

Análisis exergoeconómico de la planta de cogeneración de la empresa azucarera “Carlos Manuel de Céspedes”

Autores: MSc. Ing. María Magdalena Fals Acuña. Universidad de Camagüey

E-mail maria.fals@reduc.edu.cu

MSc Ing. María A. Loret de Mola López. Universidad de Camagüey

E-mail maria.demola@reduc.edu.cu

Ing. Danyer Alonso Cervantes. Universidad de Camagüey

Resumen

En el trabajo se hace un análisis exergoeconómico de la planta de cogeneración de la empresa azucarera Carlos Manuel de Céspedes. Para el desarrollo del mismo se utilizó la metodología de la teoría del costo exergético de Miguel A. Lozano y Antonio Valero, en la cual a partir de una matriz de incidencia donde se reflejan los subsistemas y flujos que interactúan con ellos y con ayuda de los parámetros termodinámicos que nos permiten evaluar la exergía de cada uno de los flujos, se calcularon los costos exergoeconómicos y termoeconómicos unitarios de los flujos que intervienen en el proceso, como de los subsistemas empleados. Se obtuvo que la eficiencia exergética de la planta es 17 % y la mayor influencia en este resultado, lo aporta el subsistema caldera, donde se alcanzó un rendimiento del 19,2 %, lo cual demuestra que es el lugar donde se producen las mayores irreversibilidades en el proceso.

El costo termoeconómico (\check{d}) del combustible es 0,55 ¢/s.

Introducción

En la actualidad la necesidad de cogenerar mayores cantidades de energía eléctrica partiendo de biomasa (bagazo) adquiere una gran importancia debido a la disminución de la capacidad del estado para invertir en la generación y reducir la factura petrolera, así como por el impacto de su empleo en el medio ambiente.

En una empresa azucarera la planta de cogeneración constituye una de las partes fundamentales de la industria, y está encaminada a la producción de energía eléctrica y a entregar vapor de escape al proceso de fabricación de azúcar, donde éste es altamente consumidor de vapor.

La planta de cogeneración de la empresa azucarera Carlos Manuel de Céspedes, durante años mantuvo su liderazgo en el uso racional de la energía; sin embargo los desgastes mecánicos sufridos por el prolongado tiempo de explotación y la falta de mantenimiento causaron el inestable régimen de presión de vapor de las calderas durante la campaña de producción de crudo, razones que elevaron los índices de consumo de electricidad en momentos en que urge ahorrar. En la zafra pasada fueron planificados 790,73 MW/h y el consumo ascendió a 1005,88MW/h, lo que demostró ineficiencia >yPer.09?y.

El sistema termodinámico que constituye la planta de cogeneración de la empresa azucarera Carlos Manuel de Céspedes, es un conjunto de equipos relacionados entre sí y con el ambiente de referencia por los flujos en ella identificables, los que llevan a cabo el proceso de cogeneración y vapor a proceso para la fabricación de azúcar, obteniéndose el producto deseado a partir del bagazo como combustible.

El objetivo del trabajo fue realizar el análisis exergoeconómico de la planta de cogeneración de la empresa azucarera Carlos Manuel de Céspedes

Desarrollo

En Cuba la existencia de esquemas para cogenerar en el sector industrial no tiene muchos antecedentes y solo se reporta que en Antillana de Acero y Papelera cubana existían turbos de 12 y 7 MW, respectivamente, que hoy no se explotan. Sin embargo la industria azucarera en Cuba ha utilizado ciclos de cogeneración prácticamente desde su surgimiento, aunque es justo señalar que los esquemas tradicionales de la industria azucarera

cubana han estado dirigidos a autoabastecerse de la energía mecánica y el calor del proceso, siendo características comunes en la mayoría de los ingenios el uso de varias calderas de baja presión, máquinas y turbinas de vapor para mover los principales equipos, y turbogeneradores de baja potencia para la autosuficiencia eléctrica.^{3,4}

En nuestro país, la cogeneración está en principio limitada a la que realizan las empresas azucareras, basados en la primera tendencia, es decir, generar energía a partir de procesos ya existentes, en este caso la fabricación del azúcar.

Dentro de las empresas azucareras camagüeyanas, se encuentra la Empresa Azucarera Carlos Manuel de Céspedes, enclavada en el municipio del mismo nombre, al norte limita con el municipio de Esmeralda, al sur-este con Florida y por el oeste con República Dominicana. Fue fundada en 1915. La Empresa se caracteriza por la producción de azúcar crudo, con una capacidad de molida de 380 000 arrobas de caña diariamente. Debido al mal estado de los generadores y las turbinas de vapor, que la condicionaba a ser dependientes del sistema electroenergético nacional durante la molida, hubo de recibir una inversión de atención centralizada con el montaje de dos calderas francesas de 45 t/h y dos turbinas alemanas de 4 MW cada una. La planta de cogeneración de dicha empresa azucarera consta de cinco subsistemas: caldera, turbina de vapor, generador eléctrico, atemperador y bomba.

Los procedimientos que permiten armonizar las exigencias de la Termodinámica con las de la Economía, constituyen precisamente las herramientas termoeconómicas.^{6,10}

La finalidad del trabajo fue el análisis exergoeconómico de la planta de cogeneración de la empresa azucarera Carlos Manuel de Céspedes, donde se determinaron los costos, tanto de exergías como monetarios, de todos los flujos de la planta; para ello se definen las funciones termodinámicas que representan dichos costos, se obtienen sus interdependencias y finalmente se calculan los diferentes costos de la planta de cogeneración en cuestión.

Previamente a esto se realiza una auditoría energética a dicha planta con el objetivo de detectar las principales deficiencias en los diferentes subsistemas, fundamentalmente en el área de calderas por su mayor incidencia, aspecto este que ha sido referido

en trabajos de diplomas realizados con anterioridad en dicha empresa azucarera.¹

Para la realización de este trabajo se hicieron mediciones en los puntos seleccionados de los diferentes subsistemas que conforman la planta de cogeneración.

Con la metodología de cálculo exergoeconómico se determinaron los costos de todos los flujos de la planta de cogeneración, previamente se tienen en cuenta las exergías de los flujos que intervienen y luego se realiza una valoración económica de ellos.¹⁰

Análisis de los resultados

De la auditoría energética realizada a la planta, se detectaron varios problemas técnicos de operación, los principales fueron: la deficiente limpieza de las superficies de transferencia por la no utilización de los sopladores de hollín, la defectuosa hermeticidad de los haces de calderas y las tupiciones de los calentadores de aire, las que afectan la eficiencia térmica fundamentalmente del subsistema caldera, el rendimiento exergético de los generadores de vapor y de la planta en general y, por ende, aumentan sus costos exergéticos unitarios. De igual forma la escasez de instrumentos de medición no permite que se puedan medir todos los parámetros, cada vez que sea necesario para evaluar dicha instalación.

En la figura 1 se observa que el costo exergético (B^*) es mayor que la exergía (B) ya que se tiene en cuenta las irreversibilidades acumuladas durante el proceso, mientras que el mayor contenido exergético (B) lo posee el combustible, en este caso el bagazo

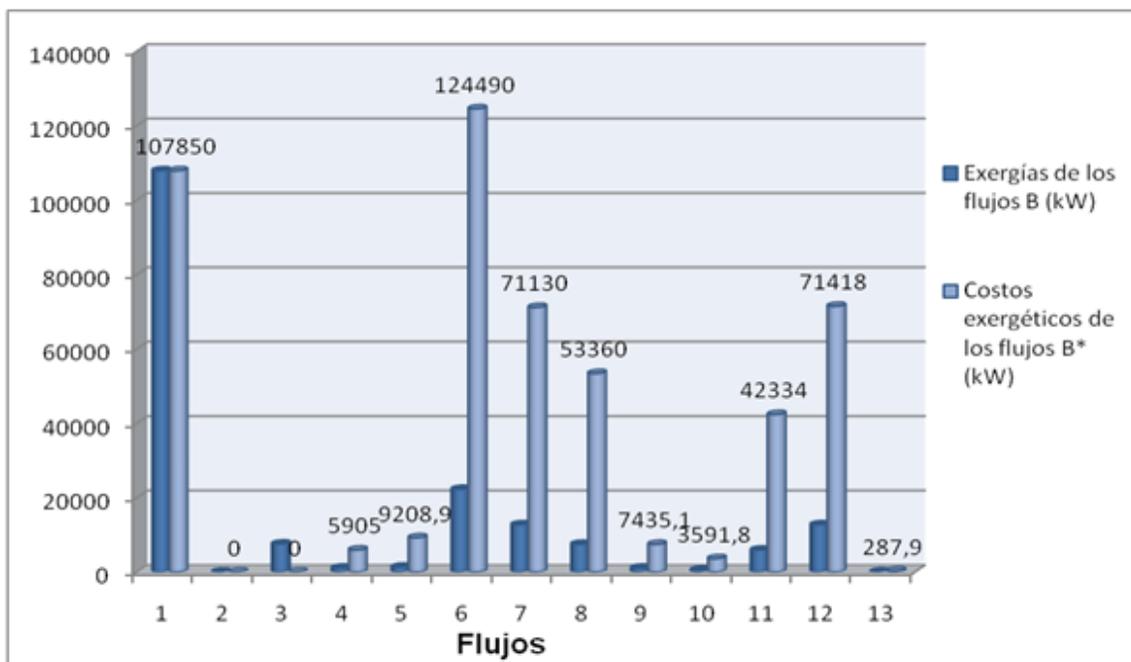


Figura 1. Comportamiento de la exergía y el costo exergético en los distintos flujos

- | | | |
|-------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------|
| 1. Combustible. | 7. Vapor de escape. | 13. Extracción de agua. |
| 2. Aire. | 8. Electricidad generada. | |
| 3. Gases de combustión. | 9. Electricidad consumida por los ventiladores. | |
| 4. Condensado. | 10. Electricidad consumida por las bombas. | |
| 5. Agua de alimentar. | 11. Potencia eléctrica neta. | |
| 6. Vapor directo. | 12. Vapor atemperado. | |

Respecto al costo exergético unitario (K^*), los mayores valores obtenidos fueron en los flujos 8;9;10 y 11 (7,18) que corresponden a la electricidad generada y consumida, a partir de ella, ya que es el producto más acabado, como se observa en la figura 2

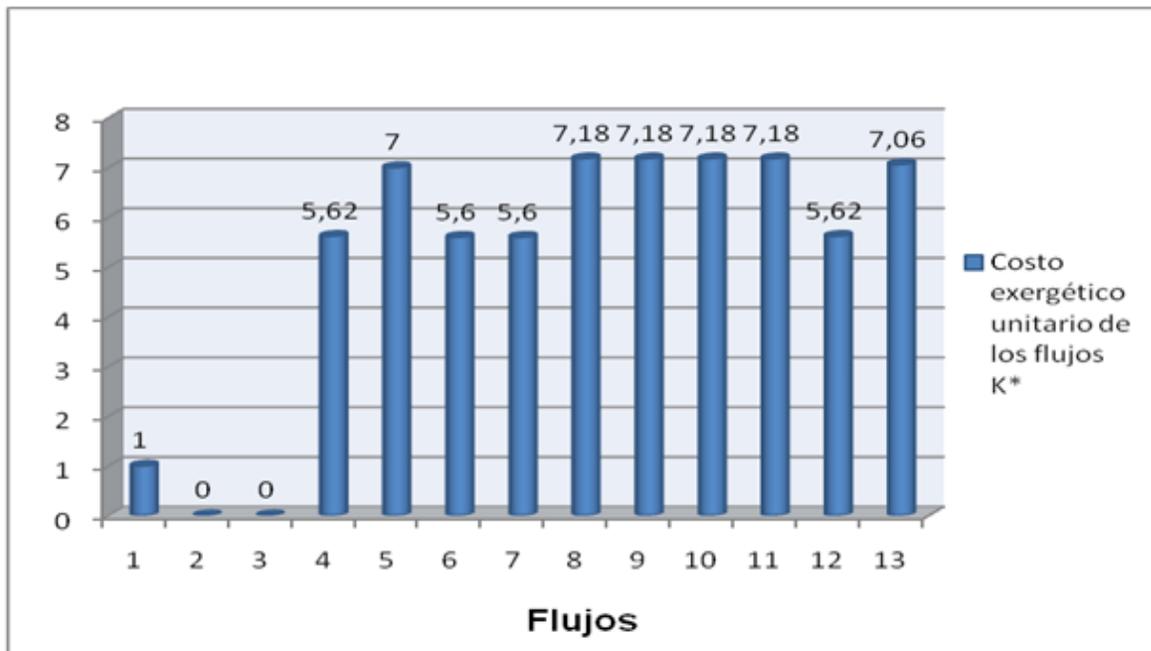


Figura 2. Comportamiento de los costos exergéticos unitarios en los distintos flujos.

En la figura 3, se refleja el comportamiento de los costos termoeconómicos (monetarios) en los distintos flujos, nótese que el mayor valor del costo termoeconómico (π) se obtuvo para el vapor directo (14,728 ϕ /GJ) y la electricidad generada (10,933 ϕ /GJ). El costo termoeconómico (δ) más bajo, (0,55 ϕ /s) le corresponde al combustible (bagazo) ya que el mismo lo produce la propia planta por lo que la mayor contribución la aportan los costos capitales, de operación y mantenimiento

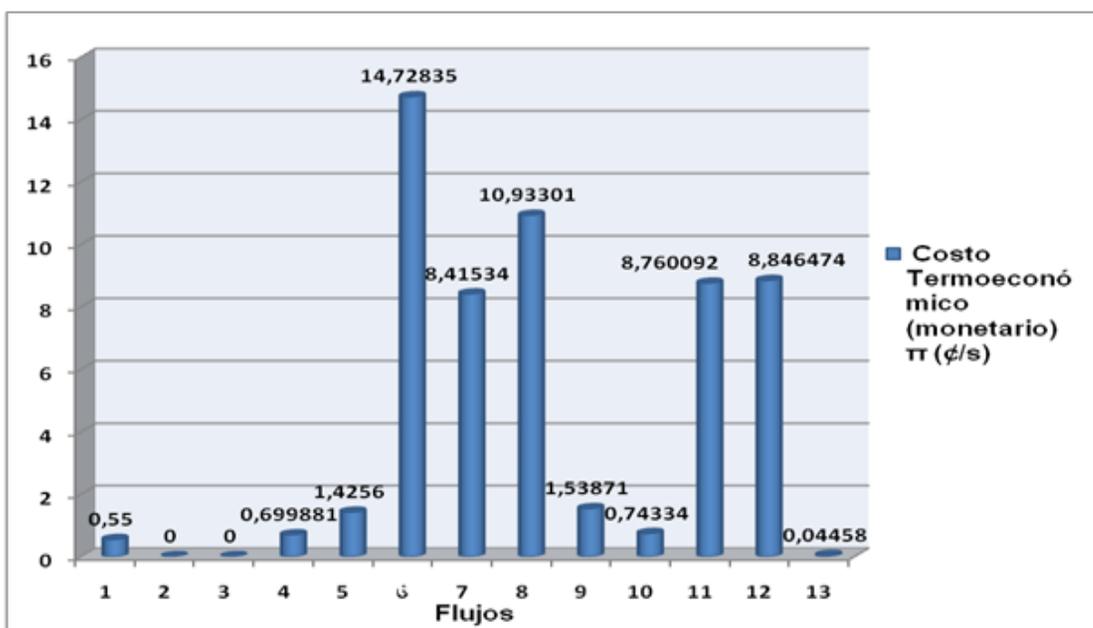


Figura 3: Comportamiento de los costos termoeconómicos (monetarios) en los distintos flujos

Durante la prueba de rendimiento efectuada se obtuvo que el subsistema caldera tiene una eficiencia exergética del 19,2 % y es donde se producen las mayores irreversibilidades, provocadas por mala operación, que trae por consecuencia elevadas temperaturas de los gases de escape (215 °C) por encima del valor recomendado por el fabricante (198-205°C) , tal como se refleja en la figura 4. En el subsistema turbina de vapor se obtuvo una eficiencia del 77,9 %, sin embargo en la bibliografía se refieren valores superiores. En este caso la turbina está trabajando fuera de los parámetros de diseño.

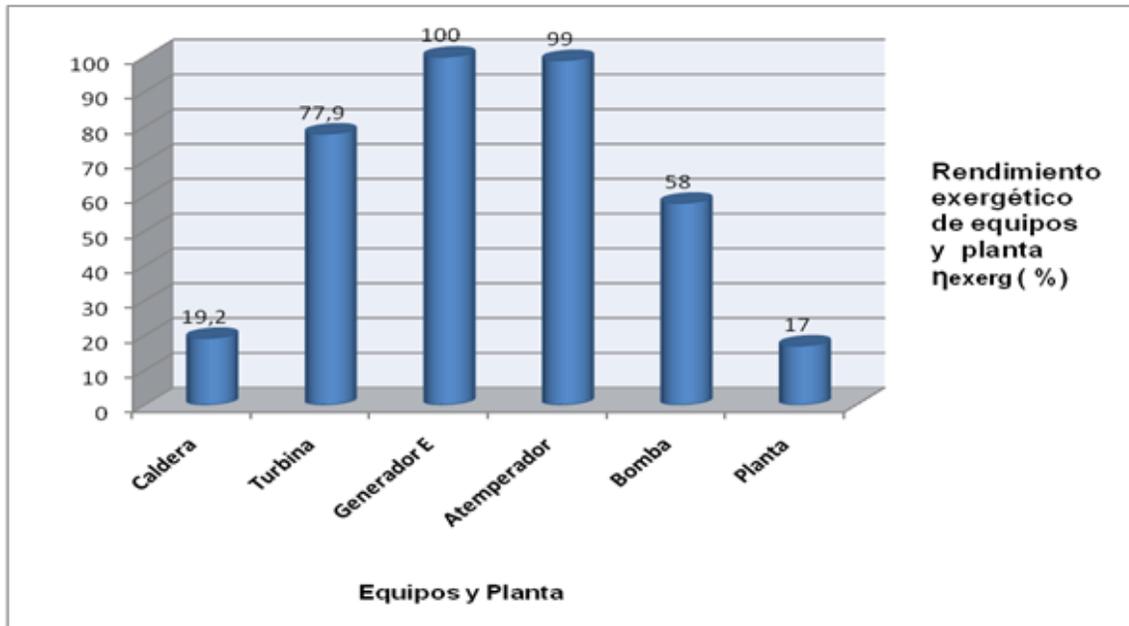


Figura 4. Comportamiento de los rendimientos exergéticos en los diferentes subsistemas

En la figura 5 se obtiene que el costo exergético del producto de la caldera (subsistema 1) K_{p1}^{**} es 5,2 veces mayor que el del fuel K_{f1}^{*} (que es 1,058). Ningún otro subsistema refleja situación similar y esto ratifica lo planteado anteriormente

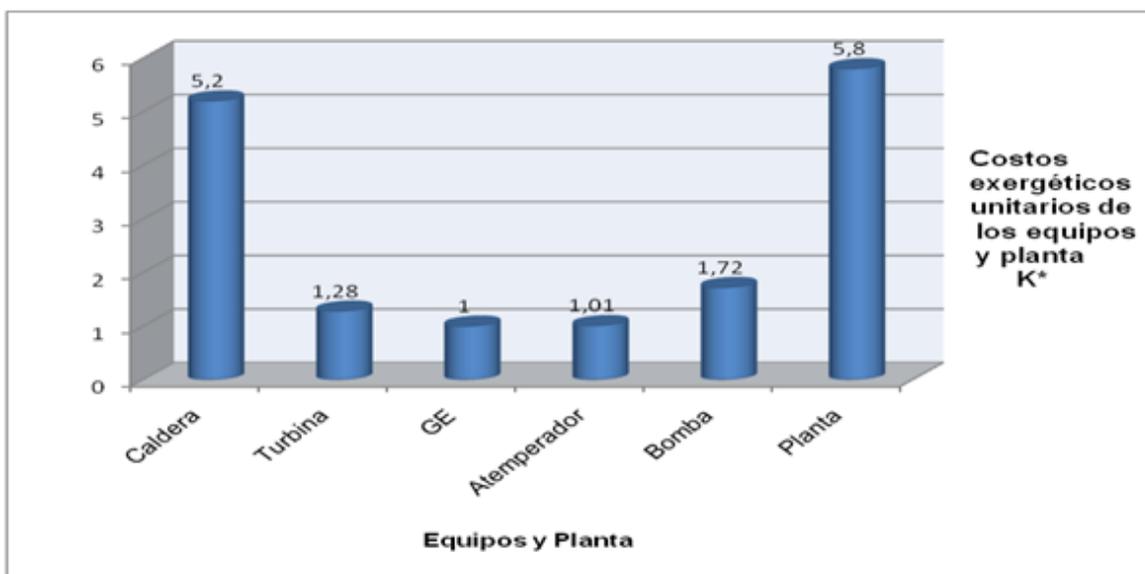


Figura 5. Relación que existe entre el costo exergético unitario del producto y el costo exergético unitario del fuel

En la figura 6 se aprecia que el mayor costo exergoeconómico unitario (C) lo tiene la electricidad producida pues es el producto más acabado, siendo su valor de 0,005367 (\$/kWh).

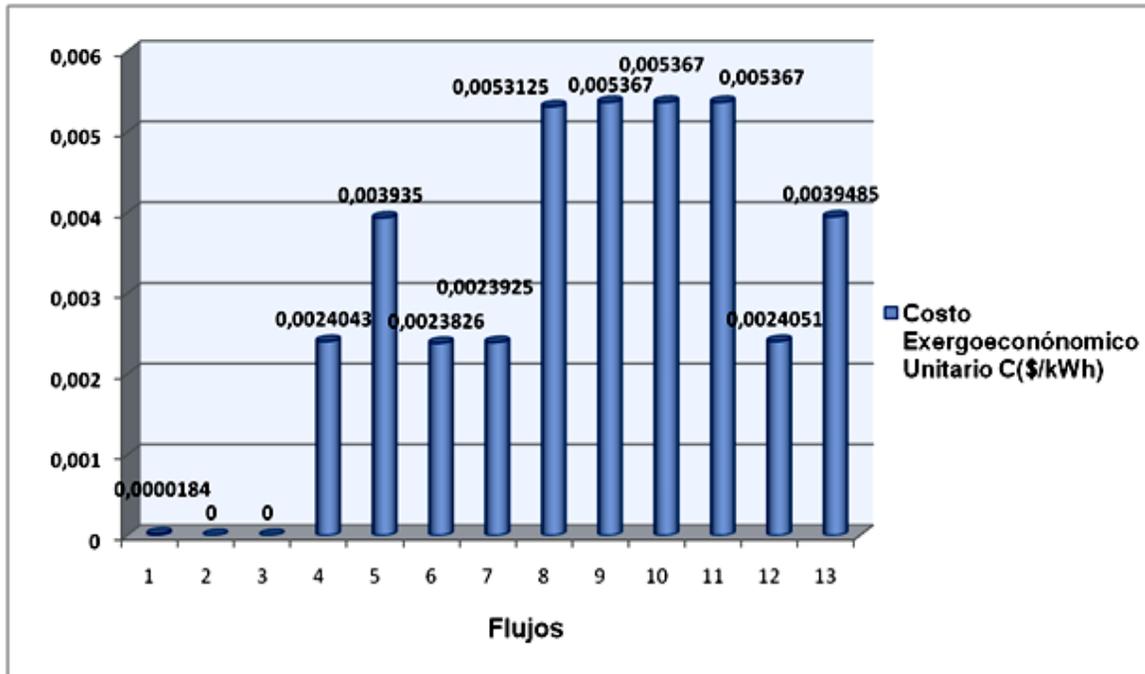


Figura 6: Comportamiento de los costos exergoeconómicos unitarios en los distintos flujos

Conclusiones

1. El rendimiento exergético del subsistema caldera es de 19,2 % y el de la planta 17,2 %, lo que se considera un valor bajo.
2. El costo termoeconómico (π) más bajo le corresponde al combustible (Bagazo) 0,55 ¢/s ya que el mismo lo produce la propia planta.
3. El costo exergético unitario del producto es 5,01 veces mayor que el del Fuel (K^*) que es 1,058.
4. Los mayores valores del costo termoeconómico (π) los tienen el vapor directo (14,728 ¢/GJ) y la electricidad generada (10,933 ¢/GJ).
5. El mayor costo exergético unitario de los flujos (K^*) lo posee la electricidad, pues es el producto más acabado con 7,18.

Bibliografía

- 1 Abreu, A.: *Análisis exergético: Ciclo de cogeneración de la empresa azucarera Carlos Manuel de Céspedes*. Trabajo de Diploma. Universidad de Camagüey, Cuba, 2008.
- 2 Agüera, J.: “*Propagua*”, Departamento Química, Física y Termodinámica, Universidad de Córdoba, España: [s.n.], 1998.
- 3 Cabrera, G.; O. Valdivia y O. Romero: *Potencial de cogeneración en la industria azucarera de Sancti Spíritus*, Trabajo presentado al Fórum Provincial del MINAZ, Sancti Spíritus, Cuba, [s.n.], 1996.
- 4 Cancio, J y O. Romero: *Diagnóstico de los costos energéticos*, Sancti Spíritus, Cuba, [s.n.], 1999.
- 5 *Comentarios. Ahorro energético, una premisa del desarrollo en Cuba*. (s.f.) [en línea]. Recuperado el 1 de enero del 2008, de <http://www.radiohc.cu/espanol/comentarios/noviembre05/comentario10nov1.htm>
- 6 Guayar, J. y A. Valero: [Gua 95]. “*Estudio*

termoeconómico de una planta simple de cogeneración”, Departamento de Ingeniería Mecánica, E.T.S. I.I. Universidad de Zaragoza, España, [s.n.], 1995.

7 Ministerio de la Industria Azucarera: *Metas principales del programa energético del Minaz*. Incrementar la cogeneración, [en línea]. Recuperado el 2 de abril de 2008, <http://www.energia.inf.cu.2008>.

8 *Adelante: “Entre vapores, rescatar el liderazgo*, Camagüey, 6 de junio de 2009.

9 Romero, O. et al.: *Método termoeconómico. Una herramienta para los análisis de factibilidad económica en fábricas de Azúcar*. Trabajo presentado al Fórum provincial de la ATAC. Sancti Spíritus, Cuba, [s.n.], 1995.

10 Valero, A.; M.A. Lozano y J. Guayar: *Teoría del coste exergetico Principios básicos*, Departamento de ingeniería Mecánica, E.T.S.I.I, Universidad de Zaragoza, España, [s.n.], 1999.