



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

**TURBO MÁQUINAS TÉRMICAS. APLICACIONES NAVALES.
CURSO 2012/2013**

Tema 3: Ciclos básicos de turbinas de gas. Variaciones del ciclo de gas.

ISBN 978-84-16989-24-9

Juan Carlos Lozano

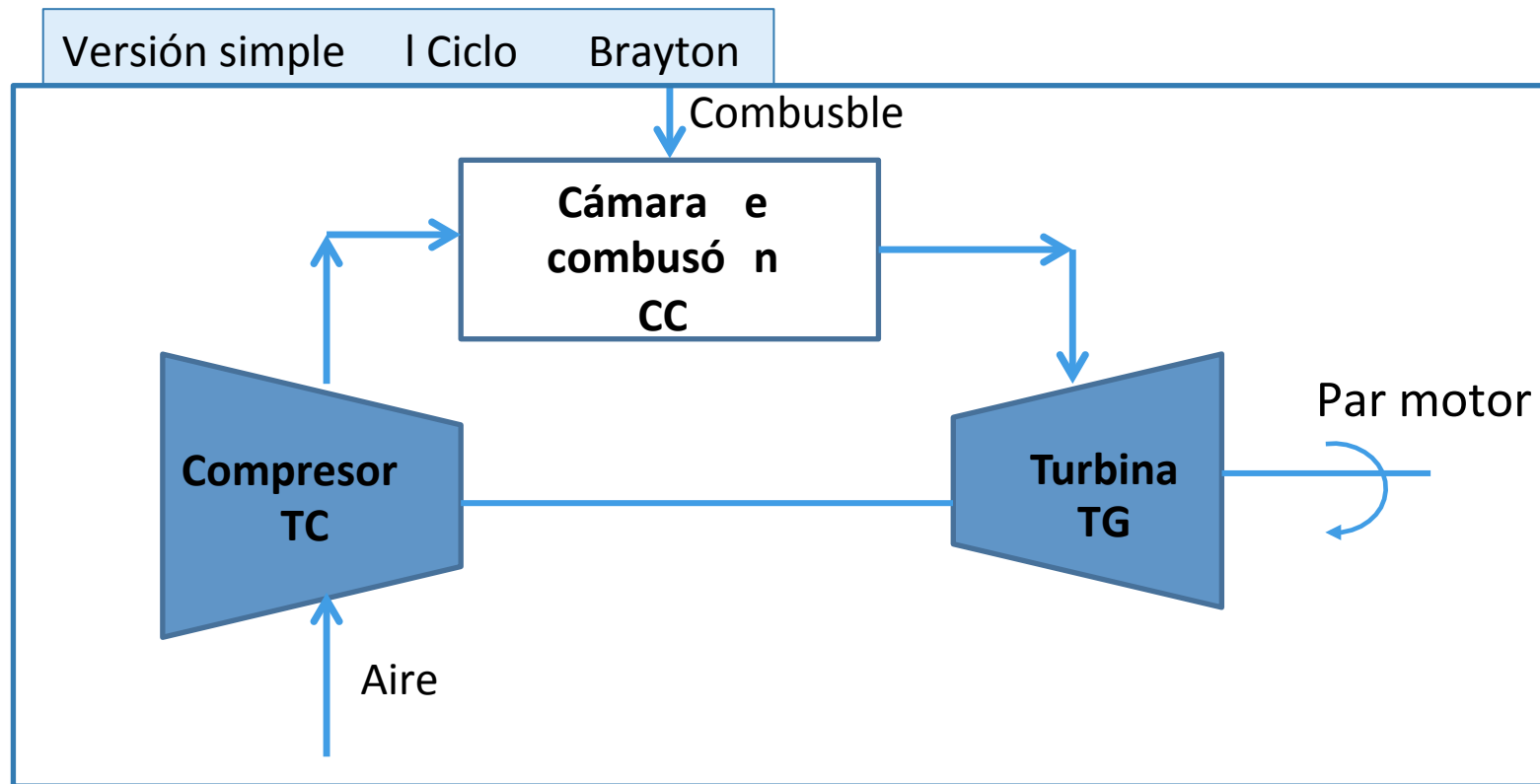
Índice de la presentación

Tema 9. Ciclos de potencia con gas. Máquinas rotativas

- 9.1.- Procesos de funcionamiento de las máquinas rotativas.
- 9.2.- Ciclo Brayton ideal. Desviación del ciclo Brayton real frente al ideal
- 9.3.- Limitaciones del ciclo Brayton. Regeneración.
- 9.4.- Ciclos con refrigeración y recalentamiento intermedio.
- 9.5.- Análisis de la segunda ley en ciclos de potencia con gas.

Introducción

Turbina de gas: es un tipo de motor térmico en el que evoluciona un fluido compresible que no se condensa a lo largo de su evolución en el motor. Su funcionamiento se basa en el ciclo termodinámico Brayton.



Clasificación de las turbinas de gas en ciclo abierto

Según el ciclo termodinámico:

Ciclo simple: ciclo más sencillo que consta de un compresor, una cámara de combustión y una turbina.

Ciclo regenerativo : es aquel ciclo simple o compuesto de turbina de gas en el que se emplean los gases a la salida de la turbina para precalentar aire a la salida del compresor antes de que entre en la cámara de combustión.

Ciclo compuesto: son aquellos ciclos de turbinas de gas en los que se emplean compresiones escalonadas con refrigeración intermedia y/o expansiones escalonadas con recalentamiento intermedio.

Clasificación de las turbinas de gas en ciclo abierto

Según el origen y el diseño:

- ✓ Turbinas industriales
- ✓ Turbinas aeroderivadas

Según el esquema mecánico:

- ✓ Montaje en un eje
- ✓ Montaje en doble eje

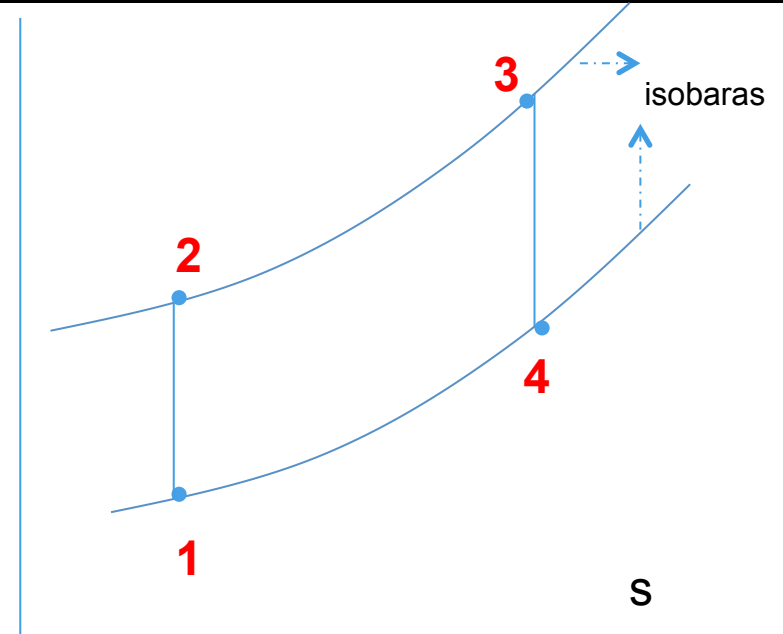
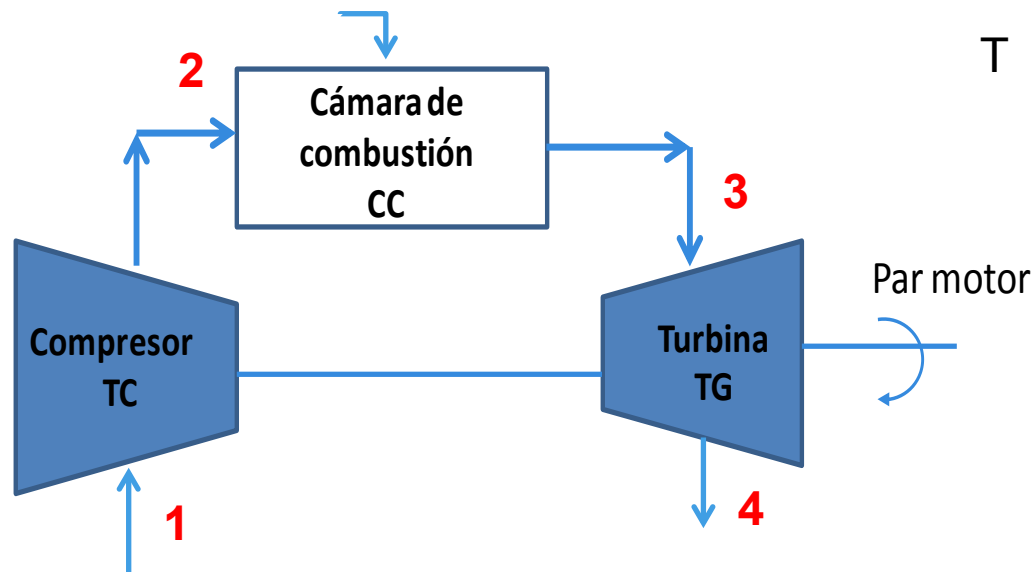
Análisis termodinámico de los ciclos de aire ideales

Consideraciones:

1. El aire es el único fluido de trabajo → Gas ideal diatómico
2. No se tendrán en cuenta las modificaciones en la composición del fluido que implica la inyección de combustible y el proceso de combustión.
3. Cámara de combustión: Se sustituye por un equipo que transfiere E. calorífica al aire a P cte.
4. Procesos de compresión y expansión: procesos adiabáticos reversibles (isentrópicos)
5. Tras la expansión el aire retorna a las condiciones de admisión cediendo energía calorífica a un foco frío a P cte.

Ciclo ideal → ciclo cerrado en el que el aire se comporta como un gas perfecto

Ciclo Brayton ideal de aire normal



1→2 Compresión adiabática reversible

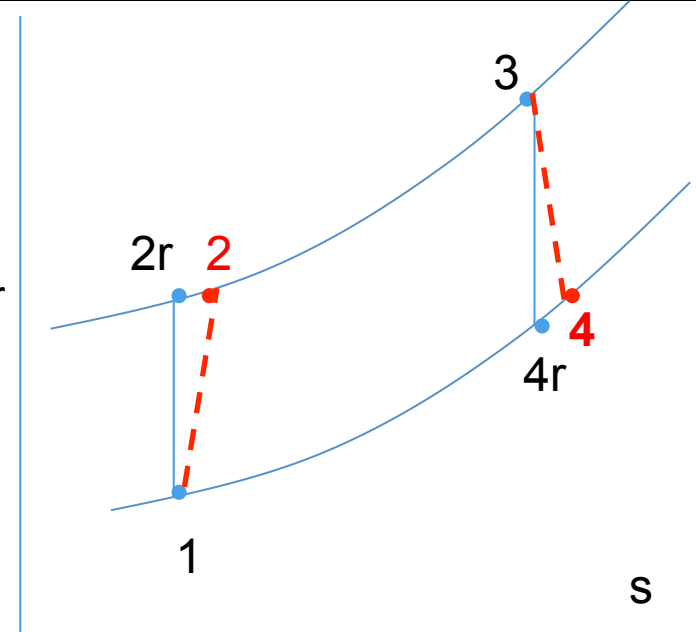
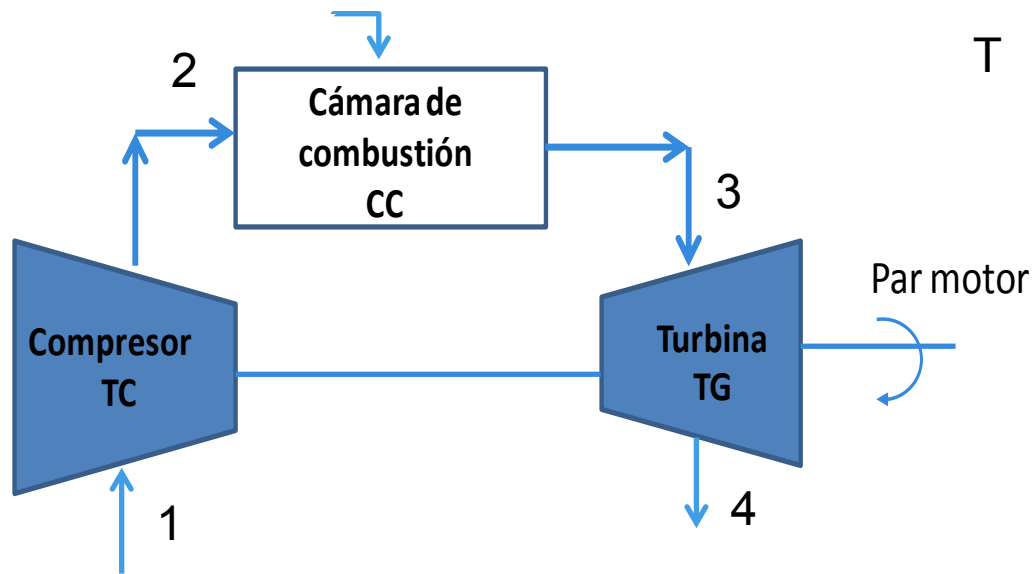
2→3 Absorción de E. calorífica a P=cte constante

3→4 Expansión adiabática reversible

4→1 Cesión de E. calorífica a P= cte (retorno del aire a las condiciones de admisión)

$$\eta_t = \frac{W_{NETO}}{q_a} = \frac{W_T - W_c}{q_a} = \frac{(h_3 - h_4) - (h_2 - h_1)}{(h_3 - h_2)} = \frac{(T_3 - T_4) - (T_2 - T_1)}{(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{1}{r_v^{\gamma-1}}$$

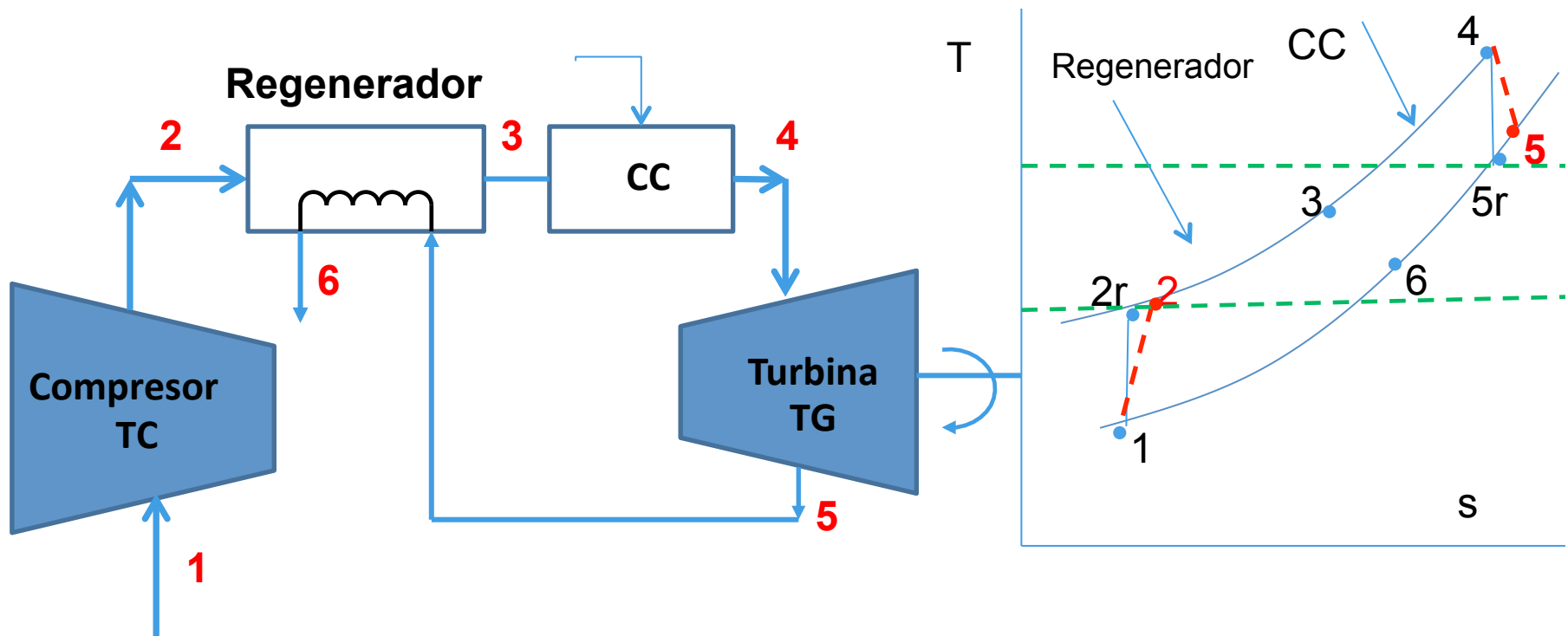
Ciclo Brayton ideal con irreversibilidades



$$\eta_{SC} = \frac{W_{rev}}{W_{real}} = \frac{h_{2rev} - h_1}{h_2 - h_1} = \frac{T_{2rev} - T_1}{T_2 - T_1}$$

$$\eta_{ST} = \frac{W_{real}}{W_{rev}} = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_{4rev}} = \frac{T_3 - T_4}{T_3 - T_{4rev}}$$

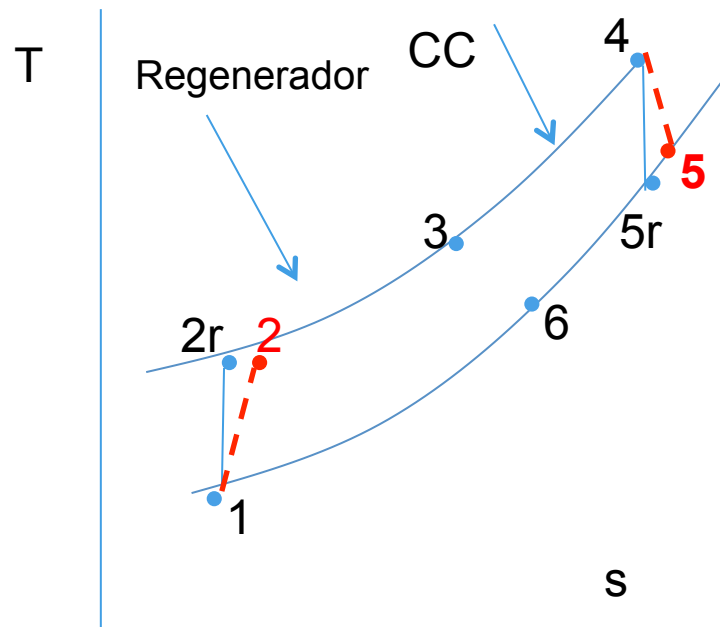
Ciclo Brayton regenerativo



La regeneración consiste en hacer parte del calentamiento del ciclo usando una fuente de calor interna al ciclo

Ventajas: Aprovechamiento de la energía residual de los gases a la salida de la turbina para calentar el aire a la salida del compresor utilizando un intercambiador de calor. \rightarrow se reduce q_a y por tanto aumenta el η_t .

Ciclo Brayton regenerativo



$$\eta_t = \frac{W_{NETO}}{q_a} = \frac{(h_4 - h_5) - (h_2 - h_1)}{(h_4 - h_3)} = \frac{(T_4 - T_5) - (T_2 - T_1)}{(T_4 - T_3)}$$

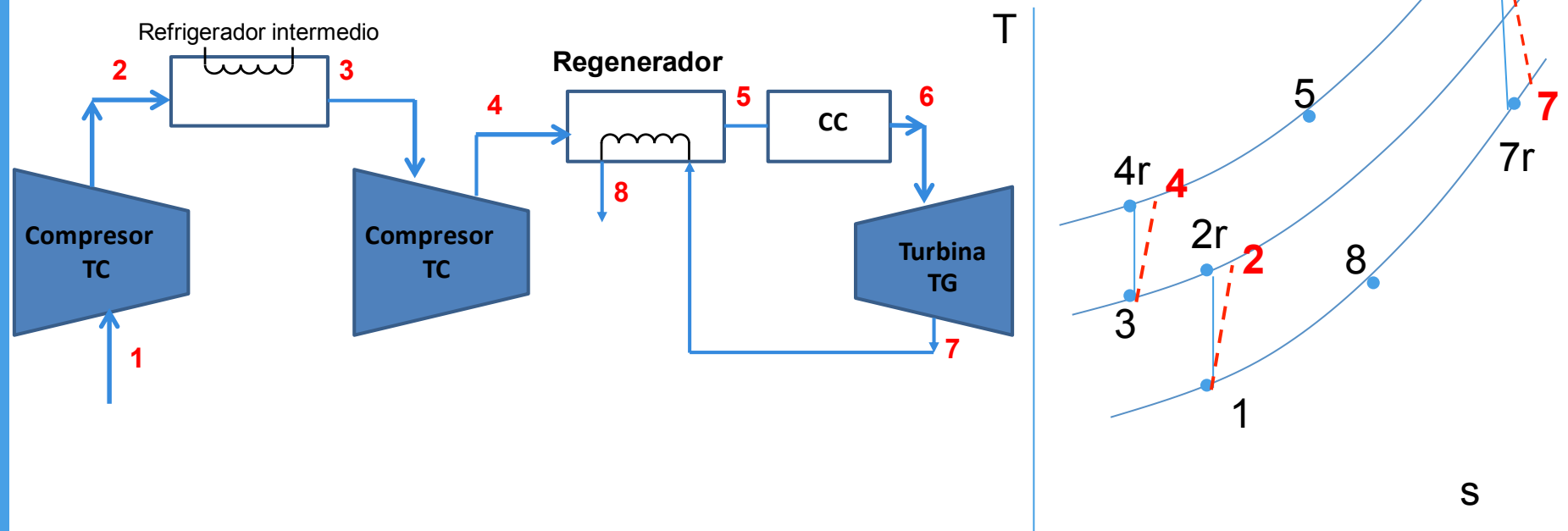
$$\eta_R = \frac{h_3 - h_2}{h_5 - h_2} = \frac{T_3 - T_2}{T_5 - T_2}$$

Ciclo Brayton compuesto

Ciclo Brayton compuesto: consiste en efectuar compresiones escalonadas con refrigeración intermedias y/o expansiones escalonadas con recalentamiento intermedio.

Ciclo Brayton compuesto

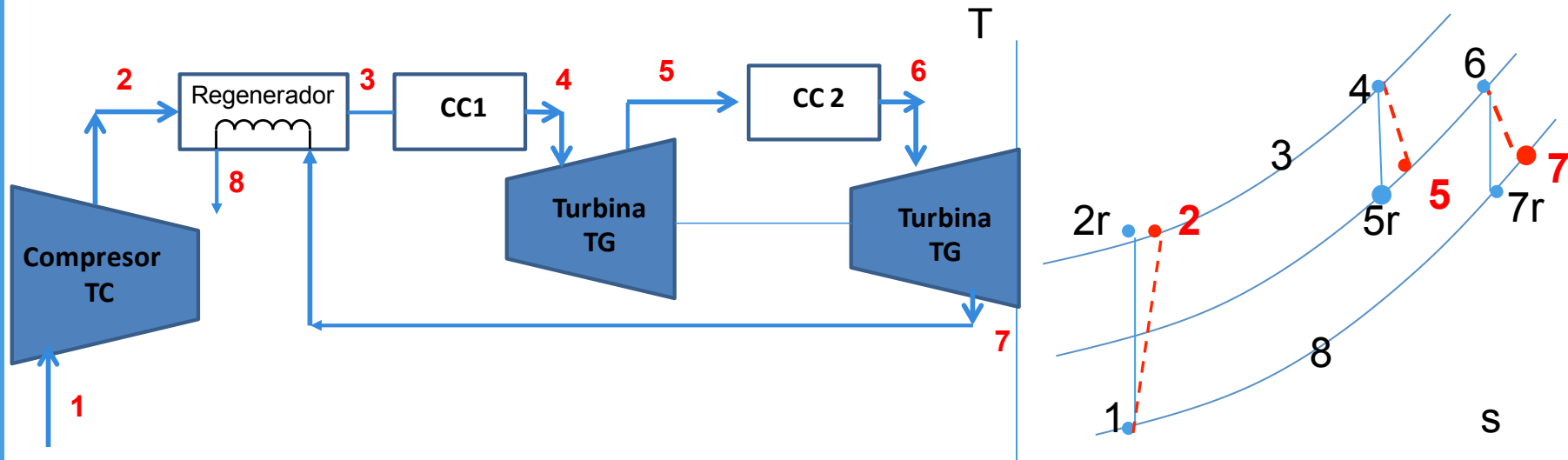
Como la compresión isotérmica no es posible se hacen **compresiones isoentrópicas con enfriamientos isobáricos intermedios**



$$\eta_t = \frac{W_{NETO}}{q_a} = \frac{(h_6 - h_7) - [(h_2 - h_1) - (h_4 - h_3)]}{(h_6 - h_5)} = \frac{(T_6 - T_7) - [(T_2 - T_1) - (T_4 - T_3)]}{(T_6 - T_5)}$$

Ciclo Brayton compuesto

Como la expansión isotérmica no es posible se hacen **expansiones isoentrópicas con calentamiento isobáricos** (recalentamientos)



$$\eta_t = \frac{W_{NETO}}{q_a} = \frac{(h_6 - h_7) + (h_4 - h_5) - (h_2 - h_1)}{(h_4 - h_3) + (h_6 - h_5)} = \frac{(T_6 - T_7) + (T_4 - h_5) - (T_2 - T_1)}{(T_4 - T_3) + (T_6 - T_5)}$$