



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

513491-1
ENERGÍAS RENOVABLES

Tarea 2: Geotermia

Alumna: Fernanda Castro Araya
Profesor: Arturo Belmonte
Ayudante: Oscar Cartes

18 de junio de 2024

1. Pregunta 1

Investigue acerca de la bomba de calor en función de las siguientes preguntas:

1. Describa brevemente que entiende por bomba de calor.

Respuesta: Maquina térmica que toma calor de un espacio frío y lo transfiere a otro más caliente gracias al trabajo realizado desde el exterior. Utiliza un ciclo termodinámico (ciclo de carnot) para transferir calor, puede funcionar en modo calefacción como en modo refrigeración. Tiene como objetivo aportar calor y mantener un espacio caliente. Consta de 4 etapas: compresión, condensación, expansión y evaporación.(5)



Figura 1: Representación gráfica del ciclo de bomba de calor donde podemos ver las 4 etapas del ciclo y como actúa .(1)

2. ¿Qué tipo de bombas de calor se encuentran disponibles en el mercado para uso de geotermia de baja temperatura?

Respuesta: Cuando hablamos de geotermia de baja temperatura, nos referimos a la utilización del calor que recibe la superficie terrestre del sol. Esta energía penetra a poca profundidad (subsuelo) y se encuentra a temperaturas relativamente bajas, típicamente en un promedio de 15°C. En el mercado, encontramos las siguientes bombas de calor:(4)

- **Bombas de calor geotérmicas de circuito cerrado (horizontal o vertical):**
Un sistema de circuito cerrado de intercambio directo bombea el refrigerante a través de una tubería de cobre enterrada, sin un intercambiador de calor. Estos sistemas requieren un compresor más grande y funcionan mejor en suelos húmedos, pero deben evitarse en suelos corrosivos. (2)
Existe el sistema cerrado horizontal el cual las tuberías están a poca profundidad y de manera horizontal.2

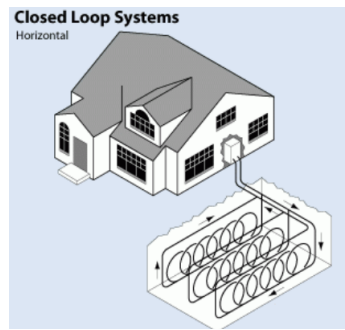


Figura 2: En la imagen podemos mirar un sistema cerrado con tuberías en dirección horizontal. (2)

el sistema cerrado vertical donde las tuberías están en esa dirección y a una mayor profundidad como lo podemos ver en la imagen.³

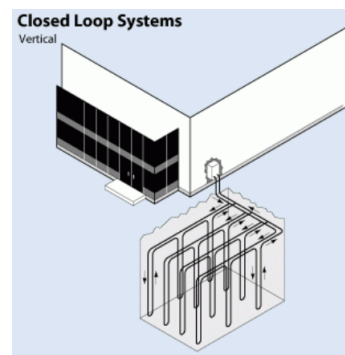


Figura 3: Representa el sistema cerrado con tuberías en dirección vertical. (2)

- **Bomba de calor geotérmica de sistema abierto:** Este sistema utiliza agua de pozo o agua superficial como fluido de intercambio de calor que circula directamente a través del sistema. Después de circular, el agua regresa al suelo mediante un pozo de recarga o descarga superficial. Existen distintos tipos de bombas, como: (2)

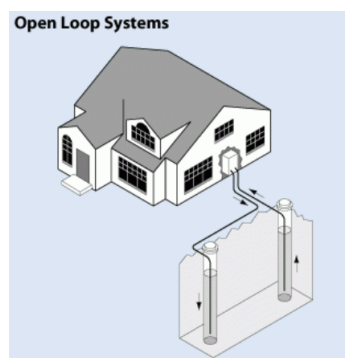


Figura 4: La imagen representa una casa con un sistema de calefacción o refrigeración abierto donde utiliza aguas subterráneas. (2)

- Agua-liquido: Extraen calor de fuentes de agua natural (lagos, ríos, pozos de agua). Agua se bombea a través de un intercambiador de calor para transferir el calor al

refrigerante de la bomba de calor.

- Agua-agua: Utilizan aguas subterráneas como fuente de calor y como medio para disipar el calor residual. El agua se extrae de un pozo, se bombea a través de la bomba de calor para transferir calor, y luego se descarga en pozo o se devuelve al acuífero.

3. Especifique parámetros asociados a bomba de calor como el COP y el costo asociado.

Respuesta: Cuando nos referimos a bomba de calor debemos tener en cuenta parámetros como:

- **Coficiente de rendimiento (COP):** es la razón entre la potencia de climatización obtenida (refrigeración o calefacción) y la potencia suministrada o consumida por un compresor o válvula de expansión. Es la relación entre la cantidad de calor suministrado por la bomba de calor y la cantidad de energía eléctrica utilizada. Un COP alto indica mayor eficiencia. (3)
- **Temperatura de entrada y de salida del fluido:** Las temperaturas a las que el fluido geotérmico entra y sale del intercambiador de calor. Afecta directamente el rendimiento y la eficiencia de la bomba de calor.
- **Conductividad térmica:** es una propiedad característica de cada material que indica su capacidad para conducir el calor. Su unidad de medida es $[W/m^{\circ}C]$ (3)
- **Resistencia Térmica:** es una medida de la capacidad de un material o sistema para resistir el flujo de calor. Para este caso hablamos de la resistencia térmica del sondaje, la que definimos como la resistencia entre el fluido portador de calor y la pared del sondaje. Es inversamente proporcional a la conductividad térmica. (3)
- **Profundidad y diseño de los pozos geotérmicos** La profundidad y configuración de los pozos o bucles en el sistema. Influye en la capacidad de extracción de calor y el costo de instalación.
- **Test de respuesta térmica (TRT):** es una técnica utilizada para evaluar las propiedades térmicas del suelo y la eficiencia de un sistema de intercambio de calor geotérmico. Consiste en inyectar calor en el sistema a través de la circulación de un fluido previamente calentado, en tanto las temperaturas (de entrada y salida) son monitoreadas. (3)
- **Área:** superficie de la casa o lugar que se quiera calefaccionar.

El costo asociado a una bomba de calor en el caso de Chile, es del orden entre \$300.000 - \$500.000 por metro de sondaje. (3)

4. Estime el gasto anual que en su hogar implica el ítem calefacción. Comente respecto de reemplazar la fuente de calefacción por una bomba de calor.

Respuesta: Para mi hogar, usamos calefacción a leña y estufa de gas, consideramos los siguientes gastos:

Leña: \$57.000 mensuales

Gas: \$21.000 mensuales

Ocupamos calefacción desde el mes de abril hasta septiembre. Por lo tanto, el gasto anual en el ítem de calefacción en mi hogar es:

ítem	Gasto mensual (CLP)	Gasto anual (CLP)
Leña	\$57.000	\$342.000
Gas	\$21.000	\$126.000

Cuadro 1: Tabla donde podemos ver los gastos mensuales y anuales para el ítem de calefacción de leña y gas.

Por lo tanto, el gasto anual en el ítem de calefacción en mi hogar es de: \$468.000.

Considerando que el gasto de una bomba de calor puede llegar a los \$500.000 por metro de sondaje que no es una inversión menor, ya que, mi casa es de aproximadamente 140 m^2 , personalmente optaría por reemplazar las estufas de gas y leña por una bomba de calor. Pese a que inicialmente el gasto no es menor pero a medida que pasen los años habrá una reducción considerable en los gastos, ya que, este tipo de fuente de calor ayuda a ahorrar dinero obteniendo el calor directamente de la tierra.

Por lo que, teniendo un valor medianamente alto en calefacción encuentro que una buena forma de reducir gasto a largo plazo es calefaccionar mi hogar con una bomba de calor.

Por otro lado, si en mi hogar gastáramos un valor aproximado de \$100.000 o un poco más, no consideraría reemplazar la forma de calefacción, ya que la inversión sería bastante grande para una reducción no tan considerable.

2. Pregunta 2

Que profundidad debe tener un pozo para satisfacer una demanda de energía para calefacción de una casa cuya superficie son 100 m^2 . Considere un valor del $COP=2.5$ y asuma valores para los distintos parámetros según lo visto en clases.

Respuesta: Para resolver este problema debemos tener en cuenta lo siguiente (6)

$$\text{Datos: } \begin{cases} A = 100 \text{ [m}^2\text{]} \\ COP = 2,5 \\ T_L = 16 \text{ [C]} \\ Q_{caudal} = 0,0004083 \text{ [m/s]} \\ \rho_{ag} = 1000 \text{ [kg/m]} \\ C_{ag} = 4187 \text{ [J/kgK]} \\ T_{entrada} = 12 \text{ [C]} \\ R_b = 0,11 \text{ [mK/w]} \\ R_s = \frac{1}{1,7} \\ F = 0,15 \end{cases}$$

Para obtener la profundidad necesaria del pozo, inicialmente debemos calcular la demanda de energía ($Q_{demanda}$):

$$\begin{aligned} Q_{demanda} &= 100 \frac{w}{m^2} \cdot Area \\ Q_{demanda} &= 100 \frac{w}{m^2} \cdot 100 \text{ m}^2 \\ Q_{demanda} &= 10000 \text{ [w]} \end{aligned}$$

La demanda de energía se obtiene de la suma de la energía del suelo y de la energía de la bomba de calor:(5)

$$Q_{demanda} = Q_{suelo} + Q_{bomba} = 10000 \text{ [w]} \quad (1)$$

Considerndo que la ecuacion de la energía del suelo esta dada por:(6)

$$Q_{suelo} = \frac{Q_{bomba}(COP - 1)}{COP} \quad (2)$$

Por lo tanto, reemplazamos la ecuación 2 en la ecuación 1, así podemos obtener la energía de la bomba de calor

$$\begin{aligned} Q_{suelo} + Q_{bomba} &= 10000 \text{ [w]} \\ \frac{Q_{bomba}(COP - 1)}{COP} + Q_{bomba} &= 10000 \text{ [w]} \\ \frac{Q_{bomba}(2,5 - 1)}{2,5} + Q_{bomba} &= 10000 \text{ [w]} \\ Q_{bomba} \cdot 0,6 + Q_{bomba} &= 10000 \text{ [w]} \\ Q_{bomba} \cdot (0,6 + 1) &= 10000 \text{ [w]} \\ Q_{bomba} &= \frac{10000}{1,6} \text{ [w]} \\ Q_{bomba} &= 6250 \text{ [w]} \end{aligned} \quad (3)$$

2

Teniendo la energía de la bomba podemos obtener la energía del suelo, a través de la ecuación

$$Q_{suelo} = \frac{6250 [w] (2,5 - 1)}{2,5} = 3750 [w] \quad (4)$$

Ahora necesitamos encontrar la temperatura de salida de la bomba de calor, para eso utilizamos:(6)

$$T_{salida} = T_{entrada} - \frac{\frac{Q_{bomba}(COP-1)}{COP}}{C_{ag} \cdot \rho_{ag} \cdot Q_{caudal}} \quad (5)$$

Reemplazamos con los datos que tenemos.

$$T_{entrada} = 12C = 285K$$

$$\begin{aligned} T_{salida} &= 285 K - \frac{\frac{6250 W(2,5-1)}{2,5}}{4187 [J/kgK] \cdot 1000 [kg/m] \cdot 0,0004083 [m/s]} \\ T_{salida} &= 285 K - \frac{3750 w}{1709,5 w} \\ T_{salida} &= 285 K - 2,19 = 282,81 K = 9,81 C \end{aligned}$$

De esta forma podemos calcular la temperatura mínima de entrada del fluido a la bomba de calor, utilizando:(6)

$$T_{min} = \frac{1}{2} (T_{entrada} - T_{salida}) \quad (6)$$

Reemplazamos con los datos y obtenemos:

$$T_{min} = \frac{1}{2}(12 + 9,81) = 10,9 C$$

Con la siguiente ecuación podemos calcular el largo de calefacción(6)

$$L_{calefacción} = \frac{\frac{Q_{bomba}(COP-1)}{COP} \cdot (R_b + R_s \cdot F)}{T_L - T_{min}} \quad (7)$$

Reemplazamos los datos en la ecuación y resulta:

$$\begin{aligned} L_{calefacción} &= \frac{3750 w \cdot (0,11mK/w + 1/1,7 \cdot 0,15)}{(16 - 10,9) + 273 K} \\ L_{calefacción} &= \frac{3750 \cdot 0,198 m}{5,1} = 139,7 m \end{aligned}$$

Finalmente, para obtener la profundidad del pozo para satisfacer la demanda de energía que requiere la casa debemos calcular:(6)

$$L_{perturbación} = \frac{L_{calefacción}}{2} = \frac{139,7 m}{2} = 69,9 m \quad (8)$$

El pozo debe tener una profundidad de $\approx 70m$

3. Bibliografía

Referencias

- [1] Bomba de Calor. (s/f). Recuperado el 6 de junio de 2024, de <https://areatecnologia.com/calefaccion/bomba-de-calor.html>
- [2] Geothermal heat pumps. (s/f). Energy.gov. Recuperado el 6 de junio de 2024, de <https://www.energy.gov/energysaver/geothermal-heat-pumps>
- [3] Belmonte A. (2024). *Apuntes: Geotermia de muy baja temperatura*. Universidad de Concepción.
- [4] Belmonte A. (2024). *GEOTERMIA I*. Universidad de Concepción.
- [5] Belmonte A. (2024). *GEOTERMIA III*. Universidad de Concepción.
- [6] Belmonte A. (2024). *Geotermia ejercicio*. Universidad de Concepción.