

UNIVERSIDAD DE CAMAGÜEY
Ignacio Agramonte y Loynaz
FACULTAD DE ELECTROMECAÁNICA

Departamento de Ingeniería Mecánica



***GENERACION DE ELECTRICIDAD DURANTE EL PERIODO
INACTIVO EN LOS CENTRALES AZUCAREROS CUBANOS.***

**Autores: M.Sc. Rafael S Leyva Canavaciolo,
M.Sc. María Magdalena Fals Acuña**

Junio del 2012.

Resumen

El trabajo consiste en realizar un estudio comparativo entre un ciclo de generación de electricidad en la industria azucarera en período inactivo, condensando todo el vapor de escape de la turbina de contrapresión mediante los calentadores de guarapo con agua de enfriamiento y este mismo esquema con entrega del vapor de escape a un turbogenerador a condensación de baja presión de entrada y otro esquema de generación con un Ciclo Rankine Orgánico (O.R.C.), se demuestra el incremento de la electricidad generada con la misma biomasa, aumentando la eficiencia del ciclo, para ello se utilizaron los métodos de balance de masa, energía y exergía, la búsqueda y el uso de información actualizada sobre los ciclos de cogeneración y los ciclos ORC., así como de los esquemas termoenergéticos de las plantas geotérmicas.

La segunda variante contempla la utilización de un O.R.C. similar al utilizado por las plantas geotérmicas de baja entalpía o los sistemas de Conversión de Energía Térmica Oceánica (O.T.E.C.)

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la humanidad ha ido dependiendo cada vez más del aprovechamiento de la energía en sus diferentes formas. Muchos siglos transcurrieron hasta el descubrimiento del uso del vapor de agua, la máquina de vapor y la electricidad, comenzando una era de acelerado avance tecnológico con nuevos descubrimientos y posibilidades en las fuentes ya conocidas, así comenzó el uso del petróleo y sus derivados, encontrándose la humanidad actualmente en un punto de altísimo desarrollo; y al mismo tiempo, de peligrosa dependencia de un recurso no renovable y con existencias limitadas, situación conocida como “crisis energética”.

Expertos de la industria petrolera estiman que las reservas actuales sólo servirán para cubrir las necesidades de los próximos cuarenta años. Otros especialistas previeron este problema años atrás, pensando en que comenzaríamos a utilizar nuevas fuentes de energía, referidas a las energías renovables, que proveen una opción de abastecimiento interesante gracias a que permiten el aprovechamiento de los recursos locales suministrando energía a menores costos ambientales, en comparación con aquellas convencionales; además, son recursos capaces de renovarse ilimitadamente. En Cuba, al igual que los países en vías de desarrollo, el gasto de energía aumenta sistemáticamente; sin embargo, no se cuenta con grandes recursos energéticos y tendremos que depender, aún por muchos años, del petróleo como fuente fundamental de energía. El reto hoy es lograr una mayor independencia energética mediante la utilización de todas las fuentes nacionales de energía, según se expresa en el Programa de Desarrollo de las Fuentes Nacionales de Energía del Gobierno Revolucionario.

La industria azucarera es una industria privilegiada ya que posee la posibilidad de obtener además del agua necesaria de la materia prima que procesa, el combustible necesario para su operación: el bagazo de caña, biomasa residual del proceso de extracción del jugo, el cual posee un aceptable valor calórico, y a su vez constituye un combustible renovable empleado en las calderas que generan el vapor que necesitan las turbinas de contrapresión para el accionamiento de los generadores eléctricos. El

vapor de escape se destina al proceso de fabricación, mientras que el condensado caliente se emplea en la alimentación de las calderas, fundamentalmente.

Hay que significar que la energía eléctrica que se genera a partir de biomasa cañera o forestal como combustible, es energía eléctrica que deja de generarse con combustible fósil disminuyendo el consumo de este importante portador energético, reduciéndose la contaminación ambiental.

No obstante a ello, las insuficiencias que aún prevalecen en los sistemas de gestión energética en el sector azucarero que han sido detectadas por diversos autores, grupos e instituciones en el sector empresarial en Cuba, la inestabilidad en el aprovechamiento de la capacidad instalada que a su vez depende en zafra de la norma potencial de molida y en el período inactivo de la operación de la planta eléctrica y la obsolescencia tecnológica de la base energética de la industria, entre otros factores, conllevan a la elevación de los consumos y costos energéticos, y al no aprovechamiento de las potencialidades para la generación y entrega de electricidad al Sistema Electro energético Nacional.

En la Resolución Económica del V Congreso del Partido Comunista de Cuba se plantea: "La eficiencia es por tanto, el objetivo central de la Política Económica pues constituye una de las mayores potencialidades con que cuenta el país. Hacer un mejor uso de los recursos, elevar la productividad del trabajo, alcanzar mejores resultados con menos costos tendrán efectos positivos en nuestro balance financiero, facilitando la participación en el comercio internacional y en el acceso a los mercados de capital o inversiones".

Teniendo en cuenta estos antecedentes, se asume como **problema científico**:

Aprovechar la energía residual del vapor de escape para incrementar la producción de electricidad en la industria azucarera, sin alterar el proceso productivo.

Objetivo general:

Realizar un estudio comparativo entre el ciclo básico Rankine que se emplea en una planta de cogeneración de la industria azucarera durante el periodo inactivo y otros dos ciclos, uno con un turbogenerador a condensación de baja presión de entrada adicionándolo al turbogenerador de contrapresión y otro combinado con un ORC para

la determinación de un posible incremento de la eficiencia, como alternativa de mejoramiento de la producción de electricidad, teniendo en cuenta la metodología de cálculo energético y exergético.

La Industria Azucarera realiza un discreto aporte al SEN, destacándose que lo realiza con biomasa cañera, bagazo + Residuos Agrícolas de Cosecha (RAC)

La biomasa es una materia orgánica, en la cual la energía solar fue absorbida y acumulada directamente por la vegetación e indirectamente por los animales; esa energía la podemos recuperar directamente por procesos termoquímicos como la pirolisis, la gasificación o la combustión y también transformando la materia orgánica en combustibles líquidos como biodiesel y etanol o gaseosos como el biogás.

Dentro de las ventajas de la biomasa podemos mencionar: es una fuente renovable de energía, su uso no contribuye al calentamiento global, produce una reducción de los niveles atmosféricos del bióxido de carbono al actuar como recipiente, aumentando el carbón del suelo, no contribuyen a las emisiones de dióxido de azufre, la ceniza producida se puede utilizar como complemento del suelo aportando fósforo y potasio.

El marabú es una biomasa abundante en Cuba que puede usarse como combustible, su valor calórico es de 17.80 MJ / kg muy superior al del bagazo, es un arbusto o árbol pequeño que alcanza por lo común alturas máximas de 4 a 6 m y excepcionalmente en suelos propicios y húmedos alcanza hasta 10 m de altura y hasta 33 cm de diámetro. Sus troncos son bastante tortuosos, con numerosas ramificaciones gruesas y finas, muy espinosas que suelen formar entramados impenetrables. La corteza es gris, pardo grisácea o blanquecina y las espinas solitarias, gruesas y punzantes, de 1 a 2,5 cm de largo.

Central geotérmica.

Una central geotérmica es una central termoeléctrica de turbina de vapor producido por agua subterránea a alta presión y a temperatura superior a los 150 °C. La función de la caldera la desempeña aquí una red de pozos con grandes profundidades, que alimenta un separador de agua y vapor, de donde el vapor seco sale hacia las turbinas y el

agua, hacia un silenciador, pasando por un conducto de orificio regulable, a la salida de los pozos y hasta el separador, el agua permanece en gran parte en estado líquido, si bien va perdiendo presión y, por lo tanto, se pone a hervir; el flujo de agua centrifugada del separador ya no produce vapor para la turbina, pero al perder bruscamente presión en un orificio a la entrada del silenciador, emite grandes cantidades de vapor. La presencia de gases y partículas en el vapor requiere ciertos cambios en los materiales y procesos. La realimentación del yacimiento con agua sobrante de la central se basa en la idea de que existe en el mismo más calor (proveniente de un magma profundo) que agua (agua de lluvia infiltrada). Se produjo energía eléctrica geotérmica por vez primera en Larderello, Italia, en 1904. Desde ese tiempo, el uso de la energía geotérmica para electricidad ha crecido mundialmente a cerca de 8.000 MW, de los cuales EE. UU. genera 2.700 MW

Tres tipos se usan para generar potencia de la energía geotérmica:

- vapor seco
- flash
- binario.

En las plantas a *vapor seco* se toma el vapor de las fracturas en el suelo y se pasa directamente por una turbina, para mover un generador. En las plantas *flash* se obtiene agua muy caliente, generalmente a más de 200 °C, y se separa la fase vapor en separadores vapor/agua, y se mueve una turbina con el vapor. En las plantas *binarias*, el agua caliente fluye a través de intercambiadores de calor, haciendo hervir un fluido orgánico que luego hace girar la turbina. El vapor condensado y el fluido remanente geotérmico de los tres tipos de plantas se vuelven a inyectar en la roca caliente para hacer más vapor. El calor de la tierra es considerado como una energía sostenible. El calor de la Tierra es tan vasto que solo se puede extraer una fracción, por lo que el futuro es relevante para las necesidades de energía mundial.

Se genera electricidad "geotérmica" en más de 20 países. Islandia produce el 17% de sus necesidades de la energía geotérmica,

Ciclo Rankine:

El ciclo Rankine, propuesto por el ingeniero y físico escocés William John Macquorn Rankine, es un ciclo termodinámico que tiene como objetivo la conversión de calor en trabajo, constituyendo lo que se denomina un ciclo de potencia. Su eficiencia está acotada por la eficiencia termodinámica de un Ciclo de Carnot que operase entre los mismos focos térmicos (límite máximo que impone el Segundo Principio de la Termodinámica). El ciclo Rankine, típico del proceso termodinámico que tiene lugar en una central térmica de vapor, utiliza un fluido de trabajo que alternativamente evapora y condensa, específicamente agua.

El principio de funcionamiento es el siguiente: mediante la quema de un combustible, el vapor de agua es producido en una caldera a alta presión para luego ser llevado a una turbina donde se expande para generar trabajo mecánico en su eje (este eje, solidariamente unido al de un generador eléctrico, es el que generará la electricidad en la central térmica). El vapor de baja presión que sale de la turbina se introduce en un condensador, equipo donde el vapor condensa y cambia al estado líquido (habitualmente el calor es evacuado mediante una corriente de refrigeración procedente del mar, de un río o de un lago). Posteriormente, una bomba se encarga de aumentar la presión del fluido en fase líquida para volver a introducirlo nuevamente en la caldera, cerrando de esta manera el ciclo.

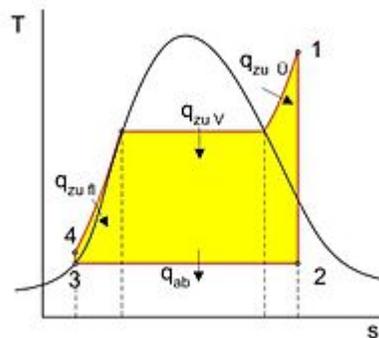


Figura 1. Diagrama T-S de un ciclo de Rankine con vapor de alta presión sobrecalentado.

El diagrama T-S de un ciclo Rankine ideal está formado por cuatro procesos: dos isoentrópicos y dos isóbaros. 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 procesos son los siguientes para el ciclo ideal (procesos internamente reversibles):

- Proceso 1-2: Expansión isoentrópica del fluido de trabajo en la turbina desde la presión de la caldera hasta la presión del condensador. Se realiza en una turbina de vapor y se genera potencia en el eje de la misma.

- Proceso 2-3: Transmisión de calor a presión constante desde el fluido de trabajo hacia el circuito de refrigeración, de forma que el fluido de trabajo alcanza el estado de líquido saturado, se realiza en un condensador, idealmente sin pérdidas de carga.

- Proceso 3-4: Compresión isoentrópica del fluido de trabajo en fase líquida mediante una bomba, lo cual implica un consumo de potencia. Se aumenta la presión del fluido de trabajo hasta el valor de presión en caldera.

- Proceso 4-1: Transmisión de calor hacia el fluido de trabajo a presión constante en la caldera. En un primer tramo del proceso el fluido de trabajo se calienta hasta la temperatura de saturación, luego tiene lugar el cambio de fase líquido-vapor y finalmente se obtiene vapor sobrecalentado. Este vapor sobrecalentado de alta presión es el utilizado por la turbina para generar la potencia del ciclo.

En un ciclo real, los procesos en la bomba y en la turbina no serían isoentrópicos y el condensador y la caldera presentarían pérdidas de carga. Todo ello generaría una reducción del rendimiento térmico del ciclo. El rendimiento isoentrópico de la turbina, que representa el grado de alejamiento de una turbina respecto al proceso ideal isoentrópico, jugaría un papel principal en las desviaciones al ciclo ideal y en la reducción del rendimiento. El rendimiento isoentrópico de la bomba y las pérdidas de carga en el condensador y la caldera tendrían una influencia mucho menor sobre la reducción de rendimiento del ciclo.

Sistema de cogeneración utilizado en la industria azucarera

La cogeneración es la producción combinada de energía eléctrica y calor a partir de una misma fuente de energía primaria, representa uno de los procedimientos más perfectos de la energética moderna ya que se obtiene una gran ventaja económica por el ahorro del combustible que produce su empleo. Este ahorro se deriva del hecho de que en estos sistemas es posible aprovechar con mayor eficiencia la energía de alta calidad que está acumulada en un combustible, mediante el uso de una máquina térmica que funcione entre una temperatura lo más cercano posible a la temperatura de combustión y la temperatura que requieren los procesos.

En el caso de las fábricas de azúcar, el vapor se emplea primordialmente para las necesidades de calentamiento y evaporación del proceso, pero como este vapor se genera a presiones más altas que las requeridas, produce un considerable sobrante de energía que puede ser utilizada por un turbogenerador que escape total o parcialmente a las líneas de proceso, y la energía eléctrica producida puede ser utilizada tanto para el consumo interno como para exportar al Sistema Electroenergético Nacional (SEN).

La industria azucarera tiene características muy peculiares, se suministra su propio combustible, el bagazo, con el que produce el vapor para la generación de energía y para las necesidades del proceso, coordinando simultáneamente las producciones de calor y electricidad, con las que se obtienen rendimientos energéticos superiores a los obtenidos en estas producciones por separado lo que representa grandes beneficios para la empresa y para el país.

La cogeneración con turbinas de vapor a contrapresión es la más utilizada y puede realizarse de formas diferentes, por ejemplo, mediante el envío de vapor desde una turbina a un proceso industrial o a otros usos, la que se muestra a continuación en la figura 2.

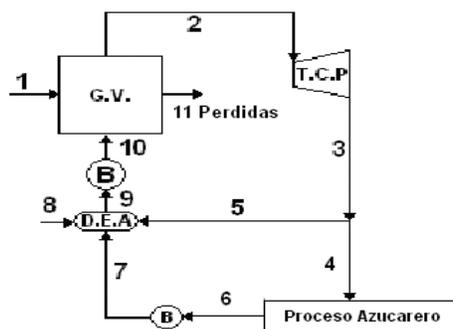


Figura 2- Sistema de cogeneración con turbina de vapor de contrapresión

En la figura 2 aparece el esquema típico más sencillo muy empleado en los centrales azucareros, con turbinas de contrapresión. En ellos el vapor sale de las turbinas a la presión y temperatura del proceso industrial. La cantidad de energía eléctrica está limitada por la cantidad de vapor que es necesario emplear en el proceso industrial, la cantidad de vapor pasado a través de la turbina varía de acuerdo con la demanda del proceso. Si el sistema eléctrico no está enlazado a la red nacional, el déficit de vapor para el proceso en demandas picos se suministrará a través de una válvula reductora y la carga eléctrica tiene un tope máximo fijo. Si el sistema está enlazado a la red nacional puede variarse la carga eléctrica, entregando mayor cantidad de energía a la red si la demanda de vapor para proceso aumenta o puede tomar de la red cuando la producción de electricidad cae por debajo de las necesidades de la fábrica.

El empleo de la turbina de contrapresión, donde la totalidad de su vapor de escape se utiliza en el proceso, constituye la operación más económica en lo que a consumo de calor se refiere. Este tipo de esquema se utiliza en tiempo de zafra es decir, turbinas de contrapresión, aunque no se descarta la posibilidad de usar en un futuro no muy lejano, las turbinas de condensación con extracción intermedia regulable en esquemas de alta presión, con lo cual además de garantizar un nivel de eficiencia adecuado permite su trabajo en tiempo de no zafra.

Con el uso de la cogeneración se disminuyen las pérdidas debido a la disminución de la diferencia de temperatura entre la fuente y el consumidor y por otro lado se disminuyen o eliminan las pérdidas de calor en el condensador, que en una central de condensación pura está en el orden del 50 % de la energía disponible en el ciclo, por otra parte al usarse ciclos de altos parámetros pueden aplicarse mejoras conocidas a los mismos como el calentamiento regenerativo del agua de alimentar, el recalentamiento intermedio, etc. que incrementan la eficiencia de estas plantas.

En algunas fábricas se usan generadores de vapor que son ideales para este propósito y pueden manipular otros materiales de biomasa tales como astillas de madera, adaptables a quemar carbón que se utiliza como combustible suplementario seleccionado en la mayoría de las regiones cuando el bagazo no está disponible.

Ciclo Rankine doble etapa. Consiste en un turbogenerador a contrapresión de los que utiliza la industria azucarera cubana en los cuales la presión de entrada del vapor sobrecalentado es de 28 a 23 barg y el vapor de escape al proceso tiene una presión entre 2.5 a 1.8 barg el cual en lugar de condensarlo en los calentadores de guarapo con agua del enfriadero durante el periodo inactivo puede inyectarse a un turbogenerador de baja presión de entrada como los que utilizan las geotérmicas de alta entalpía y las flash de las cuales existen numerosos fabricantes en el mundo desarrollado como USA, GB, Alemania, Francia, Italia, Japón y otros en vías de desarrollo como India e Israel. El uso de este tipo de turbogenerador incrementa la eficiencia termodinámica del ciclo hasta un 32 % de un 15% que tiene en periodo inactivo.

Ciclo Rankine Orgánico (ORC) para producción de electricidad

El ciclo de Rankine Orgánico (ORC) es llamado así por el uso de una sustancia de alto peso molecular, con un cambio de fase líquido-vapor de bajo punto de ebullición, que ocurre a una temperatura muy inferior a la del cambio de fase del vapor de agua. Este ciclo Rankine de temperaturas más bajas permite la recuperación de calor de fuentes tales como: la combustión de biomasa, el calor de residuos industriales, el calor geotérmico, el calor de estanques solares, etc. De esta forma, se convierte la energía de un fluido de temperatura más baja en trabajo útil, que en sí puede ser convertida en electricidad.

El creador de esta teoría fue el francés Jacques d'Arsonval en el siglo XIX (1881). Una primera aplicación la realizaron sus discípulos también franceses George Claude y Boucherot en el río Meuse.

Nuestro país fue teatro de exhibición de esta técnica donde el propio George Claude instaló una planta con este sistema en la bahía de Matanzas, produciéndose 22 kW de potencia eléctrica.

1.6.1. Principio de funcionamiento del ciclo ORC

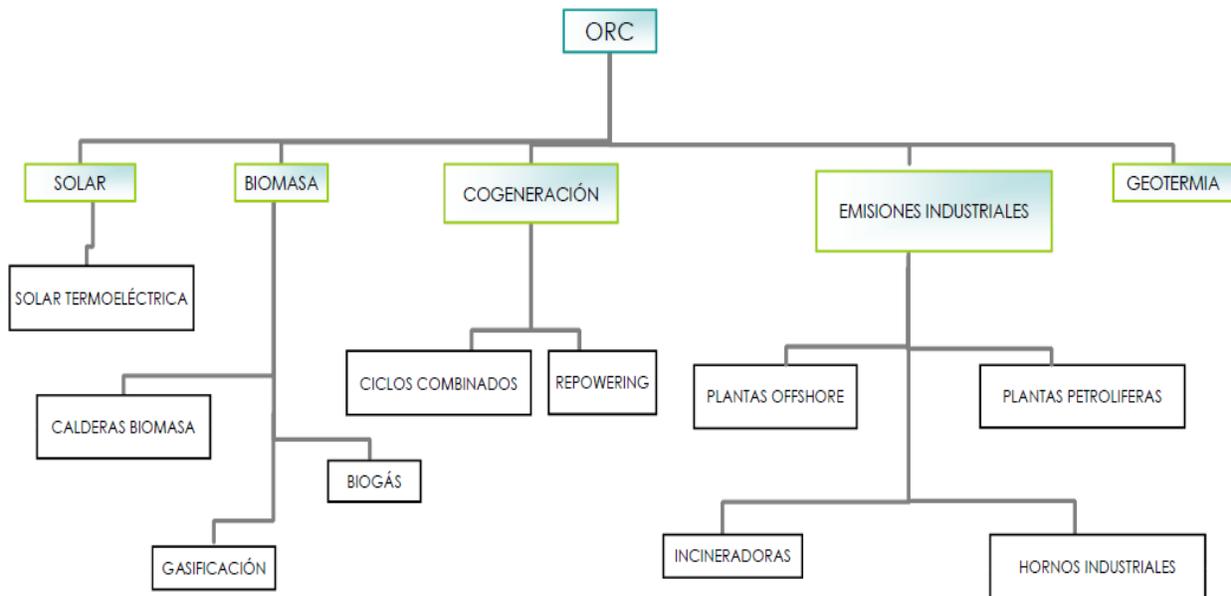
Durante el proceso, el fluido se calienta hasta la ebullición y el vapor que se expande se utiliza para impulsar una turbina. Dicha turbina se utiliza para impulsar un generador que convierte el trabajo en electricidad. El vapor del fluido de trabajo se vuelve a

condensar en líquido otra vez, tras pasar por un condensador, y regresa al sistema al ser bombeado de nuevo al evaporador, cerrándose así el ciclo termodinámico.

En el ciclo real, la presencia de irreversibilidades reduce la eficiencia del ciclo. Las irreversibilidades se producen principalmente:

- Durante la expansión: sólo una parte de la valorización energética de la diferencia de presión es transformada en trabajo útil. La otra parte es convertida en calor y se pierde. La eficiencia de la expansión se define por comparación con una expansión isentrópica.
- En los intercambiadores de calor: el fluido de trabajo toma un largo y sinuoso camino que asegura buen intercambio de calor, pero hace que las pérdidas de presión disminuyan la cantidad de energía recuperable del ciclo.

Aplicaciones del ciclo ORC



2.2.1. Caso base.

En el gráfico 1 se representa el caso base constituido por un ciclo de cogeneración , compuesto por un generador de vapor, turbina de contrapresión, deareador, calentadores de guarapo, enfriadero y bombas de alimentar y de enfriamiento.

El principio de funcionamiento es el siguiente: en el generador de vapor a través del proceso de combustión se le entrega calor al agua que se convierte en vapor el que se envía a la turbina de contrapresión donde se realiza trabajo que se entrega al consumidor exterior y el vapor de escape pasa una parte a los calentadores de guarapo y la otra al deaerador. En el caso de los calentadores se forma un circuito cerrado donde pasa por un enfriador y después se bombea nuevamente al mismo. Por su parte el líquido condensado pasa al deaerador y de allí el líquido a determinada temperatura es bombeado al generador de vapor.

Características de la instalaciones termo energéticas de los centrales azucareros

Las instalaciones termoenergéticas de los centrales azucareros se caracterizan por:

Generadores de vapor con paredes de agua de 45 a 60 t/h, con hornos diseñados para combustión de biomasa en capas sobre parrillas de volteo para la limpieza de cenizas y un índice de generación de 2.2 tv/tb.(máximo); los turbogeneradores a contrapresión de 4 y 5 MW de potencia y un consumo específico de vapor aproximado de 9,8 tv/MW. La condensación del vapor residual (escape) se efectúa mediante el proceso azucarero.

¿Cómo condensan el vapor de escape los turbogeneradores de contrapresión en el periodo inactivo?

Actualmente se realiza condensando el vapor en los calentadores de guarapo

(Todos los centrales tienen esa posibilidad, sin embargo se señala como desventaja el bombeo de un gran volumen de agua para la condensación, lo que provoca un bajo rendimiento del ciclo termodinámico.

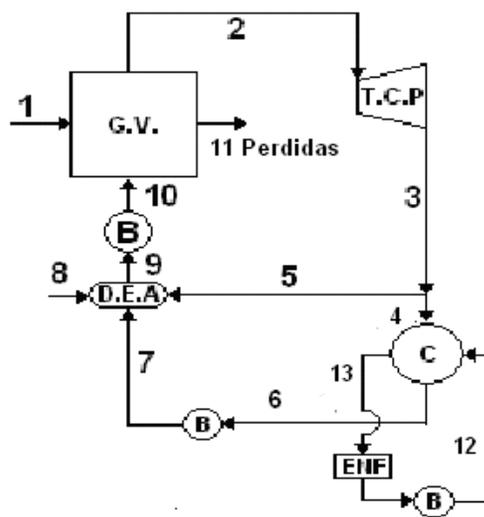


Gráfico 1. Esquema del caso base.

Ciclo Rankine Orgánico (ORC)

En el gráfico 2 se representa el ciclo ORC propuesto, donde al ciclo inicial se le añaden varios intercambiadores de calor y una turbina de refrigerante 134-a donde se produce trabajo nuevamente.

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Primeramente, en el generador de vapor a través del proceso de combustión de la biomasa se le entrega calor al agua que se convierte en vapor el que se envía a la turbina de contrapresión donde se realiza trabajo. El vapor residual que sale de la turbina a contra presión pasa a un sobrecalentador 2 donde pierde temperatura, el flujo se divide en dos: uno va al deaerador para calentar el condensado y el otro entra en el sobre calentador 1 donde la temperatura va disminuyendo hasta que entra en el evaporador del R-134a. sale del evaporador como liquido condensado y se bombea al deaerador , después se bombea como agua de alimentar al generador de vapor , por su parte el refrigerante en estado de vapor sobrecalentado, se inyecta a la turbina que mueve al generador. El vapor refrigerante aún sobrecalentado pasa por el calentador

Según datos aportados por el estudio de prefactibilidad del proyecto aprobado por la Unión Europea “Aprovechamiento de la biomasa de marabú y bosques energéticos como combustible en la generación de electricidad y recuperación ambiental en la Región Este de Cuba”

220g/kWh –fuel (grupo electrógeno Diesel)

350g/kWh-fuel (termoeléctrica)

Por cada kWh, se emite 0.598g de CO₂, 0.001kg de SO₂ y 0.0017kg de NO_x

Si se produjeran estos 7000 kW en las plantas más eficientes del MINBAS se emitirán a la atmosfera.

$7000 * 0,598 = 4186$ gramos por hora de CO₂

$7000 * 0,001 = 7$ gramos por hora de SO₂

$7000 * 0,0017 = 11,9$ gramos por hora de NO_x

Que no existían en la atmosfera y que son extraídos del subsuelo.

Sin embargo al producir estos mismos 7000 Kw mediante combustión de biomasa el balance de CO₂ es nulo y no se emite SO₂ y NO_x.

Conclusiones

- Se propone una variante de mejora utilizando un ciclo ORC.
- La variante con respecto al caso base aumentó la eficiencia de 18% a 26%.
- La energía total entregada con la variante ORC es mayor que en el ciclo base.
- El mayor valor de la exergía destruida ocurre en el evaporador de R 134-a.

Recomendaciones

- Posibilidad de aplicarlo en los 140 centrales en el país con más de 100 turbogeneradores a contrapresión
- Que se aplique en un central como prueba piloto.
- Que cambien los parámetros termodinámicos del sobrecalentador 1 para que la eficiencia exergética de evaporador sea mayor.

BIBLIOGRAFÍA

Organic rankine cycle for electricity generation. (2006). Recuperado el 13 Junio de 2006, de www.stowaselectedtechnologies.nl/.../Organic.rankine.cycle.for.electricity.generation.html

Energía renovable. (2008). Recuperado el 20 de febrero 2010, de http://wikipedia.org/wiki/energía_renovable.html.

Exergía y su valor economico. (2008). Recuperado el 22 de abril de 2010, de <http://www.ucm.es>.

Orgánico Rankine Sistemas de Ciclo. Productos y Aplicaciones. (2009). Recuperado el 19 de mayo de 2010, de www51.honeywell.com/sm/chemicals/refrigerants/eu/it/...n2/sistemi.html

Capturing Waste Heat with Organic Rankine Cycle Systems. (2010). Recuperado el 24 de enero de 2011, de www.renewableenergyworld.com/.../capturing-waste-heat-with-organic-rankine-cycle-systems

Organic Rankine Cycle. Ormat Technologies Inc. Geothermal Energy. (2011). Recuperado el 9 de Junio de 2011, de www.ormat.com

Abreu, A. (2008). *Análisis exergético: Ciclo de cogeneración de la empresa azucarera Carlos Manuel de Céspedes.* Trabajo de grado no publicado. Universidad de Camagüey. Cuba

Acosa, I. (1995). *Análisis bibliográfico para la cogeneración.* Trabajo de grado no publicado. ISTECA (MEC). Universidad de Camagüey, Cuba.

Agüera, J. (1999). *Termodinámica lógica y motores térmicos.* [s.l.]. España: Ciencia 3.S.A.

AUTORES, C. D. (1982). *Técnicas de Conservación Energética en la Industria.*(Vol. I). [s.l.]. La Habana: Ediciones Revolucionarias.

Brown, M. (1992) *La cogeneración en la nueva Europa. La dimensión política cogeneración para la energía y el medio ambiente*. Madrid: Ed. ENAGAS. IDAECE.

Cabrera, G. O., Valdivia, M. y Romero, O. (1996). *Potencial de cogeneración en la industria azucarera de Sancti Spiritus*. Ponencia presentada al Fórum Provincial del MINAZ. Sancti Spiritus: Cuba

Castro Ruz, F. (1992). [Cas 92] *Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo*. Mensaje de Fidel Castro. Río de Janeiro, Brasil: [s.n.]

Comisión Nacional para el ahorro de energía. (1995). *Diseño de sistemas de Cogeneración*. México: Autor.

Comisión Nacional Para El Ahorro De Energía. (1995). *Esquemas de Cogeneracion*. México: Autor.

FAIRES, V. M. (1991). *Termodinámica*. La Habana: Ediciones Revolucionarias.

Grupo de investigaciones energéticas. (1995). *La cogeneración en la industria Azucarera, una solución necesaria para el desarrollo sostenible*. Proyecto de investigación. Sancti Espíritus, Cuba: [s.n.]

Guallar, J. y Valero, A. (1992). *Exergía y ambiente de referencia*. Zaragoza, España: Universidad de España.

Guerrero García, J. (1992). *La cogeneración en el marco del plan de ahorro y Eficiencia energética, cogeneración para la energía y el medio ambiente*. Madrid, España: Ed. ENERGAS. IDAE.CE.

Igartua, M. y Alonso, I. (1993). *Manual de Eficiencia Térmica en la Industria*. [s.l.]: Bilbao: Ed. CADEM.

Kotas, T. L. (1985). [Kot 85]. *The exergy method of Plants analysis*. Butterworths, London: [s.n.]

Lapido, M., Álvarez Plasencia, M.A., Castellanos, J.A., Roque Díaz, P. y J.C. de Armas Valdés. (2006). *Termodinámica Avanzada*. [s.l.]: Ed. Universo Sur, UCF.

Moran, M. J. y Shafiro, H. N. (2000). *Fundamentos de termodinámica Técnica*. [s.l.]: Ed. REVERTRE S.A.

Plasencia, D. M. A. A. G., Santos, M. S. O. R., Pino, M. S. M. F. F., y Avila, D. J. L. S. (2009). *Temas avanzados de Refrigeración y Climatización*. La Habana: Ed. Félix Varela.

Soriano, A. y José. (1998). *Progases-Propaguas*. [Programa de computador]. Argentina: Dpto. Química Física Universidad de Córdoba

Torres, J. y Gómez, J. (1933). *Cuba y la Energética Sustentable*. Cuba: [s.n.].

W.F.Stoecker. (2004). *Refrigeracion y acondicionamiento de aire*. La Habana: Ed. Felix Varela.