

Aprovechamiento de Biomasa Peletizada en el Sector Ladrillero en Bogotá-Colombia: Análisis Energético y Ambiental

César A García-Ubaque^{(1)*}, Martha L Vaca-Bohórquez⁽²⁾, Gabriel F Talero⁽³⁾

(1) Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Transversal 70 B # 73 A 35 sur, Bogotá-Colombia
(e-mail: cagarcau@udistrital.edu.co)

(2) Consultora Independiente, Calle 23 C # 81 A 75, Bogotá-Colombia
(e-mail: ml.vaca68@uniandes.edu.co)

(3) Ingeniero Regeneración Ltda., Calle 46 # 27-70, Bogotá, Colombia.
(e-mail: gabriel.talero@regeneración.com.co)

* Autor a quien debe ser dirigida la correspondencia.

Recibido Nov. 22, 2012; Aceptado Ene. 16, 2013; Versión final recibida Mar. 10, 2013

Resumen

En este estudio se compara el desempeño energético y ambiental del uso de combustibles a partir de dos tipos de biomasa peletizadas: residuos de madera, provenientes de podas y residuos de la producción de muebles, principalmente aserrín. La biomasa proveniente de residuos de madera es uno de los materiales más adecuados para utilizar como combustible alternativo. El sector ladrillero tiene una gran demanda energética para sus procesos de secado y cocción y el uso de combustibles alternativos a partir de biomasa permite obtener reducciones importantes en emisiones atmosféricas y no afecta las condiciones técnicas del proceso de producción de ladrillos. La biomasa con mejor desempeño, tanto en las variables energéticas como ambientales evaluadas, fue el aserrín.

Palabras clave: combustibles alternativos, biomasa, peletización, consumo energético, análisis energético

Use of Pelleted Biomass in the Brick Industry in Bogota-Colombia: Energy and Environmental Analysis

Abstract

This study compared the energy and environmental performance of fuels from two types of pelleted biomass: wood waste from pruning and waste from furniture production, mainly sawdust. Wood residues biomass is one of the most suitable materials for using as an alternative fuel. The brick manufacture sector has a high energy demand for its drying and firing processes and the use of alternative fuels from biomass allows significant reductions in emissions and does not affect the technical conditions of the process of brick production. The biomass with better performance was sawdust, which presented the optimum energy and environmental variables.

Keywords: alternative fuels, biomass, pelletizing, energy consumption, brick industry.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía (IEA por sus siglas en inglés), para el año 2010, la biomasa sólida representó un 9,25% del total de la oferta de energía mundial (IEA, 2012), siendo la mayor fuente de energía renovable. En la ciudad de Bogotá, se calcula que pueden generarse aproximadamente 7.000 ton/año de biomasa proveniente de residuos de madera (UAESP, 2010), por lo que el desarrollo de procesos que permitan su aprovechamiento energético y disposición final es una de las preocupaciones más importantes para la ciudad, teniendo en cuenta además, que este tipo de biomasa presenta características apropiadas para ser usada como combustible alternativo (Sultana, 2012). De manera especial, la participación de industrias con requerimientos energéticos intensivos, como la industria ladrillera representan una alternativa importante para utilizar este tipo de residuos dentro de sus procesos productivos (De Souza, 2012). En Colombia, la producción de derivados de arcilla fue a 2,6 millones de toneladas/año en el año 2010 (OPEN, 2011) y en la tabla 1 se presentan los requerimientos energéticos para cada una de sus etapas.

Tabla 1. Indicadores de consumo de energía del proceso ladrillero.

Etapas	kWh/ton producto	kBTU/ton producto
<i>Energía Eléctrica</i>		
Preparación y trituración	7,33	25,0
Molienda	10,47	35,7
Extrusión	24,09	82,2
<i>Energía Térmica</i>		
Secado		670,4
Cocción		1.396,6

Las emisiones atmosféricas que se producen, varían considerablemente de acuerdo con la tecnología de los hornos utilizados y en la tabla 2, se presentan los factores de emisión estimados por el Ministerio de Ambiente (2010) para los tipos de horno más comunes en el país.

Tabla 2. Factores de emisión en la cocción de ladrillos y productos cerámicos.

Tecnología	F _{NOx} (Kg/ton carbón)	F _{SO2} (Kg/ton carbón)	F _{PST} (Kg/ton carbón)
<i>Hornos Periódicos</i>			
Horno Pampa	8,39	14,68	32,04
Horno Colmena	2,07	3,63	7,92
<i>Hornos Continuos</i>			
Horno Hoffman	1,03	1,8	3,938
Horno Túnel	0,26	0,46	0,99
Horno Vagón	No hay	No hay	1,51

Es importante tener en cuenta que la utilización de biomasa como combustible, requiere la adaptación de una cadena de suministro que permita atender el acopio de los residuos generados, su selección y homogenización y que garantice la disponibilidad de las cantidades requeridas en el proceso productivo (Gómez, 2012). Uno de los obstáculos más importantes para su aprovechamiento, es que la cadena de valor aún no representa suficiente atractivo como negocio en países en desarrollo y adicionalmente, la incertidumbre en la provisión de cantidades y estándares de calidad requeridos (Cerdá, 2012). Adicionalmente, debido a sus condiciones de: alto contenido de oxígeno y humedad, bajo poder calorífico y su naturaleza hidrofílica; requiere ser tratada previamente (Medic, 2012 y Mani, 2006). Los procesos de pretratamiento más utilizados para acondicionar la biomasa son de tres tipos principalmente: a) *bioquímicos*, dentro de los cuales se tienen la hidrólisis ácida, la oxidación alcalina húmeda, la ozonólisis y los tratamientos hidrotérmicos; b) *mecánicos* y c) *termoquímicos*, como el secado, la pirolisis rápida, la pirolisis lenta, la peletización y la torrefacción (Chew, 2011).

Sin embargo, una de las ventajas más importantes de este material consiste en que es el único que permite reemplazar carbón de forma sustentable (Van der Stelt, 2012), ya que su producción y utilización no genera incremento del CO₂ atmosférico y se constituye en una alternativa energética renovable viable, que utilizada con las tecnologías adecuadas, puede reemplazar en una buena proporción el uso de combustibles fósiles.

El presente estudio analiza las principales variables a tener en cuenta para sustituir el uso del carbón por residuos madereros peletizados en el proceso de cocción de ladrillos. Concretamente, se han caracterizado los parámetros de desempeño energético y emisiones atmosféricas.

MATERIALES Y METODOS

Combustibles

La biomasa utilizada en este estudio (González, 2011), consistió en residuos madereros provenientes de podas realizadas en la ciudad de Bogotá y residuos de producción de muebles y aglomerados, que fueron acondicionados mediante peletización, de tal manera que pudieran utilizarse en los mismos equipos disponibles en la ladrillera para suministro de carbón. Estas biomásas se clasifican como biomasa sólida secundaria, ya que se trata de residuos derivados de otros procesos (Cerdá, 2012). En la tabla 3 se presenta una breve descripción de los combustibles considerados.

Tabla 3. Descripción de los combustibles analizados.

Combustible	Descripción
Biomasa de podas distritales (PD)	Material proviene principalmente de sauces, eucaliptos y robles. Presenta una textura fibrosa y robusta, con partículas y ramales de gran tamaño. Los pellets provenientes de este material tienen una mayor densidad y color oscuro, de una mayor dureza.
Biomasa de aserrín (AS)	Subproducto del procesamiento de madera. Posee una textura suave y frágil. Los pellets elaborados a partir de este subproducto presentan menor humedad y densidad y un color más claro.
Carbón (CA)	Carbón de tipo bituminoso medio volátil producido en la región andina del país.

Estas muestras fueron parametrizadas y caracterizadas con el fin de conocer sus propiedades fisicoquímicas y analizar su comportamiento durante el proceso de combustión. El análisis elemental para las biomásas AS y PD se realizó bajo las condiciones del ensayo CNHS-O por el Departamento de Química de la Universidad Nacional de Colombia y el análisis del carbón CA fue realizado por el Laboratorio de Carbones de INGENOMINAS (Ver tabla 4).

Tabla 4. Propiedades fisicoquímicas de las biomásas y el carbón.

Material	AS	PD	CA
<i>Composición Elemental</i>			
%C	47,09	48,17	77,70
%N	1,44	1,10	1,11
%H	6,10	5,99	4,67
%O	45,37	44,74	15,82
%S	0,00	0,00	0,70
%Ceniza	2,49	4,65	12,10
<i>Propiedades termodinámicas</i>			
PCS (MJ/Kg)	16.886,0	18.234,0	30.855,0
PCI (MJ/Kg)	15.161,0	15.773,0	30.292,0
%Humedad inicial	25,0	23,50	16,20

Estos resultados muestran que las biomásas consideradas tienen un contenido de carbón ligeramente por encima del 60% del que posee el combustible de referencia (carbón bituminoso), lo cual repercute significativamente en su poder calorífico. Sin embargo, los contenidos de azufre y cenizas son significativamente menores, aspecto que mejora de manera sensible las emisiones atmosféricas durante el proceso de combustión. Estos datos son coherentes con los resultados reportados por Chew (2011) y Laryea-Goldsmith (2011) sobre las características de biomásas provenientes de madera.

En la tabla 5, se presentan las características principales de los pellets utilizados en las pruebas de combustión (Aserrín AS y Podas PD) con normas europeas. En primer lugar la norma alemana DIN 51731 del año 2000, que define los requerimientos de calidad para pellets de madera y briquetas, la norma italiana CTI R04/05 del año 2004, que establece los parámetros de calidad de pellets de biomasa con fines energéticos y el borrador de norma de la Unión Europea CEN/TC 335 que pretende unificar los estándares para estos productos (García-Maraver et al, 2011).

Tabla 5. Comparación de los pellets fabricados con normas internacionales europeas.

	Pellets de las biomásas consideradas		Normas Europeas		
	AS	PD	DIN 51731	CTI R04/05	CEN/TC 335
Diámetro (mm)	6	6	> 6	6 - 8	6 - 10
Longitud (mm)	12	10	< 30	6 - 30	30
Densidad Aparente (Kg/m ³)	480	527	-	620 a 720	N.E
Humedad %	13,3	12,7	< 10	< 10	< 10
Cenizas	2,49	4,65	< 0,5	< 0,7	< 0,7
Poder Calorífico (MJ/Kg)	16,88	18,23	> 18	> 16,9	N.E.
%S (Azufre)	0,00	0,00	< 0,04	< 0,05	<0,05
%N (Nitrógeno)	1,32	0,98	< 0,3	< 0,3	< 0,3
% Durabilidad	97,6	93,2	> 97,7	> 97,7	> 97,5

N.E.: No establecido.

De acuerdo con los requerimientos planteados por las normas internacionales consultadas, los pellets elaborados a partir de las biomásas en estudio, cumplen con las condiciones mínimas para ser utilizadas como combustible alternativo en procesos industriales.

Pruebas de combustión en horno de cámaras

Para el proceso de combustión, se seleccionó un bache con dos mezclas de pellets de biomasa y carbón: a) Aserrín 20% y Carbón 80% (AS2080) y, b) Podas 20% y Carbón 80% (PD2080) y se compararon con el combustible de referencia: carbón 100% (CA100). Para cada escenario se registró: temperatura de la cámara, cantidad inicial y final de combustible, emisiones y, temperatura y caudal de gases de combustión.

Los porcentajes de las mezclas de combustibles, se establecieron por volumen (5 unidades de biomasa y 20 unidades de carbón), luego fueron mezcladas de manera manual con el carbón en la zona de alimentación del horno de cámaras e ingresadas en el equipo de alimentación del combustible, de manera que la mezcla de carbón pulverizado y pellets tuviera el tamaño de grano normalmente utilizado en el proceso. Al final de la quema, se midió la cantidad de combustible sobrante y se calculó la masa neta utilizada en la combustión.

Durante el proceso de cocción de ladrillo, se registró la temperatura de la cámara desde tres horas antes del inicio de la combustión en el horno, con el fin de conocer las temperaturas de pre calentamiento (se utilizó una Termocupla tipo K, con un rango máximo de temperatura de 1.200°C). Adicionalmente, al inicio del proceso de combustión, se instaló un Analizador de Gases de Combustión (TESTO 340) en la chimenea del horno con el fin de obtener registros sobre porcentajes de oxígeno y concentración de óxidos de nitrógeno.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 6 se presentan los resultados para cada una de las pruebas de combustión y en la figura 1 se presenta el perfil de temperatura durante el periodo de combustión para los combustibles considerados.

Tabla 6. Resultados obtenidos en las pruebas de combustión.

Variable	Unidades	Línea Base	Biomasa	Biomasa
		CA100	AS2080	PD2080
Masa total en la cámara	Kg	1.206,54	1.236,56	1.296,36
Poder calorífico superior.	MJ/ton	30,86	28,28	28,29
Poder calorífico inferior.	MJ/ton	30,29	27,51	27,34
Humedad relativa	%	1,70	3,04	3,79
Temperatura máxima	°C	1.040	980	950
Exceso de aire (fracción másica)	%	19,46	20,26	19,94
Tiempo de quemado del combustible	hr	5,0	5,5	5,5
Oxígeno	%	17,76	18,44	18,18
Óxidos de Nitrógeno (NO _x)	ppm	57,98	70,88	62,60
Fi Equivalence Ratio		0,834	0,832	0,837

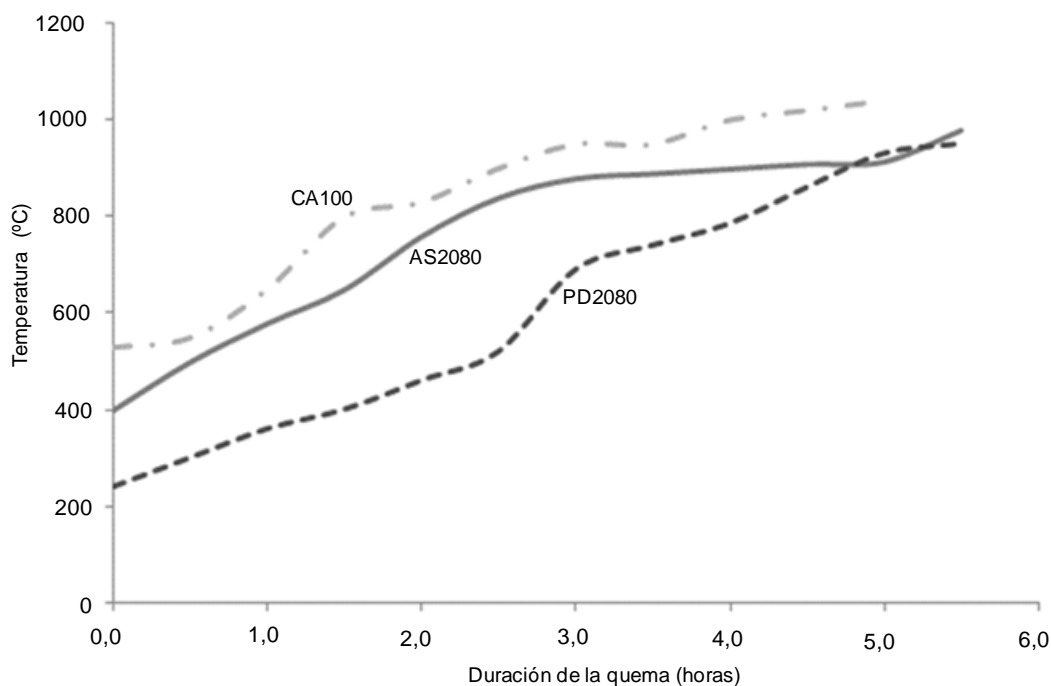


Fig. 1. Comparación de las curvas de temperatura para las diferentes muestras.

Como es de esperarse, la temperatura máxima obtenida con el carbón fue superior a la presentada con las biomazas, debido a su mayor poder calorífico y comparando los dos tipos de pellets utilizados, es importante observar un mayor incremento de la temperatura en función del tiempo con la muestra AS20/80, en comparación con el comportamiento de la muestra PD20/80 (Telmo, 2011).

La variable de cantidad de combustible quemado en cada prueba, muestra que cuando se agrega cierta proporción de biomasa, aumenta la cantidad de consumo de combustible, debido a que disminuye el poder calorífico neto de la mezcla por causa de su menor capacidad calorífica, ocasionando que el proceso requiera mayor masa de combustible para sustituir la energía requerida y en este sentido, el mejor escenario observado corresponde al combustible de referencia. Sin embargo, teniendo en cuenta esta variable, la biomasa con mejor comportamiento es el aserrín (Li, 2012).

La proporción equivalente F_i , se refiere a la comparación entre la relación aire-combustible estequiométrico y real (Arena et al, 2010). Un valor por debajo de 1, indica una mezcla en la que es mayor el flujo de aire que el consumo de combustible, lo cual es sinónimo de un mejor aprovechamiento y garantía de una mejor eficiencia de combustión. Al comparar los tres combustibles, la mezcla con aserrín AS2080 presentó las mejores condiciones de combustión debido a una menor proporción equivalente, seguido de las podas PD2080, lo que es coherente con lo planteado por Li (2012) y Telmo (2011), en el sentido que los pellets provenientes de aserrín son una materia prima de alta calidad para aplicaciones de combustión y gasificación tanto a nivel industrial como residencial.

Con respecto a la generación de emisiones registradas con el analizador de gases de combustión, es posible apreciar que la fracción volumétrica de NOx aumentó con el uso de biomazas, debido al exceso de aire durante el proceso, lo que facilita la formación de óxidos de nitrógeno a temperaturas de combustión superiores a 900°C (Laryea-Goldsmith, 2011). Sin embargo, al comparar estos valores con las normas aplicables para Colombia (Resolución 909 de 2008), se observa que estos niveles están muy por debajo del nivel máximo permitido (448,25 ppm).

CONCLUSIONES

Las pruebas realizadas y la caracterización de los diferentes combustibles, permiten concluir que el uso de biomazas en el horno de cámaras con una sustitución del 20% de combustible, no genera cambios significativos en su operación y en algunos escenarios mejora sus condiciones, al aumentar la eficiencia del proceso de cocción. Se observa también que para este porcentaje de sustitución no se afecta la duración del proceso de cocción.

Dentro de todas las pruebas realizadas, se observa que el mejor material para realizar la sustitución de carbón por biomasa, corresponde al aserrín.

Además del sector ladrillero, la biomasa peletizada puede tener un enorme potencial como fuente energética, especialmente en procesos que garanticen un autoconsumo, como el sector floricultor, el sector azucarero y el sector panelero, entre otros.

AGRADECIMIENTOS

Cámara de Comercio de Bogotá, Banco Interamericano de desarrollo BID, Corporación ambiental empresarial CAEM y Fondo Multilateral de inversiones FOMIN.

REFERENCIAS

Arena, U., Zaccariello, L. y Mastellone, M., *Fluidized bed gasification of waste-derived fuels*, Waste Management, 30, 1212–1219 (2010).

Cerdá, E., *Energía a partir de biomasa.*, Revista ICE, 83, 117-140 (2012).

Chew, J. y Doshi V., *Recent advances in biomass pretreatment – Torrefaction fundamentals and technology*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15, 4212-4222 (2011).

De Souza, J. y otros ocho autores, *Biomass residues as fuel for the ceramic industry in the state of Alagoas: Brazil*, Waste and Biomass Valorisation, 3(2), 191-196 (2012).

Gómez, E., Ríos, L. y Peña, J., *Madera, un Potencial Material Lignocelulósico para la Producción de Biocombustibles en Colombia*, Información Tecnológica, 23(6), 73-86 (2012).

González, A., *Proyecto piloto para la peletización de biomasa residual del procesamiento de madera para su aprovechamiento energético en la fuente*, Cámara de Comercio de Bogotá CCB, Bogotá, Colombia (2011).

Laryea-Goldsmith, R. y Oakey, J. y Simms N., *Gaseous emissions during concurrent combustion of biomass and non-recyclable municipal solid waste*, Chemistry Central Journal, 5(4), 1-10 (2011).

Li, H., Liu, X., Legros, R., Bi, X., Lim, C. and Sokhansanj, S. *Pelletization of torrefied sawdust and properties of torrefied pellets*, Applied Energy, 93, 680-685 (2012).

Mani, S., Tabil, L. y Sokhansanj S., *Effects of compressive force, particle size and moisture content on mechanical properties of biomass pellets from grasses*, Biomass and Bioenergy, 30(7), 648-654 (2006).

Medic, D., Darr M., Shah A., Potter B. y Zimmerman J., *Effects of torrefaction process parameters on biomass feedstock upgrading*, Fuel, 91(1) 147-154 (2012).

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial MAVDT, *Manual de Inventario de Fuentes Puntuales*, pp. 34 (2010).

OPEN Oportunidades de Mercado para Energía Limpias y Eficiencia Energética, *Guía metodológica para el uso eficiente de la energía en el sector: Producción de Ladrillos*, Cámara de Comercio de Bogotá CCB, pp. 9, Bogotá, Colombia (2011).

Sultana, A y Kumar A., *Ranking of biomass pellets by integration of economic, environmental and technical factors*, Biomass and Bioenergy, 39, 344-355 (2012).

Telmo C. y Lousada J., *Heating values of wood pellets from different species*, Biomass and Bioenergy, 35(7), 2634-2639 (2011).

UAESP Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos, Programa para la Gestión de Residuos Sólidos Orgánicos para la Ciudad de Bogotá D.C., pp. 89, Bogotá, Colombia, (2010).

Van der Stelt, M., Gerhauser H., Kiel J. y Ptasinski K., *Biomass upgrading by torrefaction for the production of biofuels: a review*, Biomass and Bioenergy, 35, 3748-3762 (2011).