

# pruebas

June 17, 2025

```
[1]: import numpy as np
```

## 1 Prueba 1

### 1.1 Problema y solución

**9-15** Un ciclo de potencia con gas ideal se lleva a cabo dentro de un sistema cerrado de émbolo-cilindro, y consiste en tres procesos como sigue:

1-2 Compresión isentrópica desde una temperatura inicial de  $27^\circ\text{C}$ , con una relación de compresión de 6.

2-3 Expansión isotérmica (a temperatura constante) al volumen inicial.

3-1 Rechazo de calor a volumen constante al estado inicial.

Suponga que el gas tiene propiedades constantes con  $c_v = 0.6 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$ ,  $c_p = 0.9 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$ ,  $R = 0.3 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$  y  $k = 1.5$ .

- Trace los diagramas  $P$ - $v$  y  $T$ - $s$  para el ciclo.
- Determine la temperatura máxima del ciclo, en K.
- Calcule el trabajo de expansión, en kJ/kg.
- Calcule el trabajo de compresión, en kJ/kg.
- Calcule la eficiencia térmica del ciclo.

**9-15** The three processes of an ideal gas power cycle are described. The cycle is to be shown on the  $P$ - $v$  and  $T$ - $s$  diagrams, and the maximum temperature, expansion and compression works, and thermal efficiency are to be determined.

**Assumptions** 1 Kinetic and potential energy changes are negligible. 2 The ideal gas has constant specific heats.

**Properties** The properties of ideal gas are given as  $R = 0.3 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ ,  $c_p = 0.9 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ ,  $c_v = 0.6 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ , and  $k = 1.5$ .

**Analysis** (a) The  $P$ - $v$  and  $T$ - $s$  diagrams of the cycle are shown in the figures.

(b) The maximum temperature is determined from

$$T_{\max} = T_2 = T_1 \left( \frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1} = T_1 r^{k-1} = (27 + 273 \text{ K})(6)^{1.5-1} = \mathbf{734.8 \text{ K}}$$

(c) An energy balance during process 2-3 gives

$$q_{2-3,\text{in}} - w_{2-3,\text{out}} = \Delta u_{2-3} = c_v(T_3 - T_2) = 0 \quad \text{since } T_3 = T_2$$

$$q_{2-3,\text{in}} = w_{2-3,\text{out}}$$

Then, the work of compression is

$$q_{2-3,\text{in}} = w_{2-3,\text{out}} = \int_2^3 P d v = \int_2^3 \frac{RT}{v} d v = RT_2 \ln \frac{v_3}{v_2} = RT_2 \ln r$$

$$= (0.3 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K})(734.8 \text{ K}) \ln 6 = \mathbf{395.0 \text{ kJ/kg}}$$

(d) The work during isentropic compression is determined from an energy balance during process 1-2:

$$w_{1-2,\text{in}} = \Delta u_{1-2} = c_v(T_2 - T_1)$$

$$= (0.6 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K})(734.8 - 300)$$

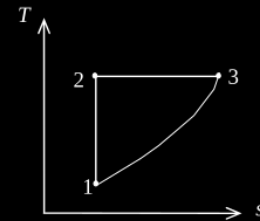
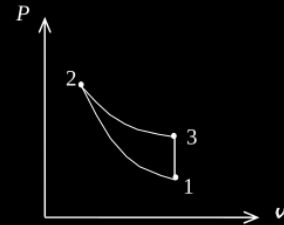
$$= \mathbf{260.9 \text{ kJ/kg}}$$

(e) Net work output is

$$w_{\text{net}} = w_{2-3,\text{out}} - w_{1-2,\text{in}} = 395.0 - 260.9 = 134.1 \text{ kJ/kg}$$

The thermal efficiency is then

$$\eta_{\text{th}} = \frac{w_{\text{net}}}{q_{\text{in}}} = \frac{134.1 \text{ kJ}}{395.0 \text{ kJ}} = 0.339 = \mathbf{33.9\%}$$



## 1.2 Solución vía calculadora Termodinámica

```
[2]: from modelos import ModeloGasIdeal
from ciclo_estados import CicloTermodinamico

modelo1 = ModeloGasIdeal(R_gas=0.3*1000,cp=0.9*1000,cv=0.6*1000)
ciclo1 = CicloTermodinamico(modelo1,n_estados = 3, n_values = 35)

ciclo1.agregar_estado(1, T=27+273.15, v=6)
ciclo1.agregar_estado(2, v=1)
ciclo1.agregar_estado(3, v=6)

ciclo1.proceso_isoentropico(ciclo1.estados[0],ciclo1.estados[1])
ciclo1.proceso_isotermico(ciclo1.estados[1],ciclo1.estados[2])
ciclo1.proceso_isocorico(ciclo1.estados[2], ciclo1.estados[0])
```

```
ciclo1.mostrar_ciclo()

ciclo1.graficar_diagrama_Ts()
ciclo1.graficar_diagrama_Pv()
```

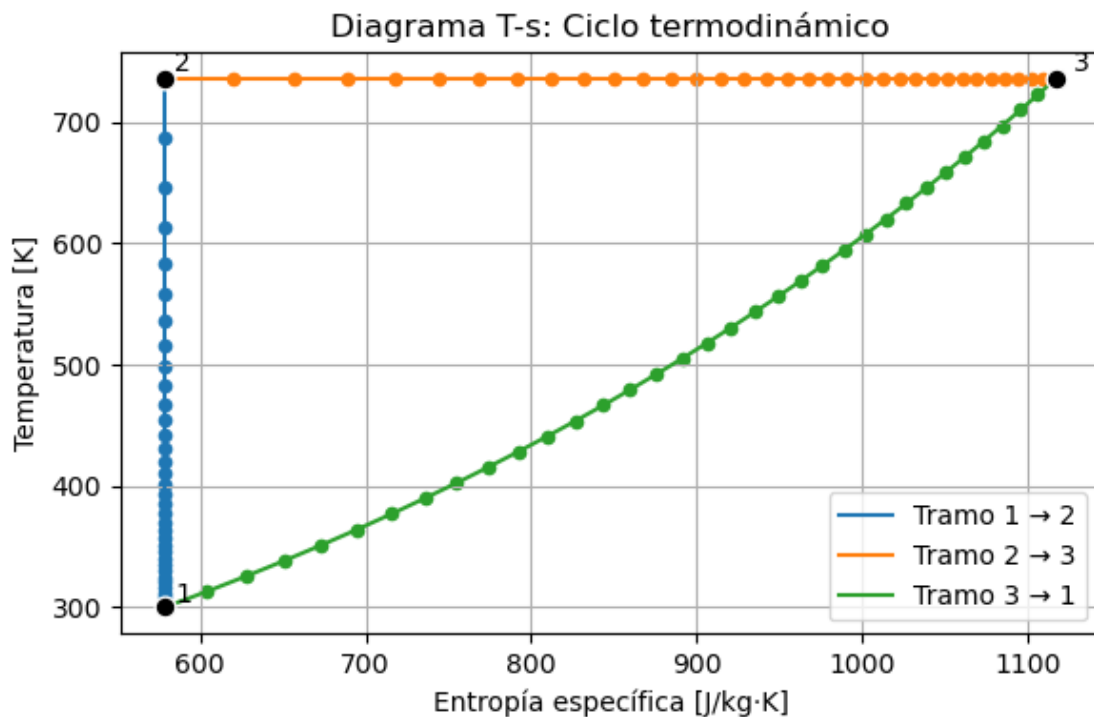
Los volúmenes de los estados 3 y 1 fueron definidos y son iguales.

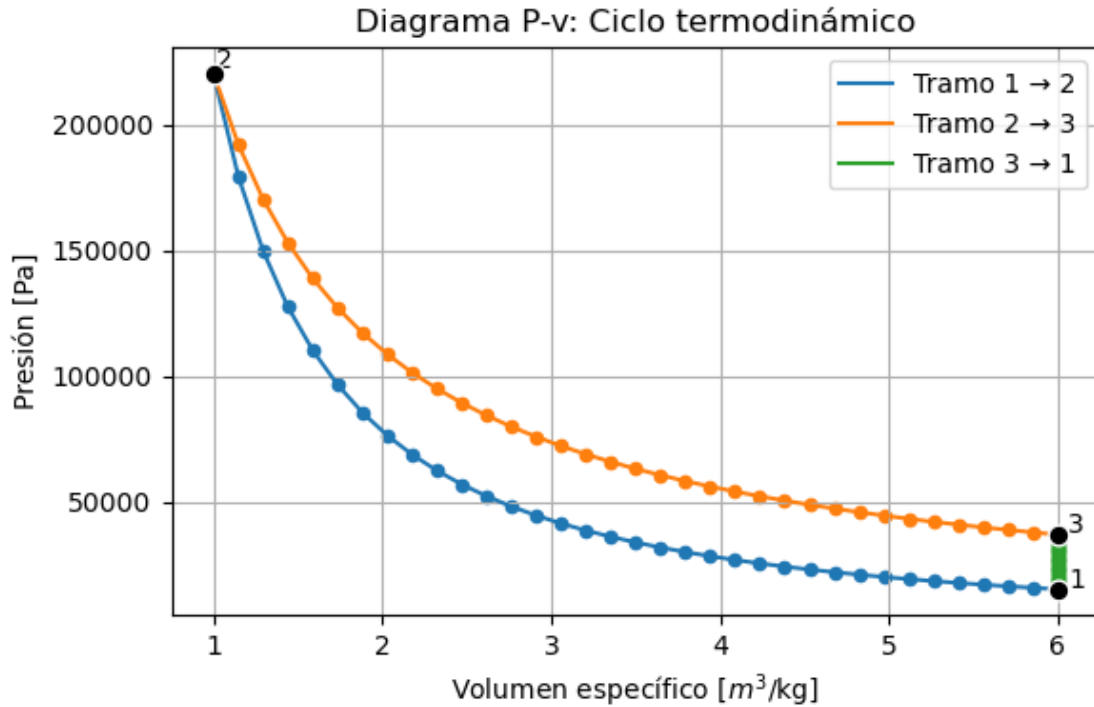
1:  $P=15007.50$  Pa,  $T=300.15$  K,  $v=6.00$  m<sup>3</sup>/kg,  $u=180090.00$  J/kg,  $h=270135.00$  J/kg,  $s=578.95$  J/kg·K

2:  $P=220564.30$  Pa,  $T=735.21$  K,  $v=1.00$  m<sup>3</sup>/kg,  $u=441128.61$  J/kg,  $h=661692.91$  J/kg,  $s=578.95$  J/kg·K

3:  $P=36760.72$  Pa,  $T=735.21$  K,  $v=6.00$  m<sup>3</sup>/kg,  $u=441128.61$  J/kg,  $h=661692.91$  J/kg,  $s=1116.48$  J/kg·K

[2]: (<Figure size 600x400 with 1 Axes>,  
 <Axes: title={'center': 'Diagrama P-v: Ciclo termodinámico'}, xlabel='Volumen específico [m<sup>3</sup>/kg]', ylabel='Presión [Pa]'>)





## 2 Prueba 2

### 2.1 Problema y solución

**9-74** Considere un ciclo Ericsson ideal con aire como fluido de trabajo, ejecutado en un sistema de flujo estacionario. El aire está a  $27^\circ\text{C}$  y  $120\text{ kPa}$  al inicio del proceso de compresión isotérmica, durante el cual se rechazan  $150\text{ kJ/kg}$  de calor. La transferencia de calor al aire ocurre a  $1200\text{ K}$ . Determine *a)* la presión máxima en el ciclo, *b)* la producción neta de trabajo por unidad de masa de aire y *c)* la eficiencia térmica del ciclo.

*Respuestas:* *a)*  $685\text{ kPa}$ , *b)*  $450\text{ kJ/kg}$ , *c)*  $75\text{ por ciento}$

**9-74** An ideal steady-flow Ericsson engine with air as the working fluid is considered. The maximum pressure in the cycle, the net work output, and the thermal efficiency of the cycle are to be determined.

**Assumptions** Air is an ideal gas.

**Properties** The gas constant of air is  $R = 0.287 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$  (Table A-1).

**Analysis** (a) The entropy change during process 3-4 is

$$s_4 - s_3 = -\frac{q_{34,\text{out}}}{T_0} = -\frac{150 \text{ kJ/kg}}{300 \text{ K}} = -0.5 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$$

and

$$\begin{aligned} s_4 - s_3 &= c_p \ln \frac{T_4}{T_3} - R \ln \frac{P_4}{P_3} \\ &= -(0.287 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}) \ln \frac{P_4}{120 \text{ kPa}} = -0.5 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K} \end{aligned}$$

It yields  $P_4 = 685.2 \text{ kPa}$

(b) For reversible cycles,

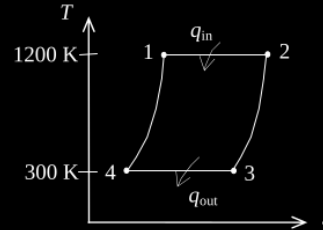
$$\frac{q_{\text{out}}}{q_{\text{in}}} = \frac{T_L}{T_H} \longrightarrow q_{\text{in}} = \frac{T_H}{T_L} q_{\text{out}} = \frac{1200 \text{ K}}{300 \text{ K}} (150 \text{ kJ/kg}) = 600 \text{ kJ/kg}$$

Thus,

$$w_{\text{net,out}} = q_{\text{in}} - q_{\text{out}} = 600 - 150 = 450 \text{ kJ/kg}$$

(c) The thermal efficiency of this totally reversible cycle is determined from

$$\eta_{\text{th}} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{300 \text{ K}}{1200 \text{ K}} = 75.0\%$$



## 2.2 Solución vía calculadora termodinámica

```
[3]: modelo2 = ModeloGasIdeal(R_gas=0.287*1000,cp=0.9*1000,cv=0.6*1000)
ciclo2 = CicloTermodinamico(modelo2,n_estados = 4)

# El orden de definicion de los estados no importa siempre que se tenga
# coherencia al unirlos mediante ciclos
# No obstante se recomienda hacer que el primer estado del ciclo sea el que
# esta totalmente definido
ciclo2.agregar_estado(1, T = 1200)
ciclo2.agregar_estado(2, T = 1200)
ciclo2.agregar_estado(3, T=300.15, P = 120*1000)
ciclo2.agregar_estado(4)

# Definir el proceso de transferencia de calor entre los estados 3 y 4, nos dota
# de la informacion necesaria para definir los estados 1 y 2 mediante sus
# procesos.
calor_out = -150*1000
ciclo2.proceso_in_or_out_calor(ciclo2.estados[2], ciclo2.estados[3], calor_out)

# Proceso isobarico entre el estado 2 y el 3
ciclo2.proceso_isobarico(ciclo2.estados[1], ciclo2.estados[2])
```

```

# Proceso isobarico entre el estado 4 y el 1
ciclo2.proceso_isobarico(ciclo2.estados[3], ciclo2.estados[0])

# A pesar de que el ciclo ya tiene todos los estados definidos, es necesario
↳ cerrarlo con el proceso que hay entre los estados 1 y 2

ciclo2.proceso_in_or_out_calor(ciclo2.estados[0], ciclo2.estados[1],
↳ -calor_out*ciclo2.estados[0].T/ciclo2.estados[2].T)

ciclo2.mostrar_ciclo()
ciclo2.graficar_diagrama_Ts()
ciclo2.graficar_diagrama_Pv()

```

Combinación de propiedades no soportada o insuficiente.

Las temperaturas de los estados 1 y 2 fueron definidas y son iguales.

Las entropías de los estados 1 y 2 fueron definidos pero no son iguales. Son congruentes con el cambio esperado

1: P=684563.48 Pa, T=1200.00 K, v=0.50 m<sup>3</sup>/kg, u=720000.00 J/kg, h=1080000.00 J/kg, s=704.93 J/kg·K

2: P=120000.00 Pa, T=1200.00 K, v=2.87 m<sup>3</sup>/kg, u=720000.00 J/kg, h=1080000.00 J/kg, s=1204.68 J/kg·K

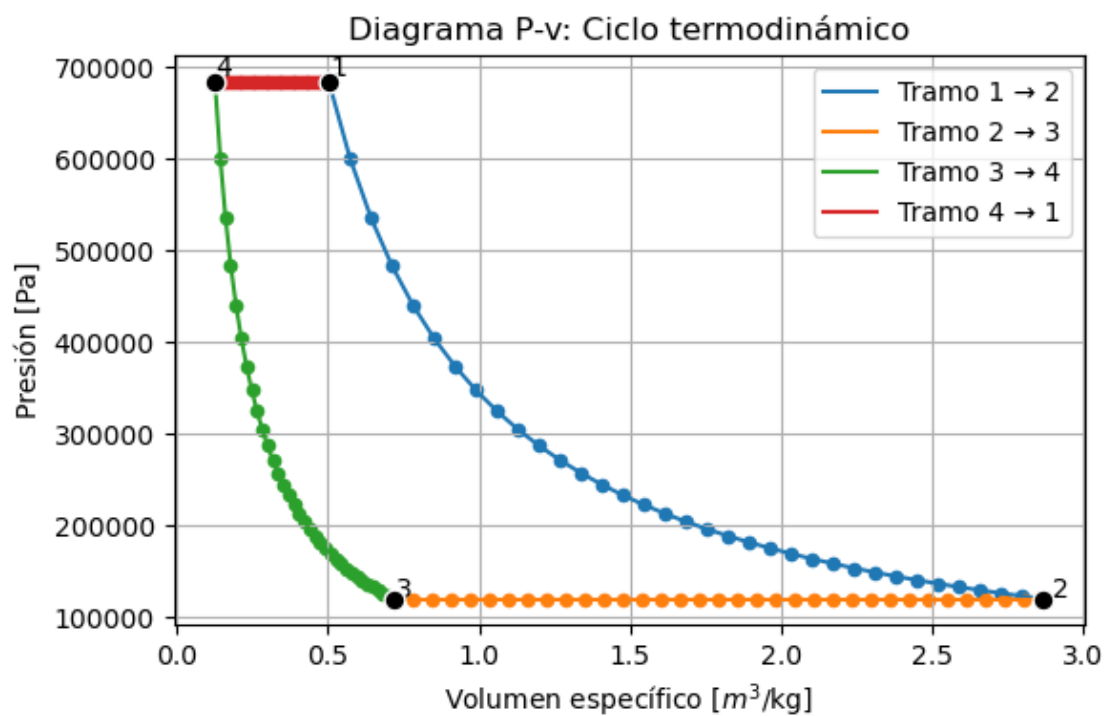
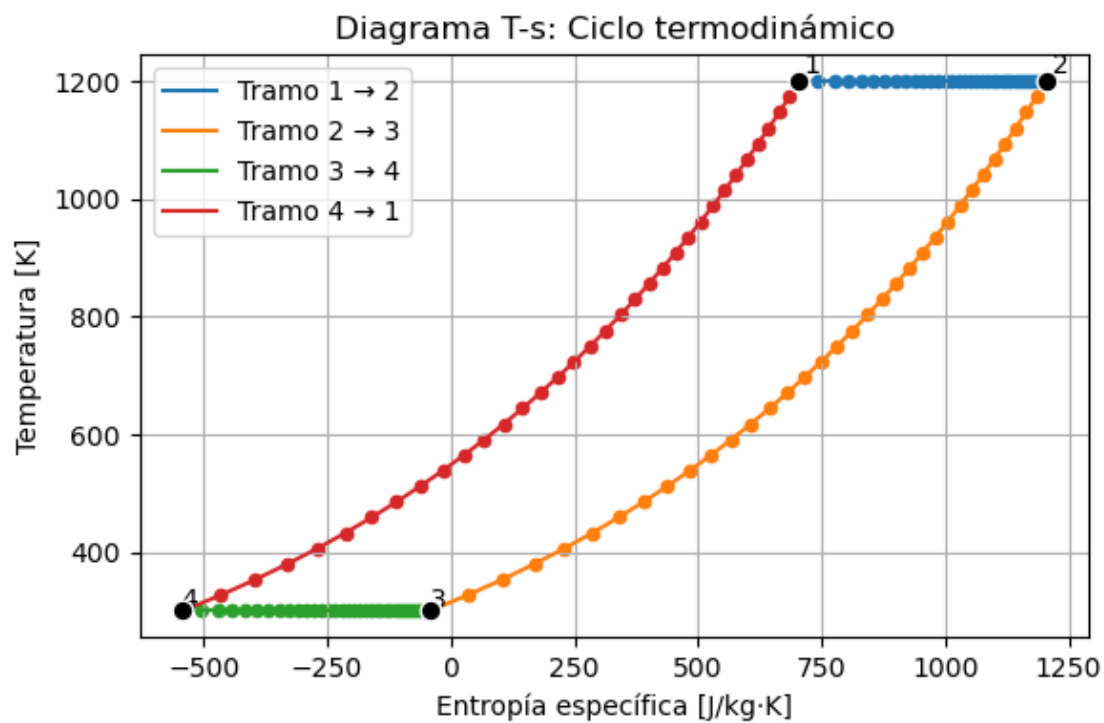
3: P=120000.00 Pa, T=300.15 K, v=0.72 m<sup>3</sup>/kg, u=180090.00 J/kg, h=270135.00 J/kg, s=-42.53 J/kg·K

4: P=684563.48 Pa, T=300.15 K, v=0.13 m<sup>3</sup>/kg, u=180090.00 J/kg, h=270135.00 J/kg, s=-542.28 J/kg·K

```

[3]: (<Figure size 600x400 with 1 Axes>,
      <Axes: title={'center': 'Diagrama P-v: Ciclo termodinámico'}, xlabel='Volumen
      específico [m^3/kg]', ylabel='Presión [Pa]')>)

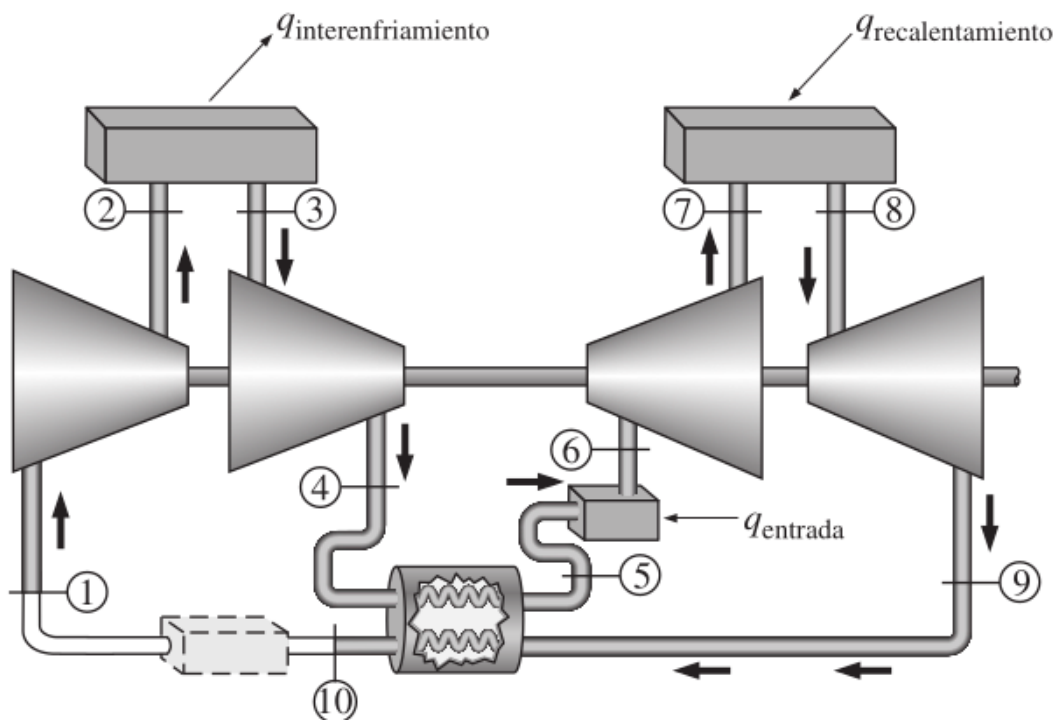
```



### 3 Prueba 3

#### 3.1 Problema y solución

**9-133** Entra aire a una turbina de gas con dos etapas de compresión y dos etapas de expansión, a 100 kPa y 17 °C. El sistema usa un regenerador, así como recalentamiento e interenfriamiento. La relación de presiones a través de cada compresor es 4; se agregan 300 kJ/kg de calor al aire en cada cámara de combustión, y el regenerador opera perfectamente al aumentar la temperatura del aire frío en 20 °C. Determine la eficiencia térmica de este sistema. Suponga operaciones isentrópicas para todas las etapas de compresor y de turbina, y use calores específicos constantes a temperatura ambiente.



**FIGURA P9-133**



**9-133** A regenerative gas-turbine cycle with two stages of compression and two stages of expansion is considered. The thermal efficiency of the cycle is to be determined.

**Assumptions** 1 The air standard assumptions are applicable. 2 Air is an ideal gas with constant specific heats at room temperature. 3 Kinetic and potential energy changes are negligible.

**Properties** The properties of air at room temperature are  $c_p = 1.005 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$  and  $k = 1.4$  (Table A-2a).

**Analysis** The temperatures at various states are obtained as follows

$$T_2 = T_4 = T_1 r_p^{(k-1)/k} = (290 \text{ K})(4)^{0.4/1.4} = 430.9 \text{ K}$$

$$T_5 = T_4 + 20 = 430.9 + 20 = 450.9 \text{ K}$$

$$q_{\text{in}} = c_p (T_6 - T_5)$$

$$T_6 = T_5 + \frac{q_{\text{in}}}{c_p} = 450.9 \text{ K} + \frac{300 \text{ kJ/kg}}{1.005 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}} = 749.4 \text{ K}$$

$$T_7 = T_6 \left( \frac{1}{r_p} \right)^{(k-1)/k} = (749.4 \text{ K}) \left( \frac{1}{4} \right)^{0.4/1.4} = 504.3 \text{ K}$$

$$T_8 = T_7 + \frac{q_{\text{in}}}{c_p} = 504.3 \text{ K} + \frac{300 \text{ kJ/kg}}{1.005 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}} = 802.8 \text{ K}$$

$$T_9 = T_8 \left( \frac{1}{r_p} \right)^{(k-1)/k} = (802.8 \text{ K}) \left( \frac{1}{4} \right)^{0.4/1.4} = 540.2 \text{ K}$$

$$T_{10} = T_9 - 20 = 540.2 - 20 = 520.2 \text{ K}$$

The heat input is

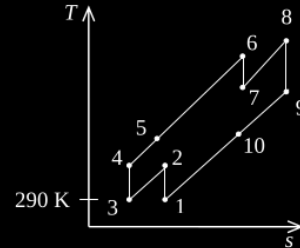
$$q_{\text{in}} = 300 + 300 = 600 \text{ kJ/kg}$$

The heat rejected is

$$\begin{aligned} q_{\text{out}} &= c_p (T_{10} - T_1) + c_p (T_2 - T_3) \\ &= (1.005 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K})(520.2 - 290 + 430.9 - 290) \text{ K} \\ &= 373.0 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

The thermal efficiency of the cycle is then

$$\eta_{\text{th}} = 1 - \frac{q_{\text{out}}}{q_{\text{in}}} = 1 - \frac{373.0}{600} = \mathbf{0.378}$$



### 3.2 Solución vía calculadora termodinámica

```
[4]: modelo3 = ModeloGasIdeal(R_gas=0.287*1000,cp=1.005*1000,cv=np.round(1.005*1000/
    ↪1.4,6)) # Tener cuidado con la definicion de los cp y cv,

    ↪causar grander errores si no se modifican segun se requiera
ciclo3 = CicloTermodinamico(modelo3,n_estados = 10)

calor_camara = 300*1000 # J/kg
intercambiador_T = 20 # K

ciclo3.agregar_estado(1, P= 100*1000, T = 17+273.15)
ciclo3.agregar_estado(2, P = 4*100*1000)
ciclo3.agregar_estado(3, T = ciclo3.estados[0].T)
```

```

ciclo3.agregar_estado(4, P = (4**2)*100*1000)
ciclo3.agregar_estado(5)
ciclo3.agregar_estado(6, P = 16*100*1000)
ciclo3.agregar_estado(7, P = 4*100*1000)
ciclo3.agregar_estado(8,P = 4*100*1000)
ciclo3.agregar_estado(9, P = 1*100*1000)
ciclo3.agregar_estado(10)

ciclo3.proceso_isoentropico(ciclo3.estados[0], ciclo3.estados[1])
ciclo3.proceso_isobarico(ciclo3.estados[1],ciclo3.estados[2])
ciclo3.proceso_isoentropico(ciclo3.estados[2], ciclo3.estados[3])
ciclo3.estados[4].T = ciclo3.estados[3].T + intercambiador_T
ciclo3.proceso_isobarico(ciclo3.estados[3],ciclo3.estados[4] )
ciclo3.estados[5].T = ciclo3.estados[4].T + calor_camara/modelo3.cp
ciclo3.proceso_isobarico(ciclo3.estados[4], ciclo3.estados[5])
ciclo3.proceso_isoentropico(ciclo3.estados[5], ciclo3.estados[6])
ciclo3.estados[7].T = ciclo3.estados[6].T + calor_camara/modelo3.cp
ciclo3.proceso_isobarico(ciclo3.estados[6],ciclo3.estados[7])
ciclo3.proceso_isoentropico(ciclo3.estados[7],ciclo3.estados[8])
ciclo3.estados[9].T = ciclo3.estados[8].T - intercambiador_T
ciclo3.proceso_isobarico(ciclo3.estados[8],ciclo3.estados[9])
ciclo3.proceso_isobarico(ciclo3.estados[9],ciclo3.estados[0])

ciclo3.mostrar_ciclo()

ciclo3.graficar_diagrama_Ts()
ciclo3.graficar_diagrama_Pv()

```

Las presiones de los estados 5 y 6 fueron definidas y son iguales.

Las presiones de los estados 7 y 8 fueron definidas y son iguales.

Las presiones de los estados 10 y 1 fueron definidas y son iguales.

1: P=100000.00 Pa, T=290.15 K, v=0.83 m<sup>3</sup>/kg, u=208286.25 J/kg, h=291600.75 J/kg, s=-23.56 J/kg·K

2: P=400000.00 Pa, T=431.08 K, v=0.31 m<sup>3</sup>/kg, u=309451.19 J/kg, h=433231.67 J/kg, s=-23.56 J/kg·K

3: P=400000.00 Pa, T=290.15 K, v=0.21 m<sup>3</sup>/kg, u=208286.25 J/kg, h=291600.75 J/kg, s=-421.42 J/kg·K

4: P=1600000.00 Pa, T=431.08 K, v=0.08 m<sup>3</sup>/kg, u=309451.19 J/kg, h=433231.67 J/kg, s=-421.42 J/kg·K

5: P=1600000.00 Pa, T=451.08 K, v=0.08 m<sup>3</sup>/kg, u=323808.34 J/kg, h=453331.67 J/kg, s=-375.85 J/kg·K

6: P=1600000.00 Pa, T=749.58 K, v=0.13 m<sup>3</sup>/kg, u=538094.05 J/kg, h=753331.67 J/kg, s=134.58 J/kg·K

7: P=400000.00 Pa, T=504.53 K, v=0.36 m<sup>3</sup>/kg, u=362181.81 J/kg, h=507054.53 J/kg, s=134.58 J/kg·K

8: P=400000.00 Pa, T=803.04 K, v=0.58 m<sup>3</sup>/kg, u=576467.52 J/kg, h=807054.53 J/kg, s=601.67 J/kg·K

9: P=100000.00 Pa, T=540.51 K, v=1.55 m<sup>3</sup>/kg, u=388010.33 J/kg, h=543214.46 J/kg,

$s=601.67 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$

10:  $P=100000.00 \text{ Pa}$ ,  $T=520.51 \text{ K}$ ,  $v=1.49 \text{ m}^3/\text{kg}$ ,  $u=373653.18 \text{ J/kg}$ ,  $h=523114.46$

$\text{J/kg}$ ,  $s=563.78 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$

[4]: (<Figure size 600x400 with 1 Axes>,  
<Axes: title={'center': 'Diagrama P-v: Ciclo termodinámico'}, xlabel='Volumen  
específico [ $\text{m}^3/\text{kg}$ ]', ylabel='Presión [ $\text{Pa}$ ]'>)

