

# 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  $T_{f,in} = 288^\circ\text{C}$ .
- **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  $T_{amb} = 35^\circ\text{C}$  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.

## • 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  $50^\circ \text{C}$ )
- $P_7 = P_6$  (salida de la  
bomba)
- $P_8 = P_1 = 1034 \text{ kPa}$

## • Generación de Entropía Específica (kJ/kg·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  $\Delta s$  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.).

