

## **Influencia de la presión y la humedad en la potencia eléctrica**

### **Dependence of pressure and humidity on electric power**

Lourdes Zumalacárregui de Cardenas

*Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, Cuba.  
Jefe Grupo Análisis de Procesos, Facultad de Ingeniería Química, lourdes@quimica.cujae.edu.cu*

Osney Pérez Ones

*Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, Cuba.  
Vicedecano de Investigaciones y Postgrado, Facultad de Ingeniería Química, osney@quimica.cujae.edu.cu*

Pedro Antonio Rodríguez Ramos

*Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, Cuba.*

Geraldo Lombardi

*Universidade de Sao Paulo, Brasil.  
Laboratorio de Termodinámica y Fluidos, lombardi@sc.usp.br*

*Recibido 17 agosto 2015*

*Aceptado 8 marzo 2016*

---

#### **Abstract**

A distillery for the Generation of Renewable Energy Integrated to Food Production (GERIPA), that produces 125 000 L/day of ethanol, presents advantages in comparison with the traditional distilleries. In this paper the available thermal energy in sugar cane and sorghum, bagasse and straw, and also in biogas are calculated. This energy produces vapor for the process and electricity, using a boiler with 88 % of efficiency and a two stages with intermediate extraction turbine. The dependence of electric power surplus with vapor pressure is evaluated, finding that between 6 MPa and 10 MPa, the electric power surplus reaches 7.15 MW to 7.82 MW. This electricity can be send to the electro-energetic system. The effective efficiency is calculated for the same pressures range finding values lower than 25 %. It is shown that a bagasse dryer can be used to increase the efficiency.

**Keywords:** etanol, potencia eléctrica, energía renovable, cogeneración.



## Resumen

Una destilería para la Generación de Energía Renovable Integrada a la Producción de Alimentos (GERIPA), productora de 125 000 L/día de etanol, presenta ventajas en comparación con destilerías tradicionales. Se calcula la energía térmica disponible en el bagazo, en la paja de caña y de sorgo y en el biogás, obtenida para producir vapor de procesos y en la producción de electricidad, utilizando un generador de vapor con eficiencia 88% y un turbogenerador de dos etapas con extracción intermedia. Se evalúa la dependencia de la potencia eléctrica excedente con la presión del vapor, encontrando que entre 6 MPa y 10 MPa la potencia eléctrica excedente alcanza valores entre 7,15 MW y 7,82 MW. Esta electricidad puede ser aportada al sistema electroenergético. Se calcula el rendimiento efectivo para el mismo intervalo de presiones encontrando valores inferiores al 25%. Se demuestra que una alternativa de secado de bagazo eleva este rendimiento.

*Palabras clave:* etanol, potencia eléctrica, energía renovable, cogeneración.

## 1. INTRODUCCIÓN

El proyecto Generación de Energía Renovable Integrada a la Producción de Alimentos (GERIPA) (1) permite alcanzar ventajas económicas, sociales y ambientales, si se compara con otras energías renovables. Entre sus principales ventajas están la producción simultánea de electricidad, etanol hidratado y anhidro y alimentos orgánicos variados, a partir de materia prima como caña de azúcar y sorgo dulce.

La realidad actual es que el uso de calderas de baja presión en la industria azucarera y alcoholera hace que apenas se genere la electricidad necesaria para el consumo propio. Rodríguez y colaboradores (2) demostraron que una unidad GERIPA de 125 000 L/d tiene un alto potencial de sostenibilidad energética, clasificándose como autoprodutora de energía eléctrica. La biomasa que genera es capaz de producir potencia eléctrica disponible para ser suministrada al Sistema Energético Nacional, integrándose a este.

Curbelo y colaboradores (3) señalan que un aumento significativo de la generación de electricidad en la industria azucarera se puede lograr mediante la introducción de generadores de vapor a alta presión (8 MPa), lo cual requiere el uso de esquemas de generación que trabajen todo el año, similares a los utilizados en las centrales termoeléctricas, para lograr una operación económicamente ventajosa. En este caso, debido al monto de la inversión, es necesario que la generación de electricidad se realice durante todo el año para que sean económicamente ventajosos.

Según Torres (4, p. 4),

‘la industria azucarera emplea hasta hoy esquemas para cogenerar porque necesita grandes cantidades de vapor para el proceso de fabricación, pero también demanda electricidad para los dispositivos que funcionan con energía eléctrica. La relativa abundancia del bagazo, unida a la necesidad de eliminar ese desecho, trajo como consecuencia que el diseño termodinámico inicial de los esquemas para producir y utilizar el vapor persiguiera como objetivo principal consumir grandes volúmenes de bagazo para garantizar su desaparición al finalizar el período de zafra. Por tanto, su nivel de eficiencia y el aprovechamiento del poder calórico del combustible no constituían un objetivo a alcanzar, pero tampoco lo era generar más electricidad que la estrictamente necesaria para satisfacer el consumo de la industria. Por ello se basan las tecnologías en calderas de baja presión y temperaturas de vapor relativamente bajas.’

A partir de la segunda mitad del siglo XX, comienza en Hawái la instalación de calderas con mayor presión y temperatura del vapor producido y nuevas turbinas de extracción-condensación para mantener la generación de electricidad todo el año.

Sulroca (5) presenta un análisis en el que calcula el balance económico por tonelada de caña procesada, comparando la producción de azúcar y etanol, cuando los generadores de vapor son de alta presión iguales a 2,2 MPa y a 6,3 MPa. Los resultados muestran que el valor agregado en relación con la producción convencional, a bajas presiones, crece en 4,4 % para 2,2 MPa y en 7,5 % para 6,3 MPa.

En el presente trabajo se realiza la comparación del desempeño de generadores de vapor de alta presión en el intervalo de 6 MPa a 10 MPa, para la producción de vapor en una destilería integrada del tipo GERIPA, de modo que se satisfagan eficientemente los requerimientos de vapor de proceso de electricidad y sea posible entregar esta al sistema electroenergético.

## 2. DESARROLLO

La aplicación de ecuaciones de balance de masa y energía permite evaluar la generación eléctrica en la GERIPA (6). Las consideraciones realizadas son:

- La producción de etanol de la GERIPA es 125 000 L/d, la electricidad se genera durante 355 días del año. Las fuentes de producción de energía son: el bagazo, producido a partir de caña durante 244 días de zafra, y el sorgo, producido durante 111 días. El 50 % de la paja proviene de ambos cultivos. El biogás se produce en un biodigestor.
- El rendimiento de etanol por tonelada es 75 L/t, cuando se trabaja con caña, y 60 L/t, cuando se trabaja con sorgo. La productividad de la caña es de 100 t/ha. El porcentaje de bagazo de caña seco en la caña procesada es 13%; mientras que en el sorgo seco es 12%. Por su parte, el porcentaje de paja que se obtiene por tonelada de bagazo seco es 14% y el cogollo representa el 2% de la paja. El bagazo y la paja se queman en suspensión. El porcentaje de cenizas en el bagazo seco y en la paja es 2,5%. La humedad del bagazo y del sorgo es 50% y la de la paja 10%. Por cada 12,5 L de etanol se obtiene 1 m<sup>3</sup> de biogás (6).
- El generador de vapor es marca Caldema y su eficiencia térmica es 88% (7). Produce vapor sobrecalentado a 520 °C y se estudiarán presiones entre 6 MPa y 10 MPa. El agua de alimentación entra a 114 °C. El vapor producido es enviado a una turbina de expansión con rendimiento interno para el cilindro de alta presión de  $\eta_{1T} = 70 \%$  y, para el de baja presión,  $\eta_{2T} = 78 \%$ . La presión de condensación es 9,6 kPa. El consumo medio de vapor de proceso en una destilería convencional totalmente equipada con motores eléctricos es de 360 kg vapor / t de caña o sorgo procesada (7). El vapor requerido es saturado a 0,21 MPa.
- El valor calórico inferior de la fibra es 17 790 kJ/kg (8); del bagazo de 50 % de humedad, 7 674 kJ/kg y del biogás, 21 340 kJ/m<sup>3</sup> (8).
- La GERIPA demanda para su funcionamiento 2,81 MW, cuando se trabaja con caña de azúcar, y 3,51 MW, cuando se trabaja con sorgo dulce.

Un esquema del sistema de generación se presenta en la figura 1.

### 2.1 Procedimiento de cálculo

*Potencia eléctrica producida a partir de bagazo y paja*

$$M = \frac{P}{R} * 1000 \quad [1]$$

$$MF = (1 - \%ceniza / 100)M * 0,01F \quad [2]$$

$$MF(H) = \frac{MF}{1 - 0,01H} \quad [3]$$

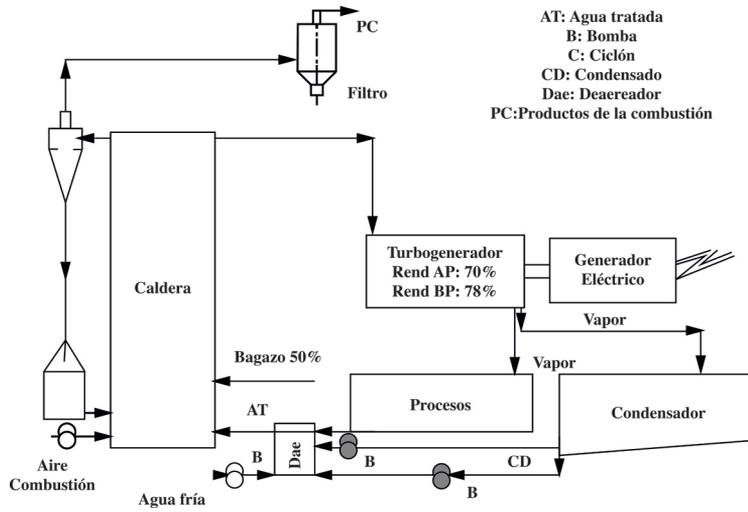


Figura 1. Esquema del sistema de cogeneración

Una caldera que, a partir de agua a 114°C, produzca vapor sobrecalentado a 520°C y una presión entre 6-10 MPa, y con una eficiencia térmica  $\epsilon_{tgv} = 0,88$  genera una masa de vapor de:

$$M_{vsc} = \frac{VCIbh * MF(H) * \epsilon_{tgv}}{\Delta h_{gv}} \quad [4]$$

Como el consumo medio de vapor es de 360 kg vapor / t de caña procesada, el consumo total es:

$$Dvp = M * 360 / 1000 \quad [5]$$

Si se conoce la producción de vapor posible a cada presión y la demanda de vapor del proceso, el exceso de vapor disponible para cada presión es:

$$EV = M_{vsc} - Dvp \quad [6]$$

$$PEbh = (\Delta h_1 * M_{vsc} + \Delta h_2 * EV) * 0,116 * 10^7 \quad [7]$$

Donde  $\Delta h_1$  y  $\Delta h_2$  se evalúan, desde la condición de entrada del vapor a cada cilindro de la turbina hasta la condición de salida, 0,21 MPa y 9,6 kPa, respectivamente, y dependen de los rendimientos relativos internos.

Si se quema el 50% de la paja de caña, se obtendría una energía adicional que se calcula como:

$$MP = 0,01RP * M * 0,01F \quad [8]$$

Conociendo que el cogollo representa el 2% de la paja, que en el campo permanece el 50% y que la ceniza en la paja representa el 2,5%, al igual que en el bagazo, la cantidad de fibra en paja es:

$$FP = MP * 0,5(1 - \%ceniza - \%cog) \quad [9]$$

$$VCIp = (1 - Hp)VCI_f - Hp * hlv \quad [10]$$

$$VP = \frac{VCIp * FP * \epsilon_{tgv}}{\Delta h_{gv}} \quad [11]$$

$$PEp = (\Delta h_1 + \Delta h_2)VP * 0,116 * 10^{-7} \quad [12]$$

Cuando termina el período de zafra con caña de azúcar y se empieza a trabajar con sorgo dulce, el procedimiento descrito se repite, modificando los indicadores propios de este cultivo, como lo son: el rendimiento en etanol por tonelada (60 L/t) y el porcentaje de fibra en el sorgo dulce (12%). Las propiedades termodinámicas intensivas evaluadas no varían, al cambiar el tipo de cultivo, solo se modifican los flujos de vapor y, por ende, la potencia eléctrica.

*Potencia eléctrica producida a partir de biogás*

$$Qb = 125000L / d / 12,5L / m^3 \quad [13]$$

$$Vb = \frac{VCIbg * Qb * \epsilon_{tgv}}{\Delta h_{gv}} \quad [14]$$

$$PEbg = (\Delta h_1 + \Delta h_2)Vb * 0,116 * 10^{-7} \quad [15]$$

*Potencia eléctrica excedente*

$$PEt = PEbh + PEp + PEbg \quad [16]$$

Conociendo el consumo eléctrico en la GERIPA

$$PEexc = PEt - PEc \quad [17]$$

## 2.2 Aplicación del procedimiento

En los cuadros 1, 2 y 3, se presentan los resultados de los balances de masa y energía.

Cuadro 1. Balance de masa y energía para caña.

		Unidad	Bagazo	Paja
Masa de caña o paja a utilizar		t/d	1 667	15,2
Masa de fibra húmeda		t/d	422,5	14,5
VCI DEL COMBUSTIBLE		kJ/kg	7 674	17 546
	6 MPa		953,8	74,8
Vapor producido	8 MPa	t/d	960,9	75,3
	10 MPa		968,3	75,9
Extracción de vapor hacia el proceso		t/d	600	-
	6 MPa		579,4	579,4
Salto térmico 1 <sup>ra</sup> etapa	8 MPa	kJ/kg	606,3	606,3
	10 MPa		625,2	625,2
	6 MPa		398,0	398,0
Salto térmico 2 <sup>da</sup> etapa	8 MPa	kJ/kg	384,9	384,9
	10 MPa		375,9	375,9
	6 MPa		209,9	209,9
Calidad de la mezcla a la salida	8 MPa	%	185,8	185,8
	10 MPa		165,7	165,7
	6 MPa		8,03	0,85
Potencia eléctrica generada	8 MPa	MW	8,35	0,87
	10 MPa		8,61	0,88

Cuadro 2. Balance de masa y energía para sorgo.

		Unidad	Bagazo	Paja
Masa de sorgo o paja a utilizar		t/d	2 083	17,5
Masa de fibra		t/d	243,8	16,7
VCI del combustible		kJ/kg	7 674	17 546
	6 MPa		1100,5	86,3
Vapor producido	8 MPa	t/d	1108,7	86,9
	10 MPa		1117,2	87,6
Extracción de vapor hacia el proceso		t/d	600	-
	6 MPa		9,69	0,98
Potencia eléctrica generada	8 MPa	MW	10,05	1,00
	10 MPa		10,33	1,02

Cuadro 3. Balance de masa y energía para el uso del biogás.

	Unidad	Biogás
Biogás producido	Nm <sup>3</sup> /d	10 000
	6 MPa	62,8
Producción de vapor	t/d	63,2
	10 MPa	63,7
Potencia eléctrica generada	MW	0,71
	6 MPa	0,73
	10 MPa	0,74

En el cuadro 4, se presenta el balance global de la potencia eléctrica generada utilizando bagazo, paja y biogás, para los dos períodos de zafra, esto es con caña y con sorgo. Al sustraer la potencia consumida, se obtiene la potencia eléctrica excedente. Tomando en cuenta la duración de cada período de zafra, 244 días para la caña y 111 días para el sorgo, es posible encontrar una potencia eléctrica excedente ponderada, que, como se aprecia, toma valores entre 7,15 y 7,82 MW, en dependencia de la presión en el generador de vapor. Esta electricidad puede ser aportada al sistema electroenergético, constituyendo una fuente de ingreso adicional para la GERIPA.

Cuadro 4. Potencia eléctrica disponible.

	Presión	Caña	Sorgo
Potencia eléctrica generada MW	6 MPa	9,59	11,38
	8 MPa	9,94	11,77
	10 MPa	10,23	12,03
Potencia eléctrica consumida MW		2,81	3,51
Potencia eléctrica excedente MW	6 MPa	6,78	7,98
	8 MPa	7,13	8,37
	10 MPa	7,42	8,69
Potencia eléctrica excedente ponderada MW	6 MPa		7,15
	8 MPa		7,52
	10 MPa		7,82

El cálculo del rendimiento efectivo de la instalación se obtiene al comparar la potencia eléctrica generada y la potencia térmica disponible, a partir del valor calórico total, considerando todas las fuentes combustibles (bagazo, paja y biogás).

$$\eta_e = \frac{\text{potencia eléctrica generada}}{\text{potencia térmica total}} * 100 \quad [18]$$

En el cuadro 5, se presenta la dependencia del rendimiento efectivo con la presión en el generador de vapor. Se aprecia cómo el rendimiento efectivo tiene valores bajos, inferiores al 25 %.

Cuadro 5. Relación entre el rendimiento efectivo y la presión.

	Presión	Caña	Sorgo
Potencia eléctrica generada MW	6 MPa	9,59	11,38
	8 MPa	9,94	11,77
	10 MPa	10,23	12,03
Potencia térmica aportada por los combustibles MW		42,9	49,2
Rendimiento efectivo %	6 MPa	22,3	23,1
	8 MPa	23,2	23,9
	10 MPa	23,8	24,6

Se concluye que, a medida que aumenta la presión del vapor producido, la potencia excedente es mayor y el rendimiento efectivo aumenta. No obstante, se observa que este incremento es menor a mayor presión, lo que refuerza la conveniencia de trabajar a 8 MPa, planteada por Curbelo y colaboradores (3). Es posible concluir que la sensibilidad de la potencia eléctrica excedente a los cambios en la presión de vapor no es alta, al incrementarse el valor en 2%-2,5% por cada MPa.

### 2.3 Alternativa para aumentar el rendimiento efectivo

Dado que la presión de vapor no es una variable que contribuya de forma significativa al aumento del rendimiento efectivo, se evaluó su dependencia con la humedad del combustible. El bajo rendimiento efectivo puede aumentar, si se disminuye la humedad del bagazo con el uso de un secador utilizando una fuente externa. El cambio de humedad afectaría el valor calórico del bagazo y, con ello, el vapor producido. El procedimiento de cálculo se repite.

A continuación, se presentan las figuras 2 y 3, en las que se relacionan las dependencias de la potencia eléctrica generada y excedente con la humedad del bagazo de caña y la presión de vapor. Se aprecia que, a medida que la humedad del bagazo disminuye, la potencia eléctrica generada y excedente es mayor. El comportamiento para cuando se seca el sorgo es similar.

En el cuadro 7, se presenta el resultado para el bagazo de sorgo.

En la Fig. 4, se relaciona el rendimiento efectivo con la humedad del bagazo de caña y la presión del vapor en la caldera. Se aprecia que, a medida que el bagazo tiene menor contenido de humedad, es mayor el rendimiento efectivo de la instalación.

En el cuadro 6, se presenta el incremento relativo de la potencia eléctrica total generada, de la potencia eléctrica excedente y del rendimiento efectivo con la humedad del bagazo y la presión del vapor en la caldera, en relación con la condición considerada base de 6 MPa y 50% de humedad. Este incremento relativo ha sido identificado en el cuadro como  $\Delta X/X$ , siendo X la potencia eléctrica total generada, de la potencia eléctrica excedente y del rendimiento efectivo.

**Cuadro 6.** Incrementos para el bagazo de caña con la humedad del bagazo y la presión.

$\Delta X/X*100$	Presión	35 %	40 %	45 %
Potencia eléctrica total generada	6 MPa	111,7	65,3	28,9
	8 MPa	110,1	64,5	28,5
	10 MPa	108,9	63,7	28,1
Potencia eléctrica excedente	6 MPa	158,0	92,4	40,8
	8 MPa	153,5	89,8	39,7
	10 MPa	150,1	87,8	38,8
Rendimiento efectivo	6 MPa	13,3	9,7	5,2
	8 MPa	12,5	9,2	4,9
	10 MPa	11,8	8,7	4,6

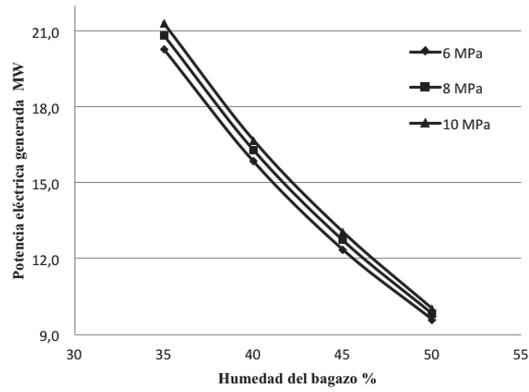


Figura 2. Dependencia de la potencia eléctrica generada con la humedad del bagazo de caña

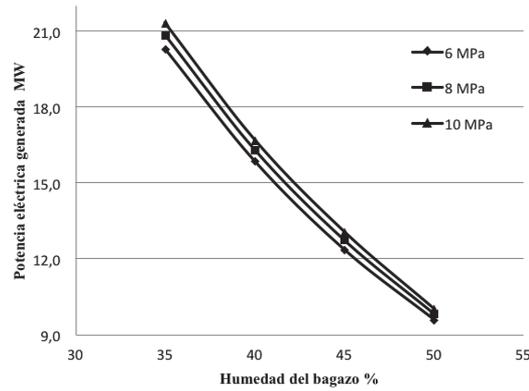


Figura 3. Dependencia de la potencia excedente con la humedad del bagazo de caña

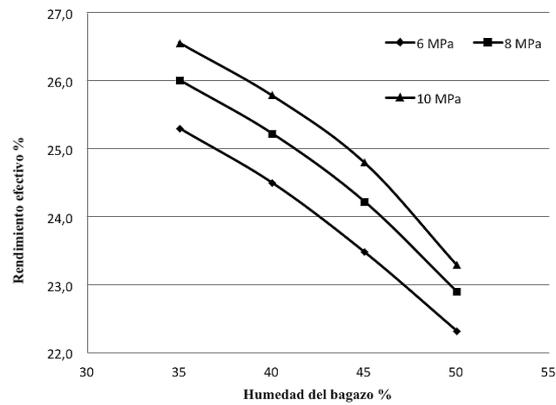


Figura 4. Dependencia del rendimiento efectivo con la humedad del bagazo de caña

**Cuadro 7.** Incrementos para el bagazo de sorgo con la humedad y la presión.

$\Delta X/X *100$	PRESIÓN	35 %	40 %	45 %
Potencia eléctrica total generada	6 MPa	108,7	63,4	28,2
	8 MPa	107,4	62,6	27,8
	10 MPa	106,4	62,1	27,6
Potencia eléctrica excedente	6 MPa	157,3	91,7	40,8
	8 MPa	153,0	89,2	39,7
	10 MPa	149,9	87,4	38,9
Rendimiento efectivo	6 MPa	11,4	8,2	4,5
	8 MPa	10,7	7,7	4,2
	10 MPa	10,1	7,3	4,0

Se verifica que los incrementos son altamente sensibles a la disminución del contenido de humedad en el combustible y poco sensibles al aumento de presión del vapor en la caldera. De igual forma, se aprecia que los valores, tanto absolutos como relativos, para cuando se usa bagazo de caña y bagazo de sorgo, son similares.

### 3. CONCLUSIONES

En una GERIPA, se puede producir la potencia eléctrica requerida y, además, disponer de un excedente que se suministre al sistema electroenergético, siendo una fuente de ingreso adicional.

Cuanto mayor sea la presión del vapor en el generador, mayor potencia eléctrica excedente podrá ser suministrada. La decisión de trabajar a una presión de 8 o 10 MPa, dependerá del análisis técnico económico, comparando el incremento de precio de un generador de vapor de mayor presión y el aumento en el excedente de electricidad que puede ser vendida. La potencia eléctrica excedente, para una humedad de bagazo del 50 % es de 7,15 a 7,82 MW, de donde la presión no es una variable de alta sensibilidad.

El rendimiento efectivo del sistema es bajo, entre 22,3 % y 24,6 %, en dependencia de la presión y del tipo de materia prima. No obstante, si se introduce un secador de bagazo antes de su suministro al generador de vapor, el rendimiento efectivo aumenta con la disminución del contenido de humedad del bagazo.

**Nomenclatura**

M	Masa de caña (kg/d).
P	Producción (L/d).
R	Rendimiento en etanol (L/t).
MF	Masa de fibra (kg/d)
F	Porcentaje de fibra por tonelada (%).
% ceniza	Porcentaje de ceniza en bagazo seco (%).
MF(H)	Masa de fibra húmeda (kg/d).
H	Humedad (%).
Mvsc	Masa de vapor sobrecalentado (kg/d).
VCIbh	Valor calórico inferior del bagazo húmedo (kJ/kg).
$\Delta h_{gv}$	Variación de entalpía del agua en el generador de vapor (kJ/kg).
Dvp	Demanda de vapor por el proceso (kg/d).
EV	Exceso de vapor disponible (kg/d).
PEbh	Potencia eléctrica a partir de bagazo (MW).
$\Delta h_1$ y $\Delta h_2$	Salto entálpico (kJ/kg).
MP	Paja (kg/d).
RP	Porcentaje de paja por masa de bagazo seco (%)
FP	Fibra en paja (kg/d).
%cog	Porcentaje de cogollo por masa de paja (%).
VCIp	Valor calórico inferior de la paja (kJ/kg).
VCI f	Valor calórico inferior de la fibra (kJ/kg).
Hp	Humedad de la paja (%).
VP	Vapor producido a partir de paja (kg/d).
PEp	Potencia eléctrica a partir de paja (MW).
Qb	Volumen de biogás producido (Nm <sup>3</sup> /d).
Vb	Vapor producido a partir de biogás (kg/d).
VCIbg	Valor calórico inferior del biogás (kJ/m <sup>3</sup> ).
PEbg	Potencia eléctrica generada a partir del vapor obtenido quemando biogás (MW).
PEt	Potencia eléctrica total producida (MW).
PEexc	Potencia eléctrica excedente (MW).

PEc        Potencia eléctrica consumida en el proceso en dependencia del período de zafra (MW).

#### 4. REFERENCIAS

1. Lombardi G, Rodríguez P, Corsini R. Potencial económico, social y ambiental de la producción integrada de alcohol, electricidad y alimentos. En Sanquetta CR, Ziliotto MAB, editors. Carbono-ciencia e mercado global. Curitiba: Instituto Eco-plan; 2004. p. 179-193.
2. Rodríguez P, Zumalacárregui L, Lombardi G, Pérez O. Generación eléctrica a partir de biomasa en una destilería diversificada. ICIDCA. 2007 Abr-Jun; XLI (2): 39-43.
3. Curbelo A, Garea B, Valdés A. Generación de electricidad a partir de bagazo en Cuba. Reunión regional sobre generación de electricidad a partir de biomasa. Depósito de documentos de la FAO; 1996. Título de la serie: Estudio FAO: Montes -T2363/S.7.
4. Torres J. La biomasa cañera y el tránsito en Cuba hacia una energética sustentable. V Conferencia Internacional de Energías Renovables, Ahorro de Energía y Educación Energética – CIER; La Habana; 22-27 de Mayo 2007. Disponible en: <http://www.occyt.cu/varios/biomasacier.pdf>.
5. Sulroca F. La agroindustria bioenergética de la caña de azúcar: retos y perspectivas. En: González M editor. La agroindustria cañera cubana. New York: Bildner Center for Western Hemisphere Studies; 2015. p. 35-60.
6. Rodríguez P, Lombardi G, Ometto A, Zumalacárregui L, Pérez O. Potencialidades de generación de electricidad a partir de biomasa. Scientia et Technica. 2010 Ago; XVI (45): 267-277.
7. Barata J, Cherubim L. CALDEMA Eq. Ind. Ltda, Engineering Dept, Sertãozinho, SP, Brazil [Internet]. Brasil: caldema.com [acceso 20 de octubre de 2008] disponible en: <http://www.caldema.com.br>
8. Zumalacárregui L et al. Potencialidades del bagazo para la obtención de etanol frente a la generación de electricidad. Ingeniería, Investigación y Tecnología. 2015 Jul-Sep; XVI (3): 407-418.