

Evaluación del Desempeño Térmico de un Sistema de Climatización Geotermal en Viviendas Altoandinas

Dra. Ana N. Martínez Valdivia*, Mtro. Marco A. Navarro Guzmán**, Ing. Richar R. Calisaya Mendoza**, Mag. Yenny Gutierrez Gutierrez***, Mtro. Renza L. Gambetta Quelopana**, Dr. Sam M. Espinoza Vidaurre**

Universidad Privada de Tacna, Tacna, Perú

anamartinezv@upt.pe

I.- Introducción

En el Perú, las viviendas rurales ubicadas en zonas altoandinas enfrentan retos significativos debido a la limitada disponibilidad de fuentes de energía sostenibles, lo cual afecta el confort térmico y, por ende, la calidad de vida de sus habitantes, especialmente durante los meses de bajas temperaturas. Aunque se han propuesto diversas soluciones de calefacción para estas zonas, como el uso de energía solar o biomasa, existe escasa bibliografía y pocas referencias sobre el aprovechamiento directo de aguas termales o energía geotérmica para calefacción residencial.

La comunidad de Calientes, en la provincia de Candarave, de la región Tacna, presenta condiciones favorables para explotar este recurso renovable. Estudios de INGEMMET han identificado aguas termales con temperaturas entre 50 y 87 °C, constituyendo un recurso térmico significativo para desarrollar sistemas geotérmicos de calefacción en viviendas rurales.

Si bien existen investigaciones preliminares sobre el potencial geotérmico en el sur del país, estas son aún limitadas, lo que evidencia la necesidad de profundizar en la demanda energética para calefacción en zonas altoandinas y en la disponibilidad local de recursos geotérmicos. Esta realidad impulsa el desarrollo de tecnologías que permitan aprovechar esta fuente renovable para mejorar el confort térmico y la calidad de vida en comunidades como Calientes, Candarave. Este estudio se enmarca en ese contexto, enfocándose en la evaluación del potencial y comportamiento térmico de sistemas geotérmicos aplicados a la climatización residencial en contextos rurales altoandinos.

II.- Objetivos

Objetivo General:

Evaluar el desempeño térmico de un sistema de climatización basado en energía geotermal en viviendas rurales altoandinas.

Objetivos Específicos:

Analizar parámetros ambientales, como temperatura y humedad relativa, para validar la efectividad del sistema geotérmico en la mejora del confort térmico residencial.

Proponer recomendaciones para la implementación y escalabilidad del sistema geotérmico en viviendas rurales altoandinas, considerando factores técnicos, económicos y sociales.

III.- Metodología

Figura 1.

Interior de vivienda seleccionada



Para evaluar integralmente el potencial de las fuentes geotermales en Tacna, se recopiló bases cartográficas oficiales del INGEMMET y datos secundarios para un análisis territorial detallado. Mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG), se identificaron y caracterizaron las fuentes geotermales del departamento. Posteriormente, se realizó trabajo de campo en Candarave, recolectando muestras de agua con equipo multiparámetro para análisis físico-químicos en laboratorio, siguiendo protocolos técnicos vigentes. Estos resultados permitieron seleccionar el área para un sistema piloto de aprovechamiento geotérmico destinado a mejorar el confort térmico residencial.

Durante el invierno, se instrumentó una vivienda representativa en Calientes (figura 1), con termocuplas conectadas a dataloggers en zonas con y sin suelo radiante para registrar datos térmicos automáticamente. Se midieron parámetros ambientales como temperaturas interior y exterior, con sensores iButton Hygrochron para analizar el comportamiento térmico del sistema bajo condiciones reales.

La climatización se implementó con un sistema de suelo radiante de tubería PEX, donde el agua caliente circula por tuberías bajo el suelo, transfiriendo calor homogéneamente al suelo que irradia calor uniforme en la habitación, creando un ambiente confortable sin puntos fríos o calientes (figura 2).

Esta metodología combinó análisis espacial, experimental y técnico para evaluar la viabilidad y desempeño térmico del sistema geotérmico en viviendas rurales altoandinas.

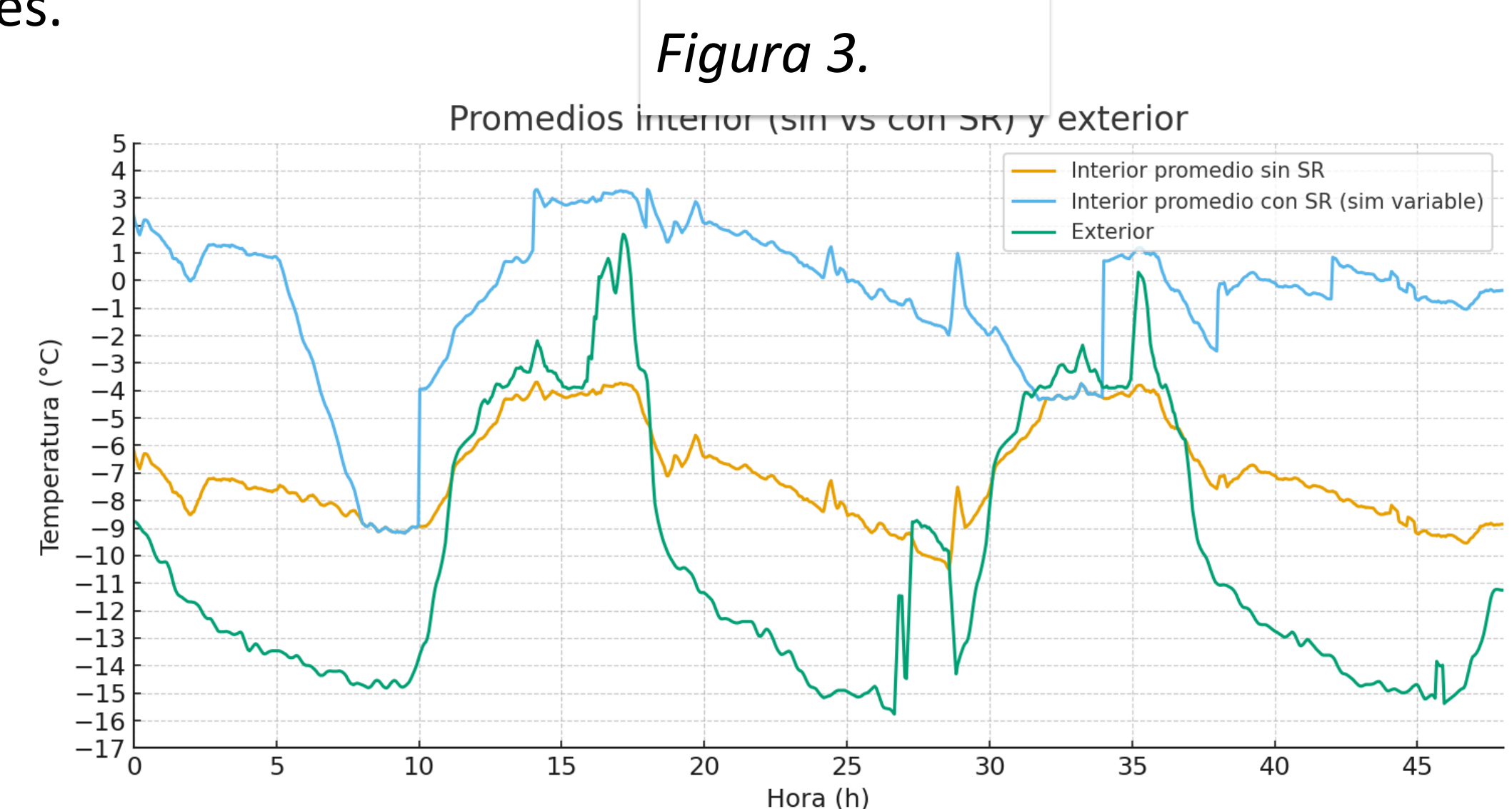
Figura 2.

Sistema de suelo radiante



IV.- Resultados preliminares

Para evaluar el desempeño del sistema de piso radiante, se instalaron termocuplas conectadas a un datalogger en tres alturas específicas: a 10 cm del suelo, a 1.10 m y a 2.20 m de altura. Los datos obtenidos en estas posiciones fueron promediados para analizar el comportamiento térmico. La figura 3 muestra aproximadamente ~48 h horas de monitoreo, cubriendo dos ciclos completos de día - noche repetidos durante el mes de julio, por lo que los resultados aquí presentados se consideran preliminares.



Nota. Elaborado por los autores en base a los datos recopilados.

El análisis conjunto de las mediciones indica un efecto positivo del sistema en la temperatura interior, con un aumento promedio de 6.4 °C en comparación con la condición sin calefacción por piso radiante. Aunque este incremento reduce significativamente el déficit de temperatura respecto al confort térmico objetivo establecido en 16 °C, no se alcanza plenamente esta temperatura de referencia.

El perfil térmico vertical obtenido es coherente con los principios físicos de transferencia de calor, evidenciando que la energía térmica se propaga desde el suelo hacia las capas superiores del ambiente. Además, se observan efectos de amortiguación térmica y desfase temporal entre las temperaturas internas y externas, denotando la eficiencia del sistema en mantener condiciones térmicas más estables y favorables dentro de la vivienda, incluso durante episodios de bajas temperaturas exteriores.

V.- Conclusiones

El análisis del efecto global del sistema de piso radiante durante las 48 horas evaluadas mostró que la temperatura interior promedio con piso radiante fue +6.43 °C superior a la condición sin calefacción. Este incremento permitió reducir en aproximadamente un ~28% el déficit respecto a la temperatura de confort establecida en 16 °C; sin embargo, no se logró alcanzar plenamente dicho umbral. La ausencia del suelo radiante generó un ambiente interior más frío y con mayor variabilidad térmica, impactando negativamente en el confort térmico. Además, se observó una estratificación térmica vertical menor o incluso invertida en estas condiciones, evidenciando la falta de una fuente de calor en la base del recinto. Esto aumentó la vulnerabilidad del ambiente a las condiciones exteriores y, por tanto, la pérdida energética, lo cual puede conllevar a un mayor consumo energético para calefacción adicional.

Para alcanzar niveles óptimos de confort térmico en viviendas altoandinas, se concluye que es indispensable una solución integrada que combine la instalación de piso radiante dimensionado y controlado adecuadamente (con mayor área activa, menor espaciamiento entre tuberías, caudales balanceados y programación horaria) junto con mejoras en la envolvente edificatoria (aislamiento de techo, bordes y bajo la losa, y sellado de infiltraciones).

VI.- Referencias Bibliográficas

- Mejía-Solis, E., Arias, J., & Palm, B. (2023). Simple solutions for improving thermal comfort in huts in the highlands of Peru. *Heliyon*, 9(10).
- Salvador, C. A., & Horn, M. J. (2021, March). Sustainable energization of the high Andean rural region of Peru, based on renewable energy potential. A case study: San Francisco de Raymina, Ayacucho. *In Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1841, No. 1, p. 012013). IOP Publishing.
- Xiong, Y., Liu, J., & Kim, J. (2019). Understanding differences in thermal comfort between urban and rural residents in hot summer and cold winter climate. *Building and environment*, 165, 106393.
- Vargas-Payera, S., Ibarra, C., & Hurtado, N. (2023). Social and cultural aspects in the adoption of geothermal heat pump systems to replace wood-burning heaters in educational spaces: The Chilean Patagonian case. *Journal of South American Earth Sciences*, 128, 104426.