

Ciclo de Rankine

Rankine Cycle

Mariana Becerra-Rodríguez ^a, Vanessa J. Aguilar-Díaz ^b, Jaqueline Bernardino-González ^c,
Fernando Santana-Ramírez ^d, Jareth L. Serrano-García ^e

Abstract:

In this work we present relevant information for the understanding of the Rankine cycle, its application in industry and how it converts mechanical energy into electrical energy. All, with the purpose of making known to the student community the applications and possible uses that can be given to this power generation system, thinking that in the future they can implement advances or technological improvements from this cycle and help the production industry to meet the energy demand of the country.

Keywords:

Energy, turbine, temperature, work.

Resumen:

En este trabajo presentamos información relevante para la comprensión del tema de ciclos de Rankine, su aplicación en la industria y la forma en como convierte energía mecánica en eléctrica. Todo, con el propósito de dar a conocer a la comunidad estudiantil las aplicaciones y posibles usos que se le pueden dar a este sistema de generación de energía, pensando que en un futuro ellos puedan implementar avances o mejoras tecnológicas a partir de este ciclo y que ayude a la industria de producción a satisfacer la demanda energética del país.

Palabras Clave:

Energía, turbina, temperatura, trabajo.

Introducción

Rescatando el concepto de energía, notamos que es la capacidad que posee un cuerpo para realizar un trabajo; en otras áreas también se le reconoce como un recurso natural o artificial que cuenta con diversas aplicaciones relacionadas con fines de obrar, hacer surgir, transformar o poner en movimiento alguna máquina. Las fuentes naturales de energía (como el sol, efecto joule, rozamiento, etc.) frecuentemente enfrentan problemas para ser aprovechadas en su totalidad.

La necesidad de generar artificialmente dicha energía para alimentar a las crecientes industrias fue lo que popularizó el uso de la energía termoeléctrica, siendo esta la que interviene en los procesos caloríficos de dos

cuerpos con diferentes temperaturas que interactúan entre sí (Castello. M 1998). Es decir, la obtención de energía a partir de reacciones exotérmicas, teniendo por ejemplo la quema de combustibles.

La creación de energía que se da al convertir el movimiento mecánico de turbinas, mediante la fuerza que producen dichas reacciones, fue un descubrimiento que impactó en el mundo. Sin embargo, la necesidad de optimizar la calidad del proceso, de disminuir los costos y controlar las emisiones de Dióxido de Carbono (CO₂); establecen un escenario de mejora para estos ciclos de potencia (Galindo, 2010).

Es así que la modernización de las plantas termoeléctricas establece una oportunidad para consolidar nuevos arreglos y configuraciones con base a los ciclos Rankine,

^a Mariana Becerra-Rodríguez, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0000-0002-0879-1877>, Email: be353623@uaeh.edu.mx

^b Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0000-0002-6001-1014>, Email: ag352506@uaeh.edu.mx

^c Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0000-0001-7182-9973>, Email: be420962@uaeh.edu.mx

^d Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0000-0002-5093-5563>, Email: sa420964@uaeh.edu.mx

^e Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0000-0003-0002-4611>, Email: se421674@uaeh.edu.mx

proceso que debe su nombre a su desarrollador, el ingeniero escocés William John Macquorn Rankine.

El ciclo surge como una mejora del Ciclo de Carnot al buscar tener una mejor relación de trabajo. Sus principios se basan en el calentamiento del agua para convertirla en vapor a presión que pueda mover una turbina; tiene como objetivo la conversión de calor en trabajo para así crear energía eléctrica y abastecer a las máquinas (Salazar, 2011).

El presente resumen tiene la finalidad de analizar el comportamiento termodinámico del ciclo de Rankine y proporcionar los datos necesarios al lector para su entendimiento.

2. Descripción del proceso y sus componentes

El proceso del ciclo de Rankine consiste en elevar la temperatura por medio de la quema de combustibles, en una caldera hasta evaporar, por lo tanto, se elevará la presión del vapor, y se traslada a unos transformadores llamados "turbinas"; en estos se produce energía cinética por medio de la pérdida de presión, el proceso sigue hacia un condensador donde el líquido se licua, para después introducirlo en una bomba que de igual manera aumentará la presión y ser nuevamente introducido en la caldera. El principal propósito de lo descrito anteriormente es transformar el calor en trabajo (Hervis, 2009).

El ciclo se consigue al aumentar la temperatura del algún líquido siempre y cuando tengan las siguientes características (Fuste, 2015):

- Bajo valor de la capacidad calorífica del líquido.
- Alto valor de conductividad térmica.
- Barato, estable, abundante, no inflamable.
- Estar en estado líquido a temperatura ambiente y a la presión atmosférica.

Sus componentes son (figura 1):

- Caldera
- Turbina
- Bomba
- Condensador

En México aproximadamente el 40% de generación de energía se realiza por medio de termoeléctricas por ejemplo la que se ubica en Tula de Allende, Hidalgo. la planta más grande del país genera 1250 MW (Salazar-Pereyra et al., 2011)

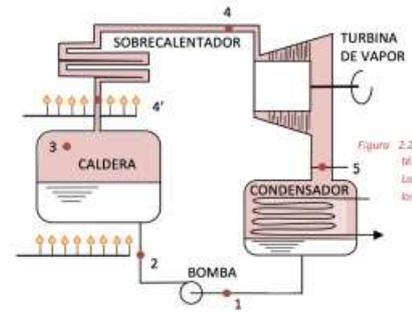


Figura 1. componentes del ciclo de Rankine (Fuste, 2015)

3. Diagramas Temperatura-Entropía

Un diagrama temperatura-entropía o diagrama T-S es una herramienta que nos permite observar los cambios termodinámicos ocurridos durante el proceso. En un ciclo Rankine ideal está formado por cuatro procesos: dos de ellos son de tipo isoentrópico y los dos restantes son isobáricos.

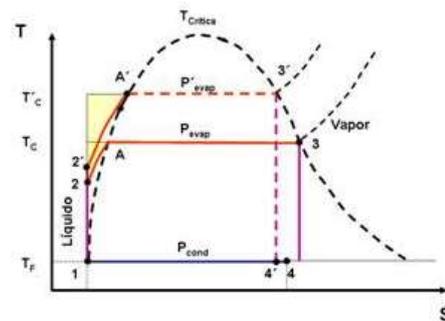


Figura 2. Gráfica T-S característica del ciclo de Rankine (Galindo, 2010).

La bomba y la turbina son los equipos que operan según procesos isoentrópicos (adiabáticos e internamente reversibles). La caldera y el condensador operan sin pérdidas de carga y por tanto sin caídas de presión. Los estados principales del ciclo quedan definidos por los números del 1 al 4 en el diagrama T-S: 1. vapor sobrecalentado, 2. mezcla bifásica de título elevado o vapor húmedo, 3. líquido saturado y 4. líquido subenfriado (Uris Mas, 2017)

Los procesos para el ciclo ideal son los siguientes:

3.1. Proceso 1-2

Un proceso de compresión isentrópica o adiabática se da cuando el líquido que emplea el ciclo entra a la bomba como líquido saturado, este necesita de un trabajo para que se condense isotrópicamente, la entropía se mantiene

constantes hasta que pase al proceso 2 (Uris Mas, 2017). Se dará cuando el condensado se encuentre en estado líquido, y se comprima adiabáticamente mediante bombas de centrifuga, El trabajo realizado en el exterior se representa como:

$$W_{1,2} = -(h_2 - h_1) \quad Eq. 1$$

Donde: W=trabajo de la bomba
h=entropía del líquido saturado

La bomba colecta condensado a baja presión, la cual debe ser menor a la presión atmosférica, y a baja temperatura (estado 1). Comprime el agua hasta la presión de la caldera (estado 2), lo que requiere de un trabajo por parte de la bomba escrito aquí como W_{1-2} (Castello. M 1998).

3.2. Proceso 2-3

La caldera se comprime tomando un papel de intercambiador de calor, por lo que el líquido entra enfriado y sale de ahí en forma de vapor sobre calentado o bien, líquido saturado, todo mediante una presión constante (Uris Mas, 2017). Donde la adición de calor es isobárica y representa al cambio de calor entre la caldera y el sobrecalentador:

$$Q_{2,3} = h_3 - h_2 \quad Eq. 2$$

Donde: Q=intercambio térmico en caldera
h=entropía del líquido saturado

El condensado a menor temperatura que la de saturación se inyecta a la caldera. Allí el condensado es calentado, alcanzando la saturación (representado por el punto A en el diagrama TS) y luego se inicia la ebullición del líquido. Todo este proceso requiere del suministro de calor Q_{2-3} . El vapor que se extrae de la caldera contara con un título de calidad cercano a 1, constituyendo al estado 3 (Galindo, 2010).

3.3. Proceso 3-4

Consiste en la Expansión isoentrópica en una turbina, produciendo trabajo W_{3-4} al hacer girar el eje conectado a un generador eléctrico. La presión y temperatura del vapor disminuyen a lo largo de este proceso, donde la expansión isoentrópica se da de forma reversible y adiabática. Q es igual a 0, según el primer principio de la termodinámica (Uris Mas, 2017). El trabajo de la turbina viene dado como:

$$W_{3,4} = h_4 - h_3 \quad Eq. 3$$

Donde: W=trabajo de la turbina
h=entropía del vapor entrante

El vapor se conduce a la turbina donde se expande hasta la presión asociada a la temperatura de condensación, generando trabajo (Fuste, 2015).

3.4. Proceso 4-1

El rechazo de calor a presión constante en un condensador, el vapor generalmente entra al condensador en forma de vapor húmedo con alta calidad, ahí el vapor se condensa a presión constante, esto debido a que el condensador lo rechaza hacia un medio de enfriamiento, de ahí el vapor sale como líquido saturado y entra nuevamente a la bomba, completando el ciclo. (Uris Mas, 2017). A esto se le llama condensado isobárico, el cual complementa al ciclo, tiene ventaja de reducir la compresión, está dada como:

$$Q_{4,1} = -(h_4 - h_1) \quad Eq. 4$$

Donde: Q=intercambio térmico en condensador
h=entropía del vapor saliente

El vapor que descarga la turbina (estado 4) entra al condensador donde se convierte en agua al entrar en contacto con las paredes de tubos que están refrigerados en su interior, entregándose una cantidad de calor a la temperatura TF que denominamos como Q_{4-1} (Hervis, 2009).

El condensado se colecta en el fondo del condensador, donde se extrae prácticamente como líquido saturado. Este se redirige a la bomba para repetir el ciclo.

4. Aplicaciones

La tecnología de los ciclos de Rankine orgánicos (ORC) está presente mundialmente, existiendo en la actualidad numerosos fabricantes que disponen de equipos comerciales para distintas aplicaciones. El ciclo de Rankine es un ciclo termodinámico utilizado para producir electricidad en muchas de las centrales eléctricas, y es el enfoque práctico para el ciclo de Carnot ideal. Se genera vapor sobrecalentado en una caldera, y se expande luego en una turbina de vapor (Pérez B.P, 2013). La turbina mueve un generador, para convertir el trabajo en electricidad. También es un ciclo empleado en máquinas simples y cuando la temperatura de fuente caliente está limitada. El ciclo de Rankine es más efectivo que el ciclo de Carnot con gas pues la capacidad de transporte de energía del vapor con cambio de fase, es mucho más grande que la de un gas (Uris Mas, 2017).

En las centrales eléctricas de vapor, el ciclo de Rankine no presenta irreversibilidades y consta de manera más específica de los siguientes procesos:

- Compresión isentrópica en una bomba

- Adición de calor a presión constante en una caldera
- Expansión isentrópica en una turbina
- Rechazo de calor a presión constante en un condensador (Pérez B.P, 2013)

Agradecimientos

Le agradecemos a nuestro catedrático, la Dra. Lizeth Martínez Ayala, adscrita a la Escuela Superior Tepeji de la Universidad Autónoma del estado de Hidalgo, por guiarnos y asesorarnos en todo el proceso que conllevó este proyecto, sin lo anterior esto no hubiera sido posible.

Referencias

- [1] Castelló, M. C. J. (1998). Programa didáctico sobre el Ciclo de Rankine sencillo RANKINE V1.0. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4794632>
- [2] Fuste Paredes, S. (2015). Análisis termodinámico de los ciclos de rankine <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/25938> Acta Médica Colombiana 2005; 30(4): 268–73.
- [3] Hervis, Y. L., de Oca, L. M., Reyes, Y. D., Tápanez, A., & Domínguez, F. J. (2009). Simulación de un ciclo Rankine: Estudio del ciclo de vapor de una planta de ciclo combinado. Ingeniería química, (467), 92-99. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2924834>
- [4] Salazar-Pereyra, M., Lugo-Leyte, R., Zamora-Mata, J., Ruiz-Ramírez, O., & González-Oropeza, R. (2011). Análisis termodinámico de los ciclos rankine supercríticos y subcríticos. https://www.researchgate.net/profile/M_Salazar-Pereyra/publication/319131137_ANALISIS_TERMODINAMICO_DE_LOS_CICLOS_RANKINE_SUPERCRITICOS_Y_SUBCRITICOS/links/59938562aca272ec9084df69/ANALISIS-TERMODINAMICO-DE-LOS-CICLOS-RANKINE-SUPERCRITICOS-Y-SUBCRITICOS.pdf
- [5] Galindo Lucas, J. (2010). Ciclo de Rankine con recalentamiento. Universidad Politécnica de Valencia. <http://hdl.handle.net/10251/7638>
- [6] Uris Mas, M. (2017). Viabilidad técnico-económica de la cogeneración para el sector residencial en España a partir de biomasa mediante ciclo de Rankine orgánico. <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/19471>
- [7] Pérez, B. P., Esbrí, J. N., & Ribera, F. M. (2013). Evaluación teórica de fluidos para el aprovechamiento de fuentes térmicas de muy baja temperatura mediante ciclos orgánicos Rankine. In VIII Congreso Nacional de Ingeniería Termodinámica. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6992647>