

# POTENCIAL ENERGÉTICO DE LOS RESIDUOS DE LA INDUSTRIA DE LA MADERA EN EL ASERRÍO “EL BRUJO” DE LA EMPRESA GRAN PIEDRA BACONAO, PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE UN GRUPO GASIFICADOR-MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA-GENERADOR ELÉCTRICO

René Lesme Jaén, Luis Oliva Ruiz

Centro de Estudios de Eficiencia Energética, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad de Oriente

*En el presente trabajo se realiza una evaluación del potencial energético de los residuos de la elaboración de la madera en el aserrío “El Brujo” de la Empresa Forestal “Gran Piedra Baconao” de Santiago de Cuba. Partiendo de la evaluación experimental de la cantidad de residuos anual se determina su equivalencia en toneladas de petróleo y su capacidad de generación de electricidad empleando un grupo electrógeno gasificador-motor de combustión interna-generador eléctrico.*

*Los resultados demuestran que por cada metro cúbico de madera en bolos elaborada en el aserrío, se puede obtener una cantidad de residuos que equivale a 0.30 de petróleo equivalente y se pueden generar 0,34 MW-h.*

**Palabras clave:** *residuos, potencial energético.*

*Presently work is carried out to evaluation energetic potential the waste wood manufacture in the sawmill “El Brujo” of the “Gran Piedra Baconao Forestal Company. Starting from experimental evaluation of amount yearly waste is determined the ton equivalent oil and its capacity from the electric generation in the electrogeno group gasifier-internal combustion motor-electric generator. The results demonstrate that for each cubic meter of manufacture bole wood in the sawmill can be obtain one among waste equivalent of 0,30 oil ton and can be generate 0.34 Mw-h.*

**Keys words:** *wastes, energetic potencial*

## Introducción

La industria de la madera tiene la característica de generar grandes volúmenes de residuos durante el proceso de explotación y elaboración de la misma, esta generación ocurre antes de la madera ser introducida en el proceso propiamente dicho, hasta la obtención del producto final. El aprovechamiento de estos residuos en los procesos industriales, de servicios, así como en la esfera residencial, es una necesidad social, en aras de disminuir el consumo de combustibles fósiles y el impacto ambiental que ellos producen.

Existen una serie de vías para el aprovechamiento de los residuos forestales y especialmente el aserrín, el cual es frecuentemente utilizado para la producción de pulpas, papel, tableros, fertilizantes etcétera, pero en los países que no cuentan con estas tecnologías su utilización como combustible es lo más frecuente. /1,2/ Para el uso de los residuos

forestales como portadores energéticos es necesario valorar el volumen anual disponible de los mismos, así como su potencial energético.

En el presente trabajo se exponen las investigaciones desarrolladas por el Centro de Estudios de Eficiencia Energética de la Universidad de Oriente en el aserrío El Brujo, donde se determinaron los coeficientes de residuos de esta industria, se evaluó el volumen y potencial anual de los mismos para su empleo en la generación de energía eléctrica.

## Materiales y métodos

### Residuos de la industria forestal

La actividad forestal en los países subdesarrollados se basa en la explotación de los bosques naturales y de plantaciones forestales de especies de crecimiento rápido, en un ciclo constituido por

tres grandes componentes, la actividad silvícola, las industrias o talleres de procesamiento primario y secundario /3/.

Los residuos forestales obtenidos en la producción de la madera pueden ser clasificados en dos tipos: subproductos de las actividades de selvicultura y residuos del procesamiento de la madera, estos últimos por estar concentrados en un lugar determinado, su utilización resulta más factible y menos costosa.

La elaboración de la madera incluye: aserrado, descortezado y despulpe, en estos procesos se producen determinados desechos o subproductos como son: aserrín y pedazos de madera de pequeñas dimensiones (astillas, virutas, costaneras). En la determinación del volumen de estos residuos se utilizan determinados conceptos y coeficientes que estiman la relación entre la cantidad de subproducto y el producto principal cosechado, como son: el coeficiente de residuos y el coeficiente de disponibilidad, ellos varían con las prácticas culturales y las peculiaridades climáticas de cada región. /3,4/.

Para la determinación del potencial de residuos en las empresas forestales se utilizan el coeficiente de residuos, CR, el cual no es más que la relación entre las cantidades de residuos totales y la cosechada con la humedad de campo, y el de disponibilidad, CD, que relaciona las cantidad de residuos disponibles con la total de residuos.

Los valores de estos coeficientes son determinados experimentalmente. La metodología utilizada así como los valores obtenidos se reporta en los trabajos. /5,6/ El aserrío “El Brujo” cuenta con un taller primario para el aserrado de los bolos procedentes de las fincas forestales y un taller secundario para la elaboración de la madera hasta obtener el producto final.

En el taller primario el volumen total de bolos muestreados fue de 11,46 m<sup>3</sup> para el aserrío y el volumen de cada uno de los resi-

duos generados por estos bolos fue determinado a través de una cubeta dimensionada, considerando un factor de 0,42 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> estéreo para llevarlo a m<sup>3</sup> normales en el caso de las astillas, virutas y cotaneras /3,8/. Para determinar la masa de residuos por unidad de volumen se tomó la densidad aparente del aserrín de 200 kg/m<sup>3</sup> y la densidad de la leña como 952 kg/m<sup>3</sup>. /5,9/

En el caso del taller secundario o carpintería, la materia prima llega convertida en tablo- nes rectangulares de diferentes dimensiones, a los cuales matemáticamente puede determinarse su volumen, en éste caso se tomó una muestra de 4,90 m<sup>3</sup> de madera, obteniéndose como residuos aserrín, virutas y astillas.

Los resultados de los experimentos para la determinación de los coeficientes de residuos aparecen en las tablas 1 y 2.

Tabla 1  
Volúmenes y coeficientes de residuos en el aserrío primario

Residuos	Valores
Aserrín	1,81 m <sup>3</sup>
Costaneras	2,45 m <sup>3</sup>
Astillas	1,44 m <sup>3</sup>
Total	5,70 m <sup>3</sup>
C <sub>R.aserrín</sub>	0,16 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> bolos
C <sub>R.cotaneras</sub>	0,21 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> bolos
C <sub>R.astillas</sub>	0,13 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> bolos
C <sub>R.total</sub>	0,50 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> bolos
C <sub>D.aserrín</sub>	0,32 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> residuos
C <sub>D.cotaneras</sub>	0,43 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> residuos
C <sub>D.astillas</sub>	0,25 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> residuos
M <sub>aserrín</sub>	32,00 Kg/m <sup>3</sup> bolos
M <sub>cotaneras</sub>	199,92 Kg/m <sup>3</sup> bolos
M <sub>astillas</sub>	123,76 Kg/m <sup>3</sup> bolos
M <sub>total</sub>	355,68 Kg/m <sup>3</sup> bolos

Tabla 2  
Volúmenes y coeficientes de  
residuos en el aserrío secundario

Residuos	Valores
Aserrín	4,44 m <sup>3</sup>
Virutas	1,89 m <sup>3</sup>
Astillas	1,10 m <sup>3</sup>
Total	7,43 m <sup>3</sup>
C <sub>Raserrín</sub>	0,91 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> madera
C <sub>Rvirutas</sub>	0,39 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> madera
C <sub>Rastillas</sub>	0,22 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> madera
C <sub>Rtotal</sub>	1,52 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> madera
C <sub>Daserrín</sub>	0,60 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> residuos
C <sub>Dvirutas</sub>	0,25 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> residuos
C <sub>Dastillas</sub>	0,15 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> residuos
M <sub>aserrín</sub>	182,00 kg/m <sup>3</sup> madera
M <sub>virutas</sub>	371,28 kg/m <sup>3</sup> madera
M <sub>astillas</sub>	209,44 kg/m <sup>3</sup> madera
M <sub>residuos</sub>	762,72 kg/m <sup>3</sup> madera

### Potencial energético de los residuos

La determinación del potencial energético de los residuos se realizó a partir de la cantidad de madera elaborada en el año 2006.

Se determinó el volumen de residuos multiplicando la cantidad de madera elaborada en el año por el coeficiente total de residuos en el taller primario y se obtuvo la cantidad de residuos de éste taller, la diferencia entre la cantidad de madera elaborada y la cantidad de residuos en el taller primario se multiplicó por el coeficiente total de residuos en el taller secundario y se obtuvo la cantidad de residuos en el taller secundario, la suma de ambas cantidades de residuos es el volumen anual de residuos del aserrío.

Para evaluar la disponibilidad horaria de residuos el volumen total de cada residuos se multiplicó por su densidad, luego esta cantidad se dividió entre 12 meses 30 días y 24 horas.

En la determinación del potencial anual de los residuos (Terajoules) y las toneladas de petróleo equivalentes se tomaron valores calóricos bajos de la madera y el petróleo de 16,5 MJ/kg y 43,11 MJ/kg respectivamente /5/.

La cantidad total de residuos, el potencial anual de los mismos y las toneladas de petróleo equivalentes aparecen representados en la tabla 3.

Tabla 3  
Potencial energético de los residuos

Indicadores	Valores
Madera en bolos (m <sup>3</sup> )	16058
Volumen anual de residuos (m <sup>3</sup> )	29233
Total de residuos (Ton)	7639
Disponibilidad horaria de residuos (kg/s)	0,245
Potencial Anual (TJ)	1,26x10 <sup>5</sup>
Petróleo Equivalente (Ton)	2938

### Generación de electricidad a partir de los residuos

La utilización de los residuos de la industria forestal como combustible para la producción de electricidad y calor, requiere de ciclos térmicos de potencia. /3, 4, 5,10/.

Los residuos pueden ser utilizados como combustible en un generador de vapor para alimentar a una turbina acoplado a un generador eléctrico, también pueden quemarse en una cámara de combustión y posteriormente los gases calientes productos de este proceso utilizados en una turbina de gas accionando esta un generador eléctrico. Además del proceso de combustión para la generación de electricidad, puede emplearse otra reacción química la gasificación, ésta a diferencia de la combustión ocurre con defecto de aire y los gases producto de este proceso pueden utilizarse para generar electricidad en turbinas de gas o motores de combustión interna. Acoplados a generadores eléctricos. /3, 4, 5,10, 11/.

En ésta última aplicación el esquema general de la instalación se representa en la figura 1.

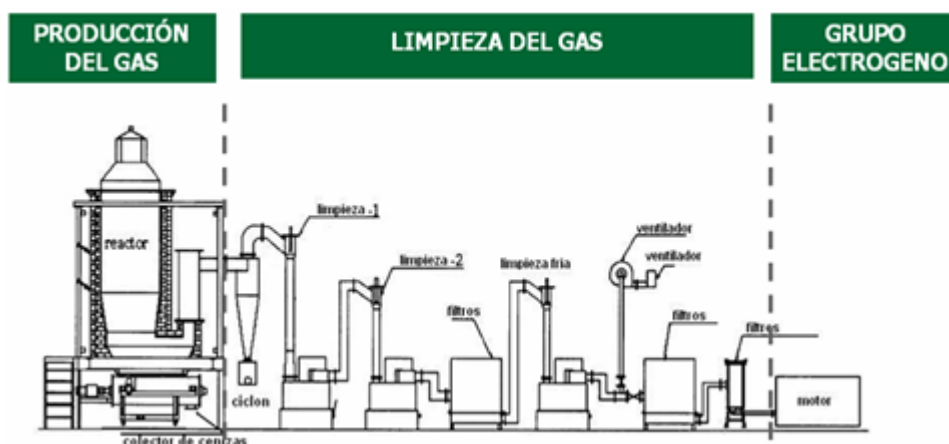


Fig. 1 Instalación de un gasificador acoplado a un motor de combustión interna.

El gas combustible (gas pobre) generado producto de la gasificación de la biomasa en un reactor (gasificador) se limpia y refrigera antes de entrar en el motor, donde ocurre la transformación de energía química del combustible en trabajo mecánico y un generador eléctrico donde se transforma ésta energía en energía eléctrica.

La composición media de los gases producto del proceso de gasificación es la siguiente: 23 % de CO, 18 % de H<sub>2</sub>, 1 % de CH<sub>4</sub>, 48 % de N<sub>2</sub> y 9 % de CO<sub>2</sub> y su poder calórico 5 MJ/m<sup>3</sup>. /12/

Reportes suministrados por fabricantes de sistemas comerciales compuesto de un gasificador-motor de combustión interna y alternador establece que el consumo específico de madera para la producción de un kW-h es de 1,4 kg. /13/

Por lo tanto, teniendo en cuenta que la producción anual de residuos es de 7 639 ton, se podrá generar al año 5 456 MW-h, muy superior al consumo en ese periodo de electricidad del aserrío, el cual de acuerdo a los reportes suministrados por la dirección de la empresa es 162,89 MW-h, con la posibilidad de entrega de 5 295,1 MW-h a la red nacional.

## Conclusiones

1. En el mundo hay una tendencia cada vez más marcada a utilizar los residuos de la industria forestal, ya sea como materia prima para obtener otros productos, o como portador ener-

gético. Estas aplicaciones obedecen no sólo a la solución de encontrar una vía factible para el uso de estos desechos, sino a la necesidad de proteger el medio ambiente, pues estos residuos en los depósitos constituyen una fuente de contaminación.

2. En la industria forestal se obtienen por concepto de residuos un potencial energético anual que equivale a 0.30 toneladas de petróleo por metros cúbicos de madera en bolos.
3. En un grupo electrogeno gasificador-motor de combustión interna-generador eléctrico se pueden generar 0.34 MW-h por metros cúbicos de madera en bolos energía.

## Bibliografía

1. F.F.P. KOLLMANN, *La promesa de la tecnología*. Trabajo presentado en el Sexto Congreso Forestal Mundial por el Profesor Kollmann, de la Universidad de Munich, y presidente de la International Academy of Wood Science. 2001.
2. Claudio Zaror y otros, *Desafíos Tecnológicos para la gestión sustentable del sector forestal en los países de América Latina y el Caribe*. Mesa Redonda sobre Reforestación. Santiago de Chile 1998.
3. Horta Nogueira L. A y otros. *Dendroenergía: Fundamentos y Aplicaciones*. Brasilia. Agencia Nacional de Energía Eléctrica (ANEEL). Año 2000.
4. Barbosa Cortez L. A, Silva Lora E. *Tecnologías de Conversión Energética de la Biomasa*. Serie Sistemas Energéticos II. Editado en la Universidad de Amazonas 1997.
5. Lesme Jaén R. Oliva Ruiz L., *Evaluación del potencial de residuos de la Industria Forestal Gran*

- 
- Piedra Baconao*. I Convención Internacional de Energía y Medio ambiente. Universidad de Oriente. ISBN: 959-207-096-2, 2003.
6. Lesme J. René, *Coficientes de residuos de la industria forestal*. Revista Tecnología Química. Vol. XXVI. No. 3, 2006.
  7. Manual de Dasonometría. Colectivo de autores. Centro Universitario de Pinar del Rfo "Hermanos Saíz Montes de Oca". 1999.
  8. Proyecto: *Oportunidad de la dendroenergía en el desarrollo energético sostenible en Cuba*. TCP/CUB/8925(A), 2001.
  9. Lesme Jaén R. Roca Alarcón G. *Dendroenergía. Potencialidades y limitaciones. Consumo de leña y carbón*. II Conferencia Internacional de Eficiencia Energética y Refrigeración. Universidad de Oriente. ISBN: 959-207-017-3, 2001
  10. Gustavo Balerío, Forestadora y Maderera del Norte S.A. (FYMNSA), Uruguay. Caso de producción de energía eléctrica en un aserradero, 2001.
  11. Lesme J. René, *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. Año 2005. ISBN: 978-959-282-051-7
  12. Lesme J. René, Oliva R. Luís y otros, *Análisis Termodinámico de un gasificador Ankur modelo WBG-10 trabajando con diferentes biomásas*. Revista Tecnología química. Vol. XXVIII. No. 2, 2008.
  13. Manual de Usuario. Ankur Scientific Energy Technologies Pvt.Ld., "Ankur", Near Old Sama Jakat Naka, Baroda-390 008, India.