

**APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LA
BIOMASA RESIDUAL DEL SECTOR AVICOLA**

**PAOLA ANDREA SANGUINO BARAJAS
NATHALIA ANDREA TÉLLEZ ANAYA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
BUCARAMANGA**

2009

**APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LA
BIOMASA RESIDUAL DEL SECTOR AVICOLA**

**PAOLA ANDREA SANGUINO BARAJAS
NATHALIA ANDREA TÉLLEZ ANAYA**

**Trabajo de Grado presentado como requisito para
Optar al título de Ingeniero Químico**

**Director:
HUMBERTO ESCALANTE HERNÁNDEZ
Ph.D. Ingeniero Químico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
BUCARAMANGA**

2009

DEDICATORIA

A mi madre Martha Anaya por darme la oportunidad de hacerla sentir orgullosa de tener una hija profesional y responsable, por su amor incondicional y confianza.

A mi padre Gilberto Téllez por ser mi ángel guardián

A mis hermanos Gilberto, Johanna y Mario por ser el apoyo, guía y ejemplo a seguir.

A mi novio Fabian Flórez por ser el amor de mi vida, por estar ahí siempre y llegar en el momento justo.

Nathalia Andrea Téllez Anaya

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. METODOLOGÍA	22
2. DESARROLLO Y RESULTADOS	26
CONCLUSIONES	37
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	39

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Parámetros de caracterización para el residuo avícola	23
Tabla 2. Caracterización de la pollinaza en Cundinamarca y Santander	26
Tabla 3. Tecnologías propuestas a estudiar para el aprovechamiento de la pollinaza y criterios de selección.	29
Tabla 4. Condiciones de operación del gasificador para el aprovechamiento energético del RAV en HYSYS 3.2.	33
Tabla 5. Especificaciones del gas a enfriar.	34
Tabla 6. Promedio anual del Índice de costo de planta (PCI)	35
Tabla 7. Costos de los componentes de la Inversión Fija de la planta de aprovechamiento energético de la pollinaza.	36

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Metodología para el aprovechamiento energético de la pollinaza	22
Figura 2. Diagrama de flujo para la instalación integrada del proceso de gasificación para el aprovechamiento de la pollinaza.	31
Figura 3. Diagrama de flujo del ciclo de gasificación en HYSYS 3.2.	32

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. RESULTADOS SIMULACION HYSYS 3.2	43

RESUMEN

TITULO: APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LA BIOMASA RESIDUAL DEL SECTOR AVICOLA *

AUTORES:

Paola Andrea Sanguino Barajas, Nathalia Andrea Téllez Anaya **

PALABRAS CLAVES:

Pollinaza, Gasificación, biomasa, sector avícola, energía.

DESCRIPCIÓN:

El sector avícola en Colombia ha tenido un alto crecimiento en los últimos años, debido a la gran demanda de carne, huevos, embutidos y alimentos concentrados que se elaboran a partir de subproductos del proceso de beneficio. Este desarrollo comercial también ha tenido influencia en los sistemas de producción ya que exige a los empresarios tecnificar y optimizar las prácticas de saneamiento y tratamiento de residuos. Una granja promedio produce alrededor de 150000 aves por ciclo y 507 toneladas de pollinaza o estiércol seco. Esta cantidad de residuos es actualmente compostada o reutilizada en los galpones luego de un proceso de desinfección. La pollinaza puede convertirse en una fuente potencial de energía gracias a sus características fisicoquímicas y alta disponibilidad. Se cuantificó el volumen de RAV (residuo avícola) en Colombia y a partir del modelo matemático de SOUZA y colaboradores se determinó su potencial energético. El presente trabajo estudia y analiza la tecnología de gasificación para pollinaza, que permite aprovechar el alto potencial energético de esta biomasa. El diseño conceptual propone un ciclo de operación con un rendimiento del 96,07% en el gasificador, produciendo un gas de composición molar 22,51% CO; 7,50% CO₂; 9,20% H₂; 60,74% N₂ que genera 514,2 KW a partir de un flujo de alimento de 500 Kg/h. Además, presenta un estudio de puesta en marcha de la tecnología dando un costo de inversión para un tamaño de planta de 0.5MW de USD\$1.011.919,86.

*Trabajo de Grado.

**Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas, Escuela de Ingeniería Química. Director: Dr. Humberto Escalante Hernández.

ABSTRACT

TITLE: ENERGY USE OF BIOMASS WASTE OF THE INDUSTRY POULTRY.

AUTHORS:

Paola Andrea Sanguino Barajas, Nathalia Andrea Téllez Anaya **

KEY WORDS:

Dry manure, gasification, biomass, poultry industry, energy.

DESCRIPTION:

The poultry industry in Colombia has had a high growth in recent years due to the high demand for meat, eggs, sausages and food concentrates, which are produced from byproducts of the process of profit. This commercial development has also had influence on production systems because it requires tech entrepreneurs and optimizes the practices of sanitation and waste treatment. An average farm produces about 150000 birds per cycle and 507 tons of dry manure. This amount of waste is now composted or reused in the sheds after a disinfection process. The dry manure can become a potential source of energy thanks to their physicochemical characteristics and high availability. Quantified the amount of RAV (poultry waste) in Colombia and from the mathematical model de SOUZA and colleagues found its energy potential. This paper studies and analyzes the technology of gasification for waste poultry, which can take advantage of the high potential of this biomass energy. The conceptual design proposes an operation cycle with a yield of 96,07% in the gasifier, producing a gas mol composition 22,51% CO, 7,50% CO₂, 9,20% H₂, 60,74% N₂ generated 514.2 KW from a stream food 500 Kg / h. It presents a study of implementing a given technology investment cost for a 0.5MW plant size of USD \$ 1,011,919.86.

*Degree Project.

**Physical-Chemical Engineering Faculty, Chemical Engineering, Director: Dr. Humberto Escalante Hernández.

INTRODUCCIÓN

En Colombia la industria avícola ocupa un renglón importante en el PIB nacional. Gracias a su desarrollo sostenido y alto grado de tecnificación se impone como la segunda actividad agropecuaria después de la ganadería. Actualmente existen 4356 granjas avícolas de tipo comercial, de las cuales 2628 están dedicadas al engorde de pollo, 1535 a la producción de huevo de mesa, y 193 a reproductoras. Estas actividades se llevan a cabo en un total de 17184 galpones, los cuales generan gran cantidad de residuos. [*CENSO AVICOLA, 2008*].

En una granja promedio, con producción de pollo para consumo de carne, existen alrededor de 27000 animales por galpón, los cuales tienen medidas de 136m de largo por 6m de ancho aproximadamente para cada ciclo reproductivo (*PIMPOLLO S.A., Granja el tesoro, 2008*). Cada pollo genera deyecciones equivalentes a 0,07 Kg /día, y dispone en su cama de 0,230 Kg de tamo limpio (cascarilla de arroz). Por consiguiente la totalidad diaria de estiércol es de 8100Kg y al final del ciclo de 45 días se tiene 91260 kg de Residuo Avícola (RAV) compuesto de bosta con tamo definido como pollinaza

En 1997 la Federación Nacional de Avicultores de Colombia (FENAVI) adelantó un estudio sobre el impacto ambiental de la industria avícola a nivel nacional, manejo y disposición final del estiércol y mortalidad en granjas. Los RAV constituyen el principal problema ambiental debido a las infiltraciones de aguas residuales, emisión de amoníaco y olores ofensivos, descargas directas en aguas superficiales y subterráneas, alta carga biológica. En Colombia según el Decreto 1594 de junio 26 de 1984, se establece que todas las empresas deben proteger el agua de la contaminación por nitratos y tener un manejo eficiente de residuos [*DUQUE C, 1999*].

Actualmente los RAV de las granjas avícolas es compostado en un 30% y destinado a la fertilidad del suelo. El 70% restante es reutilizado en las camas para la producción de aves de engorde. La empresa Colombiana PIMPOLLO S.A. zona oriente, cuenta con 13 granjas de pollos de engorde ubicadas en el municipio de Lebrija y aplica sistemas de limpieza al estiércol para reutilizarlo en los galpones durante varios ciclos reproductivos.

La pollinaza (bosta de pollos de engorde) generalmente se encuentra mezclada con cascarilla de arroz, café, viruta de madera, serrín o paja de trigo, que le confieren un mayor potencial energético por su alto contenido de carbono y a su vez reducen el contenido de humedad por kilogramo de biomasa. [SOUZA, SAMUEL N.M]

El estiércol puede convertirse en una fuente potencial de energía gracias a sus características fisicoquímicas y alta disponibilidad. Desde el punto de vista energético, a principios de los 80's se identificó como combustible, impulsando la investigación y desarrollo de tecnologías para su aprovechamiento [MURILLO T, 1999]. En 1986 se propuso la combustión directa de la pollinaza como primera alternativa sustituyendo en parte el uso de fuentes no renovables, pero su impacto fue negativo debido a la generación de emisiones. Actualmente ha surgido el interés por implementar procesos poco convencionales como gasificación para el aprovechamiento energético de los RAV convirtiéndolos en un producto gaseoso con variedad de aplicaciones.

De acuerdo con el estudio de REARDON [REARDON Y COL, 2001] sobre sistemas modulares de gasificación para pollinaza el contenido promedio de energía de los RAV está alrededor de 600 Btu/Lb. Por lo anterior con una tonelada de RAV gasificado se obtiene el equivalente a 93 galones de combustible GLP (Gas Licuado de Petróleo), con una eficiencia del sistema del 75% en una escala de 250 a 1000 KWe. Los avicultores consumen entre 5000-6000 gal de GLP/año

con un valor de USD\$ 0,65/gal y 22000-24000 KWh/año de electricidad. Si una granja produce 110.000 aves/año con un total de 125 toneladas de RAV, la aplicación de un sistema integrado de gasificación podría satisfacer todas las necesidades de electricidad y calor de la granja. Además de obtener cenizas ricas en minerales con un valor entre USD\$50- USD\$60/ton debido a su utilización como fertilizante.

El aprovechamiento energético de la biomasa de origen animal se ha investigado ampliamente en los últimos años enfocándose en la evaluación del Potencial Energético (PE). *PERERA Y COL, 2005*; analizaron el residuo animal como fuente directa para la formación de combustible aprovechable determinando el PE del residuo. *SKOULO y ZABANIOTOU, 2007*; realizaron un análisis de las tecnologías termoquímicas para la conversión de biomasa residual animal con énfasis la determinación del PE. *RIAHINEZHAD, 2006*; estudió la generación de energía a partir de estiércol animal y residuos agrícolas en la India realizando la determinación del PE. *BHATTACHARYA Y COL, 2005*; realizaron estudios para la estimación del PE en diferentes clases de biomasa, entre ellas la animal. *FLORA y RIAHINEZHAD, 2006*; documentan la disponibilidad del RAV en USA evaluando el PE y su aprovechamiento por medio de tecnologías termoquímicas.

De lo anterior se plantean diferentes modelos matemáticos que permiten el cálculo del PE en función del poder calorífico inferior (PCI) del residuo y del total de estiércol producido. Se han evaluado varias alternativas tecnológicas para el aprovechamiento energético de la biomasa animal, entre ellas digestión anaerobia (*KELLEHER Y COL; CERVANTES Y COL; MURILLO T; SAJJAKULNUKIT Y COL; PERERA Y COL; SKOULOU Y ZABANIOTOU*), combustión directa (*LICHTENBERG Y COL*), combustión simultánea con un combustible base (co-combustion) y gasificación (*REARDON Y COL; PRIYADARSAN Y COL*). La alternativa más ampliamente difundida para el estiércol de aves de Jaula es la digestión anaerobia por su grado de Humedad, facilidad de implementación y

funcionamiento a pequeña y mediana escala, mientras que para el estiércol de Aves Con Cama (engorde) las tecnologías aplicables son las termoquímicas.[*MURILLO T, 1999*].

La selección de tecnología es función de las características fisicoquímicas del estiércol, por lo tanto la pollinaza tiene el potencial para ser utilizada en combustión directa sin embargo esta tecnología requiere un proceso previo de secado, disminución del tamaño de partícula y tratamiento de los gases efecto invernadero, mientras que la gasificación no requiere acondicionamiento previo del residuo. Las condiciones de operación de la gasificación se ajustan a las características fisicoquímicas de la pollinaza y en comparación con la combustión reduce considerablemente las emisiones lo cual representa un ahorro en el costo de planta. Estas características convierten a la gasificación en una alternativa atractiva para la transformación del RAV produciendo un gas de fácil almacenamiento que puede ser utilizado en motores de combustión interna (*PRIYADARSAN Y COL, 2004*).

El objetivo principal de este estudio fue evaluar el aprovechamiento energético de la biomasa residual generada en la cadena productiva avícola. Se cuantificó el volumen de RAV en Colombia y a partir del modelo matemático de SOUZA y colaboradores se determinó el PE de la pollinaza. Este modelo se ajusta a biomasa seca con humedades inferiores al 60% y se escogió debido a su aplicación en tecnologías termoquímicas. De acuerdo con MURILLO T, 1999; las características fisicoquímicas de la gallinaza la describen como un sustrato ideal para este tipo de procesos.

El modelo matemático para determinar el Potencial Energético de la pollinaza (PE) en TJ/año se encuentra en función de los siguientes factores: Materia Seca (MS), Poder Calorífico Inferior del Residuo ($PCI_{Residuo}$) y Población de Aves de Engorde (NAAE)

$$PE = MS * PCI_{Residuo}$$

Para el cálculo de la Materia Seca (MS) se tiene en cuenta la Cantidad de Estiércol que produce un animal por Año (CEA), esta depende de la Población de Aves de Engorde (NAAE), además del Porcentaje de Materia Seca que se obtuvo del residuo en los estudios de caracterización (%MS) para cada región.

$$MS = CEA * \% MS \quad \text{Donde,} \quad CEA = 25,55 * NA_{AE}$$

La constante 25,55 en la Cantidad de Estiércol (CEA) corresponde al producto entre 0,070 kg (estiércol por día por cabeza) y el número de días que conforma un año. (365 días).

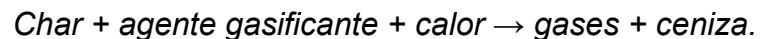
Se planteó gasificar los RAV y obtener un combustible, a partir de la conversión del carbono presente en los residuos. Se realizó el diseño conceptual de ingeniería para la gasificación económicamente factible y ambientalmente sostenible.

Tecnologías para el Tratamiento de Excretas Animales.

Las oportunidades de utilización de las excretas avícolas con fines energéticos son reducidas. Existen tres opciones de tratamiento. Para excretas húmedas la Digestión Anaerobia es el mejor y único proceso. En el caso del estiércol seco se puede aplicar Combustión directa y Gasificación. Para el aprovechamiento energético de la pollinaza se introduce el proceso de gasificación como alternativa factible por la versatilidad del gas producido para ser usado con los mismos

propósitos que el gas natural. El combustible producido puede alimentar motores de combustión interna y turbinas de gas para su transformación en energía mecánica y eléctrica. El gas producto es relativamente libre de impurezas y causa menores problemas de contaminación al quemarse.

La gasificación se define como la conversión termoquímica de un sólido combustible en un gas portador de energía. El proceso se realiza mediante la oxidación con un agente gasificante que puede ser aire, vapor, hidrogeno u oxigeno. El producto gaseoso obtenido se utiliza como fuente de energía o como materia prima para síntesis orgánica. La reacción general es:



El gasificador se alimenta con el sólido orgánico y rápidamente se produce la pirólisis del mismo. El sólido libera los compuestos volátiles y se forma un residuo carbonoso (Char). Las reacciones limitantes de la velocidad global del proceso son las reacciones sólido-gas, únicas a tener en cuenta junto con las de formación de hidrogeno y metano a partir de CO, shift (destilación del carbón) y metanización respectivamente [CASTELLS X, 2005].

Dentro de los criterios de operación del sistema la **temperatura** es un parámetro importante en todas las etapas y en el rendimiento final del proceso. Las proporciones entre Char, alquitranes y vapores condensables (Tar) y gas en los productos de pirólisis dependen estrechamente de la velocidad de calentamiento y de la Temperatura final alcanzada. La unidad presenta cuatro zonas de reacción con diferentes temperaturas: secado 100°C, pirólisis 300°C, oxidación 1400°C y gasificación 900°C.

El aumento de **presión** desfavorece las reacciones de gasificación incrementando las proporciones de hidrocarburos y alquitranes. Los gasificadores de lecho fijo

trabajan a presión atmosférica y los de lecho fluidizado a 30 bar aproximadamente.

La relación **agente gasificante/residuo** es un parámetro fundamental cuando se autoabastece energéticamente mediante la oxidación parcial con aire u oxígeno del residuo tratado. Los valores excesivamente bajos pueden no generar la cantidad suficiente de energía para mantener el proceso en las condiciones adecuadas disminuyendo así el rendimiento. Cuando el agente gasificante es aire se produce además un efecto de dilución por parte del Nitrógeno. Existe un valor óptimo de esta relación para cada proceso, que depende básicamente de la composición del residuo gasificado. Las tecnologías comerciales de gasificación permiten procesar prácticamente todo tipo de combustible de origen biomásico con una **densidad** mínima de 200 a 250 Kg/m³. Densidades menores crean problemas en el manejo de la biomasa en los conductos verticales.

La **humedad** influye sobre la viabilidad y el balance térmico del proceso pues una parte del calor producido debe utilizarse para evaporar esa cantidad de agua. También afecta la composición del gas de salida incluso desplazando algunas reacciones. En general se aceptan humedades de entre 10 y 20 % para lechos móviles y hasta el 40 % para lechos fluidos. El **contenido en cenizas** es la cantidad de sólidos que será necesario retirar del gasificador por unidad de masa procesada. Aunque se han gasificado residuos con un 24% de cenizas, no es deseable sobrepasar un contenido del 10%. Para **material volátil** se estiman valores elevados entre 75-85%. El **carbono fijo** y las cenizas constituyen el sólido residual.

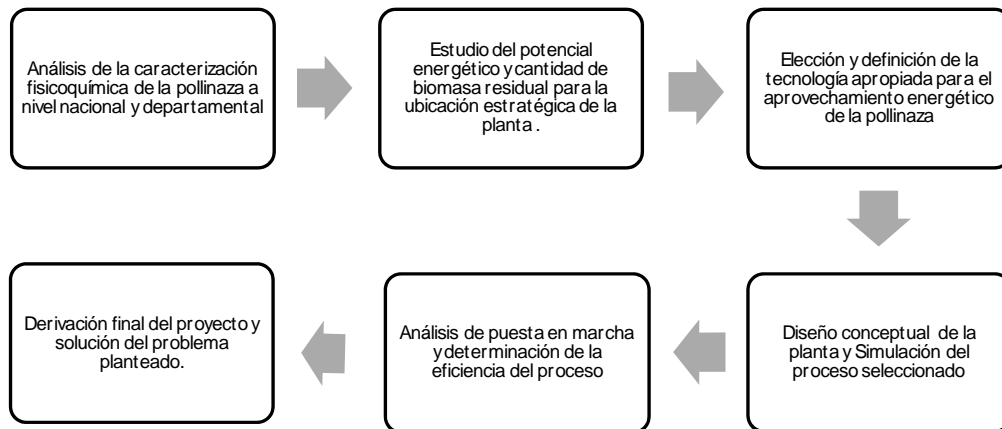
El agente gasificante empleado puede establecer una primera clasificación del proceso de gasificación [IDAE, 2007]: Con aire, la reacción de combustión parcial da lugar a un gas de bajo poder calorífico que será aprovechado con fines de carácter energético. Con oxígeno, produce un gas de poder calorífico medio pero

de mayor calidad al no estar diluido con Nitrógeno. Con vapor de agua se obtiene un gas enriquecido en Hidrogeno y Monóxido de Carbono que se puede utilizar como gas de síntesis para diversos compuestos (amoníaco, metanol, gasolinas, etc.). Con hidrógeno, produce un gas con alto porcentaje de metano y contenido energético que logra utilizarse como sustituto del gas natural.

1. METODOLOGÍA

En el siguiente diagrama de bloques se esquematizan las etapas para el desarrollo del estudio

Figura 1. Metodología para el aprovechamiento energético de la pollinaza



El estudio se realizó con la colaboración de entidades que suministraron la información sobre el proceso productivo de pollo de engorde y las cantidades de desechos producidos. Se identificaron requerimientos y condiciones de operación de cada proceso a partir del estado del arte de las diferentes tecnologías. La producción avícola nacional se estimó a partir de los datos reportados por el Censo Avícola Nacional en el año 2002.

Con el objetivo de analizar la composición del residuo se tomaron cuatro muestras dos para cada departamento con mayor participación en la producción avícola, Cundinamarca y Santander. Las muestras fueron tomadas en los municipios de Guaduas y Bucaramanga.

La caracterización físicoquímica se ejecutó teniendo en cuenta cada subsector, escenario real y variables climáticas. Como soporte en la selección de los parámetros se tienen referencias que reportan caracterizaciones de diferentes

tipos de biomasa residual [BHATTACHARYA Y COL, 2005; BHATTACHARYA Y COL, 1997; CARDONA Y COL, 2004; CERVANTES Y COL, 2007; FLORA & RIAHI-NEZHAD, 2006; GUIA AMBIENTAL, 2002; PERERA Y COL, 2005]. En la Tabla 1, se observan los parámetros definidos para la caracterización fisicoquímica de la biomasa residual avícola.

Tabla 1. Parámetros de caracterización para el residuo avícola

PARAMETROS			
Analisis Físico o Próximo	Analisis Elemental	Contenido Energetico	Caracterizacion Microbiologica
Humedad Material volatil combustible Carbon fijo Solidos totales (%) Solidos volatiles (%) Materia organica (%)	Carbono Nitrogeno Azufre Cenizas	Poder Calorifico Inferior	Coliformes fecales totales Recuento total de mesoaerobios Enterobacterias Presencia de nematodos Levaduras y Mohos Termofilos Protozoos

Fuente: Autores

El contenido energético del RAV se expresó mediante el poder calorífico Inferior (PCI) que se obtuvo por medición tomada en el laboratorio a través de una bomba calorimétrica. El ensayo se realizó en el Laboratorio de la escuela de Ingeniería Metalúrgica siguiendo la norma ASTM D 3286-73e y la ISO 1928-76.

El potencial energético (PE) para la biomasa avícola fue determinado a partir del modelo matemático de SOUZA y colaboradores descrito anteriormente. Para la ubicación de la planta de aprovechamiento energético del RAV se calculó el PE de la pollinaza en Cundinamarca y Santander teniendo en cuenta los municipios de cada departamento con mayor producción del RAV.

Para el aprovechamiento energético de la biomasa residual avícola en principio se plantearon tres tecnologías: gasificación, combustión directa y digestión anaerobia; las cuales fueron escogidas de acuerdo a las investigaciones y proyectos piloto adelantados en Europa, USA y Costa Rica. [MURILLO, 1999; REARDON Y COL, 2001]. Posteriormente se definieron los criterios básicos para la evaluación cualitativa de cada tecnología y se seleccionó aquella con mejores

resultados en cuanto a: escala energética, energía producida e inversión. También se estimaron los requerimientos fisicoquímicos de las tecnologías y la composición del gas producto en cada proceso. Los criterios se seleccionaron teniendo en cuenta el estudio del aprovechamiento energético del estiércol avícola como biocombustible desarrollado por FLORA y RIAHI-NEZHAD, 2006.

El estudio de la tecnología se planteó sobre una base de cálculo de 500 Kg de pollinaza/hora de acuerdo a la disponibilidad de materia prima en una granja con producción promedio de 150000 aves por ciclo y la capacidad mínima de instalación de la tecnología de gasificación que se encuentra entre 1000 y 50000 ton/año [FLORA y RIAHI-NEZHAD, 2006].

Se propone utilizar un gasificador de lecho fijo atmosférico Downdraft de corrientes paralelas por su bajo costo de instalación y reducción considerable de compuestos condensables como alquitranes. Con el software de diseño Hysys 3.2 se realizó la simulación del ciclo ajustando las corrientes de entrada, composición del alimento y condiciones de operación a un reactor de conversión que aparenta el comportamiento del gasificador.

En el diseño conceptual del ciclo de aprovechamiento energético de la pollinaza se propuso utilizar un motor de cogeneración. El software utilizado no cuenta con este tipo de equipos dentro de sus herramientas por tanto se aprovechó un arreglo de turbina con precalentamiento de la corriente del gas producto. Este ajuste simula la producción de energía necesaria para el balance positivo del ciclo.

El estudio económico de puesta en marcha tiene como objetivo determinar el costo de inversión total de la tecnología de acuerdo al rendimiento y capacidad de producción de la misma para el diseño conceptual. El análisis de inversión se realizó teniendo en cuenta la Inversión de Capital total (IT) que a su vez se divide

en: inversión fija (IF) e inversión de trabajo (IW). La inversión de trabajo fue un 15% de la inversión total de capital y la inversión fija fue el 85% de la misma. [PETERS AND TIMMERHAUS, 1991]

En este estudio se utilizó el índice de costo de planta (Plan Cost Index) [525, Año 2007; 394, Año 2001] para determinar el Capital necesario en tiempo presente. El costo de capital para el montaje de la tecnología de gasificación reportado en el año 2001 es de USD\$1520/KW para un sistema de 0.5MW y USD\$1121/KW para 1MW [FLORA AND RIAHI-NEZHAD, 2006]. A partir de estos datos y los costos de componentes de inversión fija se calculó el valor de la inversión total para un tamaño de planta de 0.5 MW.

2. DESARROLLO Y RESULTADOS

En la tabla 2 se muestran los resultados obtenidos para la caracterización del RAV.

Tabla 2. Caracterización de la pollinaza en Cundinamarca y Santander

PARAMETROS	CARACTERIZACION DE LA POLLINAZA	
	CUNDINAMARCA	SANTANDER
% Humedad	29,423	18,430
% Materia Seca	70,578	81,570
% Solidos Totales	70,578	81,570
% Cenizas	13,818	16,925
% Solidos Volatiles	56,760	64,645
% Material Volatil	57,495	66,400
% Materia Organica	60,338	62,715
% C Organico Total	35,000	36,378
% N base Humeda	2,095	3,255
% N base Seca	2,968	3,990
% Proteina Seca	13,093	20,345
% Proteina Humeda	18,553	24,945
% C/N	11,805	9,118
% H	4,023	4,183
% S	0,191	0,355
% Hemicelulosa	11,076	14,106
% Celulosa	49,113	32,139
% Lignina	41,733	42,084
Desnsidad (Gr/cm3)	0,480	0,450
PCI (TJ/Kg)	1,59E-05	1,58E-05

Fuentes: Oferta energética de la biomasa residual en Colombia. ESCALANTE, 2008.

En Cundinamarca y Santander se concentra el 50% de la capacidad instalada de granjas avícolas de Colombia. Cundinamarca aporta un 30,65% que equivale a 585911 ton de estiércol/año y Santander un 25,15% que corresponde a 480743 ton/año. Las diferencias observables en los resultados de los dos departamentos se deben a que la caracterización de la pollinaza está influenciada principalmente

por el material de cama, el tipo de piso del galpón, la densidad de aves por metro cuadrado, la temperatura y humedad de las unidades de producción, el sistema de agua y los métodos de limpieza utilizados. [TOBÍA Y VARGAS, 2000].

Santander reporta una humedad del RAV 10% menor que Cundinamarca. Este resultado favorece la aplicación de tecnologías termoquímicas. La gasificación acepta valores de humedad entre 10 y 30% y la combustión menores al 40%. Por lo anterior la pollinaza de Santander es un combustible atractivo para la aplicación de tecnologías termoquímicas. Una biomasa con elevado contenido de humedad puede ser usada sólo en procesos acuosos debido a la pérdida de eficiencia que implica su secado ya que por cada kilogramo de agua que se desee eliminar se requiere 3,5 a 4,5 MJ de energía térmica. [FAO, 1993].

El contenido de material volátil del RAV en Santander es 9% superior al reportado en Cundinamarca lo que facilita la aplicación de procesos termoquímicos ya que un mayor contenido en volátiles favorece la velocidad global del proceso. En gasificación por ejemplo aumenta el desprendimiento de gases en la etapa de pirólisis. El RAV en contraste con algunos tipos de carbón tiene alto contenido en volátiles.

En Santander la mayoría de las granjas utilizan cascarilla de arroz como material de cama lo que aumenta la cantidad de cenizas del RAV en un 3% con respecto a Cundinamarca en donde algunas granjas utilizan viruta de madera y pasto de corte. Un menor contenido en cenizas de la biomasa beneficia la implementación de procesos termoquímicos. La fusión de las cenizas a altas temperaturas y la disposición en forma no perjudicial de las mismas son aspectos importantes en cuanto al diseño mecánico de los equipos.

Para efectos del cálculo del potencial es necesario tener en cuenta dos factores importantes: La Materia Seca expresada en kg MS/kg de Estiércol, y el PCI del

residuo en TJ/kg. El potencial energético calculado para la cantidad de estiércol en Santander es de 6233 TJ/año y de 6635 TJ/año para Cundinamarca. Lo anterior corrobora las oportunidades de transformación del poder calorífico del RAV en calor y energía eléctrica mediante la aplicación de la tecnología adecuada que permita remplazar los combustibles convencionales y reducir el costo de la demanda actual. El análisis de la cantidad de RAV disponible en términos del potencial energético para los municipios más representativos de Cundinamarca y Santander permitió definir la ubicación de la planta de aprovechamiento energético del RAV en Lebrija. Este municipio constituye el 29,46% del total departamental con un potencial de 1836,50 TJ/año superando a Fusagasuga en Cundinamarca que reporta 992,72 TJ/año.

A continuación se muestran los resultados de la evaluación cualitativa para la selección de tecnología de acuerdo a los criterios establecidos. Tabla 3.

Tabla 3. Tecnologías propuestas a estudiar para el aprovechamiento de la pollinaza y criterios de selección.

CRITERIOS		TECNOLOGÍAS		
		Digestion Anaerobia	Combustión Directa	Gasificación
Escala energética (KW)*	1.000 ton/año	34	70	58
	10.000 ton/año	340	700	580
	50.000 ton/año	1700	3500	2900
Energía Producida (MWh)*	1.000 ton/año	290	610	510
	10.000 ton/año	2900	6100	5100
	50.000 ton/año	15000	31000	26000
Inversion (USD\$/KW)*	100KW	N.R	NR	\$ 2.000
	114KW	\$ 3.719	NR	NR
	700KW	N.R	\$10.500 ^a	NR
	1000KW	N.R	NR	\$1.500 ^a
	10000KW	N.R	\$ 2.800	NR
Características Bio-fisicoquímicas	Humedad	90%	<40%	10-30%
	Material Volatil	X	60-70%	75-85%
	Cenizas	X	2%	5-10%
	Lignina	X	20%	21-30%
Composición del gas producto**	Celulosa	X	44%	40-60%
	CO	0,10%	0,18%	20-25%
	CO2	30-40%	9,50%	10-12%
	CH4	60-70%	0	1-2%
	H2	1%	0	15-20%
	N2	0,50%	0	48-50%

Fuentes: ^a Valor para escala mediana (off site)

*Availability of poultry manure as a potential bio-fuel feedstock for energy Production

**Gasificación de Biomasa, Universidad de Oriente. Cuba.

Escala Energética

La digestión anaerobia requiere el doble de la cantidad de biomasa para lograr la escala energética de la combustión y la gasificación. El contenido de energía se estima alrededor de 9.7 MJ/Kg de RAV para tecnologías termoquímicas y 4.6 MJ/Kg de RAV para digestión anaerobia [FLORA y RIAHI-NEZHAD, 2006].

Energía producida

La disponibilidad de RAV en Lebrija es de 141647 ton/año y de 11985 ton/año para una granja de 150000 aves. Con esta cantidad de biomasa se puede producir entre 510 y 6100 MWh para una escala energética de 58 a 700 KW aplicando tecnologías termoquímicas. La combustión directa es una de las tecnologías más

implementadas para producir energía térmica y vapor pero presenta desventajas significativas con respecto a la gasificación. La principal característica desde el punto de vista energético que diferencia la gasificación de la combustión es que, si bien en la combustión, toda la energía del gas está en forma de calor sensible, en la gasificación parte de la energía química contenida en la materia prima pasa al gas.

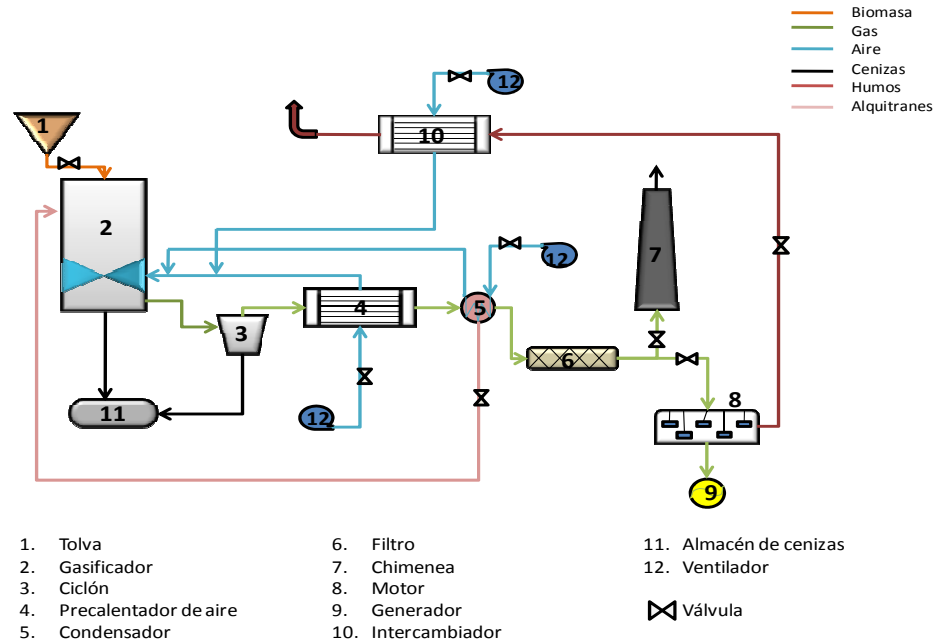
Inversión

Aunque la combustión supera en 1000 MWh la producción energética de la gasificación, esta última refleja una reducción de USD\$ 9000/KW en el costo de inversión para una escala mayor. Se estimó un costo de conversión de USD\$ 41/ton de RAV para una tasa 15000 BTU/KWh en combustión y de USD\$ 34/ton de RAV para una tasa de 18000 BTU/KWh en gasificación. Lo anterior permite asegurar que la alternativa de gasificación es más atractiva en términos económicos ya que el costo de conversión por ton de RAV disminuye cuando la tasa energética aumenta.

En la gasificación el gas presenta mejores propiedades de combustión respecto al sólido, necesita una menor cantidad de aire, genera menor contaminación y emisión de particulados. Además el gas producido es fácil de almacenar, las fracciones de CO, CO₂ y H₂ son superiores y puede ser utilizado para alimentar motores de combustión interna [IDAE, 2007]. Las cenizas subproducto del proceso se pueden utilizar como fertilizante por su alto contenido en fósforo y potasio.

A continuación en la figura 1 se muestra el diagrama básico de flujo desarrollado para el ciclo de gasificación para el aprovechamiento energético del RAV.

Figura 2. Diagrama de flujo para la instalación integrada del proceso de gasificación para el aprovechamiento de la pollinaza. (Fuente: Autores a partir de OÑATE, 2006)



Se propuso utilizar un motor de combustión interna a gas debido a las implicaciones económicas que tiene la implementación de una turbina. El costo de generación de electricidad y la misma eficiencia del equipo son parámetros importantes al momento de decidir el sistema de trabajo. Las turbinas por ejemplo tienen un rendimiento del 25% (potencias alrededor de 5MW) y 45% para grandes turbinas (>25MW). El costo específico para la generación de electricidad oscila entre USD\$ 231096 y 500558/KWh, en el caso de motores y de USD\$ 384813 a 461765/KWh para turbinas. Entonces se puede afirmar que para una planta menor a 5MW, la alternativa de los motores a gas supera la de turbina de gas [CASTELLS, 2005].

Se realizó la simulación del ciclo de gasificación de la pollinaza para la generación de energía, figura 2. Se destaca el reciclo del agente gasificante (aire) que procede del mezclador MIX-100 y se alimenta al reactor de conversión CRV-100.

Tabla 4. Condiciones de operación del gasificador para el aprovechamiento energético del RAV en HYSYS 3.2.

CONDICIONES DE OPERACIÓN	
Combustible	Pollinaza
Contenido de humedad*	18,43%
Contenido de cenizas*	16,93%
Densidad aparente	450 kg/m ³
Flujo de combustible	500 kg/h
Agente gasificante	Aire
Tratamiento del gas	Ciclón, intercambiador, filtro y motor
Tipo de gasificador	Downdraft con garganta
Presión del gasificador	Atmosférica
Relación (Aire/combustible)**	1.5
Eficiencia del gasificador	96,07%

***Valor del porcentaje peso a peso**

****Relación establecida para gasificadores de lecho fijo**

Como se observa en la Tabla 4, el gasificador alcanza un rendimiento del 96.07%. De acuerdo con el grupo de investigación de procesos termoquímicos de la universidad de Zaragoza el rendimiento del gasificador se encuentra entre el 75 y 89% [ARAUZO J, 2006]. El resultado obtenido es superior al esperado, esta desviación se dio como consecuencia de las consideraciones, ajustes y suposiciones hechas dentro de la simulación del proceso. Por ejemplo en la corriente de salida del gasificador (gas a enfriar) se asumen condiciones ideales ignorando la presencia de alquitranes.

En una granja con capacidad para 150000 aves se producen 507000 Kg de RAV/ciclo que permiten un flujo de alimentación al gasificador de 500 Kg/hora. Lo anterior se ajusta a la capacidad mínima de operación para un gasificador de tiro invertido (100-800Kg/hora) [OÑATE, 2006]. Por medio del arreglo precalentador E-104 y turbina K-101 se calcula una potencia producida de 514,3 KW por cada 500 Kg/h de alimento. La densidad de la biomasa es superior a la mínima

requerida ya que densidades inferiores a 200 Kg/m³ genera dificultad en el manejo de la biomasa en los conductos verticales. El contenido de humedad se encuentra dentro del rango aceptable (10-20%) para la operación del gasificador seleccionado. A continuación en la Tabla 5 se define la composición y condiciones del gas producto (gas a enfriar).

Tabla 5. Especificaciones del gas a enfriar.

CORRIENTE DE GAS A ENFRIAR	
CONDICIONES	
Flujo volumetrico (m ³ /h)	7345
Temperatura (°C)	900
Presión (kPa)	101,3
Densidad (kg/m ³)	0,2786
COMPOSICION FRACCION VOLUMEN	
CO	0,2212
CO ₂	0,1121
H ₂	0,0745
N ₂	0,5922

En el gasificador se producen 14,69 m³ de gas por cada kilogramo RAV procesado. Este volumen de combustible es equivalente a 12,50m³ de gas natural; 91,12KW/h de energía eléctrica y 8,12 litros de petróleo. Las fracciones de los tres compuestos de mayor interés: Hidrogeno, Dióxido de carbono y Monóxido de Carbono se ajustan a los valores de referencia para la gasificación mostrados en la tabla 3. El Nitrógeno produce un efecto de dilución y por consiguiente disminuye la concentración de Hidrogeno. Se realizaron los cálculos desplazando el N₂ de las reacciones y se obtuvieron valores de: 54.24% de CO; 27,49% de CO₂ y 18.27% de H₂ (Composición %volumen). Lo anterior demuestra que al utilizar un agente gasificante libre de nitrógeno como vapor de agua u oxigeno se incrementa el poder calorífico del gas producto y por consiguiente la eficiencia de la tecnología pero al mismo tiempo incrementa los costos de inversión. Es importante que dentro del gasificador se consuma toda la humedad contenida en el sólido de

alimentación para favorecer la producción de hidrogeno y disminuir la generación de metano.

El análisis de puesta en marcha permite predecir el costo de inversión para la capacidad de operación estudiada en el diseño conceptual. El índice de costo de planta determina la inversión de Capital en tiempo presente para la producción de energía a partir de estiércol avícola. En la tabla 6 se muestra el promedio anual del índice de costo de planta.

Tabla 6. Promedio anual del Índice de costo de planta (PCI)

CHEMICAL ENGINEERING PLANT COST INDEX			
Año	Valor	Año	Valor
1990	357,6	1999	390,6
1991	361,3	2000	394,1
1992	358,2	2001	394,3
1993	359,2	2002	396
1994	368,1	2003	402
1995	381,1	2004	444
1996	381,7	2005	468
1997	386,5	2006	500
1998	389,5	2007	525

Fuentes: Incitec Pivot Limited. Credit Suisse Asian Investment Conference, 2008
Updating the CE Plant Cost Index, 2002. www.che.com

El costo de capital para la tecnología de gasificación de pollinaza con fines energéticos reportado en el año 2001 es de USD\$1520/KW para un sistema de 0.5MW y USD\$1121/KW para un sistema de 1MW [FLORA AND RIAHI-NEZHAD, 2006]. Teniendo en cuenta los datos anteriores se proyectó el costo de inversión para el año 2007 utilizando los valores de la tabla 6.

$$I_{2007} = I_{2001} \left(\frac{PCI_{2007}}{PCI_{2001}} \right) = USD\$760.000 \left(\frac{525}{394.3} \right) = USD\$1.011.919,86$$

$$I_F = 0.85(I_{2007}) = 0.85(USD\$1.011.919,86) = USD\$860.131,88$$

A continuación en la Tabla 7 se describen los costos directos e indirectos para la puesta en marcha de la instalación de gasificación de pollinaza con capacidad de 12 ton/día de biomasa.

Tabla 7. Costos de los componentes de la Inversión Fija de la planta de aprovechamiento energético de la pollinaza.

COSTOS	COMPONENTES	%IF	VALOR (USD\$)
DIRECTOS	Equipos Fundamentales	25	215.032,97
	Instalación de Equipos	9	77.411,87
	Instrumentación y Sistemas de control	3	25.803,96
	Tuberías y Accesorios	10	86.013,19
	Materiales y Equipos electricos	4	34.405,28
	Instalaciones de Servicios	7	60.209,23
	Edificaciones	6	51.607,91
	Adecuaciones de Terreno	2	17.202,64
	Terreno	1	8.601,32
	INDIRECTOS	Ingeniería y Supervisión	13
Gastos de Construcción		9	77.411,87
Honorarios de contratistas		6	51.607,91
Imprevistos		5	43.006,59
			860.131,88

Los porcentajes de participación para la inversión fija de los componentes de costo se asignan de acuerdo a su importancia. El costo de los equipos fundamentales es el más elevado. La inversión total para un tamaño de planta de 0.5 MW será de USD\$1.011.919⁸⁶ y la inversión Fija para la puesta en marcha estará alrededor de USD\$860.131⁸⁸.

CONCLUSIONES

El Potencial Energético de la pollinaza de las granjas del municipio de Lebrija (Santander) puede ser aprovechable mediante su tratamiento termoquímico en un sistema integrado de gasificación. El ciclo de gasificación propuesto en el presente trabajo de investigación es una alternativa proyectada a futuro como fuente de producción energética para el sector avícola en Colombia. Además de significar una solución al problema de manejo de residuos sólidos de este sector agroindustrial.

El gasto energético de una granja promedio es de 2234 MWh/año. La cantidad de estiércol que se produce en un año puede satisfacer los requerimientos de operación de la tecnología y producir 2233,8 MWh/año, logrando autoabastecer su demanda energética. La retribución a largo plazo de la inversión inicial USD\$ 860.131,88 para su puesta en marcha representa el principal desafío en términos económicos.

Mediante la simulación del ciclo de gasificación para la pollinaza en el software Hysys 3.2 se obtuvo un gas con fracciones molares de 22,51% CO; 7,50% CO₂; 9,20% H₂; 60,74% N₂ y un PCI de 3,70MJ/Kg suficiente para su utilización como combustible en la generación de electricidad y calor. El gasificador tubo un rendimiento del 96.07%. La combustión del gas producto genera 514,2 KW utilizando un motor de combustión interna a gas. El sistema de Cogeneración se ubica en los gases residuales del motor conocidos con el nombre de humos, los cuales se aprovecharan en el precalentamiento de aire o agente gasificante dando un mejor rendimiento del proceso.

Dentro de la caracterización de la pollinaza en Santander se obtuvo un contenido de 0,355% de S y 3,255% de N estos valores son mínimos en contraste con los

reportados para combustibles fósiles. Desde el punto de vista ambiental tanto los óxidos de azufre (SO_2) como los de nitrógeno (NO_x) contribuyen a la formación de la lluvia ácida. No obstante la posibilidad de formación de NO_x a partir de la pólina utilizada como combustible para la gasificación es despreciable, debido a que la temperatura de operación alcanzada por el gasificador (900°C) limita la posible formación de estos compuestos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ARAUZO JESUS, Experiencias en gasificación de biomasa, Instituto de investigación en Ingeniería de Aragón, grupo de procesos térmicos (GPT), Universidad de Zaragoza, 2006.

BHATTACHARYA S.C.; ABDUL SALAM P.; Hu Runqing, H.I. Somashekar, D.A. Racelis, P.G. Rathnasiri, Rungrawee Yingyuad. An assessment of the potential for non-plantation biomass resources in selected Asian countries for 2010. Energy conservation & Management 2005.

BHATTACHARYA S.C., THOMAS JM, ABDUL SALAM P. Greenhouse gas emissions and the mitigation potential of using animal wastes in Asia. Energy 1997, v. 22, p. 1079-85

CARDONA ALZATE, CARLOS A.; SÁNCHEZ TORO, OSCAR J.; RAMÍREZ ARANGO, JULIAN A.; ALZATE RAMÍREZ, LUIS E. Biodegradación de residuos orgánicos de plazas de mercado. REVISTA COLOMBIANA DE BIOTECNOLOGÍA, v VI, No. 2 Diciembre 2004 78-89.

CASTELLS, XAVIER ELIAS. Tratamiento y Valorización energética de residuos, Ediciones Díaz de Santos, Madrid, 2005, p. 413 y 475

CERVANTES, F.J; SALDIVAR-CABRALES, J; YESCAS, J.F. Estrategias para el aprovechamiento de desechos porcinos en la agricultura. Revista Latinoamericana de Recursos Naturales, 3 (1): 3-12, 2007

Censo avícola enero 2008, FENAVI-ICA. Censo de avicultura comercial enero 2008, Distribución en granjas por tipo de explotación, Instituto Colombiano

Agropecuario (ICA). <http://www.ica.gov.co/getdoc/0de82b19-73b7-41d6-b62b-dedad0216519/Avicultura-en-Colombia.aspx>.

Decreto N° 29145 del 28 de Agosto de 2000, Reglamento sobre el manejo y control de la pollinaza y gallinaza, Ministerios de Agricultura y Ganadería, de Salud y del Ambiente y Energía, Costa Rica.

DUQUE, CARLOS. O Ph.D. Industria avícola: impacto ambiental y aprovechamiento de los residuos, Seminario Internacional Gestión integral de residuos sólidos y peligrosos, siglo XXI, Programa nacional de biotecnología. CORPOICA-CEISA, 1999.

ESCALANTE, H. PhD; ORDUZ, J; LAVERDE, D; ZAPATA, H; YEPES, L. Oferta energética de la biomasa residual en Colombia, XI Seminario Internacional del medio ambiente y desarrollo sostenible, CEIAM-ASEDUIS-UIS, Cartagena, Colombia, 2008.

(FAO) ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION. El gas de madera para combustible de motores, Estudio FAO Montes 72, Roma, 1993.

FLORA, JOSEPH R. V. PhD; P.E.; RIAHI-NEZHAD CYRUS. Availability of Poultry Manure as a Potential Bio-fuel Feedstock for Energy Production (Final Report). Southeastern Regional Biomass Energy Program, USA, 2006, p. 1-26

(IDAE) INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACION Y AHORRO DE LA ENERGIA. Energías Renovables, Biomasa: Gasificación, C/Madera 8, Madrid, 2007.

KELLEHER, B.P; LEAHY, J.J; HENIHAN, A.M; O'DWYER, T.F; SUTTON, D; AND LEAHY, M.J. Advances in Poultry Litter Disposal Technology – A Review. *Bioresource Technology*, 83:27-36, 2002.

LEVENSPIEL, O. Flujo de fluidos e intercambio de calor, Editorial Reverte, Barcelona-España, 1993, p.237 y 238.

MURILLO, TERESA. Alternativas de uso para la gallinaza, XI Congreso Nacional Agrónomo, Conferencia 94, Pecuarios, 1999, p. 427-436.

OÑATE ARRESTI, DIEGO. Gasificación y biomasa “una simbiosis de futuro”, España, 2006.

PERERA K.K.C.K.; RATHNASIRI P.G.; SENARATH S.A.S.; SUGATHAPALA A.G.T., BHATTACHARYA S.C.; ABDUL SALAM P. Assessment of sustainable energy potential of non-plantation biomass resources in Sri Lanka. *Biomass and Bioenergy* 29 (2005) 199–213.

PETERS, MAX S; TIMMERHAUS, KLAUS D. Plant desing and economics for chemical engineers, McGraw Hill International Editions, Fourth edition, The United States, 1991, p. 150-211.

PRIMER CENSO NACIONAL DE AVICULTURA INDUSTRIAL 2002. Ministerio de Agricultura y desarrollo rural, Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), Federación Nacional de Avicultores de Colombia (FENAVI), Fondo Nacional Avícola (FONAV).

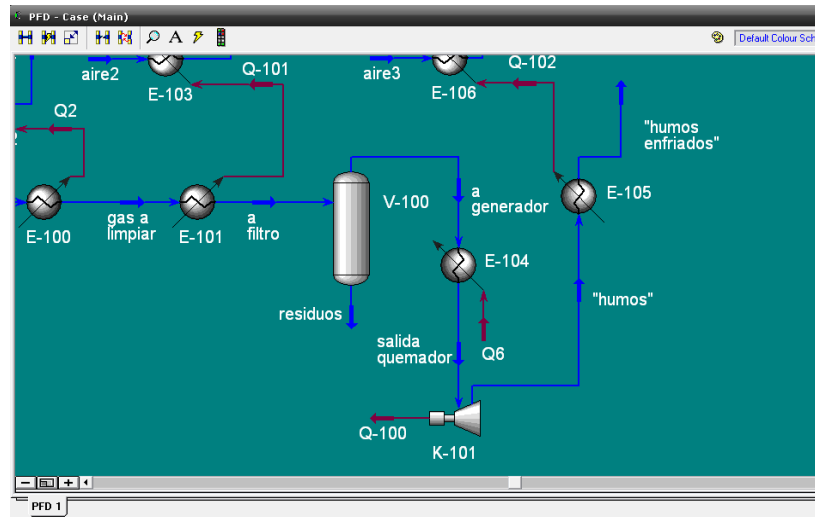
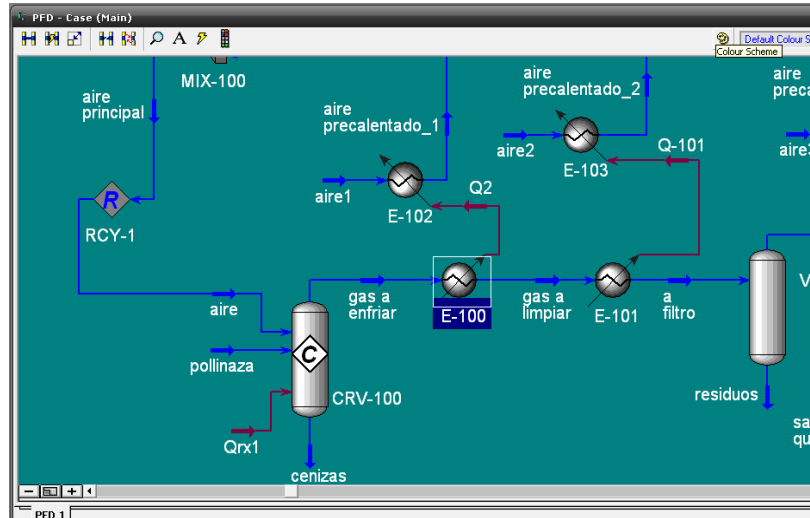
REARDON, J.P; LILLEY, A; BROWNE, K; BEARD, K; WIMBERLY, J; AND AVENS, J. Demonstration of a Small Modular Biopower System Using Poultry Litter. Final Report submitted to the Department of Energy, 2001

SOUZA, SAMUEL N.M.; SORDI, ALEXANDREOLIVEIRA; FRANCISCO H. Distribuição Geográfica do Potencial Energético dos Resíduos da Avicultura de corte na Região oeste do Paraná– 4º Encontro de Energia No Meio Rural, Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná UNIOESTE. Cascavel-PR: (045) 2203000.

TOBIA C; VARGAS E. Evaluación de las excretas de pollo de engorde (pollinaza) en la alimentación animal. Agronomía Costarricense, v 24, n 001, p 47-53. Universidad de Costa Rica, 2000.

VISVANATHAN C; CHIEMCHAI SRI CHART. Management of Agricultural Wastes and Residues in Thailand: Wastes to Energy Approach.

ANEXO A. RESULTADOS SIMULACION HYSYS 3.2



K-101

Design

Connections
Parameters
Links
User Variables
Notes

Efficiency
Adiabatic Efficiency: 75.000
Polytropic Efficiency: 63.253

Duty: 514.3 kW

Design Rating Worksheet Performance Dynamics

Delete OK Ignored

CRV-100 - Global Rxn Set

Reactions
Details
Results

Reactor Results Summary
Reaction Extents
Reaction Balance

	Total Inflow	Total Rxn	Total Outflow
CO	0.0000	17.18	17.18
CO2	0.0000	5.719	5.719
Methane	0.0000	0.0000	0.0000
Hydrogen	0.0000	7.025	7.025
Oxygen	10.79	-10.79	0.0000
Nitrogen	46.39	0.0000	46.39
pollinaza*	31.09	-22.89	8.199
H2O	7.025	-7.025	7.806e-016

Design Reactions Rating Worksheet Dynamics

Delete OK Ignored

MODIFICACION EN LA POLLINAZA - HYSYS 3.2 - [Workbook - Case (Main)]

File Edit Simulation Flowsheet Workbook Tools Window Help

Environment: Case (Main)
Mode: Steady State

Name	pollinaza	gas a enfriar	cenizas	aire	a generador	residuos	"humos"	gas a limpiar	aire1
Vapour Fraction	0.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Temperature [C]	70.00	900.0	900.0	857.2	381.4	381.4	500.0	500.0	20.00
Pressure [kPa]	101.3	101.3	101.3	101.3	101.3	101.3	1.525	101.3	101.3
Molar Flow [kgmole/h]	38.12	76.31	8.199	57.18	76.31	0.0000	76.31	76.31	25.00
Mass Flow [kg/h]	500.0	2046	98.48	1645	2046	0.0000	2046	2046	719.1
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	0.9567	2.721	0.2188	1.915	2.721	0.0000	2.721	2.721	0.8373
Heat Flow [kJ/h]	-1.907e+006	-1.982e+006	3.603e+005	1.500e+006	-3.311e+006	0.0000	-3.018e+006	-3.018e+006	-3809
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-5.003e+004	-2.597e+004	4.394e+004	2.623e+004	-4.340e+004	0.0000	-3.955e+004	-3.955e+004	-152.4

Name	aire precalentac	salida quemado	a filtro	aire2	aire precalentac	"humos enfriad"	aire3	aire precalentac	aire principal
Vapour Fraction	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Temperature [C]	1295	1200	381.4	20.00	500.0	428.1	20.00	500.0	857.2
Pressure [kPa]	101.3	101.3	101.3	101.3	101.3	1.525	101.3	101.3	101.3
Molar Flow [kgmole/h]	25.00	76.31	76.31	20.00	20.00	76.31	12.18	12.18	57.18
Mass Flow [kg/h]	719.1	2046	2046	575.3	575.3	2046	350.4	350.4	1645
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	0.8373	2.721	2.721	0.6698	0.6698	2.721	0.4079	0.4079	1.915
Heat Flow [kJ/h]	1.033e+006	-1.167e+006	-3.311e+006	-3047	2.904e+005	-3.197e+006	-1856	1.768e+005	1.500e+006
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	4.130e+004	-1.529e+004	-4.340e+004	-152.4	1.452e+004	-4.189e+004	-152.4	1.452e+004	2.623e+004

Name	gas salida	nitrogeno	composicion	Qx1	Q2	Q-100	Q6	Q-101	Q-102
Vapour Fraction	1.0000	1.0000	1.0000	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>
Temperature [C]	426.9	426.9	426.9	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>
Pressure [kPa]	1.362	1.362	1.362	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>
Molar Flow [kgmole/h]	73.26	46.39	26.87	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>
Mass Flow [kg/h]	2010	1299	710.4	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	2.670	1.611	1.059	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>
Heat Flow [kJ/h]	-3.745e+006	5.627e+005	-4.308e+006	-1.214e+006	1.036e+006	1.851e+006	2.145e+006	2.934e+005	1.787e+005
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-5.112e+004	1.213e+004	-1.603e+005	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>

Streams Unit Ops