

Análisis Termodinámico de un Ciclo Rankine Solar con Tolueno

Daniel Fernando Aranda Contreras, Jeremy Carreño Fontalvo, Santiago Silva Quintero

Escuela E3T, Universidad Industrial de Santander

January 7, 2026

Introducción y Conceptos Clave

- **Título del Estudio:** ANÁLISIS TERMODINÁMICO DE UN CICLO RANKINE SOLAR CON TOLUENO COMO FLUIDO DE TRABAJO Y RECUPERACIÓN DE CALOR.
- **Autores:** Daniel Fernando Aranda Contreras, Jeremy Carreño Fontalvo, Santiago Silva Quintero (Escuela E3T, Universidad Industrial de Santander).
- **Resumen del Estudio:**
 - Aborda el análisis termodinámico de una planta de energía solar basada en un ciclo Rankine.
 - Utiliza la energía solar como fuente de calor primaria.
 - Se emplea tolueno como fluido de trabajo, justificado por la baja temperatura operativa del ciclo en comparación con el agua.
- **Componentes Principales del Sistema:**
 - Calentador, recalentador, turbina de alta presión, turbina de baja presión, intercambiador de calor recuperativo, bomba y condensador.
- **Objetivos del Estudio:**
 - Analizar y calcular las presiones en cada estado, el trabajo específico de las turbinas y la bomba, y la transferencia de calor en los componentes.

Caso de Estudio y Descripción del Ciclo

- Una planta de energía solar con un ciclo Rankine que utiliza energía solar como fuente de calor.
- Receptores parabólicos concentran la energía solar en una tubería con fluido de transferencia de calor.
- El fluido de transferencia de calor entra a la planta a $T_{f,in} = 288^\circ C$.
- **Fluido de Trabajo:** Se usa tolueno debido a la baja temperatura de trabajo del ciclo, lo que lo hace más eficiente que el agua.
- **Puntos Clave del Ciclo:**
 - Tolueno sale del calentador a $T_1 = T_{f,in} - \Delta T_H$, con $\Delta T_H = 20\text{ K}$.
 - Expansión en turbina de alta presión (HPt) de $P_1 = P_{high} = 1034\text{ kPa}$ a $P_2 = P_{reheat} = 250\text{ kPa}$, con $\eta_{HPt} = 0.81$.
 - Recalentamiento a $T_3 = T_{f,in} - \Delta T_{RH}$, con $\Delta T_{RH} = 20\text{ K}$.
 - Expansión en turbina de baja presión (LPt) con $\eta_{LPt} = 0.78$.
 - Presión de condensación ajustada para tolueno como líquido saturado a $T_6 = T_{amb} + \Delta T_c$, donde $T_{amb} = 35^\circ C$ y $\Delta T_c = 15\text{ K}$.
 - Bombeo a alta presión con eficiencia $\eta_p = 0.6$.
 - Recuperación de calor del tolueno que sale de la turbina de baja presión mediante un intercambiador de calor regenerativo.

Cálculos y Resultados Clave

- Presiones en los Estados:

- $P_1 = 1034 \text{ kPa}$
- $P_2 = 250 \text{ kPa}$
- $P_3 = 250 \text{ kPa}$
- $P_4 = P_5 = P_6 = 12.29 \text{ kPa}$
(presión de condensación)
- $P_6 = 12.13 \text{ kPa}$ (para
 $T_6 = 323.15 \text{ K}$ o 50°C)
- $P_7 = P_6$ (salida de la bomba)
- $P_8 = P_1 = 1034 \text{ kPa}$
(salida del compresor)

- Generación de Entropía Específica ($\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$):

- Turbina de Alta Presión ($s_{gen,HPt}$): $s_2 - s_1 = 0.231$
- Turbina de Baja Presión ($s_{gen,LPt}$): $s_4 - s_3 = 0.06$
- Bomba ($s_{gen,P}$):
 $s_7 - s_6 = 0.006$
- Recuperador ($s_{gen,r}$): -1.837
(Nota: Un valor negativo para la generación de entropía total es termodinámicamente incorrecto. Podría ser un error de signo o una referencia a una Δs específica de un flujo).

- Eficiencia Térmica Global

Diagrama T-s y Conclusiones

- El diagrama T-s visualiza el comportamiento del ciclo y sus estados termodinámicos.
- **Conclusiones:**
 - Los datos termodinámicos (Cuadro I) son fundamentales para el análisis energético y exergético del ciclo.
 - La coherencia de estos datos es crucial para verificar el cumplimiento de la primera y segunda ley de la termodinámica (Cuadros II y III).
 - El uso de tolueno evidencia beneficios en sistemas de recuperación de calor a temperaturas intermedias.
 - La identificación del equipo con mayor generación de entropía permite áreas de mejora en el diseño y operación del ciclo.

Referencias

-  Aranda Contreras, D. F., Carreño Fontalvo, J., & Silva Quintero, S. (s.f.). ANÁLISIS TERMODINÁMICO DE UN CICLO RANKINE SOLAR CON TOLUENO COMO FLUIDO DE TRABAJO Y RECUPERACIÓN DE CALOR. *Escuela E3T, Universidad Industrial de Santander.*
-  Resumen. (s.f.).
-  Se emplea tolueno como fluido de trabajo, una elección justificada por la baja temperatura operativa del ciclo en comparación con el agua. (s.f.).
-  El sistema incorpora un calentador, un recalentador, una turbina de alta presión, una turbina de baja presión, un intercambiador de calor recuperativo, una bomba y un condensador. (s.f.).
-  El fluido de transferencia de calor solar ingresa a la planta a $T_{f,in} = 288^{\circ}\text{C}$. (s.f.).