

Índice de generación de una planta de gasificación de residuos de la madera

Generation rate of a wood waste gasification plant

René Lesme-Jaén¹<http://orcid.org/0000-0001-7274-0153>

José Rolando Dupuy-Parra²<http://orcid.org/0000-0002-9262>

¹ Centro de Estudios de Energía y Refrigeración, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba. Cuba

² Centro de Aplicación Tecnológica para el Desarrollo Sostenible, Santiago de Cuba, Cuba

*Autor para la correspondencia. Correo electrónico: lesme@uo.edu.cu

RESUMEN

En este trabajo se realizó un análisis energético de una planta de gasificación de residuos y generación de electricidad para evaluar los índices de sostenibilidad energética y de generación de electricidad. El análisis está fundamentado en las leyes de la termodinámica, de los gases ideales e indicadores de este tipo de tecnología reportados en la literatura científica. El procedimiento fue utilizado para evaluar una planta de gasificación de residuos en el aserrío Pueblo Nuevo de Guantánamo, que contará con un gasificador down draft y un motor Mercedes Benz No.815931, tipo OM 447. Los resultados muestran que con el empleo de los residuos es posible satisfacer la demanda de electricidad del aserrío, entregar electricidad a la red nacional y energía térmica para otros usos en la industria con

un índice de generación de electricidad de 0,375 GWh por toneladas de residuos procesados y un índice de sostenibilidad energética de 93,65 00 MWh de electricidad renovable por MWh de electricidad consumida a partir de combustible fósil.

Palabras clave: residuos; gasificación; electricidad.

ABSTRACT

In this work, an energy analysis of a waste gasification and electricity generation plant was carried out to evaluate the energy sustainability and electricity generation indices. The analysis is based on the laws of thermodynamics, ideal gases and indicators of this type of technology reported in the scientific literature. The procedure was used to evaluate a waste gasification plant in the Pueblo Nuevo de Guantánamo sawmill, which will have a downdraft gasifier and a Mercedes Benz No.815931 engine, type OM 447. The results show that with the use of waste it is possible to meet the demand for electricity from the sawmill, deliver electricity to the national grid and thermal energy for other uses in the industry with an electricity generation rate of 0,375 GWh per tons of waste processed and an energy sustainability rate of 93.65 00 MWh of renewable electricity per MWh of electricity consumed from fossil fuel.

Keywords: wastes; gasification; electricity.

Recibido: 10/05/2023

Aceptado: 18/08/2023

Introducción

En la industria de elaboración de la madera se generan grandes cantidades de residuos, que no tienen un destino final útil y constituyen una fuente de contaminación ambiental. Sin embargo, estos residuos pueden ser utilizados como fuentes de energía, con lo cual se pueden disminuir el consumo de electricidad o combustibles fósiles de la industria y mitigar los impactos ambientales que ellos producen.

Uno de los procesos térmicos que permite convertir la biomasa en un gas es la gasificación. Este gas se puede utilizar en un motor de combustión interna para generar electricidad, ella es una tecnología madura que amplía el espectro de posibilidades tecnológicas para lograr el aprovechamiento energético de labiomasa forestal y los residuos agroindustriales.⁽¹⁾

Cuba cuenta con un programa de utilización de la biomasa forestal para la generación de electricidad con tecnología de gasificación, en el que se destaca una planta de gasificación que utiliza residuos de la industria forestal con un motor de combustión interna de 40 kWe en el aserrío El Brujo de la Empresa Forestal Integral Gran Piedra Baconao, la instalación en La Melvis, comunidad de la Isla de la Juventud, de un grupo electrógeno de un 1MWe que trabaja con cultivos energéticos, una unidad de generación eléctrica de 50 kWe en la comunidad de cocodrilo (Isla de la Juventud), que utiliza residuos de las raleas de fincas forestales y una instalación en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes de Indio Hatuey, Matanzas, que puede generar 22 kWe a partir de residuos de árboles forrajeros, utilizados para la alimentación animal.⁽²⁾

En aras de seguir desarrollando este programa, se realizan estudios en otras industrias forestales para la implementación de esta tecnología. En este trabajo se realiza un análisis energético para la determinación de los índices de sostenibilidad energética y de generación de electricidad de una planta de gasificación de residuos con un grupo electrógeno motor de combustión interna- generador eléctrico en el aserrío Pueblo Nuevo de la provincia Guantánamo. Este aserrío cuenta con un grupo electrógeno Mercedes Benz No.815931, tipo OM 447 que puede trabajar con gas procedente de la biomasa. El aserrío consume

electricidad de la red nacional procedente de combustibles fósiles y no tiene un tratamiento adecuado para los residuos que contribuyan a disminuir sus impactos sobre el medioambiente.⁽³⁾

Fundamentación teórica

La metodología para la determinación de los índices de sostenibilidad y generación de electricidad de la planta de gasificación, parte de la determinación de la cantidad y disponibilidad de residuos generados por la industria, a partir de su producción de madera en un determinado período de tiempo.

Seguidamente se determina su potencial energético, se evalúa el proceso de transformación de la energía química de los residuos en electricidad, teniendo en cuenta indicadores energéticos de este tipo de tecnología reportados en la literatura científica, las leyes de la termodinámica y de los gases ideales, estas últimas para realizar el cálculo térmico del ciclo de funcionamiento del motor y con ello la cantidad de energía eléctrica que puede ser generada.

Materiales y métodos

Consumo de electricidad en el aserrío

En la tabla 1 se presenta la producción de madera del aserrío en el período analizado (3 años) y el consumo de electricidad, datos reportados por el departamento de contabilidad y finanzas de la empresa.⁽⁴⁾

Tabla 1-Índices de consumo de electricidad

Indicadores	Unidad de medida	Periodos		
		Año 1	Año 2	Año 3
Madera Aserrada	m ³	3123,8	2780,3	3169,3
Consumo de electricidad	MWh	63,30	63,30	65,42
Índice de consumo	MWh/m ³	0,020	0,023	0,021

El índice de consumo es la relación entre el consumo de electricidad y la producción de madera aserrada. Como se puede observar, el aserrío tiene una capacidad productiva de aproximadamente 3000 m³ de madera anual y un índice de consumo de electricidad promedio de 0,021MWh/m³ madera aserrada. El costo promedio anual de la electricidad es de 175, 5 \$/MWh.

Disponibilidad de residuos

Durante el proceso de elaboración de la madera se producen una serie de residuos sólidos, que pueden ser clasificados atendiendo a sus dimensiones en: aserrín, costaneras, virutas y astillas.

La cantidad de residuos totales en el aserrío objeto de estudio fue evaluada a partir de la cantidad de madera elaborada, teniendo en cuenta los coeficientes de residuos de la industria forestal, determinados experimentalmente mostrados en la tabla 2.

Tabla 2-Coeficientes de residuos de la industria forestal. ⁽⁵⁾

Residuos	Coeficientes de residuos (kg/m ³ de madera)
Aserrín	214,00
Astillas	333,20
Virutas	371,28

La disponibilidad horaria de estos residuos puede ser determinada por la siguiente expresión:

$$D_{\text{res}} = \frac{C}{H_T} \quad (1)$$

donde:

D_{res} : disponibilidad horaria de residuos (Ton/s)

C : cantidad de residuos totales (Ton).

H_T : horas trabajadas del aserrío (s)

Potencial energético de los residuos

El potencial energético disponible de estos residuos se evaluó por la siguiente expresión:

$$P_{\text{teo}} = D_{\text{res}} \cdot \text{PCI}_b \cdot H_T \quad (2)$$

donde:

P_{teo} . Potencial energético de los residuos, MWh

PCI_b . Poder calorífico de los residuos, 16,5 MJ/kg⁽⁶⁾

Potencial energético del gas producido en el gasificador

Durante el proceso de gasificación, la biomasa (residuos) entra al reactor de conjunto con el aire necesario para lograr el proceso, se obtiene gas combustible y se generan residuos (alquitrán y cenizas). Este gas en el caso de los reactores downdraft está formado fundamentalmente por CO₂, CO, H₂, CH₄ y N₂. En la tabla 3 se muestran los valores promedios del % en volumen de estos gases y su poder calorífico.^(7, 8)

Tabla 3-Composición y poder calorífico del gas

Elementos	Composición en volumen (%vol.)	Peso Molecular kg/kmol	Densidad Kg/Nm ³
CO	19	28,010	1,14
H ₂	18	2,016	0,09
CO ₂	10	44,010	1,976
CH ₄	3	16,042	0,657
N ₂	50	28,016	1,2506
Poder calorífico del gas, PCI _g		4,45 MJ/Nm ³	
Densidad de la mezcla		1,075 kg/Nm ³	

En estas mismas fuentes se reportan estudios experimentales sobre la gasificación de madera para evaluar la producción específica de gas. En la tabla 4 se muestran algunos de estos resultados para gasificadores down draft.^(7, 8)

Tabla 4-Producción específica de gas

No	Gasificador	G _g (Nm ³ /kg)
1	Downdraft	2,0
2	Downdraft	1,8
3	Downdraft	1,9

La producción específica de gas en estos tipos de gasificadores se puede tomar como promedio 1,9 Nm³/kg de residuos. Este gas se somete a un proceso de limpieza para suministrarlo a un grupo electrógeno (motor-generador eléctrico). Las características técnicas del motor objeto de estudio se muestran en la tabla 5.

Tabla 5-Datos técnicos del motor trabajando con diesel⁽⁴⁾

Parámetros	Características
Cantidad de cilindros	6
Revoluciones	1800 rpm
Diámetro de los cilindros	128 mm
Carrera del pistón	155 mm
Relación de compresión	17:1
Presión en la admisión	0,085 MP _A
Volumen de trabajo del cilindro	0,358 Nm ³ /s

En la figura 1 se presenta el proceso tecnológico de la planta de gasificación de residuos para producción de electricidad.

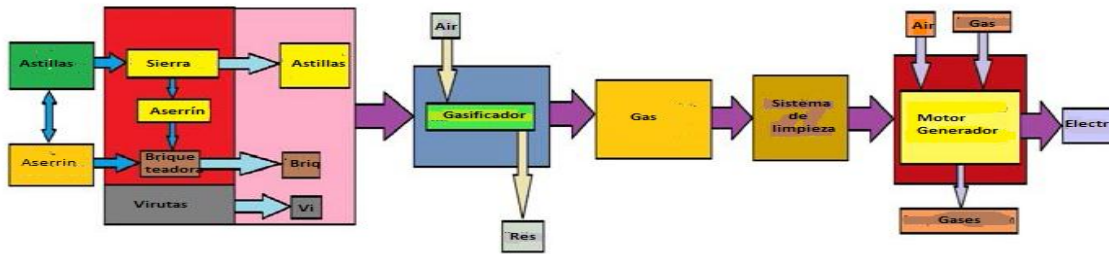


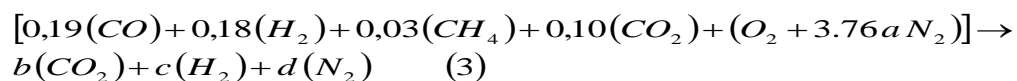
Fig.1-Proceso tecnológico de la producción de electricidad

El proceso está formado por varias etapas, donde se distinguen: Etapa de preparación de biomasa (Sierra, Briqueadora), en esta etapa se garantizan las dimensiones necesarias de la biomasa para ser gasificada, la etapa de gasificación donde se produce el gas combustible (reactor downdraft), una etapa donde se purifica el gas (sistema de limpieza) y el grupo electrógeno donde se genera la electricidad (motor-generator eléctrico)

Estas plantas de gasificación acopladas a motores de combustión interna de las 8 h laborales, 3 h como promedio, se utilizan para puesta en marcha y garantizar que el gas tenga la calidad requerida para suministrarlo al motor. Durante éste período la planta consume electricidad de la red nacional (Insumo de planta) a razón de 3,92 MWh/Ton de residuos procesados^(9, 10, 11, 12, 13). Del total de esta energía consumida, el 70 % se consume en la etapa de preparación de la biomasa, el 20 % en el gasificador y el 10 % en el sistema de limpieza y el motor.

Potencial tecnológico de generación de electricidad

Para determinar el potencial tecnológico de generación de electricidad se desarrolló el cálculo del ciclo termodinámico del motor considerando el gas como ideal y desarrollando los balances molares en la ecuación de la combustión del mismo.⁽¹⁴⁾ (Ec 3.)



donde:

(0,19, 0,18, 0,03, 0,10). Composición en volumen de los elementos que componen el gas (tabla 3)

b, c y d. Moles de carbono, hidrógeno y nitrógeno.

Obtenidos los moles de carbono, hidrógeno y nitrógeno se pueden determinar la presión y la temperatura en cada punto del ciclo termodinámico, la relación aire combustible y con ellos el rendimiento volumétrico o coeficiente de llenado (Ec. 4), el cuál considera la cantidad de mezcla (aire-gas) que realmente puede succionar el motor de acuerdo con sus características constructivas (tabla 5).

$$\eta_v = \frac{V_g}{V_T} = \frac{\epsilon}{\epsilon - 1} \times \frac{P_A}{P_0} \times \frac{T_0}{T_A (1 + \gamma_R)} \quad (4)$$

donde:

V_g . Volumen real de mezcla succionada por el motor, Nm³/s

V_T . Volumen de trabajo del motor (Tabla 5)

P_0 . Presión atmosférica, 0,101MPa

P_A . Presión al final de la admisión, MPa

T_0 . Temperatura atmosférica, 307,0K

T_A . Temperatura al final de la admisión, K

ϵ . Relación de compresión (Tabla 5)

γ . Coeficiente de gases residuales. Tiene en cuenta la influencia de la temperatura de los gases en el llenado del cilindro ⁽¹⁴⁾ (Ec. 5)

$$\gamma = \frac{T_0 + 20}{T_R} \times \frac{P_R}{\epsilon * P_A - P_R} \quad (5)$$

P_R . Presión de los gases residuales, MPa

T_R . Temperatura de los gases residuales, K

Determinando el coeficiente de llenado del cilindro y el volumen real de mezcla succionado por el motor, podemos determinar el potencial tecnológico de generación de electricidad, considerando los índices de eficiencia del proceso de transformación (Ec. 6)

$$N_{ele} = E_{gas} \times V_g \times H_g \times \eta_T \times \eta_m \times \eta_{ge} \quad (6)$$

donde:

N_{ele} . Potencia eléctrica generada, MWh

η_T . Rendimiento térmico del motor, 0,60 ⁽¹⁴⁾

η_m . Rendimiento mecánico del motor, 0,80 ⁽¹⁴⁾

η_{ge} . Rendimiento del generador eléctrico, 0,83 ⁽¹⁴⁾

H_g . Horas de generación de la planta, h

E_{gas} , Densidad Energética del gas, KJ/Nm³ (Ec. 7)⁽¹⁵⁾

$$E_{gas} = \frac{10768(H_2) + 12696(CO) + 35866(CH_4)}{1 + 2.38(H_2) + 2.38(CO) + 9.53(CH_4)} \quad (7)$$

Índice de sostenibilidad energética

El índice de sostenibilidad energética se define como la cantidad de electricidad generada de forma renovable (Potencial tecnológico) y la cantidad de electricidad consumida con energía no renovable durante el período de puesta en marcha de la instalación, donde se consume electricidad de la red nacional (Insumo de planta) (Ec. 8).⁽⁹⁾

$$I_{sos} = \frac{\text{Potencial tecnológico}}{\text{Insumo de planta}} \quad (8)$$

Índice de generación de la planta

Se expresa a través de la relación entre la generación de electricidad y la cantidad de residuos procesados. (Ec. 9)

$$I_{ge} = \frac{\text{Potencial tecnológico}}{D_{res}} \quad (9)$$

Resultados y discusión

Disponibilidad de residuos y potencial energético

Teniendo en cuenta los coeficientes de residuos reportados en la tabla 2 y la producción de madera aserrada del aserrío (tabla 1) se estimó la cantidad total de residuos generados en el período analizado y su potencial energético (Ec.1 y 2). En la tabla 6 se muestran los resultados.

Tabla 6-Cantidad total de residuos generados en el aserrío

Residuos	Unidad de medida	Períodos		
		Año 1	Año 2	Año 3
Aserrín	Ton/año	668,50	595,00	678,23
Astillas	Ton/año	1040,85	926,40	1056,00
Virutas	Ton/año	1159,80	1032,27	1176,70
Total	Ton/año	2869,15	2553,27	2910,93
Horas trabajadas anual	h	1500	1426	1510
Disponibilidad de residuos	Ton/h	1,91	1,79	1,93
Potencial energético de los residuos	GWh	13,13	11,70	13,36

Los resultados muestran que se generan como promedio 1,88 Ton/h de residuos, con un potencial energético anual superior al consumo de electricidad anual del

aserrío, esto significa que teóricamente la energía acumulada en los residuos es superior a la energía eléctrica consumida anualmente (tabla 1).

Potencial energético del gas producido en el gasificador

Tomando en consideración la producción específica de gas ($1,9 \text{ Nm}^3/\text{kg}$) reportada en la tabla 4, así como su poder calorífico ($4,45 \text{ MJ/Nm}^3$) (tabla 3), teniendo en cuenta que de las 8 horas laborales diarias, 3 h se utilizan para puesta en marcha de la planta, podemos determinar los indicadores de funcionamiento del gasificador y el potencial energético anual del gas que se produce. En la tabla 7 se muestran los resultados.

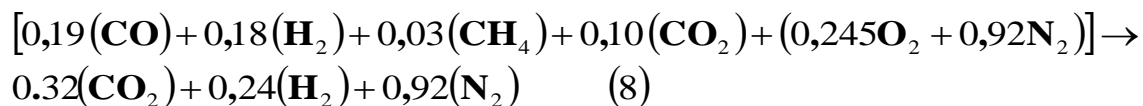
Tabla 7-Indicadores de funcionamiento del gasificador

Indicadores	UM	Años		
		Año 1	Año 2	Año 3
Días hábiles de trabajo	Días	188	178	189
Horas sin generación	Horas	563	535	566
Horas con generación	Horas	938	891	944
Producción de gas	Nm^3/s	1,00	0,94	1,02
Producción de gas	Kg/s	1,08	1,02	1,11
Potencial energético anual del gas	GWh	4,17	3,75	4,28

Los resultados muestran que el potencial energético del gas producido anualmente en el gasificador, también es superior al consumo de electricidad anual del aserrío, por lo que teóricamente esta demanda puede ser cubierta con la energía del gas.

Parámetros del ciclo termodinámico del motor

A través de los balances molares del carbono, oxígeno y nitrógeno desarrollados en la (Ec. 3) se obtuvo la siguiente ecuación:



Los resultados del cálculo del ciclo termodinámico del motor trabajando con gas de biomasa se muestran en la tabla 8.

Tabla 8-Parámetros del ciclo termodinámico del motor con gas de biomasa

Indicadores	U/M	Valores
P_A	MP_A	0,085
P_o	MP_A	0,101
P_R	MP_A	0,119
T_A	K	337,4
T_o	K	307,0
γ	-	0,05
η_V	-	0,76

Como se muestra el coeficiente de llenado del motor (Ec.4) es 0,76, esto significa que del total de gas producido en el gasificador, por las características técnicas del motor, éste sólo puede succionar el 76 %, existiendo una producción de gas en exceso, cuya energía puede ser utilizada para otros servicios del aserrío, por ejemplo la cocción de alimentos o el secado de la madera.

Potencial tecnológico de generación de electricidad

En la tabla 9 se muestra los indicadores de generación de energía de la planta: cantidad de mezcla de gas succionada por el motor, su energía (Ec.7), el potencial tecnológico de generación de electricidad (Ec. 6) y la reserva de energía del aserrío para otros usos.

Tabla 9-Indicadores energéticos de la planta

Indicadores	UM	Años		
		Año 1	Año 2	Año 3
Mezcla de gas succionada por el motor	Nm ³ /s	0,76	0,71	0,78
Energía del gas que entra al motor	GWh	1,79	1,59	1,84
Potencial tecnológico de generación de electricidad	GWh	0,71	0,63	0,73
Energía del gas para otros usos	GWh	2,38	2,16	2,44

Los resultados muestran que el potencial tecnológico anual de generación de electricidad de la planta de gasificación, es superior al consumo de electricidad anual del aserrío (tabla 1), lo cual significa que es posible satisfacer la demanda de electricidad del aserrío, entregar electricidad a la red nacional y energía para otros usos, la cual se determina por la diferencia entre el potencial energético del gas (tabla 7), menos la energía del gas que entra al motor.

En la figura 2 se muestra el análisis energético de la transformación de la energía de los residuos en electricidad en la planta de gasificación. (Diagrama Sankey) para el tercer año de estudio.

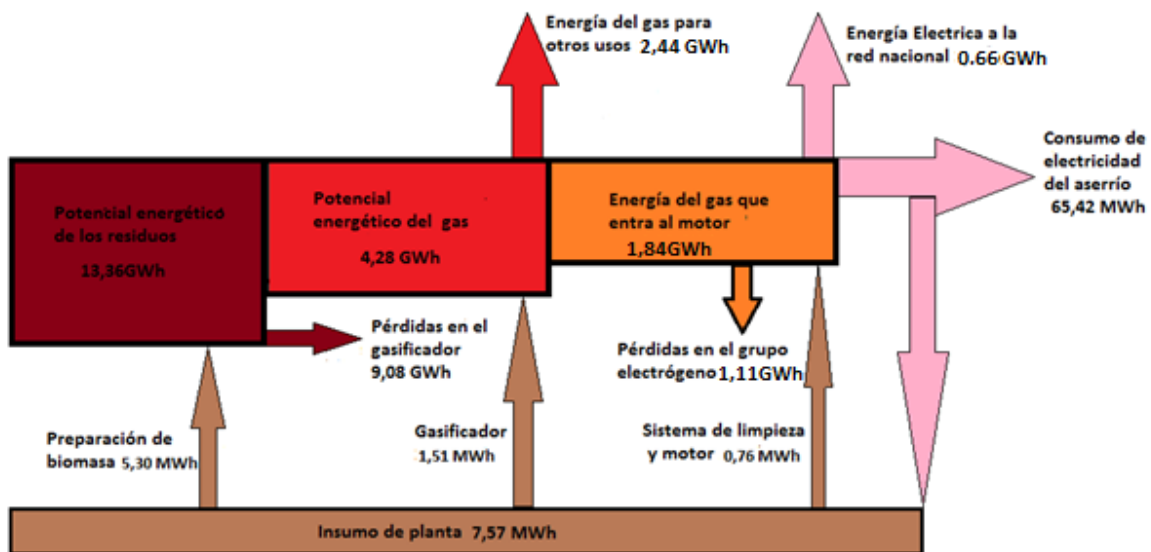


Fig. 2-Diagrama Sankey de la cadena de producción de electricidad a partir de residuos

Índices de sostenibilidad energética y de generación de electricidad

En la tabla 10 se muestra el índice de sostenibilidad energética (Ec.8) y de generación de electricidad (Ec. 9) de la planta para los tres años de estudios.

Tabla 10-Índices de generación de electricidad de la planta

Indicadores	UM	Años		
		Año 1	Año 2	Año 3
Mezcla de gas succionada por el motor	Nm ³ /s	0,76	0,71	0,78
Energía del gas que entra al motor	GWh	1,79	1,59	1,84
Potencial tecnológico de generación de electricidad	GWh	0,71	0,63	0,73
Energía del gas para otros usos	GWh	2,38	2,16	2,44

Los resultados muestran, que la planta de gasificación de residuos es capaz de generar entre (0,37-0,38) GWh por toneladas de residuos consumidos y un índice de sostenibilidad promedio de 93,65 MWh de electricidad renovable producida anualmente por MWh de electricidad consumida de origen fósil (Red Nacional).

Esa electricidad generada representa un ahorro de \$16 435, 00, considerando el costo de la electricidad del aserrío por MWh consumido de la red nacional, dejándose de emitir a la atmosfera, 81,2 t de CO₂ considerando un factor de emisión de 867 g CO₂/kWh.⁽¹⁶⁾

Conclusiones

1. En el aserrío Pueblo Nuevo de Guantánamo se consumen como promedio 0,021MWh de electricidad /m³ madera aserrada, generándose 1,88 ton/h de residuos que no tienen un destino final útil.
2. Los resultados muestran que una planta de gasificación con un motor Mercedes Benz No.815931, tipo OM 447 pudiera generar 0,375 GWh por toneladas de residuos con al cual se puede satisfacer la demanda de electricidad del aserrío, entregar electricidad a la red nacional y energía térmica para otros usos en la industria.

3. El índice de sostenibilidad energética anual de la planta es superior a la unidad (93,65 00 MWh de electricidad renovable por MWh de electricidad consumida por la planta a partir de combustible fósil de la planta), este indicador significa que la planta es sostenible y representa un ahorro anual de \$16 435, 00, dejándose de emitir a la atmosfera, 81,2 t de CO₂.

Referencias bibliográficas

1. RUIZ, J. A, JUAREZ M.C., MORALES M. P., MUÑOZ P., MENDIVIL M.A. Biomass gasification for electricity generation: Review of current technology barriers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013,**18**, pp.174–183. ISSN: 13640321
2. *Boletín informativo Renovable.Cu. No. 11*. Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía (CUBAENERGÍA), CITMA / Dirección de Energía Renovable (MINEM) noviembre 2020. ISSN: 2219-6919.
3. LESME JAÉN R. OLIVA RUIZ L. O. *Factibilidad del empleo de los residuos de la industria de la madera para la obtención de energía eléctrica*. 4th International Conference for Renewable Energy, Energy Saving and Energy Education Energy. Varadero. Cuba. CIER 2005. ISBN: 978-959-261-288-4
4. DUPUY PARRA José Rolando. *Potencialidades para la generación de electricidad con la gasificación de residuos en el aserrío pueblo nuevo*. Tesis en opción al grado de master en eficiencia energética. Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, 2022
5. LESME JAÉN R, OLIVA RUIZ L. O. Coeficientes de residuos de la industria forestal. *Revista Tecnología Química*, 2006, **26**(3). pp. 26-29. ISSN: 2224-6185.

6. LESME JAÉN R, OLIVA RUIZ L. O. Potencial energético de los residuos de la industria de la madera en el aserrío El Brujo de la Empresa Gran Piedra Baconao, Santiago de Cuba, para la Generación de energía eléctrica a partir de un grupo gasificador-motor de combustión interna-generator eléctrico. *Revista Tecnología Química*, 2010, **30** (1), pp. 97-101. ISSN 2224-61857.
7. MARTÍNEZ J. D, SILVA LORA E. E, VIERA ANDRADE R, LESME JAÉN R. Experimental study on biomass gasification in a double air stage downdraft reactor. *Biomass and Bioenergy*, 2011, (35), pp:3465-3480. ISSN: 0961-9534
8. GALINDO LISBET A, SILVA LORA E, VIERA ANDRADE R, GIRALDO S Y, LESME JAÉN R, MELIAN COBAS V. Biomass gasification in a downdraft gasifier with a two-stage air supply: Effect of operating conditions on gas quality. *Biomass and Bioenergy*, 2014. **9**(61)pp: 236-244. ISSN: 0961-9534
9. MARTÍNEZ GONZÁLEZ A, LESME JAÉN R, SILVA LORA E Thermodynamic assessment of the integrated gasification-power plant operating in the sawmill industry: An energy and exergy analysis. *Renewable Energy*, 2020, (147), pp:1151-1163 ISSN: 0960-1481
10. SHIPLUS Sarker, HENRIK KOFOED Nielsen. Assessing the gasification potential of five woodchips species by employing a lab-scale fixed-bed downdraft reactor. *Energy Conversion and Management*, 2015(103), pp, 801–813. ISSN: 0196-8904
11. LESME JAÉN R, MARTILLO ASEFFE J. A, OLIVA RUIZ L. O. Estudio de la gasificación de la tusa del maíz para la generación de electricidad. *Revista Ing. Mecánica*, 2020, **3**(3), pp.1-9. ISSN: 1815-5944
12. KUMAR T, IYER R, CHANDRA T. A financial evaluation of biomass-gasifier-based power generation in India. *Revista Bioresource Technology*, 1997, (61),pp: 53-59. ISSN: 0960-8524

13. NOUNIA M, MULLICKB C, KANDPAL C. Biomass gasifier projects for decentralized power supply in India. A financial evaluation. *Rev.*, 2007, (35), pp:1373–1385. ISSN:0301-4215
14. JÓVAI M. S, MÁŠLOV G. S. *Teoría y cálculo de los motores de automóviles*. 2da Edición, URSS, Editorial MIR. 1978. ISBN 01-2200-7
15. LESME JAÉN R, GARCIA FAURE L, OLIVA RUIZ L, PAJARÍN RODRÍGUEZ J, REVILLA SUAREZ D. Biomass Gasification for Power Generation Internal Combustion Engines. Process Efficiency. *Revista Tecnología Química.*, 2016, **34**(2), pp: 133-144. ISSN: 2224-6185
16. MANSO, R., Evaluación de las emisiones de carbono en plantas hidroeléctricas y bioenergéticas. *Revista Cubana de Meteorología*, 2021, **27**(1), pp. 1-7, ISSN 2664-0880.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

Contribución de los autores

René Lesme Jaén: participó en el diseño de las tareas de investigación realizadas, procesamiento de datos, así como, en la elaboración, revisión y aprobación final del artículo.

José Rolando Dupuy Parra: recolección de datos, revisión y aprobación final del artículo.