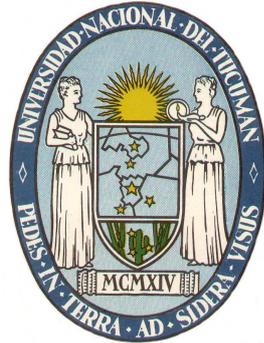


UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUCUMÁN

Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología



CENTRALES ELÉCTRICAS

TRABAJO PRÁCTICO Nº 3

**CENTRALES TÉRMICAS DE VAPOR
CICLO DE RANKINE**

ALUMNO:

AÑO 2015

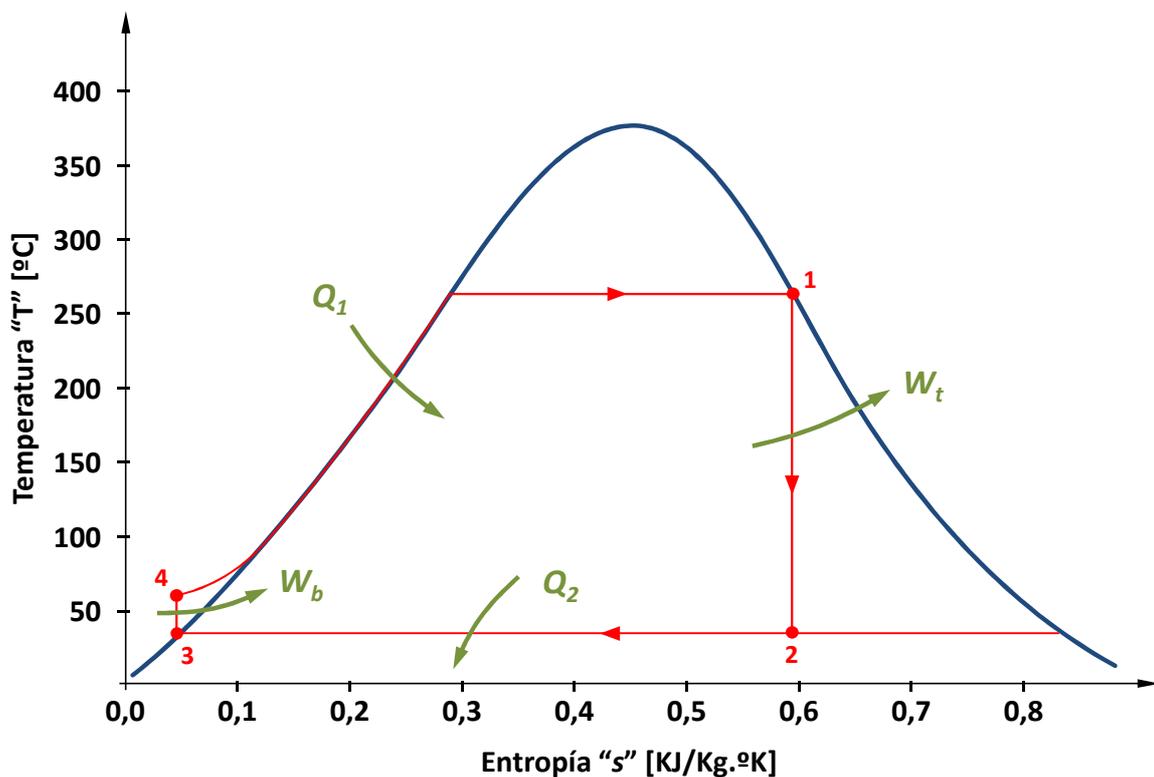
INTRODUCCIÓN

El Ciclo de Rankine es un modelo utilizado para determinar la performance de máquinas de vapor. El mismo consiste en un ciclo termodinámico ideal que convierte la energía térmica en trabajo mecánico.

El calor aportado al sistema es proporcionado por una fuente externa, en general representado por una caldera, que normalmente utiliza agua como fluido de trabajo.

El ciclo describe el proceso mediante el cual, las máquinas térmicas basadas en vapor generan la potencia necesaria en las centrales de generación termoeléctricas.

DESCRIPCIÓN DEL CICLO



El Ciclo de Rankine está compuesto por cuatro procesos delimitados por los estados que atraviesa el fluido por el mismo:

Proceso 1-2: Expansión isentrópica del fluido de trabajo en la turbina desde la presión de la caldera hasta la presión del condensador. Se realiza en una turbina de vapor y se genera potencia en el eje de la misma.

Proceso 2-3: Transmisión de calor a presión constante desde el fluido de trabajo hacia el circuito de refrigeración, de forma que el fluido de trabajo alcanza el estado de líquido saturado. Se realiza en un condensador (intercambiador de calor), idealmente sin pérdidas de carga.

Proceso 3-4: Compresión isoentrópica del fluido de trabajo en fase líquida mediante una bomba, lo cual implica un consumo de potencia. Se aumenta la presión del fluido de trabajo hasta el valor de presión en caldera.

Proceso 4-1: Transmisión de calor hacia el fluido de trabajo a presión constante en la caldera.

La potencia neta del ciclo se obtiene realmente descontando la consumida por la bomba, pero ésta suele ser muy pequeña en comparación y suele despreciarse.

En un ciclo más real que el ciclo Rankine ideal descrito, los procesos en la bomba y en la turbina no serían isoentrópicos y el condensador y la caldera presentarían pérdidas de carga. Todo ello generaría una reducción del rendimiento térmico del ciclo.

VARIABLES

| | |
|----------------------|---|
| Q_1 | Potencia térmica aportada a la Caldera (Cal/h ó J/h) |
| Q_2 | Potencia térmica cedida en el Condensador (Cal/h ó J/h) |
| m | Caudal o Flujo másico de fluido (kg/h) |
| W_t | Potencia mecánica entregada por la turbina (W ó J/seg) |
| W_b | Potencia mecánica consumida en la bomba (W ó J/seg) |
| η_t | Rendimiento Térmico |
| h_1, h_2, h_3, h_4 | Entalpías específicas de los estados principales (KJ/kg) |
| s_1, s_2, s_3, s_4 | Entropías específicas de los estados principales (KJ/kg.) |

ECUACIONES

Del balance energético se puede obtener:

$$\frac{Q_1}{m} = h_1 - h_4 \qquad \frac{Q_2}{m} = h_2 - h_3$$

$$\frac{W_t}{m} = h_1 - h_2$$

$$\frac{W_b}{m} = h_4 - h_3$$

Valor de la entalpía en fluidos mixtos:

$$h_2 = h_f + \chi \cdot h_{fg}$$

La relación de potencias entre entrada y salida será:

$$\eta = \frac{W_t - W_b}{Q_1}$$

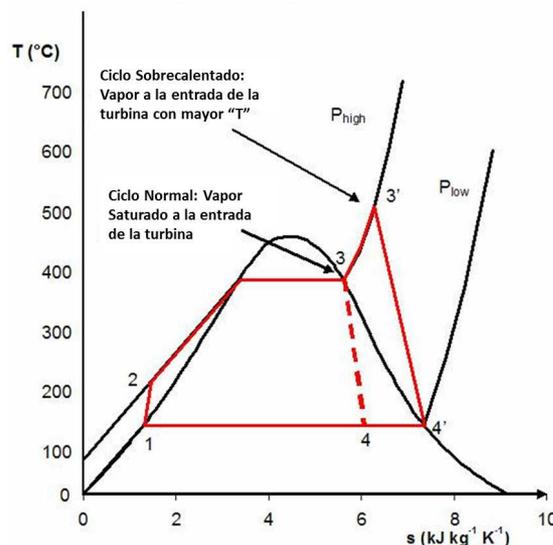
Aproximación del valor de potencia en la bomba:

$$\frac{W_b}{m} = h_4 - h_3 = v_3(p_4 - p_3)$$

MEJORAS AL CICLO

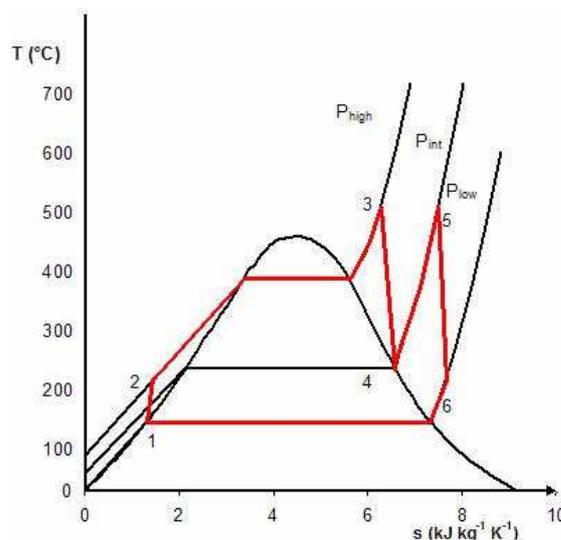
Recalentamiento:

Consiste en calentar el vapor saturado a la salida de la caldera y elevar su temperatura convirtiéndolo en vapor sobrecalentado. Esto eleva la temperatura promedio a la que se proporciona calor aumentando el rendimiento térmico del ciclo. El limitante a este proceso es la calidad de los materiales integrantes de la caldera para los cuales es recomendable no exceder los 540 °C.



Regeneración o Sangrado:

Otra técnica utilizada consiste en extraer vapor de la turbina en diversos puntos denominados “sangrías”. Este vapor, que podría haber producido más trabajo si hubiera continuado su expansión en la turbina, se utiliza para calentar el agua de alimentación en un dispositivo llamado regenerador. La fracción de vapor enviada al regenerador se ajusta, para cada valor de la presión de extracción, de forma que el vapor salga del regenerador como líquido saturado. De esta forma el agua que entra a la caldera llega a una temperatura cercana a la vaporización evitando la necesidad de calor aportado para el cambio de estado y por consiguiente mejorando el rendimiento general.



Despreciando el valor potencia consumido por la bomba, la potencia neta:

$$W_{neta} \cong m_1(h_1 - h_2) + m_3(h_3 - h_4)$$

El rendimiento general del sistema con mejoras se calcula como:

$$\eta_t = \frac{W_t - W_b}{Q_1} = \frac{m_1(h_1 - h_2) + m_3(h_3 - h_4)}{m_1(h_1 - h_6) + m_3(h_3 - h_2)}$$

PROBLEMA 1

En una central termoeléctrica con un Ciclo de Rankine Simple cuyo fluido de trabajo es vapor de agua.

La presión de entrada de vapor a la turbina es de 8 Mpa mientras que del condensador sale líquido saturado a 8 kPa obteniendo una potencia neta en el eje de 100 MW.

El combustible utilizado es gas natural con un poder calorífico de 9.600 kCal/m³ y el rendimiento de la caldera es de un 85%.

Se solicita esquematizar el ciclo y determinar los siguientes valores:

- a) Entalpías, Entropías y Temperaturas en los distintos puntos del ciclo.
- b) Título a la Salida de la turbina.
- c) Rendimiento Térmico.
- d) Relación de Trabajos.
- e) Caudal másico de vapor.
- f) Calor absorbido por la caldera.
- g) Consumo de combustible por hora.
- h) Cantidad de calor cedido en el condensador.
- i) Caudal másico de agua de refrigeración en el condensador si el agua entra a 15 °C y sale a 35 °C.

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 mejoras para aumentar el rendimiento consistente en sobrecalentamiento del vapor y una etapa de recalentamiento.

A la salida de la caldera el fluido se calentará hasta los 480 °C y luego será expandido en una primera turbina hasta alcanzar los 0,7 MPa.

Luego se aplicará un nuevo recalentamiento alcanzando los 440 °C y se alimentará una segunda turbina.

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) Entalpías, Entropías y Temperaturas en los distintos puntos del ciclo.
- b) Rendimiento térmico.
- c) El caudal de vapor másico.
- d) Flujo de calor cedido en el condensador.
- e) Determinar el ahorro económico en un año comparado con la configuración del problema 1, con un fu de 5.200 hs. y un costo promedio del gas natural de \$410/Mm³.

PROBLEMA 3

Utilizando los datos del Problema 1, evaluar los cambios que introduce en los resultados obtenidos el considerar que la turbina y la bomba tienen un rendimiento isoentrópico del 85%. Se solicita graficar en un diagrama T-S el ciclo resultante, determinar todos los valores requeridos para el problema 1 y elaborar una tabla comparativa con los valores del ciclo simple.