

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUCUMÁN**

**Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología**



**CENTRALES ELÉCTRICAS**

TRABAJO PRÁCTICO Nº 3

**CENTRALES TÉRMICAS DE GAS  
CICLO DE BRAYTON**

ALUMNO:

AÑO 2017

## INTRODUCCIÓN

El Ciclo de Brayton es un modelo utilizado para evaluar los trabajos en las máquinas térmicas de presión constante que utilizan un gas como fluido como el caso de las turbinas de impulsión de una aeronave.

Este tipo de máquinas puede también ser utilizada como elemento motriz para impulsar un generador en centrales eléctricas.

Si bien el ciclo se emplea en circuitos abiertos, con expulsión de los gases de escape de la turbina a la atmósfera, se considera en forma teórica que los mismos son reutilizados a la entrada del proceso.

## DESCRIPCIÓN DEL CICLO

Diagrama T - S

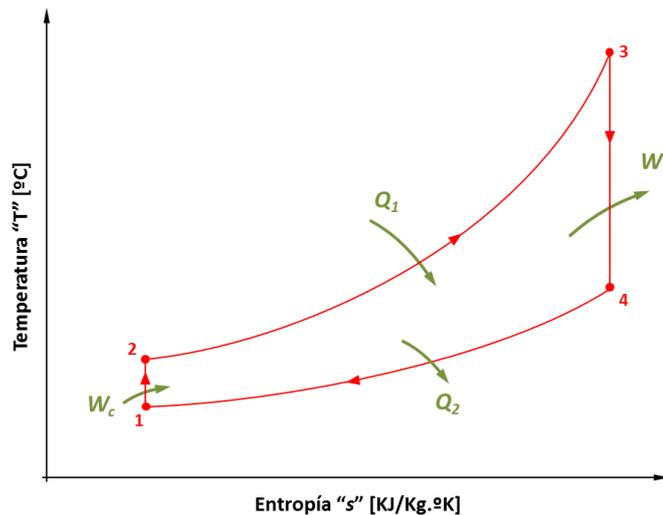
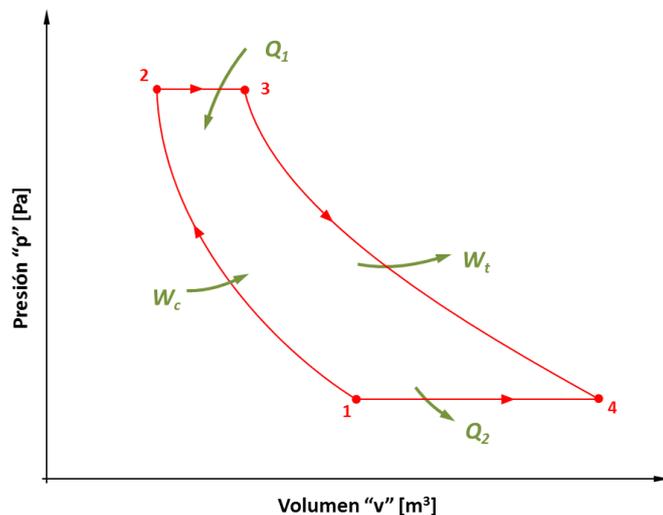


Diagrama P - V



Los procesos que integran un ciclo ideal de Brayton son los siguientes:

**Proceso 1-2:** Compresión isoentrópica del aire que ingresa al sistema. Se genera un aumento de presión y temperatura.

**Proceso 2-3:** Calentamiento isobárico del fluido comprimido mediante la incorporación de combustible y la ignición de la mezcla.

**Proceso 3-4:** Expansión isoentrópica del fluido de trabajo en la turbina donde se entrega energía mecánica al eje de la máquina.

**Proceso 4-1:** Enfriamiento del gas para su reutilización. En la práctica, el gas es expulsado a la atmósfera y se ingresa al sistema aire fresco.

La potencia neta del ciclo se obtiene descontando a la potencia producida por la turbina, la consumida por el compresor, las cuales suelen tener una relación 1 a 3.

En una mayor aproximación a los ciclos reales, se deberán considerar los efectos de pérdidas en la turbina y el compresor convirtiéndolos en no-adiabáticos, como así también el efecto de calentamiento de la mezcla aire-combustible que se produce con un cierto cambio de presión.

## VARIABLES

$Q_1$	Potencia térmica aportada por el combustible ( <b>Cal/h</b> ó <b>J/h</b> )
$Q_2$	Potencia térmica cedida por el Sistema ( <b>Cal/h</b> ó <b>J/h</b> )
$m$	Caudal o Flujo másico de aire ( <b>kg/h</b> )
$W_t$	Potencia mecánica entregada por la turbina ( <b>W</b> ó <b>J/seg</b> )
$W_c$	Potencia mecánica consumida en el Compresor ( <b>W</b> ó <b>J/seg</b> )
$\eta_t$	Rendimiento Térmico
$p_1, p_2, p_3, p_4$	Presiones en los estados principales ( <b>kg/cm<sup>2</sup></b> )
$T_1, T_2, T_3, T_4$	Temperaturas en los estados principales ( <b>°K</b> )
$v_1, v_2, v_3, v_4$	Volúmenes específicos de los estados principales ( <b>m<sup>3</sup>/kg.</b> )

## ECUACIONES

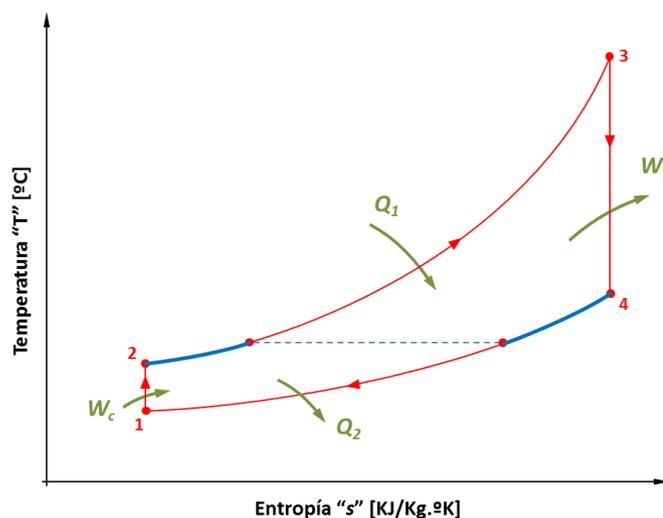
- Ecuación de estado:  $P \cdot V = R \cdot T$
- Relación de Temp. en un proceso adiabático:  $T_f = T_i \cdot \left(\frac{p_f}{p_i}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$
- Trabajo en el cambio de estado:  $\frac{w}{m} = C_p \cdot (T_f - T_i)$
- Rendimiento Térmico del ciclo:  $\eta = 1 - \left(\frac{T_1}{T_2}\right)$

## MEJORAS AL CICLO

### Regeneración:

Consiste en realizar parte del calentamiento del ciclo utilizando una fuente de calor interna del sistema.

En las turbinas de gas, se realiza haciendo uso de la entalpía de los gases a la salida de la turbina para calentar el aire que sale del compresor reduciendo la cantidad necesaria de combustible.

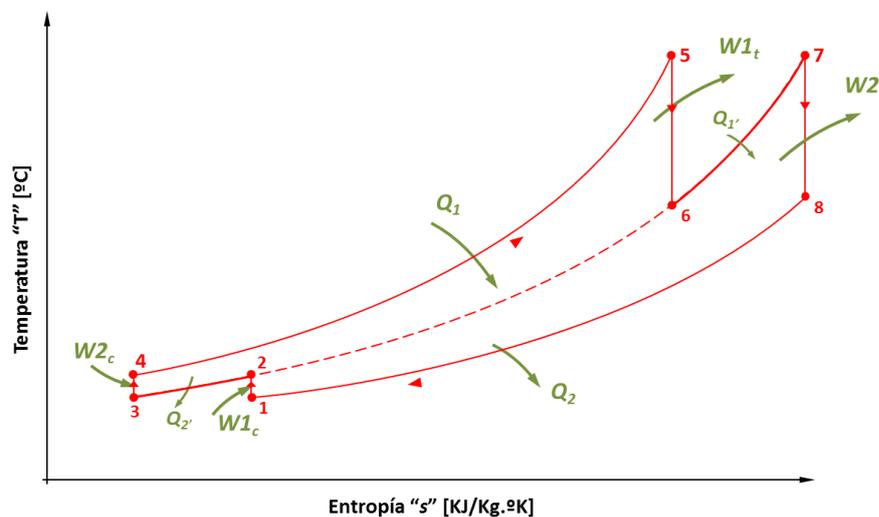


Relación de Temperaturas en el regenerador:  $T_A = T_2 + \gamma \cdot (T_4 - T_2)$

$\gamma$ : coeficiente de regeneración

### Compresión y Expansión Escalonadas:

El trabajo consumido durante una compresión isentrópica es mayor que el utilizado en una compresión isotérmica, del mismo modo el trabajo producido en una expansión isotérmica es mayor al de las expansiones isentrópicas. En la práctica, los compresores o turbinas isotérmicos son irrealizables de modo que para acercarse a estos procesos ideales, se recurre a escalonamientos en ambas etapas.



### PROBLEMA 1

Una central termoeléctrica tiene como elemento principal una turbina que responde a un Ciclo de Brayton Simple.

El aire de alimentación se encuentra a una presión  $p_1 = 1 \text{ kg/cm}^2$  y una temperatura de  $297 \text{ }^\circ\text{K}$ .

La relación de compresión  $\epsilon_c = 8$  y una temperatura máxima de  $1500 \text{ }^\circ\text{K}$

El combustible utilizado es gas natural con un poder calorífico de  $9.600 \text{ kCal/m}^3$  y el rendimiento del quemador es de un 85%.

Se solicita esquematizar el ciclo y determinar los siguientes valores:

- a) Presión, Temperaturas y Volúmenes en los distintos puntos del ciclo.
- b) Rendimiento Térmico.
- c) Relación de Trabajos.
- d) Caudal másico de aire.
- e) Calor aportado por el quemador.
- f) Consumo de combustible por hora.
- g) Costo de combustible por MWh.

A los efectos de simplificar los cálculos, se puede considerar que los procesos realizados en la bomba y la turbina son adiabáticos.

## **PROBLEMA 2**

Sobre el ciclo del problema anterior se decide aplicar un sistema de regeneración utilizando los gases de escape de la turbina.

El coeficiente de regeneración  $\sigma$  es igual a 0,6

Las condiciones de potencia neta en el eje, presión inicial y final son iguales.

Se solicita esquematizar el ciclo y determinar los siguientes valores:

- a) Temperatura a la salida del regenerador
- b) Cantidad de calor economizada.
- c) Rendimiento Térmico.

- d) Determinar el ahorro económico en un año comparado con la configuración del problema 1, con un tiempo equivalente de 5.200 hs. y un costo promedio del gas natural de \$410/Mm<sup>3</sup>.

### PROBLEMA 3

Analizar la mejora introducida en el ciclo del problema N° 1 al aplicar dos escalones en las etapas de expansión y compresión del ciclo.

Las condiciones de potencia neta en el eje, presión inicial y final y temperaturas máximas y mínimas son iguales.

Se solicita esquematizar el ciclo y determinar los siguientes valores:

- a) Cantidad de trabajo en las etapas de compresión.
- b) Cantidad de calos extraído entre compresiones.
- c) Cantidad de calor economizada.
- d) Rendimiento Térmico.
- e) Aplicar un sistema regenerativo como el planteado en el problema N°2 y determinar el rendimiento térmico global.