

La Cantidad y la Calidad de la Energía en el Agua

Martín Salazar Pereyra*

Raúl Lugo Leyte**

Rogelio Francisco Antonio*

Resumen

La energía se ha convertido en el primer factor estratégico para la vida de cualquier nación. Los problemas energéticos no son inherentes solamente a nuestro país, sino de carácter global, y de ellos no queda exento ninguno. Por tal motivo, es importante diferenciar la cantidad y calidad de energía contenida en un fluido de trabajo, en este caso particular, el agua.



Acerca de los autores...

* Profesor de la División de Ingeniería Mecatrónica e Industrial, en el Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. E-mail: msalazar@tese.edu.mx.

** Profesor del Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica, en la Universidad Autónoma Metropolitana – Iztapalapa. E-mail: lulr@xanum.uam.mx.

Introducción

La cantidad de energía contenida en una sustancia en un estado termodinámico dado, no es igual a la calidad de la energía contenida en ésta. Es difícil imaginar que la energía posea calidad, pero es posible apreciarla en toda actividad diaria, por ejemplo, cuando vamos al supermercado para adquirir un kilogramo de arroz y observamos que existen diferentes presentaciones, marcas y precios. Pero ¿de qué depende la diferencia de precios, si todas contienen la misma cantidad? Simplemente son de calidades distintas.

Las teorías sobre la calidad de la energía y la irreversibilidad de los procesos, han sido estudiadas por Tadeuz Kotas [1] desde la década de los ochenta, quien presenta los conceptos y principios de la “exergía”, desarrollando metodologías de aplicación, con la finalidad de cuantificar la irreversibilidad generada en los procesos termodinámicos.

Morán M. J. [2], es otro de los investigadores que ha desarrollado estudios sobre los sistemas energéticos; en el artículo titulado “*Exergy Analysis: Principles and Practice*”, establece la diferencia entre el análisis energético y exergético, así como las diversas formas de la exergía: física, química, cinética, potencial y termomecánica.

La calidad de la energía o exergía

La energía tiene dos componentes: la exergía y la anergía, que es la fracción de la cual no se puede obtener ningún trabajo útil, Figura 1.

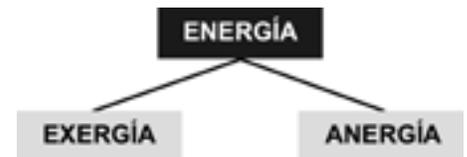


Figura 1. Componentes de la energía.

La exergía o disponibilidad de la energía, es un término introducido por Rant en 1956 [3]; se define como el trabajo máximo disponible que puede ser obtenido de un sistema que interactúa con su medio ambiente, hasta que llega a su estado de equilibrio con el medio ambiente o también llamado estado muerto. En este último, se posee energía pero no exergía; las condiciones mecánicas, térmicas y químicas están en equilibrio entre el sistema y el medio ambiente.

En el mar y en el aire atmosférico, se tiene una gran cantidad de energía, pero no puede ser utilizada para obtener ningún trabajo mecánico, debido a que la diferencia de temperaturas finitas entre éstos y el estado de equilibrio es mínimo, es decir, se tiene anergía, que no es objeto de estudio de este trabajo.

Sin embargo, encontramos exergía acumulada en la masa de agua de una presa que se encuentra por encima del nivel del mar, debido a la diferencia de alturas; en una masa de vapor de agua en el subsuelo, por la diferencia de presión y temperatura con respecto al aire de la atmósfera, o en una masa de petróleo o carbón, por la posibilidad de combustión.

Para todos los estados de un sistema, la exergía es mayor o igual a cero. La exergía se puede expresar como la suma

de la exergía química y termomecánica. Esta última engloba la exergía física o de flujo, la cinética y potencial. Las energías cinética y potencial (energías ordenadas) se consideran de alta disponibilidad, mientras la energía calorífica y química (energías desordenadas) se consideran de baja exergía.

La exergía puede ser transferida entre dos sistemas y destruida debido a las irreversibilidades de los procesos y de los sistemas. A diferencia de la energía, la exergía no se conserva [4].

Exergía de flujo

La exergía de flujo es el máximo trabajo que se puede obtener; cuando el flujo de una sustancia se lleva de un estado inicial al estado muerto, en este proceso físico sólo se presenta interacción térmica con el medio ambiente. La exergía de flujo o física se evalúa con la siguiente expresión:

$$e_x = (h_i - h_0) - T_0 (s_i - s_0). (1)$$

Generación de potencia

En las plantas de generación de potencia que operan con vapor como fluido de trabajo, se presentan diferentes procesos de transformación: de energía química a calorífica en el generador de vapor y de calorífica a cinética, y de ésta a energía mecánica en la turbina de vapor. Dichas transformaciones se realizan mediante los procesos de combustión, transferencia de calor entre los gases de combustión y el agua; asimismo, la energía térmica del vapor a energía mecánica, en la turbina de vapor, como se muestra en la Figura 2.

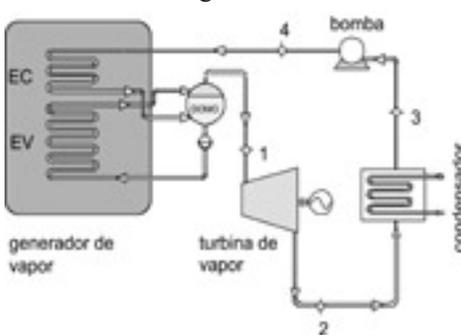


Figura 2. Central Termoeléctrica.

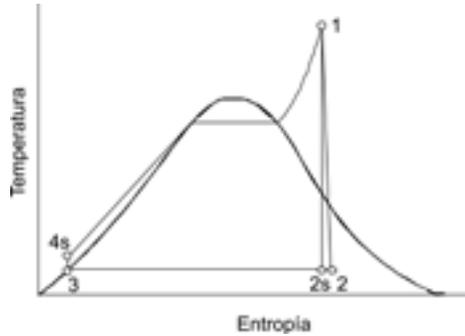


Figura 3. Ciclo Rankine con recalentamiento.

En la Figura 3 se presenta el ciclo termodinámico de una central termoeléctrica que utiliza agua como fluido de trabajo. En el generador de vapor, el agua se sobrecalienta, obteniendo vapor a alta presión y temperatura, estado 1; posteriormente, el vapor se expande en la turbina para generar trabajo mecánico. En el estado 2 se tiene el vapor con menor temperatura y presión, que es enfriado en el condensador obteniendo agua líquida, estado 3, que finalmente es bombeada a la presión a la que trabaja el generador de vapor, estado 4, donde se le suministra calor para obtener vapor.

Las centrales termoeléctricas en México funcionan con un ciclo Rankine de recalentamiento, sobrecalentamiento y regeneración, es decir, con un tren de calentamiento de cinco o seis calentadores cerrados y uno abierto, como se muestra en la Figura 4 a) y b).

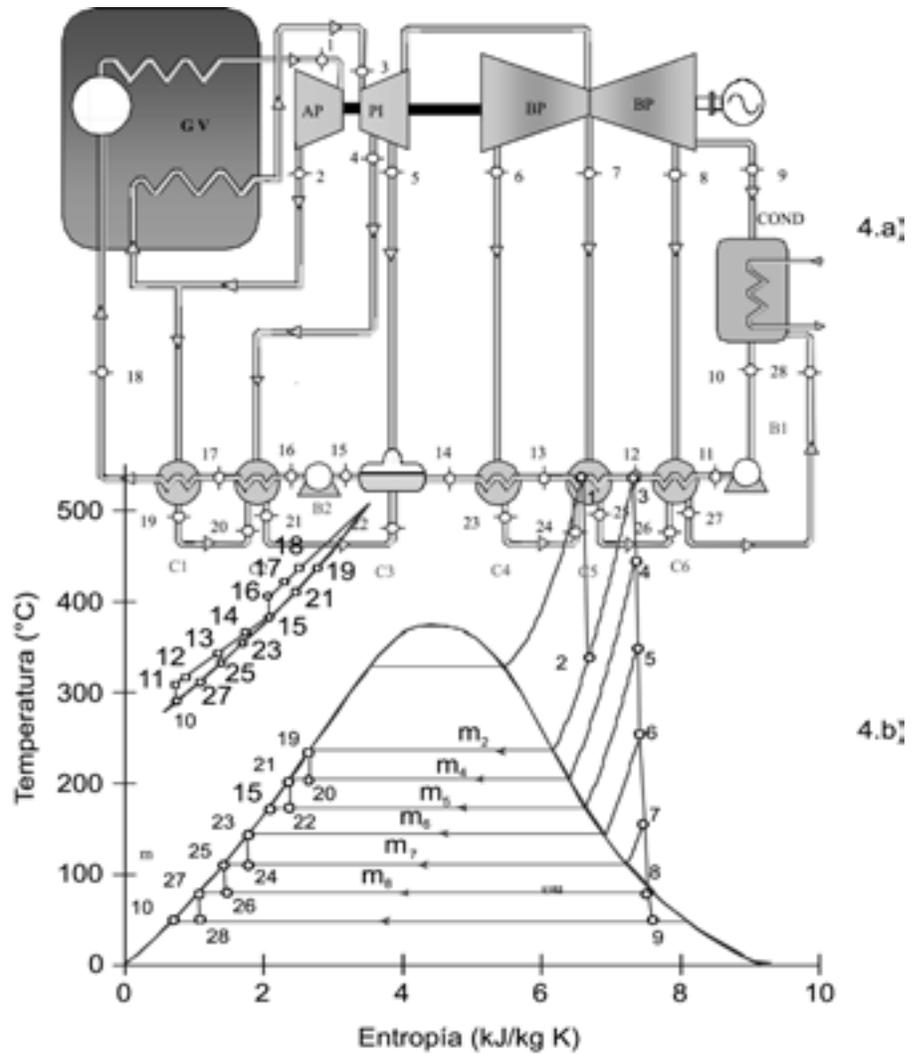


Figura 4.

- a) Diagrama esquemático de una central termoeléctrica.
- b) Temperatura – entropía de una central termoeléctrica.

En este artículo, sólo se realiza el análisis exergético al agua que se utiliza como fluido de trabajo en el ciclo de potencia, con la finalidad de presentar la diferencia entre cantidad y calidad de la energía, así como la influencia en la presión y temperatura en el agua cuando se consideran los intervalos a los cuales operan las centrales termoeléctricas.

De acuerdo con la ecuación (1), la exergía depende de los valores de la entalpía y entropía, a su vez, estas propiedades están en función de la presión y temperatura del estado termodinámico. En la Figura 7, el máximo valor de la exergía para temperaturas menores a 400°C en la región de vapor sobrecalentado, se encuentra entre las presiones de 80 a 115 bar; a partir de ese intervalo, la exergía tiende a disminuir al igual que la entalpía.

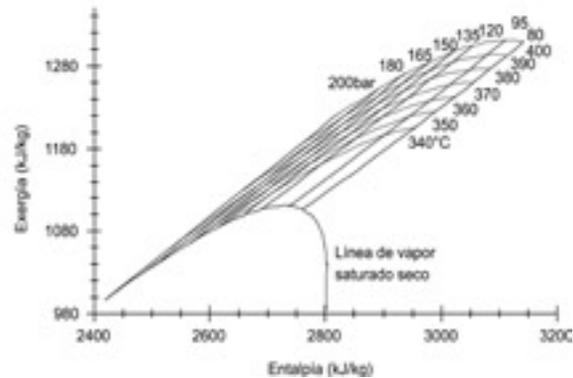


Figura 7. Exergía - entalpía en la región de vapor sobrecalentado en un intervalo de temperaturas de 340°C a 400°C.

En la Figura 8 se puede ver que al aumentar la temperatura del vapor sobrecalentado de 400 a 538°C, a presiones de 80 a 200 bar, el máximo valor de la exergía se encuentra entre las presiones de 95 a 135 bar.

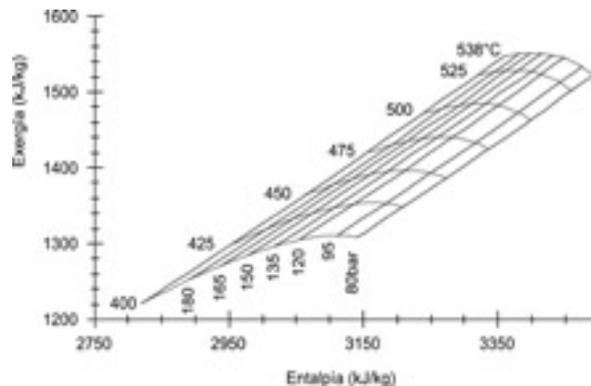


Figura 8. Exergía - entalpía en la región de vapor sobrecalentado en un intervalo de temperaturas de 400°C a 538°C.

La entalpía es mayor a bajas presiones y altas temperaturas, al contrario de la calidad que alcanzan sus valores máximos en 95 bar a 135 bar en el intervalo analizado. En la Figura 8 se muestra que a mayor presión, la entropía va disminuyendo; la entalpía a una temperatura y presión alta tiene un valor menor que cuando se tienen presiones inferiores. Sustituyendo estos valores en la ecuación de exergía de flujo, se tienen calidades de energía altas; sin embargo, cuando se llega a intervalos de presión y temperatura donde la disminución de entropía no es tan significativa comparada con la entalpía, la calidad tiende a disminuir, alcanzando sus valores máximos en los puntos de inflexión.

La entalpía, al igual que la exergía, depende de la temperatura y presión. Comparando los estados termodinámicos al final del sobrecalentamiento y del recalentamiento en una central térmica (los cuales están a la misma temperatura pero a diferentes presiones), el valor de la entalpía del *estado a* es mayor al del *estado b*, Figura 5.

En la Figura 8 se observa que la entalpía sobre cualquier isoterma, se incrementa cuando disminuye la presión. De acuerdo con la definición de entalpía:

$$h = u + pv, \quad (2)$$

la energía interna es función de la temperatura, si el vapor sobrecalentado se comportara como gas ideal $h_a \approx h_b$. El segundo término “pv” aumenta el valor de la entalpía, a menor presión el valor del volumen específico se incrementa, Figura 5, por lo tanto $h_a > h_b$.

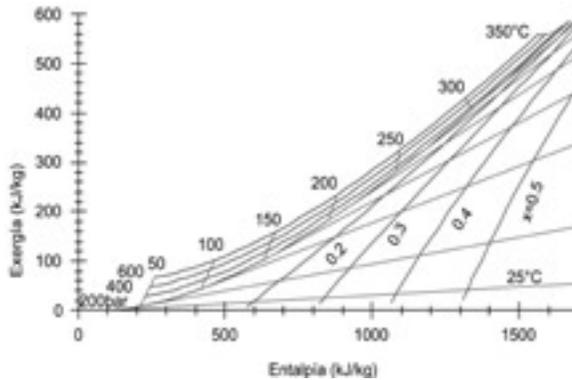


Figura 9. Exergía - entalpía en la región de líquido comprimido.

Dentro de la curva de saturación, a mayor temperatura o presión de saturación, la exergía se acrecienta, como se muestra en la Figura 9. Cuando se tiene líquido comprimido, la variación de la presión en la calidad de la energía es mínima, por lo tanto, con presiones inferiores a 160 bar, la variación de la exergía depende de la temperatura, debido a que el agua en su estado líquido es incompresible.

Conclusiones

El análisis energético y exergético del agua como sustancia de trabajo para generar energía en una central de potencia, es una herramienta importante para predecir el buen funcionamiento de la planta, debido a que en el proceso de generación se tienen diferentes estados termodinámicos, de los cuales se puede obtener trabajo útil con mayor probabilidad, ya que, desde el punto de vista tecnológico “el mayor contenido de exergía en un determinado tipo de energía, será lo más valioso”.

Referencias...

- 1) Kotas, Tadeusz J. *The exergy method of plant analysis*. Ed. Butterworth, Londres, 1985.
- 2) Moran M.J., Sciubba E. April 1994 “Exergy Analysis: Principles and Practice”. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*. Vol. 116, pp. 285-290.
- 3) Ibrahim Dincer, Husain Al- Muslim. 2001. “Thermodynamic analysis of reheat cycle steam power plant”. *International Journal of Energy Research*. Vol. 25, pp. 727-739.
- 4) Sala Lizarraga Jose M. *Termodinámica de fluidos y el método de análisis exergético*. Servicio Editorial Universidad del País Vasco. 1985.
- 5) Weston A. Hermann. April 2005. “Quantifying global exergy resources”. *Energy, Elsevier*. Vol. 23, pp. 1-18.

Nomenclatura

h entalpía; [kJ/kg],
 T temperatura; [K],
 s entropía; [kJ/(kg K)],
 x fracción másica; [kg vapor/kg agua líquida].

Símbolos

e_x exergía de flujo, [kJ/kg].

Sub índice

0 referencia o estado muerto,
 i estado i-esimo.