

Análisis de los parámetros y Selección de hornos para la combustión de biomasa.

(APLICACIÓN A BIOMASAS LOCALES TÍPICAS)

Luis A. Toscano Morales
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador
ltoscano@espol.edu.ec

Alfredo Barriga Ph D.
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador
abarriga@espol.edu.ec

Resumen

El presente estudio fue realizar una estimación analítica de los parámetros necesarios para poder operar un horno de combustión en condiciones óptimas para cuando utilizamos residuos agrícolas tales como: bagazo de caña, cascarilla de arroz y cascarilla de café como un combustible alterno.

Para estimar estos parámetros utilicé ecuaciones basadas en la termodinámica de la combustión y ecuaciones empíricas. Al final de este estudio obtuve valores estimados de los parámetros tales como: temperatura adiabática de llama, relación aire/combustible y tiempo de residencia. Adicionalmente a lo anterior también selecciono el tipo de horno para cada biomasa.

Para poder saber que tan exactos fueron los parámetros teóricos obtenidos, realicé una comparación con otro método analítico que me permitió determinar el porcentaje de error. Adicionalmente elaboré unas gráficas que me permitieron saber el comportamiento de las biomásas en el proceso de combustión al variar los parámetros.

Palabras Claves: *Temperatura adiabática de llama, Relación aire/combustible, Tiempo de residencia, Selección de hornos.*

Abstract

This present study was an analytical estimate of the parameters needed to operate a combustion furnace in optimal conditions when using agricultural waste such as sugarcane bagasse, rice husks and coffee husks as an alternative fuel.

In order to consider these parameters I used equations based on the thermodynamics of the combustion and empirical equations. At the end of this study I obtained considered values of the parameters such as: adiabatic temperature of flame, relation air/combustible and time of residence. Additionally to the previous thing also I selects the type of furnace for each biomass.

In order to be able to know that so exact they were the obtained theoretical parameters, I realized a comparison with another analytical method that allowed to determine the percentage of error. Additionally I made graphs allowed that to know me to the behavior of the biomasses in the process of combustion when varying the parameters.

1. Introducción

El presente trabajo trata del “Análisis de los parámetros y selección de hornos para la combustión de biomasa”, Debido a la gran demanda de combustibles fósiles que existe actualmente, el ser humano busca una fuente de energía alterna para satisfacer sus necesidades básicas, para lo cual ha recurrido a las fuentes alternas de energía llamadas Energías Renovables, dentro de las cuales se encuentra la biomasa.

Por biomasa se entiende el conjunto de materia orgánica renovable de origen vegetal, animal o procedente de la transformación natural o artificial de la misma, dentro de los cuales se encuentra los residuos de industrias agrícolas [7]. En Ecuador se cosecha varios productos agrícolas, de los cuales escojo los que se producen en gran cantidad y por ende existe una considerable cantidad de residuos agrícolas y estos son: Bagazo de caña, cascarilla de arroz y cascarilla de café.

El presente trabajo es estrictamente analítico y presenta la estimación de algunos parámetros para realizar una combustión completa y a la vez seleccionar el tipo de horno para cada biomasa escogida.

Para lograr lo anterior, se sigue una metodología que muestra paso a paso las principales actividades para poder aprovechar al máximo estos residuos agrícolas, como un combustible alterno en los hornos de combustión.

2. Objetivo

El objetivo general de esta tesis fue analizar el comportamiento general de estos residuos, para poder utilizarlos como un combustible alterno en los hornos de combustión.

Para lo anterior analicé los parámetros necesarios como: temperatura, relación aire/combustible con exceso de aire y tiempo de residencia para una combustión completa y a la vez seleccioné el tipo de horno para cada biomasa.

3. Metodología

En la tabla 1 se muestra la metodología planteada para la consecución del objetivo del presente estudio.

Tabla 1 Metodología aplicada

Pasos	Actividades
Selección de las biomásas de acuerdo a la región.	<ul style="list-style-type: none"> Selección de los residuos de acuerdo a la cantidad de producción de los productos agrícolas. Identificación de los fertilizantes utilizados en el cultivo.
Descripción del proceso de conversión de energía.	<ul style="list-style-type: none"> Determinar el contenido de humedad. Selección del proceso de conversión en función del contenido de humedad.
Descripción de los parámetros para una combustión completa.	Descripción de los parámetros para operar el horno en condiciones óptimas sean estos: <ul style="list-style-type: none"> Temperatura Relación aire/combustible. Tiempo de residencia.
Descripción del impacto ambiental por la combustión de biomasa.	<ul style="list-style-type: none"> Descripción de un modo general el comportamiento de la biomasa con el medio ambiente.
Análisis y optimización de los parámetros.	<ul style="list-style-type: none"> Relacionar temperatura de adiabático y temperatura adiabática de llama. Relacionar temperatura adiabática de llama y aire/combustible. Relacionar aire/combustible y tiempo de residencia.
Selección del tipo de horno para cada biomasa.	<ul style="list-style-type: none"> Identificar la morfología del residuo. Identificar la capacidad de generación de potencia que se desea. Identificar la inversión económica que se posee.

3.1 Selección de la biomasa.

Para la selección de la biomasa se debe de considerar la cantidad de producción que existe en la región del producto agrícola seleccionado, ya que ésta me determina la cantidad de residuo que puedo obtener y también debo de considerar los fertilizantes que se utilizan, porque éstos tienen mucho que ver con las emisiones al medio ambiente.

Características térmicas de la biomasa:

Cada tipo de biomasa tiene características específicas que determinan su funcionamiento como un combustible en la combustión. Las características más importantes referentes a la conversión térmica de la biomasa son las siguientes.

- Contenido de humedad.
- Contenido de ceniza.
- Contenido de materia volátil.
- Composición elemental.
- Poder calorífico.
- Densidad aparente.

En la literatura disponible, diversos indicadores son frecuentemente usados para cuantificar las características enumeradas arriba, causando confusión. En la definición de las características de la biomasa, es importante observar que consiste en el agua, la ceniza, y la materia libre de ceniza y que la proporción de cada una es crítica en la evaluación de la conveniencia de la biomasa como combustible [9].

Tabla 2 Composición elemental de las biomásas seleccionadas para el análisis.

Combustible	Análisis Elemental (wt%) daf					Contenido de humedad (wt%)
	C	H	O	N	S	
Bagazo de caña	49.9	6	43.9	0.16	0.04	50
Cascarilla de arroz	50.1	6.2	43	0.62	0.1	9
Cascarilla de arroz	46.8	4.9	47.1	0.6	0.6	10

Nota: el contenido de humedad es asumido al máximo valor que pueden presentar estos residuos.

3.2 Procesos de conversión de energía.

Desde el punto de vista del aprovechamiento energético, la biomasa se caracteriza por tener un bajo contenido de carbono, un elevado contenido de oxígeno y compuestos volátiles. Estos compuestos volátiles (formados por cadenas largas del tipo C_xH_y , y presencia de CO_2 , CO e H_2) son los que concentran una gran parte del poder calorífico de la biomasa. El poder calorífico de la biomasa depende mucho del tipo de biomasa considerada y de su humedad [10].

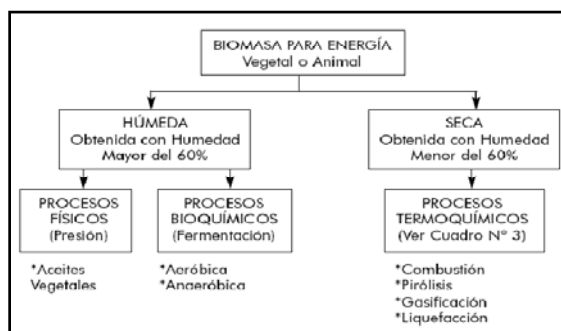


Figura 1. Procesos de conversión de biomasa en energía.

Como el contenido de humedad de las biomásas seleccionadas es menor al 60% elegí el proceso termoquímico en el cual esta incluido la combustión.

3.3 Descripción de los parámetros de combustión.

Los requisitos técnicos para una conversión completa de combustibles sólidos en esta cadena de proceso son como sigue:

- El aire de oxidación debe ser suministrado en exceso (más que el estequiométrico).

- El control del proceso debe tener una suficiente buena mezcla de los gases del combustible y del aire de combustión suministrado.
- La mezcla de los gases del combustible y el aire generados en el proceso, requiere de un tiempo suficientemente largo de detención en la zona de reacción.
- El proceso entero de combustión requiere una temperatura suficientemente alta.

Las calderas modernas de combustible sólido se diseñan para crear estas condiciones técnicas convenientes. Esencialmente se alcanzan estas condiciones por una separación espacial del suministro de aire al lecho (entrada de aire primario) y del suministro de aire a la zona de la combustión del gas del combustible (entrada de aire secundario) esto garantiza la combustión de los combustibles y una reducción de las emisiones [11].

3.4 Descripción del impacto ambiental por la combustión de biomasa.

La cantidad de agentes contaminantes emitidos a la atmósfera desde diferentes tipos de aplicaciones de la combustión de biomasa es alta, depende de la tecnología de combustión aplicada, las características del combustible, las condiciones del proceso de la combustión, y de las medidas de reducción de emisión primaria y secundaria que se hayan implementado.

Debido a la gran diversidad de los combustibles de biomasa, con alta variación de la composición elemental, contenido de agua, densidad y comportamiento termoquímico, diversos tipos de aplicaciones de la combustión de biomasa se ha desarrollado.

Por lo tanto, las tecnologías del control de contaminación atmosférica se deben seleccionar con cuidado, y la economía será siempre un factor limitado. Sin embargo, la puesta en práctica de límites de emisión más rigurosos fuerza el desarrollo de sistemas de combustión de biomasa de baja emisiones.

Para las aplicaciones de la combustión de biomasa que usan biomasa virgen como combustible, las regulaciones de las emisiones son generalmente aplicadas para las emisiones de la combustión incompleta, tal como algunas clases de partículas y CO en algunos casos, las regulaciones de las emisiones también se aplican al NO_x , que se puede también reducir hasta cierto punto por medidas primarias de reducción de emisión. Sin embargo, en

casos especiales puede ser necesario aplicar medidas secundarias de reducción de emisión de NOx.

Las emisiones de SO2 no son generalmente significativas para las aplicaciones de la combustión de la madera debido al bajo contenido de azufre en la madera. Sin embargo, para el combustible de biomasa por ejemplo miscanthus, hierba y paja, la emisión de SO2 puede ser significativa y las medidas de reducción de la emisión de SO2 deben ser aplicadas.

Las emisiones de las aplicaciones de la combustión de biomasa se pueden dividir en dos grupos importantes:

Emisión de la combustión completa

Los componentes siguientes se emiten a la atmósfera como resultado de la combustión completa en aplicaciones de la combustión de biomasa.

- Dióxido de carbono CO2
- Óxidos de nitrógeno NOx
- Óxido nitroso N2O
- Óxidos de azufre SOx
- Cloruro de hidrógeno HCl
- Partículas
- Metales pesados

Emisión de la combustión incompleta

Los componentes siguientes se emiten a la atmósfera como resultado de la combustión incompleta en aplicaciones de la combustión de biomasa [12].

- Monóxido de carbono CO
- Metano CH4
- Non Methane Volatile Organic Components NMVOC
- Polycyclic Aromatic Hydrocarbons PAH
- Partículas
- Polychlorinated Dioxins and Furans PCDD/PCDF=PCD/F
- Amoníaco NH3
- Ozono O3 (a nivel del suelo)

3.5 Análisis y optimización de los parámetros de combustión.

El análisis empieza por determinar la temperatura de ablandamiento de la ceniza, la cual es cuando las cenizas empiezan a mostrar los primeros signos de redondez de las puntas de éstas y si la temperatura en el horno sigue aumentando, éstas se fundirán hasta incrustarse en las paredes, causando problemas en el funcionamiento del sistema.

Para estimar la temperatura de ablandamiento utilizo la composición química de las cenizas y la siguiente ecuación:

Temperatura de ablandamiento (TA):

$$TA[^\circ C] = 1.81c(CaO) + 4.20c(Al_2O_3) - 2.41c(K_2O) + 5.31c(P_2O_5) + 1017$$

c(.) son las concentraciones de masa relativas en la ceniza, normalizada para sumar 100.

Este modelo es útil para comprobar la plausibilidad de los resultados experimentales, y permite estimaciones semi-cuantitativas de las temperaturas de ablandamiento [13].

SEP (estándar error de predicción)

SEP = 57 °C corresponde a 4 - 9% de TA

Después de estimar la temperatura de ablandamiento, estimo la temperatura adiabática de llama, que es la temperatura a la cual la cámara de combustión del horno puede llegar a alcanzar, para lo cual utilizo la siguiente ecuación:

Temperatura adiabática de llama:

$$T_{\text{llama}}^{\text{adiabatica}} = T_a + \frac{PCI}{\bar{m}_{FG} C_{pg}}$$

Donde:

T_a ≡ Temperatura del aire de entrada.

PCI ≡ Poder Calorífico Inferior

\bar{m}_{FG} ≡ Relación de gases/combustible.

C_{pg} ≡ Calor específico de los gases, asumiendo igual a del aire a 300°K [14].

Si la temperatura adiabática de llama resulta mayor que la temperatura de ablandamiento, entonces las cenizas se fundirán causando problemas de incrustaciones.

Para que no suceda esto, debo variar la relación gases/combustible para que la temperatura adiabática de llama disminuya.

Para determinar el tiempo de residencia, utilizo la siguiente ecuación:

Tiempo de residencia:

$$t_r = \frac{V_c}{\dot{V}_{FG}}; [h]$$

Donde:

t_r ≡ Tiempo de residencia.

V_C ≡ Volumen de la cámara de combustión.

\dot{V}_{FG} ≡ Flujo volumétrico de los gases de combustión.

Y de esta manera descrita arriba, logré estimar los valores de los parámetros necesarios para una combustión completa [12].

3.6 Selección del tipo de horno para cada biomasa.

La selección del tipo de horno, está en función del tamaño del residuo y la potencia que se desee obtener.

Los sistemas de combustión que se describen aquí son de una capacidad térmica nominal que excede 100kw. Estos hornos son generalmente equipados con sistemas de alimentación del combustible mecánico o neumático.

En principio, las tecnologías siguientes de la combustión pueden ser distinguidas:

- Combustión en lecho fijo.
- Combustión en lecho fluidizado.
- Combustión pulverizada del combustible.

Los principios básicos de estas tres tecnologías se demuestran en la figura [12].

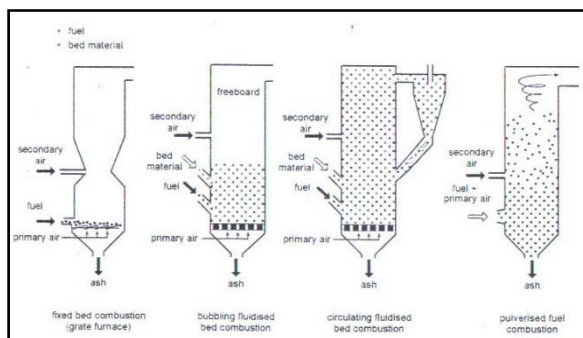


Figura 2. Principales tecnologías de combustión para la biomasa.

4. Resultados

A continuación se muestra la siguiente Tabla 3 de resultados obtenidos.

Tabla 3. Parámetros teóricos obtenidos.

	Temperaturas °C		Aire/combustible		Tiempo	Mezcla
	TA [°C]	T_{adiab}^{flama} [°C]	\bar{m}_{Air} [kg aire/kg fuel]	λ	t_r [seg]	Tipo de horno
Bagazo	1314.9	1214.9	4.37	1.48	6.09	Lecho fijo Parrilla móvil
Arroz	997.7	897.7	12.50	2.28	3.12	Lecho fluidizado burbujeante
Café	954.2	854.2	13.77	3.04	3.09	Lecho fluidizado recirculación

Debido a que este trabajo no posee parte experimental, no puedo realizar una comparación con los valores teóricos obtenidos; sin embargo hago una comparación con otro método.

Las siguientes tablas muestran una comparación de los parámetros teóricos obtenidos y una hoja de Excel llamada *Fuelsim Average v2.1* y también los errores de cada parámetro.

Tabla 4

	Temperatura adiabática T_{adiab}^{flama} [°C]		%error
	Tesis	Fuelsim Average	
Bagazo	1214.9	1213.69	0.09
Arroz	897.7	892.32	0.59
Café	854.2	855.96	0.20

Tabla 5

	Relación aire/combustible \bar{m}_{Air} [kg aire/kg combustible]		%error
	Tesis	Fuelsim Average	
Bagazo	4.37	3.87	11.44
Arroz	12.50	11.91	4.72
Café	13.77	13.31	3.34

Tabla 6

	Proporción exceso de aire		%error
	λ		
	Tesis	Fuelsim Average	
Bagazo	1.48	1.3	12.16
Arroz	2.28	2.15	5.70
Café	3.04	2.9	4.60

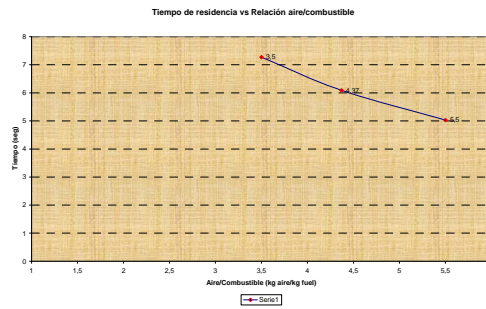


Figura 4. Gráfica tiempo de residencia vs relación aire/combustible.

Tabla 7

	Tiempo de residencia		%error
	t_r [seg]		
	Tesis	Fuelsim Average	
Bagazo	6.09	6.66	8.55
Arroz	3.12	3.36	7.14
Café	3.09	3.14	1.59

Analizando la figura 4, me doy cuenta que al aumentar la relación aire/combustible disminuyo el tiempo de residencia, esto es lógico, porque va a entrar una cantidad mayor de aire y garantiza una combustión en menor tiempo, pero al aumentar la relación aire/combustible disminuyo el rendimiento del horno.

Nota: Las figuras 3 y 4 corresponden al comportamiento del bagazo de caña. La cascarilla de arroz y cascarilla de café tendrán un comportamiento similar.

Las siguientes graficas muestran el comportamiento de las biomazas al variar los parámetros.

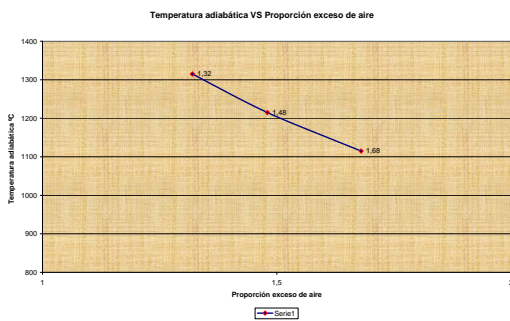


Figura 3. Gráfica temperatura adiabática de llama vs proporción exceso de aire.

Analizando la figura 3, me doy cuenta que al aumentar la proporción exceso de aire reduzco la temperatura adiabática de llama. Debo considerar que al aumentar la proporción exceso de aire, estoy disminuyendo el rendimiento del horno.

A continuación muestro los tipos de hornos seleccionados para cada biomasa.

Bagazo de caña:

Debido a que el bagazo de caña es un material compuesto básicamente por fibras largas de aproximadamente 20cm de longitud, debo de seleccionar un horno que trate con este tipo de material. Para este caso tengo dos tipos de opciones a elegir que podría estar en función del costo de cada horno.

Entonces:

Tipo de sistema de combustión:

- Combustión en lecho fijo.

Tipo de horno a utilizar:

- Horno de parrilla.

Tipo de parrilla.

- Parrilla móvil inclinada.
- Parrilla móvil horizontal.

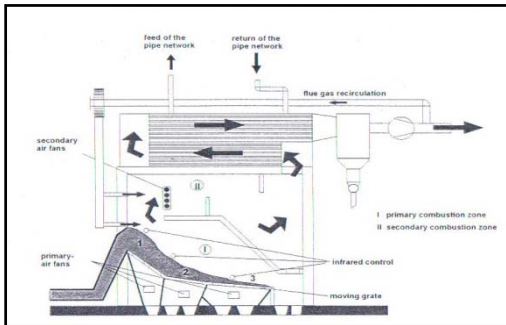


Figura 5. Horno moderno de parrilla móvil inclinada con sistema de control infrarrojo.

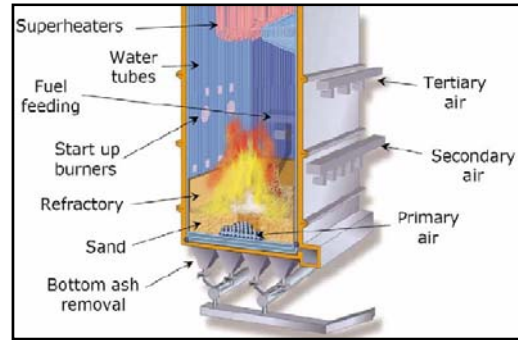


Figura 7 Horno de lfb [17].

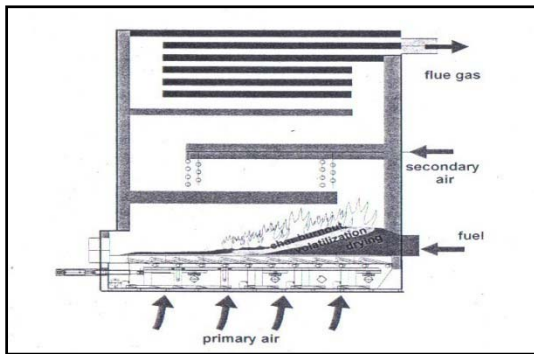


Figura 6. Diagrama de un horno de parrilla móvil horizontal.

Cascarilla de arroz:

Al tratar con un combustible sólido de aproximadamente 8 a 9 mm de longitud y 1mm de diámetro, debo de tener mucho cuidado en seleccionar el tipo de horno. Para seleccionar el tipo horno debo de considerar los siguientes parámetros: tamaño del residuo y potencia que se desea generar.

El tamaño del residuo lo tengo, pero el de la potencia asumo un valor mayor a 20MW.

Entonces:

Tipo de sistema de combustión:

- Combustión en lecho fluidizado.

Tipo de horno a utilizar:

- Lecho fluidizado burbujeante

Cascarilla de café:

Para este tipo de combustible sólido de aproximadamente 8 a 9 mm² de área y espesor de 0.15 mm, debo de tener mucho cuidado en seleccionar el tipo de horno.

El tamaño del residuo lo tengo, pero el de la potencia asumo un valor mayor a 30MW.

Entonces:

Tipo de sistema de combustión:

- Combustión en lecho fluidizado.

Tipo de horno a utilizar:

- Lecho fluidizado de recirculación.

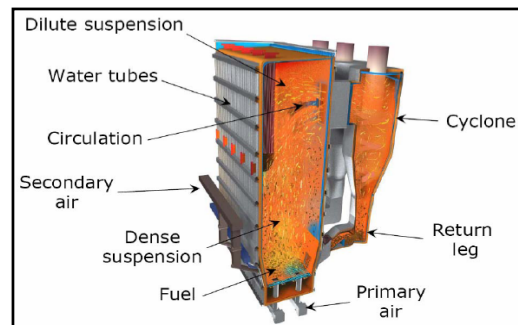


Figura 8 Horno de lfr [17].

Nota: las potencias fueron asumidas arbitrariamente, sólo para poder mostrar las diferencias entre lecho burbujeante y recirculación.

5. Conclusiones

- El contenido de humedad es una característica física importante en la selección de la biomasa, ya que éste permite decidir si aplico un proceso de conversión termoquímico o bioquímico de la biomasa.
- Con los valores estimados de temperatura para cada biomasa puedo decir que la temperatura adiabática de llama será menor que la temperatura de ablandamiento (TA) con lo que garantizo que la cenizas de las diferentes biomasa no se fundirán.
- No olvidar que al aumentar la proporción exceso de aire λ estoy disminuyendo el rendimiento del horno, entonces para el caso del cascarilla de arroz y cascarilla de café tengo que tomar una decisión si aumento la proporción exceso de aire λ para disminuir la temperatura y evitar la fundición de la ceniza a costa de disminuir el rendimiento del horno, o trabajar con una proporción exceso de aire $\lambda=1.5$ y permitir que se forme la fundición de la ceniza, con esto garantizo un rendimiento alto del horno, pero debo tomar en cuenta que al tomar esta decisión tengo que darle mantenimiento al horno en periodos de tiempos más cortos por la acumulación de la ceniza fundida.
- Los valores de $\lambda=2.28$ y $\lambda=3.04$ correspondientes a la cascarilla de arroz y cascarilla de café respectivamente me genera otro problema que podrían ser valores tan altos de entrada de aire que en lugar de aportar a la combustión podría apagar la llama en la cámara de combustión.
- En la selección del tipo de horno, el tamaño de la biomasa es una característica importante, ya que si no cumple un tamaño específico mencionado en el Anexo D se debe recurrir a tratamientos previos que transforman la biomasa en Palets y Briquetas.
- Al optimizar los parámetros de temperatura, relación aire/ combustible, proporción exceso de aire, tiempo de residencia y selección del tipo de horno (mezclado), estoy garantizando que la combustión sea completa y no tendré problemas de inquemados, esta optimización de los parámetros se la conoce como *medidas de reducción de emisiones primarias*.

6. Recomendaciones

- Debido a que la composición química de las diferentes biomasa fueron tomadas de una base de datos realizados por investigadores de otras regiones del planeta y no de Ecuador, la composición química de las diferentes biomasa va a variar, lo recomendable es realizar un análisis químico de cada biomasa individual ya que la composición química depende mucho de los fertilizantes utilizados en la agricultura, calidad de la tierra de cultivo y tiempo de exposición a la luz solar y éstos son variables alrededor del planeta.
- Lo recomendable es que al final tendré que hacer un balance de costos por pérdida de rendimiento del horno y mantenimiento del horno en periodos de tiempo más cortos, debido a la optimización de los valores de proporción exceso de aire λ .
- Lo recomendable para que el gran balance de energía sea rentable, es que los sistemas de combustión de biomasa se deben de instalar en sitios cercanos a la fuente del combustible y en nuestro caso sería cerca de las industrias agrícolas; caso contrario se debe tener en cuenta el combustible fósil que se consume por el transporte de la biomasa desde la industria agrícola o campos de cultivo hasta los sistemas de combustión.

7. Referencias

- [1] RIZZO PASTOR PABLO, “Caña de azúcar con fines energéticos.” www.sica.gov.ec/agronegocio/s/Biblioteca/Ing%20Rizzo/Varios/energia.htm, Septiembre, 2007.
- [2] INIAP, “Energía de biomasa.” www.iniap-ecuador.gov.ec/noticia.php?id_noticia=81, Septiembre, 2007.
- [3] PANELACONVAPOR “Características de las calderas.” www.panelaconvapor.com/caracteristicas, Febrero, 2009
- [4] BIOFINES “Compostando en su finca” www.biofines.com/finca.html Febrero, 2009
- [5] MIRRELLA v CÁCERES, “Energía Limpia.” www.elsalvador.com/hablemos/Ediciones/012002/medioambiente.htm, Octubre, 2007

- [6] ANTOLÍN GIRALDO GREGORIO, “Los biocombustibles como solución energética integrada.” 1, Valladolid, España.
- [7] ROMERO RISALDE FRANCISCO, “Anexo 8: Tipos de biomasa. Plantación y poda de la vid.” 99-103, Ciudad Real, España, julio, 2005.
- [8] BUN-CA, “Manuales sobre energía renovable: biomasa.” Primera edición, 26, San José, Costa Rica, Septiembre, 2002.
- [9] METER QUAACK, HARRIE KNOEF, HUBERT STASSEN, *Energy from Biomass a review of Combustion and Gasification Technologies*, World Bank Publications, 2-4, Washington DC, USA, March, 1999
- [10] DIRECCIÓN NACIONAL DE PROMOCIÓN SUBSECRETARÍA DE ENERGÍA ELÉCTRICA, “Energías Renovables 2004 - Energía Biomasa.” 5-11, Argentina, 2004.
- [11] GERMAN SOLAR ENERGY SOCIETY (DGS) AND ECOFYS, *Planning and installing bioenergy systems: a guide for installers, architects and engineers*, James & James, 8, 12, 36-38, London, UK and USA, 2005.
- [12] SJAACK VAN LOO and JAAP KOPPEJAN, *The handbook of biomass combustion and co-firing*, Earthscan, 11-12, 24-26, 134-150, 250-251, 291-303, London, UK and USA, 2008.
- [13] A. FRIEDL, E. PADOUVAS, H. ROTTER, K. VARMUZA, “Prediction of heating value of biomass fuel and ash melting behaviour using Elemental compositions of fuel and ash.” 6, Vienna, Austria, September, 2004.
- [14] BARRIGA RIVERA ALFREDO PH.D, “Seminario de combustión Industrial Aplicada y control de Contaminantes.” 34-38, Guayaquil, Ecuador, junio, 2007.
- [15] HILTUNEN.M, BARIŠIĆ.V, CODA ZABETTA.E, “Combustion of different types of biomass in cfb boilers.” 4, Varkaus, Finland, June, 2008.
- [16] INCROPERA FRANK, DeWITT DAVID, *Fundamentos de transferencia de calor*, Cuarta Edición, Prentice Hall, 839, México DF, México, 1999.
- [17] INTELLIGEN ENERGY EUROPE, *Optipolygen training material in polygenation in the food industry*, 93-94, Europe, December, 2006.
- [18] ECN. “Phyllis: database on composition of biomass and waste”. www.ecn.nl/phyllis. September, 2008.
- [19] BOMAN CHRISTOFFER. “Particulate and gaseous emissions from residential biomass combustion”. 5-7, Umeå, Sweden, April, 2005.
- [20] K. REISINGER, C. HASLINGER, M. HERGER, H. HOFBAUER.” biobib a database for biofuels”, www.vt.tuwien.ac.at/Biobib/biobib.html, August, 2008.
- [21] SKREIBERG ØYVIND.” Fuelsim Average V1.2”. www.ieabcc.nl/fuelsim.html, Octubre, 2008.

