



## Tarea 2

### Modelamiento del perfil de temperatura en un concentrador solar

Fecha de entrega: 02 de noviembre de 2023, 18:30, vía Canvas.

#### Problema

En el año 2019 comenzó a operar la planta termosolar Cerro Dominador, ubicada en la región de Antofagasta. Esta planta permite generar 110 MW de energía y acumularla por hasta 17.5 horas, por lo que brinda un suministro continuo para abastecer a más de 382 mil hogares de electricidad sin importar las horas nocturnas, junto con evitar la liberación de 643 mil toneladas de  $\text{CO}_2$  (Grupo Cerro, s.f.)

El funcionamiento de esta planta consiste en concentrar la radiación solar mediante 10600 heliostatos, los cuales apuntan hacia una torre donde circula una solución de sales líquidas que se pueden calentar en un rango máximo desde  $290^\circ\text{C}$  hasta  $565^\circ\text{C}$ . Esta corriente calentada se dirige hacia un almacenador que permite conservar la energía de las sales, y desde donde se circula una corriente hacia un intercambiador de calor para producir vapor y alimentar a una turbina, generando electricidad (Grupo Cerro, s.f.). En la Figura 1 se muestra un esquema del funcionamiento, y para más información puede ver el siguiente video Link-Youtube.

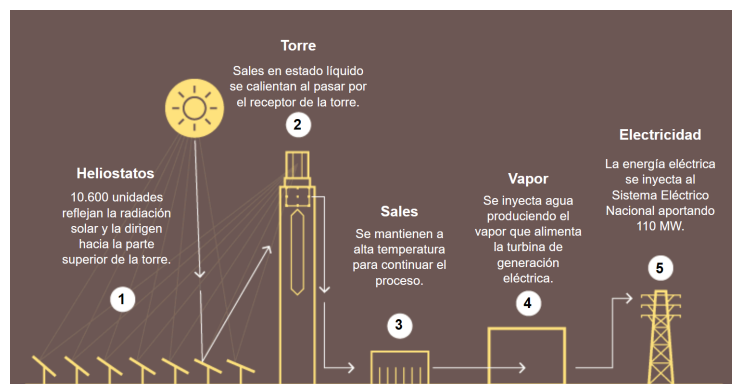


Figura 1. Esquema del funcionamiento de la planta termosolar Cerro Dominador. Extraído de Mercurio (2019).

En esta ocasión, se le solicita a su equipo de ingenieros e ingenieras el modelamiento del perfil de temperatura que se produce en las tuberías por donde circula la solución salina. Para el modelado, se utilizará de referencia el diagrama del sistema realizado por Asselineau, Pye y Coventry, (2022), el cual se muestra en la Figura 2.

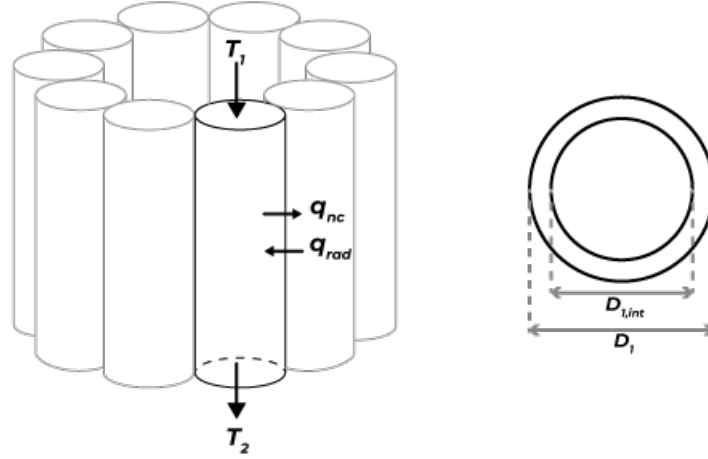


Figura 2. Esquema del concentrador solar y de cada tubería del sistema. Adaptado de Asselineau, Pye y Coventry (2022).

1. En primer lugar, se le solicita modelar el perfil de temperatura de una de las tuberías del concentrador mediante un balance diferencial. Para ello, considere que  $q_{rad}$  se compone del flux radiante entrante desde los heliostatos igual a  $0.6 \text{ MW/m}^2$ , menos el flux de radiación liberado hacia el ambiente. Considere que la temperatura de cada panel es de  $130^\circ\text{C}$ , el aire ambiental se encuentra a  $30^\circ\text{C}$ , la temperatura de entrada del fluido por la parte superior es de  $300^\circ\text{C}$  y que el fluido tiene una velocidad de  $2 \text{ m/s}$  (utilice estas temperaturas y no las de la introducción, ya que son casos distintos de operación). En la Tabla 1 se encuentran los parámetros del fluido y de las tuberías.
  - a) Realice un balance diferencial de energía bidimensional para una tubería y escriba las condiciones de borde del problema. Describa a qué corresponde cada término y justifique adecuadamente los supuestos realizados y las simplificaciones. Considere en  $z = H$  que la condición de borde es  $\frac{\partial T}{\partial z} = 0$  (**1.0 p**).
  - b) Realice nuevamente un balance diferencial considerando instantánea la transferencia de calor radial y escriba las condiciones de borde del sistema. Describa todos los términos y justifique adecuadamente cuando simplifique alguno de ellos. ¿Cuál es la diferencia entre el resultado de este balance con respecto a la pregunta a)? (**0.75 p**).
  - c) A partir de la ecuación de balance de energía, llegue a la misma expresión obtenida en b), justificando adecuadamente los supuestos realizados. ¿Cuándo usaría usted un balance diferencial y cuándo utilizaría la ecuación de balance de energía? (**0.5 p**).
2. Para resolver el perfil de temperatura, es necesario determinar el coeficiente de transferencia global de calor.
  - a) Calcule el coeficiente de transferencia de calor por convección dentro de la tubería ( $h_{int}$ ) (**0.75 p**).
  - b) Calcule el coeficiente de transferencia de calor por convección por fuera de la tubería ( $h_{ext}$ ). Para calcular el número de Grashof, utilice la temperatura de entrada del fluido  $T_1$  (**0.5 p**).
  - c) Determine el coeficiente global de transferencia de calor utilizando la siguiente fórmula (**0.5 p**):

$$U = \left( \frac{D_1}{D_{1,int} \cdot h_{int}} + \frac{D_1}{2k} \ln \left( \frac{D_1}{D_{1,int}} \right) + \frac{1}{h_{ext}} \right)^{-1}$$

3. Usted aprenderá a resolver problemas a los valores no lineales de manera más precisa utilizando métodos numéricos. En esta ocasión, usted intentará plantear una solución analítica aproximada considerando que el término de radiación es espacialmente uniforme.

- a) Asuma que la fuerza motriz de la radiación se puede aproximar a  $a \cdot T_{aire}^4 - e \cdot T_1^4$ , con  $T_1$  la temperatura de entrada del fluido. Esto implica un término de fuente de calor constante. Resuelva el perfil de temperatura  $T(z)$ . **(1.0 p)**.
- b) Calcule un nuevo término de flux radiante que se libera al aire, aproximándolo con la siguiente expresión:

$$q_{rad,out} = \frac{\sigma}{H} \cdot \int_0^H (a \cdot T_{aire}^4 - e \cdot T^4) dz$$

¿Cuánto cambió el perfil respecto al inicial? Grafique ambos perfiles y discuta. Para resolverlo se recomienda utilizar el *Jupyter Notebook* facilitado en Canvas **(0.5 p)**.

- c) ¿Cuánto debe ser el flujo másico de la solución salina para que a la salida de la tubería se alcance una temperatura de 550°C? **(0.5 p)**.

Tabla 1. Parámetros de la tubería y propiedades del fluido

Parámetros de la tubería	Valor	Unidad	Fuentes
H	20	m	Fuente
k	16.4	W/m °C	Fuente
$D_1$	0.04216	m	Fuente
$D_{1,int}$	0.038858	m	Fuente
$\beta$	0.0000136	1/K	Fuente
a	0.94	(absortividad)	Fuente
e	0.78	(emitancia)	Fuente
Propiedades del fluido	Valor	Unidad	Fuente
$\rho$	1816.97	kg/m <sup>3</sup>	Fuente
Cp	1519.8084	J/kg K	Fuente
$\mu$	0.00159	Pa s	Fuente
k	0.5301	W/m K	Fuente

## Referencias

- Asselineau, C.-A., Pye, J., y Coventry, J. (2022). Exploring efficiency limits for molten-salt and sodium external cylindrical receivers for third-generation concentrating solar power. *Solar Energy*, 240, 354-375. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2022.05.001>
- Cerro Dominador (s.f). *Somos Grupo Cerro, la primera planta termosolar de América Latina*. <https://grupocerro.com/quienes-somos/>