

**EFICIENCIA ENERGÉTICA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BALANCE
ENERGÉTICO Y EXERGÉTICO: ESTUDIO DE UNA CENTRAL
TERMOELÉCTRICA (CON EL USO DE DATOS REALES Y RESULTADOS QUE
DAN MEJORAS APLICABLES A LA MISMA PARA MEJORAR SU
EFICIENCIA)**

**LOPEZ, GRACIELA R.¹; GARCIA, ENRIQUE ALDO¹, CONVERTINI, LUIS ANDRÉS¹ Y
FARINA, MATIAS GABRIEL¹**

1Instituto Regional de Estudios Sobre Energía
Facultad Regional Mendoza Universidad Tecnológica Nacional
Rodríguez 273 Ciudad 5500 Mendoza
e-mail:energía.irese@frm.utn.edu.ar

Resumen. *El país, tanto como la provincia de Mendoza, atraviesan una crisis energética estructural y la realización de acciones energéticas en el corto y mediano plazo requieren de diagnósticos. Para ello se deberá partir de la actualización desde las bases, llevando a cabo la realización de un balance energético y exergético de un caso piloto, el cual se hará sobre un Ciclo Rankine correspondiente a una Central Térmica convencional (usando datos reales de una central en particular). Se pretende detectar: 1- oportunidades de mejora en el uso y aprovechamiento de los combustibles y modificaciones a la planta con el objeto de mejorar su eficiencia térmica, 2- optimización del proceso de combustión, 3- oportunidades de ahorro de los energéticos empleados, 4- establecer sus mejores prácticas, 5- que los resultados obtenidos puedan ser exportables a otras empresas de nuestro medio y del país, a los efectos de “ganar energía” por el ahorro de energía que se produce al ser más eficiente en el uso de los recursos energéticos. El estudio se llevará a cabo en unidades generadoras de energía eléctrica que funcionen bajo un ciclo Rankine son sobrecalentamiento y economizador usando datos de una central en particular, pero exportables a todas las que usan este principio de funcionamiento. El balance Energético y Exergético resultará una herramienta de gran importancia para poder establecer el uso eficiente de la energía en centrales termoeléctricas de la Región y del País.*

Palabras clave: Balance, Energético, Exergético, Centrales, Termoeléctricas

1. INTRODUCCIÓN

Un balance energético convencional no brinda información suficiente sobre las pérdidas de energía internas, debido a que no diferencia entre los distintos grados de calidad de la misma. Por lo tanto, no es la herramienta adecuada para detectar el mejor aprovechamiento de la

energía térmica primaria para transformarla eficientemente en trabajo mecánico, en virtud de que se basa en el Primer Principio de la Termodinámica, el cual trata a los diferentes tipos de energía como equivalentes, sin considerar la calidad de las mismas.

El balance exergético, en cambio, tiene presente el concepto aportado por el Segundo Principio de la Termodinámica proporcionando una medida cuantitativa de la calidad de la energía. La energía térmica, o también llamada energía calórica, aportada por la fuente caliente es energía de segunda calidad, debido ya que toda energía aportada a una máquina térmica no se convierte totalmente en trabajo mecánico, quedando una importante parte de ella como pérdida hacia la fuente fría.

En consecuencia, el Segundo Principio de la Termodinámica demuestra que mientras mayor sea la temperatura a la que se aporte la energía calórica a la máquina térmica mayor será la conversión de ésta en trabajo mecánico, con lo cual mayor será la eficiencia para convertir energía calórica a trabajo mecánico.

El análisis exergético es una herramienta de gran valor en los sistemas de transformación de energía calórica, proporcionando información de hasta que límite es posible reducir las pérdidas. [1], [2], [4],

El propósito es, mediante variables mensurables en una central térmica calcular y cuantificar los rendimientos energéticos y exergéticos de un ciclo de vapor para estudiar el comportamiento operativo, con el fin de determinar oportunidades de ahorro. Para ello se ha desarrollado un soft que permite identificar obtener dichos rendimientos.

El ciclo que se tomó como referencia no tiene economizador, y tiene calentadores de alta, media y baja presión. Debe tenerse en cuenta, que los ciclos pueden variar de central en central de modo que lo recomendable es identificar todos los elementos y en base a esto basar el estudio.

2. METODOLOGÍA

El procedimiento consiste en:

1. Identificar los puntos donde se efectuarán las mediciones y tomar datos de Presión, Temperatura, título y tipo de fluido

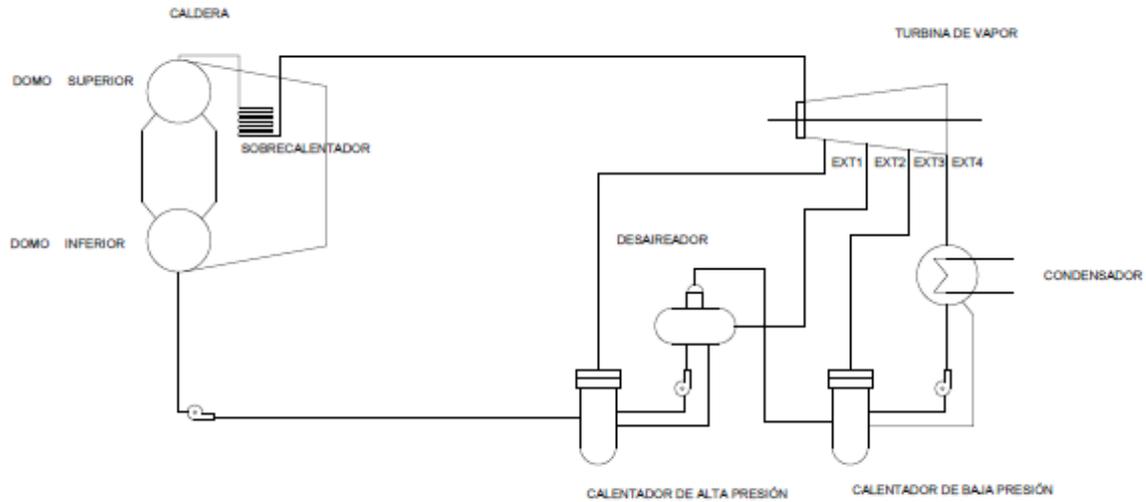


Fig.1 Ciclo de Vapor

1. Se ingresan al programa, los valores de los puntos identificados en dónde se podrá discriminar el cálculo del rendimiento para cada componente del Ciclo de Vapor, .Fig.

2. Se ingresan los **valores de referencia**

P_0 Presión (bar),

T_0 Temperatura, (K),

h_0 Entalpía (J/kg),

S_0 Entropía (J/kgK),

Las variables son:

P presión (bar)

T temperatura (K)

h entalpía por unidad de masa (J/kg)

S entropía por unidad de masa (J/kg.K)

PCI poder calorífico inferior, (J/kg)

G caudal (ton/h)

e energía (J)

1. Se utiliza el programa STEAM para hallar h_1 y S_1 [3]

2. Las ecuaciones que se emplearon son

$$b = (h_1 - h_0) - T_0 (S_1 - S_0) \quad (1)$$

Exergía del punto en cuestión, (1).

$$W = \frac{P_1 - P_0}{\rho} + \frac{v_1^2 - v_0^2}{2} + g\Delta H + Q \quad (2)$$

Ecuación de Bernoulli igualada trabajo menos calor entregado y nulo los términos de

velocidad y altura debido a que es un régimen permanente y las alturas se desprecian. (2).

$$Q := G \cdot b \quad (3)$$

Flujo de una propiedad, (3).

$$\eta = \frac{\text{salida}}{\text{entrada}} \quad (4)$$

Rendimiento, (4).

2.1. Aplicación

Parámetros referidos al ciclo

Valores de referencia

$$P_0 := 1.013 \text{ bar}$$

$$T_0 := 298 \text{ K} = 24.85 \text{ °C}$$

$$h_0 := 0 \text{ J/kg}$$

$$S_0 := 0 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$$

• Caldera

$$P_1 := 43 \text{ bar}$$

$$T_1 := 440 \text{ °C}$$

$$T_{aa1} := 151.5 \text{ °C} \quad \text{Temperatura de agua de alimentación}$$

$$Gv_1 := 45.268 \text{ ton/hr}$$

$$PCI_{combustible} = 10000 \text{ kcal/kg} \cdot 4.18 \text{ J/cal} = 41800000 \text{ J/kg} \quad (5)$$

$$Gv_{combustible} = 3.23 \text{ ton/hr}$$

Del programa STEAM

$$h_1 = 3303690 \text{ J/kg}$$

$$S_1 = 6868.4 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$$

$$b_1 := (h_1 - h_0) - T_0 (S_1 - S_0) = 1256906.8 \text{ J/kg} \quad (6)$$

$$h_{ag} = 638655 \text{ J/kg}$$

$$S_{ag} := 1853.03 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$$

$$b_{ag} := (h_{ag} - h_0) - T_0 (S_{ag} - S_0) = 86452.06 \text{ J/kg} \quad (7)$$

$$t_{comb} := 723 \text{ K} \quad \text{Temperatura de combustión}$$

Se obtienen los siguientes resultados:

Rendimiento energético cociente de energía de salida sobre la energía de entrada.

$$\eta_{energético\text{caldera}} = \frac{Gv_1 * (h_1 - h_{ag})}{Gv_{combustible} * PCI_{combustible}} = 0.894 \quad (8)$$

Rendimiento exergético es el cociente de la exergía producidas, sobre la exergía consumida.

$$\eta_{\text{exergético_caldera}} = \frac{Gv_1 * (b_1 - b_{ag})}{Gv_{\text{combustible}} * PCI_{\text{combustible}}} = 0.39 \quad (9)$$

3. RESULTADOS

El soft elaborado arroja los siguientes valores, que se observan en la tabla 1.

Entrada/Salida	Balance energético Potencia (Joule/segundo)	%	Balance exergético Potencia (Joule/segundo)	%
Entrada F.O.	$P_{\text{comb1}} = 34.023 \text{ W}$	$\varepsilon_{\text{tot}} = 100$	$P_{\text{comb1}} = 34.023 \text{ W}$	$\varepsilon_{\text{tot}} = 100$
Pérdidas	$P_{\text{perd1}} = 3.622 \text{ W}$	$\varepsilon_2 = 10.646$	$P_{\text{ex_perd1}} = 20.671 \text{ W}$	$\varepsilon_{2\text{ex}} = 60.757$
Total entregado	$P_{\text{total}} = 30.40 \text{ W}$	$\varepsilon_1 = 89.354$	$P_{\text{ex_total}} = 13.352 \text{ W}$	$\varepsilon_{2\text{ex}} = 39.243$

Tabla 1 Resultados de la Caldera

De esta forma con los valores para los distintos componentes del ciclo de vapor, se permite que se vea y analice en dónde se puede mejorar cada equipo para lograr un óptimo uso de la energía.

4. CONCLUSIONES

Para el caso analizado de la caldera se puede expresar:

El η energético caldera se puede incrementar disminuyendo el consumo de combustible utilizado en la caldera ($m_{\text{combustible}}$), para lo cual se deberían tomar las siguientes acciones:

- Verificar el estado de la aislación térmica del cuerpo de la caldera a fin de proceder a un cambio parcial, o general de mismo que produciría una disminución en el calor perdido por radiación y convección.
- Controlar la temperatura de salida de los gases de combustión por chimenea a fin de detectar posible estado de ensuciamiento de las superficies de calefacción de la caldera, como son los tubos hervidores del hogar y los tubos del sobrecalentador.
- Verificar el actual procedimiento de purga de fondo de la caldera con el objetivo de obtener un caudal de purga menor de la misma, respetando los valores admisibles de sólidos disueltos indicados por fabricante.

El η exergético caldera se puede incrementar, para lo cual se deberían tomar las siguientes acciones:

- Aumentar la temperatura a la cual se realiza la combustión en el hogar de la caldera (tcombustión) verificando el caudal másico de aire primario y aire secundario en los quemadores.
- Verificar como se realiza el proceso de mezcla entre el combustible y el aire primario y secundario de manera de introducir mejoras que conduzcan a obtener una mezcla uniforme, una llama de dimensiones estables y una adecuada turbulencia a la salida de los quemadores.
- Mejorar el proceso de combustión existente con el fin de reducir los inquemados sólidos y gaseosos (CO; CH y MP); con el objeto de mejorar el rendimiento de la combustión.

Siendo:

- a. CO: monóxido de carbono
- b. CH: hidrocarburo gaseoso sin quemar
- c. MP: material particulado (hollín)

5-REFERENCIAS

- [1] Kotas, T.J.; The energy method of thermal plant; Krieger Company-EUA
- [2] Gómez J.L. y Ribes A.; Análisis exergético; Editorial Reverte, Barcelona
- [3] Chemical Logic Steam Tab Corporation-USA
- [4] Lugo R; Salazar M.; Zamora J.M.; Torres A. y Toledo M.; Análisis exergético de una central termoeléctrica; Científica, Vol. 3, Num. 1; Instituto Politécnico Nacional-México
- [5] Bejan A.; Advance engineering thermodynamics; A. Wiley Interscience Publication; John Wiley & Sons- USA.