



Análisis energético para la sostenibilidad de la generación eléctrica plantas Genevapca-Turbogas punto fijo de la Península de Paraguaná

Energy Analysis for the Sustainability of Power Generation Plants Fixed Genevapca-Turbogas Punto Fijo of the Paraguaná Peninsula

Elybe Hernández - Rangel^{a*}

Recibido: Febrero 19 de 2015
Recibido con revisión: Julio 20 de 2015
Aceptado: Diciembre 01 de 2015

^{a*}Universidad Nacional Experimental
Francisco de Miranda, Prolongación
Av. Táchira Sector Universitario Núcleo
Académico El Sabino
Venezuela
Tel.: +580 4265664566
elybetrr@unefm.edu.ve

RESUMEN

En la Península de Paraguaná Venezuela, el desarrollo generalizado se acrecentó los últimos años, lo cual se percibe como un incremento en la demanda de generación eléctrica en las Plantas GENEVAPCA y TURBOGASPUNTOFIJO, de esta investigación se obtienen los balances exergeticos para conocer hasta qué punto se está produciendo el deterioro de las plantas que generan electricidad, y a partir de los resultados establecer las teorías y procedimientos de mejoras en la eficiencia energética. La metodología para llevar a cabo esta investigación está enmarcada en las siguientes fases: 1-Determinacion de la demanda eléctrica, 2.- Realización de un balance en las emisiones contaminantes, 3.- Elaboración de los balances exergeticos derivados de los volúmenes establecidos en las plantas, 4.- Establecimiento de la estructura de costos adecuada. Los análisis permitieron determinar las disponibilidades de energía y calor así como también los costos energéticos y económicos que se derivan de las pérdidas y destrucciones exergeticas.

PALABRAS CLAVE

Demanda eléctrica, generación eléctrica, análisis exergetico, costos.

ABSTRACT

In the Paraguaná Peninsula in Venezuela, widespread development grew the past few years, which is perceived as an increase in the demand for electricity generation at the plant GENEVAPCA and TURBOGASPUNTOFIJO, this research exergeticos balances are obtained to know up to what point is producing the deterioration of plants that generate electricity, and from the results establish the theories and procedures of improvements in energy efficiency. The methodology to carry out this research is framed in the following stages: 1-determination of the electric demand, 2.-a balance of polluting emissions, 3.-preparation of balance sheets exergeticos derived from plants, set volumes 4.-establishment of appropriate cost structure. The analysis allowed to determine the availability of energy and heat as well as the energy and economic costs resulting from losses and destructions exergeticas.

KEYWORDS

Power generation, electricity demand, costs, exergy analysis

Energética 46, diciembre(2015), pp.13-21

ISSN 0120-9833 (impreso)

ISSN 2357 - 612X (en línea)

www.revistas.unal.edu.co/energetica

© Derechos Patrimoniales

Universidad Nacional de Colombia



1. INTRODUCCIÓN

Para el estado venezolano así como el resto del mundo es de vital importancia un cambio, pero este debe ser sistemático y de contribución de todos, por parte del proyecto este se encargara de dar las mejores recomendaciones en cuando a los beneficios que trae el estudio exergetico, en función de la optimización de los procesos que surgen de la generación eléctrica de la Península, una zona donde la explosión comercial y demográfica se ha visto incrementada en gran medida, de manera que el estudio de la disponibilidad y la mejora de la utilización de los recursos requeridos para el funcionamiento de las plantas responsables de la energía eléctrica, es un estudio que permitirá diagnosticar la situación en vías de una futura decisión que fomente el incremento de la eficiencia energética en el marco de una más sustentable y productiva manera de generar electricidad para el bienestar de la zona.

Según [Arias, 1999] Los objetivos de investigación son metas que se traza el investigador en relación con los aspectos que desea indagar y conocer; así el planteamiento general es: Evaluar Exergetica y Ambientalmente las plantas responsables de la Generación Eléctrica en la Península de Paraguaná, para lógralo se tendrá en consideración los siguientes objetivos específicos: Determinar la demanda eléctrica de la Península de Paraguaná y sus implicaciones económicas, Realizar un balance ambiental de las emisiones contaminantes provenientes de la generación eléctrica en la Península, Elaborar los balances exegéticos derivados de los bloques formados por las plantas, Establecer la estructura de costos adecuada para el análisis exegético, Calcular los costos exergoeconómicos de las plantas de generación eléctrica.

2. MÉTODOS

I Estado actual de la generación eléctrica

En la Península de Paraguaná coexisten tres plantas interconectadas, para el análisis se eligió dos de ellas por sus características de ciclos abiertos y de turbogeneración: GENEVAPCA que es una compañía anónima y Planta Turbo-Gas Punto Fijo, la primera cuya generación es distribuida a varios entes dentro de los cuales se encuentra la otra planta nombrada aportándole un 40% de su energía, el resto de la demanda es alcanzada con la generación de la planta Turbo-gas. En la Tabla 1 se encuentra las demandas eléctricas de la península, evidenciándose el déficit energético, traducido en altos costos tanto por parte del estado como de los consumidores, ya que no tienen garantía de servicio eléctrico para las necesidades más usuales, esto por otra parte desmejora los avances que se tienen en el ámbito turístico y científico de la zona. Se sabe según la investigación de campo realizada que entre

ambas plantas se genera 222 MW, lo que se traduce que según la proyección descrita existe un déficit de 130 MW, considerando que esta proyección se hizo en función de obras que están en alto grado de construcción y que pronto estarán en funcionamiento.

| DEMANDA ENERGETICA | |
|-------------------------------|-----------------|
| DIARIA (kWh) | ANUAL(MWh) |
| 1036 | 130,536 |
| 1598,4 | 70,3296 |
| 1391,2 | 139,12 |
| 266,4 | 11,988 |
| Total Anual proyección | 351,9736 |

Tabla 1. Demanda Eléctrica

Fuente: Propia, con los datos aportados por el departamento de despacho de la empresa CORPOELEC. Aplicando el Procedimiento de Jutlar 2002.

II Análisis exergetico

El análisis exergetico va hacer aplicado de manera general a un ciclo Brayton simple y abierto como son las especificaciones de las plantas a las cuales se les hizo el estudio estos diagramas de procesos o ciclos termodinámicos además de los parámetros operativos se encuentran en la figura 1 y tabla 1 que se encuentran a continuación:

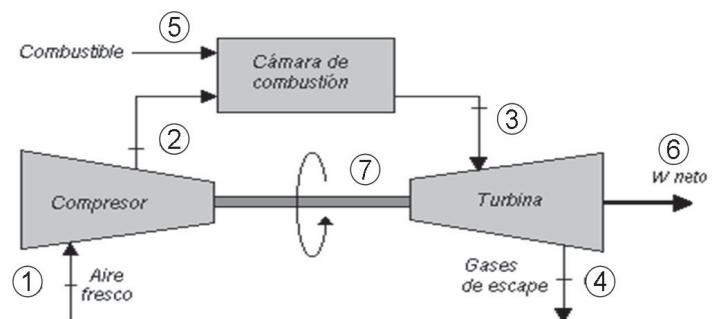


Figura 1. Diagrama y punto de flujos turbocompresor de ambas plantas GENEVAPCA, Turbo-Gas Punto Fijo.

Fuentes: Elaboración Propia. Observación se mejoró la nitidez de la figura.

El análisis exergetico tiene un procedimiento de cálculo que se describe a continuación:

- Se selecciona los volúmenes de control que serán entonces el compresor, la cámara de combustión y la turbina a gas de cada una de los turbocompresores que conforman las plantas
- Se determinan las propiedades exergeticas en cada flujo establecidos en los diagramas de procesos según los estados de referencia dados por [Ahrendts, 1998; Guallar & Valero, 1992; Szargut & Morris, 1987; Wall, 1998].
- Se realizan los balances exergeticos en los volúmenes de

| Unidad 7 | | |
|-----------------------------|-------------------------|----------------------|
| Flujo | Temperatura (°K) | Presión (Psi) |
| 1 | 298.15 | 14.5 |
| 2 | 607 | 110 |
| 3 | 1566 | 110 |
| 4 | 769.1 | 14.5 |
| 5 | 298 | 300 |
| Otros parámetros | | |
| Carga Máxima : 20 MW | | |
| Unidad 9 | | |
| Flujo | Temperatura (°K) | Presión (Psi) |
| 1 | 298.15 | 14.5 |
| 2 | 600 | 106 |
| 3 | 1511 | 106 |
| 4 | 751 | 14.5 |
| 5 | 298 | 290 |
| Otros parámetros | | |
| Carga Máxima : 18 MW | | |
| Unidad 10 | | |
| Flujo | Temperatura (°K) | Presión (Psi) |
| 1 | 298.15 | 14.5 |
| 2 | 603 | 107 |
| 3 | 1527 | 107 |
| 4 | 755 | 14.5 |
| 5 | 298 | 294 |
| Otros parámetros | | |
| Carga Máxima : 18 MW | | |
| Unidad 12 | | |
| Flujo | Temperatura (°K) | Presión (Psi) |
| 1 | 298.15 | 14.5 |
| 2 | 602 | 107 |
| 3 | 1539 | 107 |
| 4 | 762 | 14.5 |
| 5 | 298 | 296 |
| Otros parámetros | | |
| Carga Máxima : 19 MW | | |
| Unidad 13 | | |
| Flujo | Temperatura (°K) | Presión (Psi) |
| 1 | 298.15 | 14.5 |
| 2 | 605 | 108 |
| 3 | 1542 | 108 |
| 4 | 760 | 14.5 |
| 5 | 298 | 292 |
| Otros parámetros | | |

Tabla 2. Parámetros operativos de los turbogeneradores.

Fuentes: Elaboración Propia

control correspondientes para obtener las exergias destruidas, las eficiencias exergeticas y la relación K según [Ahrendts, 1977].

- Se realizan los cálculos de los costos exergeticos para obtener los resultados del diagnóstico. [Brodyanski, et al., 1994]
- Se realizaron los cálculos de eficiencias energéticas y exergeticas del sistema-volumen de control según el investigador y los procedimientos descritos por [Al-Ahmad, & Darwish, 1991].

A continuación se realizan el desarrollo de estos procedimientos: Para la determinación de exergias de flujos se tomaron como base los procedimientos descritos por [Bejan, et al., 1996], con el cálculo de las entalpías de los flujos se obtendrá el cálculo de la potencia de neta de cada turbogenerador, el cálculo del flujo de aire, además de la exergía física de cada flujo analizado.

Para entalpías de formación de los flujos en condiciones de temperatura y presión diferente a las de referencia se utilizó la siguiente ecuación:

$$\bar{h}^{\circ} = 10^3 \left[H^+ + ay + \frac{b}{2} y^2 - cy^{-1} + \frac{d}{3} y^3 \right] \quad (1)$$

Donde:

Los valores H^+ , a , b , c y d ; fueron extraídos de la tabla 2, siendo, $y = (Temperatura) \times 10^{-3}$

| Substance | Formula | H^+ | S^+ | a | b | c | d |
|-----------------------|---------------------|----------|---------|--------|---------|--------|---------|
| Carbon (graphite) | C(s) | -2.101 | -6.540 | 0.109 | 38.940 | -0.146 | -17.385 |
| Sulfur (rhombic) | S(s) | -5.242 | -59.014 | 14.795 | 24.075 | 0.071 | 0 |
| Nitrogen ^b | N ₂ (g) | -9.982 | 16.203 | 30.418 | 2.544 | -0.238 | 0 |
| Oxygen | O ₂ (g) | -9.589 | 36.116 | 29.154 | 6.477 | -0.184 | -1.017 |
| Hydrogen | H ₂ (g) | -7.823 | -22.966 | 26.882 | 3.586 | 0.105 | 0 |
| Carbon monoxide | CO(g) | -120.809 | 18.937 | 30.962 | 2.439 | -0.280 | 0 |
| Carbon dioxide | CO ₂ (g) | -413.886 | -87.078 | 51.128 | 4.368 | -1.469 | 0 |
| Water | H ₂ O(g) | -253.871 | -11.750 | 34.376 | 7.841 | -0.423 | 0 |
| Water | H ₂ O(l) | -289.932 | -67.147 | 20.355 | 109.198 | 2.033 | 0 |
| Methane | CH ₄ (g) | -81.242 | 96.731 | 11.933 | 77.647 | 0.142 | -18.414 |
| Sulfur dioxide | SO ₂ (g) | -315.422 | -43.725 | 49.936 | 4.766 | -1.046 | 0 |
| Hydrogen sulfide | H ₂ S(g) | -32.887 | 1.142 | 34.911 | 10.686 | -0.448 | 0 |
| Ammonia | NH ₃ (g) | -60.244 | -29.402 | 37.321 | 18.661 | -0.649 | 0 |

Tabla 3. Valores H^+ , S^+ , a , b , c y d para aplicar (e.1).

Fuente: [Bejan et al., 1996] p.520

Luego de obtener la entalpia de formación por cada elemento que constituye el flujo de aire que atraviesa el volumen de control 1 se calculó la entalpia total mediante.

$$h_1 = [0.7748.(h_1N_2)] + [0.2059.(h_1O_2)] + [0.0003.(h_1CO_2)] + (0.019.h_1Vapor)$$

Caso especial se encuentra en los flujos 3 y 4 donde existen gases de combustión.

Basados en el poder calorífico inferior (LHV) y la entalpia de formación del diésel ligero, se calculó la relación molar de aire/combustible (λ).

$$\lambda = \frac{(0.7748.C\Delta h_{32}N_2) + (0.2059.C\Delta h_{32}O_2) + (0.0003.C\Delta h_{32}CO_2) + (0.019.C\Delta h_{32}Vapor)}{hf - (0.02.LHV) - [-2Ch_3O_2] + (Ch_3O_2) + 2(Ch_3Vapor)}$$

Donde:

$C\Delta h_{32}$, representa el diferencial de entalpias de formación de los flujos 2 y 3 de cada elemento que conforman los gases, en Kj/Kg, Y Ch_3 es la entalpia de formación de cada elemento que conforma el flujo 3 en Kj/Kg.

Obteniendo el λ se calculó la entalpia de formación de los gases de combustión mediante.

$$h_3 = \frac{[[0.7748h_3N_2]] + (0.2059 - 2\lambda).(h_3O_2) + [0.0003 + \lambda].h_3CO_2] + (0.019 + 2\lambda).(h_3Vapor)}{(1 - \lambda)}$$

De igual manera se determinan las entropías de formación para el cálculo de las entropías de flujo. Con las entalpias y entropías de formación se realizan los cálculos de las exergias físicas y químicas correspondientes en los flujos del diagrama arrojando los siguientes resultados organizados en las tablas 4, 5, 6, 7, 8.

| | Temp. (°K) | Presión (Psi) | Flujo Masico (Kg/s) | Entalpía (h) (KJ/Kmol) | Entropía (s) (KJ/Kmol * K°) | Exergía Física (Mw) | Exergía Química (Mw) | Exergía Total |
|---|------------|---------------|---------------------|------------------------|-----------------------------|---------------------|----------------------|---------------|
| 1 | 298,150 | 14,500 | 25,549 | -4713,293 | 199,263 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 2 | 607,000 | 110,000 | 25,549 | 4653,053 | 204,056 | 7,078 | 0,000 | 7,078 |
| 3 | 1566,000 | 110,000 | 27,215 | 6643,279 | 238,039 | 32,619 | 0,546 | 33,165 |
| 4 | 769,100 | 14,500 | 27,215 | -21292,097 | 230,575 | 8,192 | 0,546 | 8,738 |
| 5 | 298,150 | 300,000 | 1,666 | -1458,551 | ----- | 0,073 | 76,267 | 76,340 |
| 6 | 298,150 | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | 19,410 |
| 7 | 298,150 | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | 8,425 |

Tabla 4. Exergías totales unidad 7

Fuente: Elaboración Propia

| | Temp. (°K) | Presión (Psi) | Flujo Masico (Kg/s) | Entalpía (h) (KJ/Kmol) | Entropía (s) (KJ/Kmol * K°) | Exergía Física (Mw) | Exergía Química (Mw) | Exergía Total |
|---|------------|---------------|---------------------|------------------------|-----------------------------|---------------------|----------------------|---------------|
| 1 | 298,150 | 14,500 | 24,300 | -4713,293 | 199,263 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 2 | 600,000 | 106,000 | 24,300 | 4432,295 | 204,003 | 6,559 | 0,000 | 6,559 |
| 3 | 1511,000 | 106,000 | 25,865 | 6401,872 | 236,977 | 29,337 | 0,519 | 29,856 |
| 4 | 751,000 | 14,500 | 25,865 | -20083,223 | 229,697 | 7,386 | 0,519 | 7,905 |
| 5 | 298,150 | 290,000 | 1,565 | -1458,551 | ----- | 0,068 | 71,643 | 71,711 |
| 6 | 298,150 | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | 17,196 |
| 7 | 298,150 | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | 7,824 |

Tabla 5. Exergías totales unidad 9

Fuente: Elaboración Propia

| | Temp. (°K) | Presión (Psi) | Flujo Masico (Kg/s) | Entalpía (h) (KJ/Kmol) | Entropía (s) (KJ/Kmol * K°) | Exergía Física (Mw) | Exergía Química (Mw) | Exergía Total |
|---|------------|---------------|---------------------|------------------------|-----------------------------|---------------------|----------------------|---------------|
| 1 | 298,150 | 14,500 | 24,085 | -4713,293 | 119,263 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 2 | 603,000 | 107,000 | 24,085 | 4526,874 | 204,081 | 6,560 | 0,000 | 6,560 |
| 3 | 1527,000 | 107,000 | 25,649 | 6502,105 | 237,301 | 29,565 | 0,515 | 30,080 |
| 4 | 755,000 | 14,500 | 25,649 | -20445,927 | 229,897 | 7,415 | 0,515 | 7,930 |
| 5 | 298,150 | 294,000 | 1,565 | -1458,551 | ----- | 0,068 | 71,643 | 71,711 |
| 6 | 298,150 | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | 17,426 |
| 7 | 298,150 | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | 7,835 |

Tabla 6. Exergías totales unidad 10

Fuente: Elaboración Propia

| | Temp. (°K) | Presión (Psi) | Flujo Masico (Kg/s) | Entalpía (h) (KJ/Kmol) | Entropía (s) (KJ/Kmol * K°) | Exergía Física (Mw) | Exergía Química (Mw) | Exergía Total |
|---|------------|---------------|---------------------|------------------------|-----------------------------|---------------------|----------------------|---------------|
| 1 | 298,150 | 14,500 | 24,947 | -4713,293 | 119,263 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 2 | 602,000 | 107,000 | 24,497 | 4495,342 | 204,028 | 6,781 | 0,000 | 6,781 |
| 3 | 1539,000 | 107,000 | 26,562 | 6483,981 | 237,605 | 30,976 | 0,533 | 31,509 |
| 4 | 762,000 | 14,500 | 26,562 | -20681,822 | 230,226 | 7,828 | 0,533 | 8,361 |
| 5 | 298,150 | 296,000 | 1,615 | -1458,551 | ----- | 0,071 | 73,932 | 74,003 |
| 6 | 298,150 | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | 18,299 |
| 7 | 298,150 | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | 8,087 |

Tabla 7. Exergías totales unidad 12

Fuente: Elaboración Propia

| | Temp. (°K) | Presión (Psi) | Flujo Masico (Kg/s) | Entalpía (h) (KJ/Kmol) | Entropía (s) (KJ/Kmol * K°) | Exergía Física (Mw) | Exergía Química (Mw) | Exergía Total |
|---|------------|---------------|---------------------|------------------------|-----------------------------|---------------------|----------------------|---------------|
| 1 | 298,150 | 14,500 | 24,830 | -4713,293 | 119,263 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 2 | 605,000 | 108,000 | 24,830 | 4589,953 | 204,107 | 6,811 | 0,000 | 6,811 |
| 3 | 1542,000 | 108,000 | 26,445 | 6572,142 | 237,598 | 30,944 | 0,530 | 31,474 |
| 4 | 760,000 | 14,500 | 26,445 | -20770,291 | 230,139 | 7,757 | 0,530 | 8,287 |
| 5 | 298,150 | 292,000 | 1,615 | -1458,551 | ----- | 0,070 | 75,991 | 76,061 |
| 6 | 298,150 | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | 18,310 |
| 7 | 298,150 | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | 8,132 |

Tabla 8. Exergías totales unidad 13

Fuente: Elaboración Propia

Luego de realizar los cálculos exergéticos que derivaron a unidades de energías dentro de los volúmenes de control, se aplica los procedimientos para obtener los costos termoeconomicos y exergoeconomicos según los establecido por [Benítez, 2000; Reistad, 1980; Tsatsaronis, et al., 1993; Aglieri, et al., 1991], si bien es cierto que coinciden las metodologías la vía para su realización se conjugo en un manera única dado por la combinación de teorías como las de [Alconchel, et al., 1989; Frangopoulos, 1994; Reistad, et al., 1970; Valero & Lozano, 1994; Von Spakovsky, 1994; Martínez & Casals, 2002]

| | | | BsF/Kw | exergía destruida BsF | de las pérdidas |
|---------------------------------|------------|-----------|--------|-----------------------------|--------------------|
| COMPRESOR | 1.002.168 | 0 | 0.025 | 25.054,2 | 0 |
| CAMARA DE COMBUSTION | 38.186.544 | 0 | 0.025 | 954.663,6 | 0 |
| TURBINA | 3.732.648 | 6.501.072 | 0.025 | 93.316,2 | 162.256,2 |
| TOTAL | 42.123.048 | 6.501.072 | 0.025 | 1.073.034 | 162.256,2 |

Tabla 9. Costos termoeconomicos de la unidad 7

Fuente: Elaboración Propia

| EQUIPO | Dstrucción exergética Kw | Pérdidas Kw | Costo termoeconómico unitario BsF/Kw | Costo monetario de exergía destruida BsF | Costo monetario de las pérdidas |
|---------------------------------|--------------------------------|----------------|---|--|--|
| COMPRESOR | 941.160 | 0 | 0.028 | 26.352,48 | 0 |
| CAMARA DE COMBUSTION | 37.382.280 | 0 | 0.028 | 1.046.703,84 | 0 |
| TURBINA | 3.537.720 | 5.881.320 | 0.028 | 99.056,56 | 164.676,96 |
| TOTAL | 40.498.896 | 5.881.320 | 0.028 | 1.172.112,88 | 164.676,96 |

Tabla 10. Costos termoeconomicos de la unidad 9

Fuente: Elaboración Propia

| EQUIPO | Dstrucción exergética Kw | Pérdidas Kw | Costo termoeconómico unitario BsF/Kw | Costo monetario de exergía destruida BsF | Costo monetario de las pérdidas |
|---------------------------------|-----------------------------|----------------|---|--|--|
| COMPRESOR | 948.600 | 0 | 0.029 | 27.509,4 | 0 |
| CAMARA DE COMBUSTION | 37.230.504 | 0 | 0.029 | 1.079.684,6 | 0 |
| TURBINA | 3.514.656 | 5.899.920 | 0.029 | 101.925,02 | 171.097,68 |
| TOTAL | 40.317.360 | 5.899.920 | 0.029 | 1.209.119,02 | 171.097,68 |

Tabla 11. Costos termoeconomicos de la unidad 10

Fuente: Elaboración Propia

| EQUIPO | Dstrucción exergética Kw | Pérdidas Kw | Costo termoeconómico unitario BsF/Kw | Costo monetario de exergía destruida BsF | Costo monetario de las pérdidas |
|-------------------------|--------------------------------|------------------|---|--|---------------------------------------|
| COMPRESOR | 971.664 | 0 | 0.027 | 26.234,93 | 0 |
| CAMARA DE COMBUSTION | 38.082.384 | 0 | 0.027 | 1.028.224,4 | 0 |
| TURBINA | 3.607.656 | 6.220.584 | 0.027 | 97.406,71 | 167.955,76 |
| TOTAL | 41.239.920 | 6.220.584 | 0.027 | 1.151.866 | 167.955,76 |

Tabla 12. Costos termoeconomicos de la unidad 12

Fuente: Elaboración Propia

| EQUIPO | Dstrucción exergética Kw | Pérdidas Kw | Costo termoeconómico unitario BsF/Kw | Costo monetario de exergía destruida BsF | Costo monetario de las pérdidas |
|-------------------------|--------------------------------|------------------|---|--|---------------------------------------|
| COMPRESOR | 971.664 | 0 | 0.027 | 26.234,93 | 0 |
| CAMARA DE COMBUSTION | 38.082.384 | 0 | 0.027 | 1.028.224,4 | 0 |
| TURBINA | 3.607.656 | 6.220.584 | 0.027 | 97.406,71 | 167.955,76 |
| TOTAL | 41.239.920 | 6.220.584 | 0.027 | 1.151.866 | 167.955,76 |

Tabla 13. Costos termoeconomicos de la unidad 13

Fuente: Elaboración Propia

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

En los siguientes apartados se encuentran los análisis de cada una de los turbocompresores correspondientes a las planta En la unidad 7: La mayor fuente de irreversibilidad se localiza en la cámara de combustión obteniendo el costo monetario más elevado de 954.663,6 BsF, seguido de 93.316,2 BsF en la turbina y 25.054,2 BsF en el compresor. Teniendo un costo monetario total por irreversibilidades internas del turbogenerador de 1.073.034 BsF. En la unidad se presentan perdidas solamente en la turbina arrojando un costo monetario de 162.256,2 BsF.

En la unidad 9: La mayor fuente de irreversibilidad se localiza en la cámara de combustión obteniendo el costo monetario más elevado de 1.046.703,84 BsF, seguido de 99.056,56 BsF en la turbina y 26.352,48 BsF en el compresor. Teniendo un costo monetario total por irreversibilidades internas del turbogenerador

de 1.172.112,88BsF. En la unidad se presentan perdidas solamente en la turbina arrojando un costo monetario de 164.676,96 BsF.

En la unidad 10: La mayor fuente de irreversibilidad se localiza en la cámara de combustión obteniendo el costo monetario más elevado de 1.079.684,6 BsF, seguido de 101.925,02 BsF en la turbina y 27.509,4 BsF en el compresor. Teniendo un costo monetario total por irreversibilidades internas del turbogenerador de 1.209.119,02 BsF. En la unidad se presentan perdidas solamente en la turbina arrojando un costo monetario de 171.097,68 BsF.

En la unidad 12: La mayor fuente de irreversibilidad se localiza en la cámara de combustión obteniendo el

costo monetario más elevado de 1.028.224,42 BsF, seguido de 97.406,71 BsF en la turbina y 26.234,93 BsF en el compresor. Teniendo un costo monetario total por irreversibilidades internas del turbogenerador de 1.151.866 BsF. En la unidad se presentan pérdidas solamente en la turbina arrojando un costo monetario de 167.955,76 BsF.

En la unidad 13: La mayor fuente de irreversibilidad se localiza en la cámara de combustión obteniendo el costo monetario más elevado de 990.747,6 BsF, seguido de 90.712,2 BsF en la turbina y 24.570,6 BsF en el compresor. Teniendo un costo monetario total por irreversibilidades internas del turbogenerador de 1.106.030,4 BsF. En la unidad se presentan pérdidas solamente en la turbina arrojando un costo monetario de 154.138,2 BsF.

Estos costos exergoeconómicos reflejan el valor monetario que tiene la exergía destruida de cada equipo, por otra parte las pérdidas expresan el costo monetario perdido por la no utilización de los gases de escape de la turbina, característica principal de un ciclo Brayton abierto.

Para la empresa es importante conocer el total de los costos monetarios por concepto de pérdidas de exergía, ya que estos valores de ser aprovechados influirían directamente en el costo de operación, recuperación de la inversión de mantenimiento y en el proceso de generación de electricidad. Los costos de irreversibilidades internas no son tomados en cuenta en el análisis económico para la empresa ya que estos costos, mayormente aportados por la cámara de combustión, son parte del proceso, y por condiciones de diseño siempre estarán presentes, pudiendo minimizarlos en cierto grado para aumentar la eficiencia exergética, lo cual indica que estos costos no repercuten en la gasto directo de operación de las unidades turbogeneradoras, pero reflejan las cantidad de dinero en exergía destruida.

4. CONCLUSIONES

La exergía, y más concretamente las exergías perdidas y destruidas que tienen lugar en los procesos reales, es la única medida que cuantifica, según una base termodinámica correcta, las ineficiencias de los distintos equipos que componen una instalación. Por otra parte, el rendimiento exergético es el parámetro idóneo para comparar de manera racional el comportamiento de distintos equipos, e incluso de plantas completas, aun cuando los elementos confrontados tengan características y utilidades diferentes. Según los señalamientos anteriores se concluye que:

Con la aplicación de este análisis se identificó que la mayor fuente de irreversibilidad se localizaba en la cámara de

combustión y que los esfuerzos futuros para el aprovechamiento de la exergía tienen que enfocarse directamente sobre este equipo y así conseguir la máxima utilidad del combustible, teniendo en cuenta que la irreversibilidad interna de este equipo siempre estará presente por condiciones de diseño de operación del mismo, es decir, los costos de destrucción de exergía obtenidos no tienen influencia directa en los costos de operación mensual de la planta ya que la empresa no toma estos costos como pérdidas, pero dejan ver la cantidad de dinero en exergía destruida.

En las plantas, se obtuvo en promedio un rendimiento exergético de 53% y un costo exergético unitario total de 1,83 indicando que se requieren 1,83 unidades de exergía de fuel para producir 1 unidad de exergía de productos, es decir el producto es 1,83 veces más caro que el combustible empleado.

El costo por pérdida de exergía en la planta es aproximadamente 820.094,8 BsF. mensual, reflejando el alto valor monetario que tienen los flujos 4 (gases de escape de la turbina) que no son aprovechados.

REFERENCIAS

- Aglieri Rinella, D.; Cardona, E.; Culotta, S. "Steam Generator Exergy Optimization.", CH4 Energia Metano, Italy Vol. 8 No.4, 1991.
- Ahrendts, J. (1998) "Reference States", Energy, 5, N 8 - 9, p 667 - 677.
- Ahrendts, J. "Die Exergie chemisch reaktionsfähiger Systeme", VDI - Forschungsheft, Vol. 43, No.579, pp. 1-39, 1977
- Al-Ahmad, M. Sh.; Darwish, M.A "Second Law Analysis of Multi-Effect and Multi-Stage flash desalination plants", Desalination v 81 n 1 - 3 Jul, p 449. 1991
- Alconchel, J. A.; Valero, A.; Abadia, J. "Exergy Simulation of Real Operating Steam Power Plants", Proc. of the Thermodynamic Analysis and Improvement of Energy Systems Conference TAIES'89. Beijing 5 - 8 Jun 1989. Pergamon Books Inc.; NY, USA
- Arias, Fidiás (1999). "El proyecto de la investigación, guía para su elaboración". Tercera Edición. Caracas: Episteme.
- Bejan, A.; Tsatsaronis G. & Moran Michael. "Thermal design and optimization". Jhon Wiley & Sons, New York, USA (1996).
- Benítez Fundora, A. (2000). "Método termoeconómico aplicado a nuevas soluciones energéticas para la industria azucarera". Trabajo de grado de maestría, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos". Matanzas.
- Brodyanski, V.M. Sorin, V.M. & P.; Le Goff. (1994) "The Efficiency of Industrial Processes" Elsevier Pub., New York, 512 pp.
- Frangopoulos, Christos A. "Application of the Thermoeconomic Functional Approach to the CGAM Problem", Energy, Vol. 19, No. 3, 1994, pp. 323 - 342.
- Gualar, J & A. Valero. "Exergía y Ambiente de Referencia", Comunicación Interna, Área de Máquinas y Motores Térmicos, Dpto. de Ingeniería Mecánica, E.T.S.I.I., Universidad de Zaragoza. 8 pp.1992.

- Martínez A.; Casals M.: (2002). "Cálculo de la exergía química específica de combustibles sólidos, líquidos y gaseosos". *Revista cubana de química*. Vol. XIV, N°3, pp.67-75.
- Reistad, G. M., Gaggioli, R. A., Obert, E. F. "Available energy and economic analysis of total energy systems", *Proc. Am. Power Conf.*, vol. 32, 1970, pp. 603-611.
- Reistad, G. M., Gaggioli, R. A. "Available-energy costing", In: Gaggioli, R. A., ed., *Thermodynamics: Second Law Analysis*, ACS Symposium Series 122, American Chemical Society, Washington, D.C., 1980, pp. 143-159.
- Szargut J.; Morris D. R.: "Cumulative Exergy Consumption and Cumulative Degree of Perfection of Chemical Processes". *Energy Research*, Vol. 11. (1987).
- Tsatsaronis, G., Lin, L., Pisa, J. "Exergy costing in exergoeconomics", *Journal of Energy Resources Technology*, Vol. 115, March, 1993, pp. 9-16.
- Valero A., M.A. Lozano. "Curso de Termoeconomía", Dpto. Ingeniería Mecánica, ETSII - Zaragoza, 1994.
- Von Spakovsky, Michael R. "Application of Engineering Functional Analysis to the Analysis and Optimization of the CGAM Problem", *Energy*, Vol. 19, No. 3, 1994, pp. 343 - 364
- Wall, Göran "Exergetics", *Exergy & Ecology Ed.*, Mölndal, Sweden, 158 pp., 1998.