

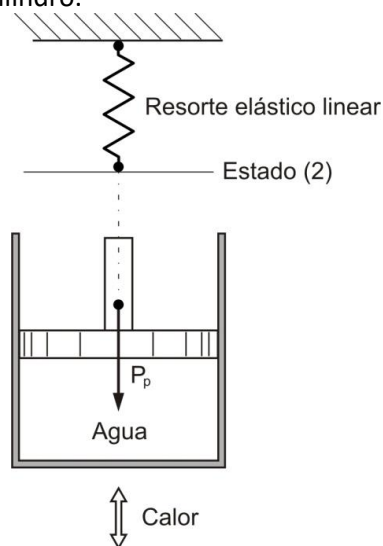
Tarea N°1

Los ejercicios deben ser resueltos usando Engineering Equation Solver (EES). El formato de entrega será un informe describiendo el modelo y comentando los resultados. Se debe entregar un anexo con el código EES.

Fecha de Entrega: 16 de agosto

Problema N°1:

Considere una masa de agua confinada en un cilindro por un pistón, conforme observado en la Figura. Asuma que no existe fricción entre el pistón y las paredes del cilindro.



En el estado inicial el agua se encuentra a 200°C en estado de líquido saturado. Luego calor es suministrado al sistema, que expande según un proceso isobárico. Cuando el volumen del fluido es igual a 0,1 m³, el pistón toca un resorte lineal elástico, cuya constante de elasticidad es 45,14 kN/m. A partir de este estado, el resorte actúa sobre el pistón, ejerciendo sobre el mismo una fuerza proporcional al desplazamiento (Ley de Hooke). El proceso continúa hasta que un estado para el cual la temperatura del vapor alcanza 800°C. El volumen total ocupado por el fluido en la condición de vapor saturado seco a 200°C es igual a 0,2m³ El área del pistón es igual a 0,1m² y la presión atmosférica es igual a P_o, desconocida.

Determinar:

- La presión y el volumen para los cuales el fluido alcanza el estado de vapor saturado
- La presión y el volumen para el estado final (800°C).
- El calor transferido en el proceso.
- El trabajo realizado por el sistema

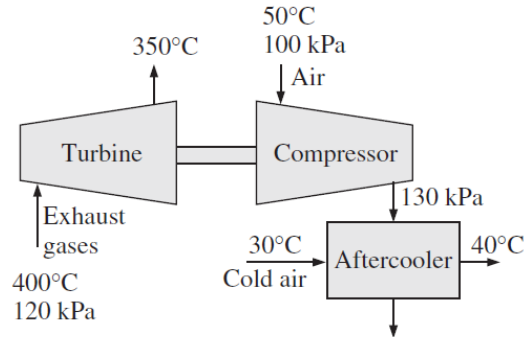
Además, grafique el proceso completo en los diagramas P-v y T-s. Realice un análisis de sensibilidad del trabajo realizado, con respecto a la constante de elasticidad del resorte.

Problema 2

El turbocompresor de un motor de combustión interna consiste en una turbina y un compresor. Los gases de escape pasan por una turbina para generar trabajo y ese trabajo es utilizado para accionar un compresor. De esta forma, la presión del aire que entra a la cámara de combustión (cilindros) aumenta. En un turbocompresor los gases de escape entran a 400°C y 120kPa, a una tasa de 0,02kg/s, y salen a 350°C. Por otro lado, el aire entra al compresor a 50°C y 100kPa y sale a 130kPa a una tasa de 0,018kg/s.

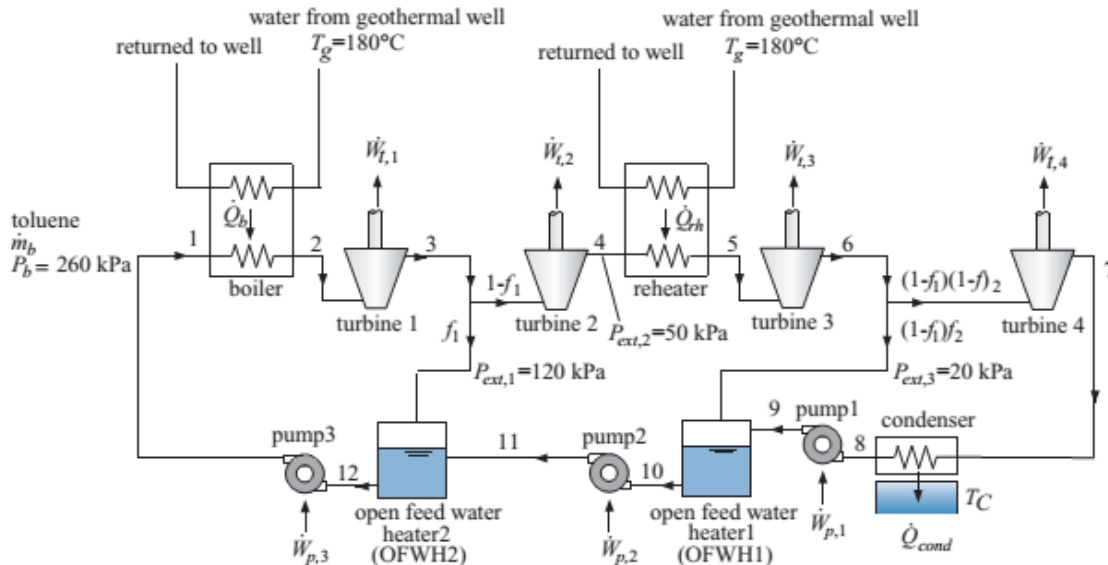
El compresor aumenta la presión del aire, aumentando consecuentemente su temperatura. Este aumento de temperatura aumenta la posibilidad de producir una explosión en el motor. Para prevenir esto, se utiliza un intercambiador de calor llamado “aftercooler”, el cual es colocado a la salida del compresor, donde el aire comprimido es enfriado con aire frío del ambiente. Se estima que el aftercooler debe disminuir la temperatura del aire comprimido hasta 80°C para prevenir la explosión. El aire ambiente entra al aftercooler a 30°C y sale a 40°C. Desconsiderando las pérdidas por fricción en la turbina y el compresor y asumiendo que los gases de combustión se comportan como aire puro, determine:

- La temperatura del aire a la salida del compresor
- El caudal mínimo de aire para prevenir la explosión
- Grafique los procesos en un diagrama P-h



Problema 3

En un sistema geotérmico, agua es bombeada al subsuelo (a varios kilómetros de profundidad), donde recibe calor desde una fuente geotérmica, y luego es retornada a la superficie para entregar energía a una planta geotérmica. Considere el ciclo Rankine-Geotérmico de la figura, el cual utiliza recalentamiento y regeneración a través de dos calentadores abiertos.



El ciclo Rankine usa Tolueno como fluido de trabajo, debido a la baja temperatura de la fuente de energía. La presión del generador de vapor (boiler) es $P_b = 260$ kPa y el agua del pozo geotérmico se encuentra a $T_g = 180^\circ\text{C}$. La planta rechaza calor a un reservorio de baja temperatura a $T_c = 30^\circ\text{C}$. Una fracción de flujo f_1 es extraído de la turbina 1 en el estado 3, a $P_{ext,1} = 120$ kPa, y es utilizado para alimentar el regenerador abierto 1. Subsecuentemente, el fluido extraído de la turbina 2 en el estado 4 se encuentra a $P_{ext,2} = 50$ kPa, el cual es recalentado. El fluido es finalmente extraído en el estado 6 desde la turbina 3 a $P_{ext,3} = 20$ kPa, donde una fracción f_2 es suministrada al regenerador abierto 2. El flujo remanente expande en la turbina 4, descargando en el condensador. Las eficiencias de las cuatro turbinas son $\eta_{t,1} = 0.85$, $\eta_{t,2} = 0.86$, $\eta_{t,3} = 0.88$ y $\eta_{t,4} = 0.89$, respectivamente.

El flujo que sale del condensador es bombeado hasta una presión $P_{ext,3}$, a través de la bomba 1, cuya eficiencia es $\eta_{p,1} = 0.65$. Líquido saturado es tomado desde el regenerador 1 y bombeado hasta la presión de extracción de la turbina 1 $P_{ext,1} = 120$ kPa, utilizando la bomba 2 de eficiencia $\eta_{p,2} = 0.67$. Líquido saturado es bombeado desde el regenerador 2 a

través de la bomba 3 de eficiencia $\eta_{p,3} = 0.69$, descargando a la presión de operación del boiler. El boiler y el recalentador operan con una diferencia de temperaturas de $T_b = 15 \text{ K}$ and $T_{rh} = 10 \text{ K}$, respectivamente. El “pinch point” para ambos intercambiadores de calor ocurre en el extremo cálido. Así, el agua es descargada del boiler a $T_2 = T_{hf,in} - T_b$, mientras que del recalentador lo hace a $T_5 = T_{hf,in} - T_{rh}$. La diferencia de temperaturas asociada al condensador es $T_{cond} = 5 \text{ K}$. Desconsidere las pérdidas de presión en todos los intercambiadores de calor.

- Desarrolle dos procedimientos en EES (PROCEDURE) para facilitar el análisis. Uno debería ser capaz de analizar cualquiera de las cuatro turbinas en el sistema. El otro debería ser capaz de analizar cualquiera de las tres bombas
- Determine cada uno de los estados termodinámicos en el ciclo. Estime una tabla (Array) que incluya la entropía, entalpía, temperatura y presión para cada estado. Grafique esos estados en un diagrama T-s para el tolueno, indicando en el gráfico el número de cada estado.
- Determine la eficiencia del ciclo.
- La tasa de calor que puede ser extraída del reservorio geotérmico es $Q_g = 2.5 \text{ MW}$. (esto es la suma del calor transferido en el boiler y el recalentador). Determine el flujo másico de Tolueno que fluye en el boiler y el trabajo neto producido por la planta.
- Determine el valor de la electricidad producida por la planta en un horizonte de 10 años. Asuma que puede vender la electricidad al sistema interconectado a un precio de $e_c = 0.055 \text{ \$/kWh}$ y desconsidere el valor del dinero en el tiempo.
- Determine la efectividad del boiler y del condensador.

El área de estos intercambiadores de calor está directamente relacionada con su efectividad. Su compañía ha ensayado varios intercambiadores de calor operando con Tolueno, lo que llevó a determinar la siguiente correlación para el área de intercambio térmico (A) en función de la efectividad (ε) y el flujo másico de Tolueno ($\dot{m}$)

$$A = K_{HX} \dot{m} (-\ln(1 - \varepsilon))$$

donde $K_{HX} = 170 \text{ m}^2\text{s/kg}$ es una constante empírica apropiada tanto para el boiler, como para el condensador. El costo de estos intercambiadores de calor es escalable linealmente con el área, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\text{Costo} = C_{HX} A$$

donde $C_{HX} = 50 \text{ \$/m}^2$ es el coeficiente de costo que también es representativo tanto para el boiler como para el condensador.

- Determine el tamaño (área) y costo del boiler y del condensador.
- Usted ha estimado que el costo de capital del sistema de balance de la planta (turbinas, bombas, recalentador, etc.) es $\text{Cost}_{\text{mech}} = 500 \times 10^3 \text{ \$}$. ¿Cuánto es el beneficio económico neto de la planta en 10 años? (desconsidere el valor del dinero en el tiempo)
- Grafique la relación entre el beneficio económico y la diferencia de temperatura del boiler ($2 \text{ K} < T_b < 30 \text{ K}$). debería ver la existencia de un óptimo valor para la diferencia de temperaturas en el boiler. Explique porqué existe tal punto óptimo.
- Use la capacidad de optimización de EES (Min/Max) para determinar el óptimo económico para las temperaturas de aproximación del boiler y del condensador. Note que necesitará establecer límites razonables para el dominio de búsqueda (e.g. entre 2 K y 30 K).