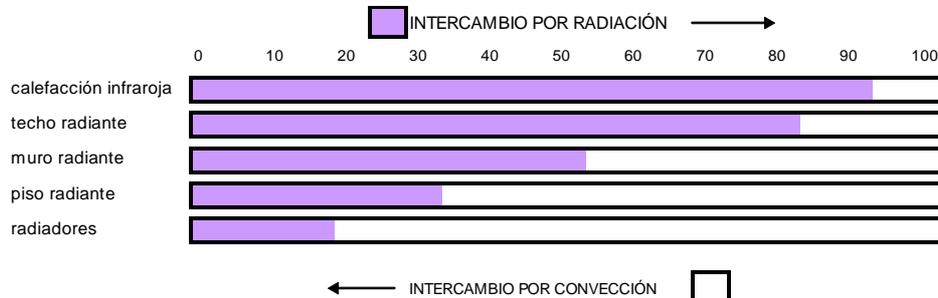


Figura 6 - Proporción de transferencia de calor por radiación y por convección para diferentes tipos de sistemas de calefacción radiante. Fuente: Banhidi, 1991.

4. SIMULACIONES TÉRMICAS DINÁMICAS.

El programa de simulación utilizado para ajustar el modelo del sistema de calefacción radiante solar pasivo fue Energy-Plus (versión 4.0.0.024) (Department of Energy, USA, 2009). Este ha sido desarrollado por el departamento de Energía de Estados Unidos a partir de códigos de BLAST y DOE2 e incorpora algoritmos como WINDOW 5.0, COMIS, TRNSYS Y SPARK (DOE, 2004) (Scarduelli et al, 2009).

A partir de un modelo ajustado del SIRASOL, se simuló una vivienda en las condiciones de invierno sin el aporte de calefacción auxiliar. En el caso de una vivienda con su fachada principal orientada hacia el sur, el incremento de la superficie de ganancia solar no es una alternativa. Sin embargo la utilización de SIRASOL ofrece la posibilidad de acondicionar térmicamente el espacio con la utilización de la energía solar. A continuación se presentan los resultados de la vivienda simulada con el sistema incorporado. Las dimensiones del panel utilizadas fueron: 1.00m x 3m para el panel ubicado en horizontal, manteniendo la geometría del sistema y principalmente el ángulo de captación.

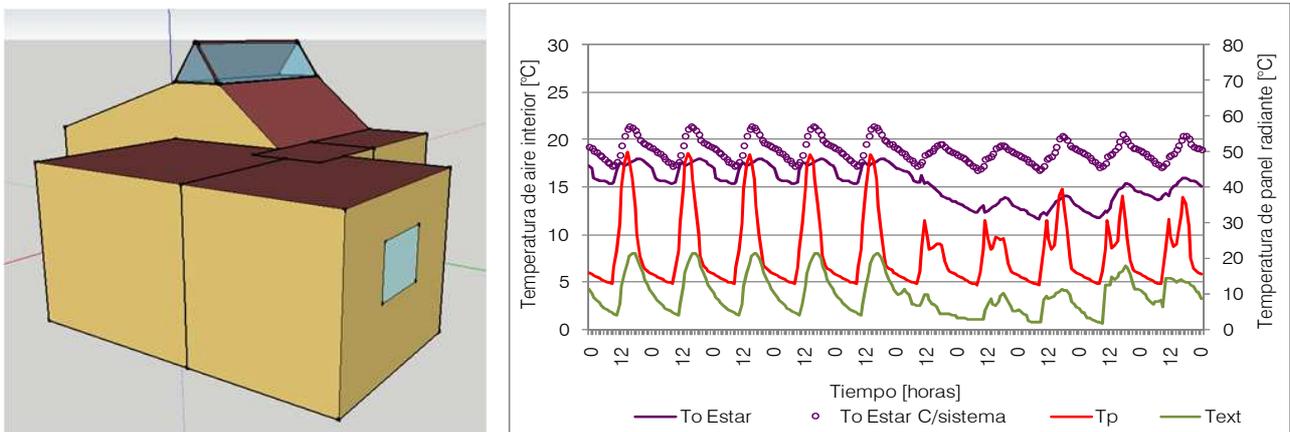


Figura 7 - Esquema de modelo de simulación de la vivienda con el sistema SIRASOL incorporado. Comportamiento de la temperatura operativa para el espacio de estar para diez días de invierno CON y SIN sistema incorporado.

En el gráfico de la Fig. 7 se diferencian dos períodos simulados, el primero que abarca del 19 al 23 de agosto con datos estadísticos del servicio meteorológico nacional. El segundo período que se observa en el gráfico, está comprendido entre los días 24 al 28 de agosto, siendo estos días de los cuales se poseen datos de temperatura de aire exterior y radiación solar medidos. Esta diferenciación se realizó debido a que el período medido presentaba cielo parcialmente nublado lo que incidía en los niveles de radiación solar y consecuentemente en la temperatura del panel radiante, y se pretendía observar el comportamiento del SIRASOL en días con cielo claro.

En cuanto a la temperatura operativa (considerando a la persona ubicada debajo del centro geométrico del panel), se puede observar que el espacio que se encuentra climatizado con el SIRASOL se eleva hasta 5°C coincidente con el medio día solar, frente al espacio sin ningún tipo de calefacción. Esto toma importancia si se tiene en cuenta que la

temperatura que sentirá el usuario tendrá una preponderancia de intercambio radiante por lo que generará mayor sensación de confort que lo que pueda lograr con un sistema de calefacción por convección.

5. CONCLUSIONES

A partir del conocimiento de las formas de intercambio de calor, de los parámetros físicos, psíquicos y sociales que afectan la sensación de confort de una persona en un espacio cualquiera, se concluye que es posible diseñar un sistema solar pasivo que permite mejorar el confort térmico del ambiente interior y contribuya a reducir el consumo de energía convencional destinada al calentamiento del aire.

La calefacción por medio de sistemas radiantes presenta ventajas innegables frente a la calefacción otorgada por sistemas convectivos, se destacan entre ellas: el ahorro energético, por ser materia de importancia mundial y la calidad del aire interior por tratarse de un parámetro que influye directamente en la salud de las personas. En el caso particular de un sistema radiante ubicado en el techo del local, se debe evaluar cuidadosamente el efecto de estratificación térmica, la asimetría radiante y como beneficio directo por tratarse de un sistema solar pasivo: el ahorro energético obtenido y los beneficios ambientales aparejados.

El programa de simulación Energy-Plus permitió el ajuste del modelo de simulación del prototipo y su incorporación en el modelo de simulación de una vivienda social. De acuerdo a las simulaciones térmicas realizadas es posible afirmar que la utilización del SIRASOL en la vivienda social eleva la temperatura operativa 5°C en relación a una vivienda sin la incorporación del sistema. Esto genera una mayor facilidad en el alcance de las condiciones de confort térmico en el medio ambiente interior durante las horas de sol que percibirá directamente la persona o usuario del espacio.

THERMAL COMFORT HEATING AND RADIANT EXCHANGE IN THE USE OF SOLAR RADIANT HEATING SYSTEM (SIRASOL)

Abstract: *In passive solar heating is essential to a facade available to Ecuador. In this sense it has been designed, studied and developed the passive solar radiant heating (SIRASOL). This is a unconventional option of passive solar system. Contributes to thermal comfort by increasing the mean radiant temperature (TRM) and consequently the operating temperature (TO). This paper presents and analyzes the factors affecting thermal comfort with the use of SIRASOL. With the use dynamic thermal simulations in the Energy-Plus it corroborates the contribution of radiant exchange to raise TO. Among the most important results shows that the system raises broad 5 ° C on the situation the same space without the system.*

Key words: *Thermal comfort, Radiant exchange, Passive solar system radiant heating.*

REFERENCES

- ASHRAE 55 (1988). Handbook of Fundamentals USA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning.
- Banhidi L. J. (1991) Radiant Heating Systems. New York, etc: Pergamon.
- Bonavita F., Brunello P., Y Zecchin, (1989) Metodo di calcolo dei fattori di forma tra corpo umano e superfici interne in un ambiente. Milano.
- Fanger P. O. (1979) Thermal Comfort. Mc Denmark Copenagüe.
- Goulding J., Owen Lewis J. Y Steemers T., (1994) Energy in Architecture. The European Passive Solar Handbook. London.
- G. Canistrato, G. Franzitta, C. Giaconia. (1992) Algorithms for the calculation of the view factors between human body and rectangular surfaces in parallelepiped environments. Energy and Buildings 19, pp. 51-60.
- Iso 77300, (1994) Moderate Thermal environment. FANGER P. O., Thermal Comfort. Mc Denmark Copenagüe, 1970. 2 Edition.
- Llorens M., Miranda Barreras A.L. (1999) Ingeniería Térmica. España: Ed. Ceac.
- Mercado M. V. y Esteves A. (2005) Sistema de calentamiento solar para viviendas de bajo costo sin fachada hacia el ecuador. Argentina . AVERMA 9. pp: 3.49-3.54.
- Mercado M. V. y Esteves A. (2006) Sistema de calefacción solar radiante. Variables de diseño y mediciones experimentales. Proceedings del XI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. ENTAC Florianópolis. Brasil. pp.334-344.
- Mercado M. V., Esteves A. y Filippín C. (2007) Sistema de calefacción solar radiante. Mediciones Experimentales de Invierno y Evaluación con Software de simulación térmica SIMEDIF Proceedings del XI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. ENCAC Ouro Preto Brasil. pp.1183a-1190a.
- Mercado M. V., Esteves A., Filippín C., Flores Larsen S. (2009). Sistema de calefacción radiante solar pasivo. Diseño, construcción de un prototipo y obtención de resultados. ERMA 23. pp.53-61.
- Korsgaard V. (1949). Necessity of using a directional mean radiant temperature to describe thermal conditions in rooms. Heating, Piping and Air Conditioning 21 (6), pp. 117-120.
- Sola, Derriot Crump, Berenguer, Rosell Farrás, Flannigan. (1991) Capítulo 4: Calidad del Aire interior. Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo.