



Consumo energético

Calefacción por suelo radiante

La calefacción de invernaderos por suelo radiante con tuberías de agua caliente tiene un coste de inversión algo elevado, pero a la larga es un sistema rentable y eficaz

J.L. García; S. De la Plaza; J.M. Durán¹; L.M. Navas; R.M. Benavente y L. Luna.

*Dptos. Ingeniería Rural y Producción Vegetal:
Fitotecnia¹
e-mail: jlgarcia@iru.etsia.upm.es*

La calefacción del invernadero es uno de los principales costes en explotaciones situadas en el norte de Europa; también es un coste importante en los invernaderos del centro y norte de España. Por tanto, la reducción del consumo energético resulta siempre un objetivo interesante para la mejora de la competitividad de la explotación, además de conseguir una menor emisión de contaminantes al medio ambiente.

Los sistemas de distribución de calor más habituales son los aerotermos, las tuberías corrugadas de plástico y las tuberías radiantes de acero. Estos sistemas se pueden combinar con calefacción localizada en las mesas de cultivo, en caso de que se utilicen. Un sistema de distribución alternativo es la utilización de suelo radiante. El suelo radiante con tuberías de agua caliente se utiliza

con bastante frecuencia en Holanda en invernaderos dedicados a la producción de plantas ornamentales en maceta. Este sistema está poco extendido en España debido a sus altos costes de inversión, aunque se afirma que consigue reducir sustancialmente el consumo de energía.

La Escuela de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Politécnica de Madrid ha instalado en uno de sus invernaderos un sistema de distribución de calor por suelo radiante. El objetivo de la instalación fue caracterizar el comportamiento energético de este tipo de instalaciones y analizar sus posibilidades prácticas. En el presente artículo se describe el sistema utilizado y los resultados obtenidos.

Descripción del sistema

El suelo radiante fue instalado en un invernadero de metacrilato de 133 m², que contaba inicialmente con dos aerotermos eléctricos de 9 kW de potencia como sistema de calefacción. En el invernadero se cultivó una especie de flor cortada (*Gerbera Jamesonii*) en contenedores colocados sobre el suelo. Esta especie es una flor de porte bajo, en ge-

Instalación del suelo radiante. Fotografía tomada durante el proceso de integración de la malla de tubos de polietileno reticulado dentro de una capa de mortero.

neral no superior a medio metro de altura.

El suelo radiante estaba formado por tubos de polietileno reticulado (tipo PEX-GOL, 540 m para 90 m² de suelo radiante) embutidos en 9 cm de mortero. En la instalación se colocaron sobre el suelo original una capa de aislante térmico (poliestireno expandido de 20 mm), una barrera antivapor (lámina de polietileno de 0.1 mm) y un mallazo de alambre formando una malla de 20x20 cm para guiar los tubos. Sobre el mallazo se colocaron los tubos, cubriéndose finalmente el conjunto con la capa de mortero. El sistema se alimentó con agua caliente desde una caldera eléctrica de 15 kW. Se utilizó un sistema eléctrico por ser más limpio y fácil de controlar; los consumos obtenidos pueden

La utilización del suelo radiante es una alternativa a los sistemas habituales de distribución de calor, no muy extendida en España, pero que representa uno de los principales costes en las explotaciones del norte de Europa

extrapolarse a otras fuentes de energía, como gasoil o gas.

Los datos climáticos del invernadero se determinaron con un conjunto de sensores y un sistema de almacenamiento de datos de 8 canales. Se utilizaron siete sensores de temperatura (uno para la temperatura exterior, tres para las temperaturas del suelo y tres para las temperaturas del aire interior, a 0,5, 1,5 y 2,5 metros de altura) y un sensor de radiación solar. Los aerotermos y el suelo radiante se utilizaron en semanas alternativas; la energía eléctrica consumida por cada sistema se midió con un analizador de energía.

Resultados

Los resultados obtenidos indicaron que el suelo radiante presenta ventajas

LUMINANCE[®] THB

de VISQUEEN

El plástico para la cubierta del invernadero, transmisor de la luz, es la principal fuente de crecimiento y de energía de la planta.

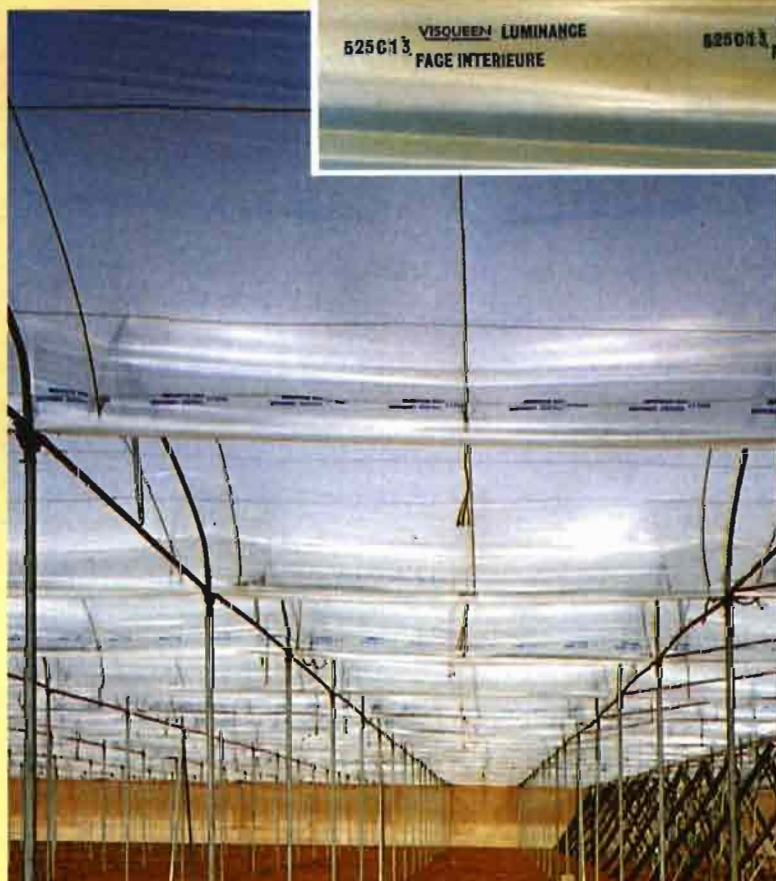
SU ELECCIÓN ES DETERMINANTE.

El plástico LUMINANCE THB, de Visqueen, tiene los siguientes efectos:

- Controlar la transformación del infrarrojo cercano
- Reducir las temperaturas máximas
- Impedir el estrés de la planta
- Disminuir la necesidad de ventilación
- Difundir la luz a todos los niveles del cultivo

y como ventajas complementarias:

- Una muy buena transmisión luminosa (PAR) 86%;
- Unas propiedades térmicas elevadas (transmisión IR 10%)



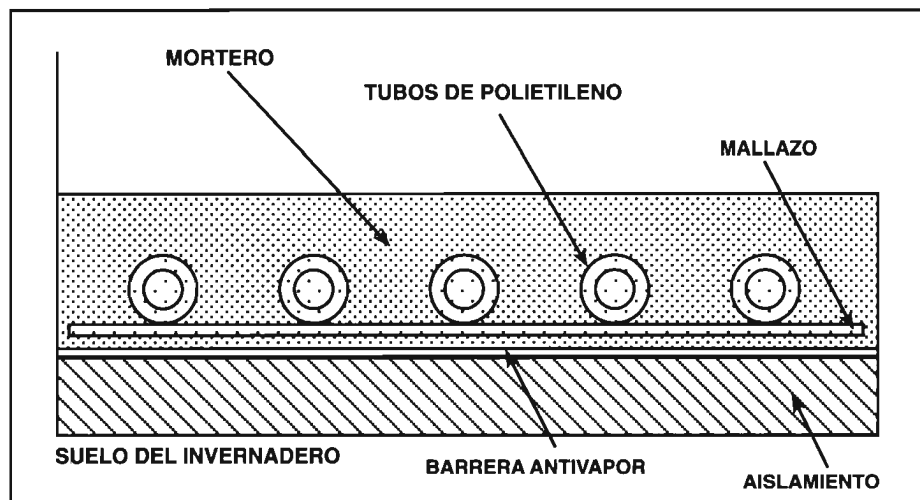
y nuestros plásticos: LUMITHERM LUMINAL (anti-vaho)



SUMINISTROS AGRICOLAS

Distribuidor:
CASTILLO ARNEDO, S.L.
Polígono Tejerías, Sur
Apdo. de Correos 128
26500 CALAHORRA
(La Rioja)
Tel.: (941) 13 37 06
Fax: (941) 14 60 98

Figura 1:
Esquema del suelo radiante



Esquema de la disposición de los elementos del suelo radiante, formado por una red de tubos de polietileno reticulado embutidos en una capa de mortero. El diseño incluye, sobre el suelo del invernadero, una capa de aislante térmico (poliestireno expandido), una barrera antivapor (lámina de polietileno) y un mallazo metálico para guiar los tubos.

respecto al consumo de energía en cultivos de porte bajo, que se desarrollen en el primer metro de altura. El suelo radiante defendió un mayor salto térmico entre la temperatura interior a 0,5 metros y la temperatura exterior (alrededor de 12°C) que los aerotermos (alrededor de 10°C), con menor potencia instalada (15 kW frente a 18 kW). Sin embargo, cuando la temperatura de referencia se tomó a 1,5 metros, el suelo radiante no presentó ventajas energéticas respecto a los aerotermos.

La potencia máxima emitida por el suelo radiante fue de 120 vatios por metro cuadrado de invernadero, con el agua caliente circulando a temperaturas inferiores a 45°C. El sistema produjo incrementos de temperatura de entre 2 y 4°C en el primer metro de altura, el más cercano al suelo, respecto a las capas superiores. Los aerotermos produjeron el efecto contrario; la temperatura del aire fue inferior en las capas más cercanas al suelo, debido al movimiento ascendente del aire caliente.

Los datos obtenidos permitieron realizar modelos de simulación del comportamiento energético del invernadero, con los que se pudieron evaluar ambos sistemas en condiciones distintas a las experimentales. Los modelos se utilizaron para calcular el consumo energético de un invernadero similar al utilizado en dos localidades (Madrid y Barcelona) a lo largo de toda la campaña de calefación.

El objetivo planteado fue conseguir una temperatura media nocturna en el invernadero de 16°C a 0,5 metros de altura.

El ahorro energético, obtenido por simulación, del suelo radiante respecto a los aerotermos fue del 17% en Madrid (372 por 449 kWh/m² año) y del 21% en Barcelona (219 por 276 kWh/m² año). Este ahorro energético se traduce en un

ahorro financiero: la diferencia de los costes de combustible (utilizando gasoil) entre los dos sistemas fue de 385 pts/m² año en Madrid y de 285 pts/m² año en Barcelona.

Los costes de instalación de ambos sistemas oscilan entre las 3.000-4.500 pts/m² para el suelo radiante y las 600-1.000 pts/m² para los aerotermos, dependiendo de las dimensiones del invernadero.

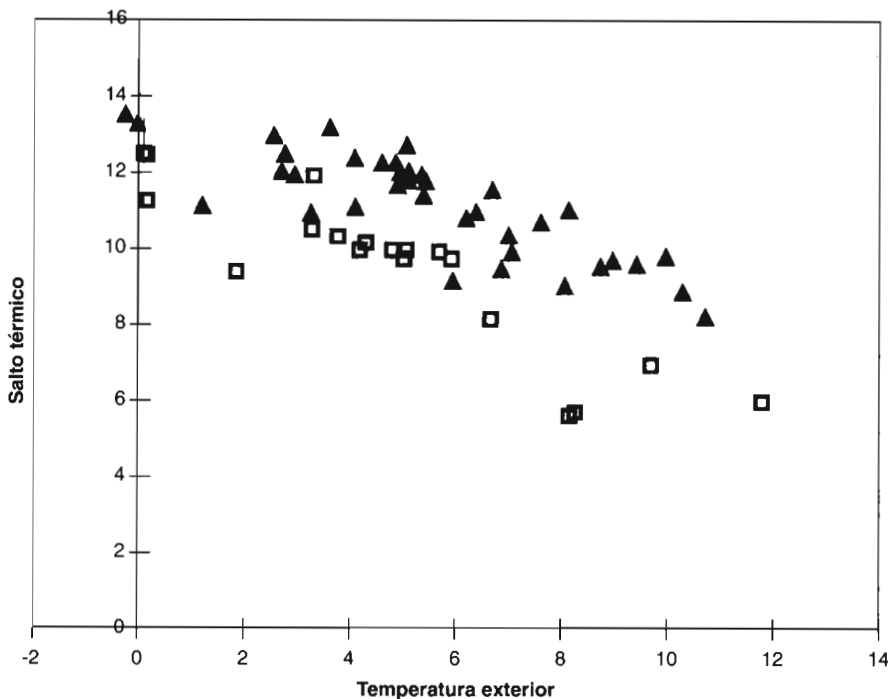
El sistema de calefacción se adapta especialmente al cultivo en macetas o contenedores directamente sobre el suelo, y en grandes superficies en climas fríos. La principal ventaja que ofrece es el ahorro en el coste del combustible, en torno al 20% en cultivos con porte bajo

Comparando estas cifras con el ahorro anual que se consigue, se puede verificar que en determinadas condiciones es posible amortizar la instalación de suelo radiante en un plazo razonable, especialmente con ornamentales, pero es necesario evaluar cuidadosa-



Vista invernal, tras una nevada, del invernadero experimental, situado en los campos de prácticas de la E.T.S.I. Agrónomos de Madrid. En su interior, como se observa en la fotografía, se cultivan gerberas en contenedores sobre el suelo.

Figura 2:
Salto térmico del invernadero



Salto térmico entre la temperatura del invernadero a 0,5 m de altura y la temperatura exterior (°C), en función de la temperatura exterior (°C). Cada punto de la gráfica es el valor medio de una noche, medido en el invernadero experimental.

Los aerotermos consiguieron un salto térmico de alrededor de 10°C entre la temperatura interior y la exterior, mientras que el suelo radiante, con menor potencia, consiguió alrededor de 12°C.

Cuadro 1:
Inversión para la instalación de suelo radiante comparada con sistemas habituales en invernadero.

Sistemas	Potencia	Coste
Aerotermos	200 W/m ²	600-1000 pts/m ²
Tubería radiante de acero	200 W/m ²	1000-1500 pts/m ²
Suelo radiante por tubería	120 W/m ²	3000-4500 pts/m ²

mente los costes implicados.

El sistema es más interesante en grandes superficies y en climas fríos, donde el ahorro energético es mayor.

Ventajas e inconvenientes del suelo radiante

Este sistema de calefacción se adapta especialmente al cultivo en macetas o contenedores directamente sobre el suelo; el sistema se utiliza en la actualidad en invernaderos holandeses en los que el traslado de las macetas se realiza con maquinaria especializada. La principal ventaja que ofrece es el ahorro en el coste del

combustible, en torno al 20% en cultivos con porte bajo. Este ahorro energético es el que permite la amortización de la instalación. Por contra, los resultados indican que si el cultivo es de porte alto, el ahorro energético que se obtiene no es significativo.

El sistema funciona mejor que aerotermos o tuberías de acero con agua caliente a baja temperatura (agua a 40 -50°C, por ejemplo procedente de procesos industriales o energía geotérmica). Sin embargo, las tuberías de plástico también son muy adecuadas en este caso, y de mucho menor coste.

Una ventaja que presenta el suelo

radiante respecto a las tuberías de plástico es conseguir una superficie del invernadero totalmente libre de obstáculos, lo que facilita el traslado del material y la automatización de la instalación. Otra característica particular del suelo radiante es su elevada inercia térmica, que puede resultar una enorme ventaja en caso de corte eléctrico o avería momentánea del sistema de calefacción; el suelo caliente sigue radiando durante algunas horas, manteniendo así la temperatura del invernadero.

El principal inconveniente del sistema es la gran inversión necesaria, que lo hace inabordable en un buen número de explotaciones. Es necesario evaluar cuidadosamente las ventajas y los costes respecto al sistema que se utilice como alternativa

El principal inconveniente del sistema es la gran inversión necesaria, que lo hace inabordable en un buen número de explotaciones. Es necesario evaluar cuidadosamente las ventajas y los costes respecto al sistema que se utilice como alternativa. Si en cualquier caso el invernadero cuenta con suelo de cemento, el coste añadido de la instalación de tuberías en el suelo puede ser menor.

Otro inconveniente del suelo radiante es su limitación de potencia (120 W/m²); si las necesidades de la instalación son mayores, el sistema se debe combinar con tuberías de calefacción en la periferia del invernadero que aporten la potencia adicional necesaria.

Las ventajas e inconvenientes indicados muestran que el suelo radiante puede ser ventajoso en comparación con aerotermos y tuberías de acero, pero que las tuberías de plástico, mucho más baratas, parecen más interesantes en la mayoría de las explotaciones españolas.