

**PRODUCCIÓN DE GAS DE SÍNTESIS A PARTIR DE POLLINAZA PARA
SUSTITUCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ENERGÉTICOS DE USO EN PLANTA DE
SACRIFICIO**

**CAROLINA VARGAS SÁNCHEZ
JESÚS MAURICIO CARRILLO FLÓREZ**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
INGENIERÍA EN ENERGÍA
BUCARAMANGA
2013**

**PRODUCCIÓN DE GAS DE SÍNTESIS A PARTIR DE POLLINAZA PARA
SUSTITUCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ENERGÉTICOS DE USO EN PLANTA DE
SACRIFICIO**

**CAROLINA VARGAS SÁNCHEZ
JESÚS MAURICIO CARRILLO FLÓREZ**

**Monografía para optar al título de
Especialista en Gerencia de Recursos Energéticos**

**Evaluador
Ing. Luis Eduardo Jaimes**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
INGENIERÍA EN ENERGÍA
BUCARAMANGA
2013**

*A mis padres y mi hermano,
mi apoyo incondicional y mi inspiración.*

Caro

Agradezco a Dios por la sabiduría y orientación en mi proyecto de vida.

*A mis padres, Nancy y José de Jesús por su apoyo y ejemplo de compromiso con
las convicciones personales.*

A Mamá Mery, Papá Camilo y Tío Camilo por su motivación y apoyo

A mi novia Venus por “nuestros buenos momentos”.

A mi compañera Carolina por el trabajo en equipo.

A la Universidad Autónoma de Bucaramanga por su oportuna orientación.

Jesús Mauricio

AGRADECIMIENTOS

Ingeniera Sara Inés Celis Solano, Ing. Ambiental, Itacol S.A.

Ingeniero Pedro José Vega Mendoza, Director de Proyectos, Itacol S.A.

Ingeniero Juan Carlos García Ayala, Gerente, Itacol Energía S.A. E.S.P.

Ingeniero Juan Carlos Gómez, Jefe de Mantenimiento planta Lebrija (2012), Avícola El Madroño S.A.

Doctor Ricardo Plata, Veterinario Granjas, Avícola El Madroño S.A.

Ingeniero Oscar Mantilla, Gerente de Producción planta Lebrija, Avícola El Madroño S.A.

Ingeniero José Luis Guzmán, Jefe de Mantenimiento planta Lebrija (2013), Avícola El Madroño S.A.

Ingeniero Camilo Cortecero, Jefe de Mantenimiento planta Cartagena (2013), Avícola El Madroño S.A.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	3
AGRADECIMIENTOS.....	4
TABLA DE CONTENIDO.....	5
LISTA DE TABLAS.....	8
LISTA DE FIGURAS.....	10
RESUMEN.....	11
INTRODUCCIÓN.....	12
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN.....	16
1. LÍNEA BASE DEL PROYECTO.....	19
1.1. CONSUMO DE ENERGÍA EN LA PLANTA DE BENEFICIO.....	19
1.2. PRODUCCIÓN DE BIOMASA RESIDUAL EN LAS GRANJAS DE POLLO DE ENGORDE.....	23
1.2.1. Cama y pollinaza.....	24
1.2.2. Características de la pollinaza y su potencial energético.....	25
2. GASIFICACIÓN.....	28
2.1. VENTAJAS DE LA GASIFICACIÓN.....	30
2.2. PROCESO DE PRODUCCIÓN DE SYNGAS.....	32
2.3. GASIFICACIÓN DE BIOMASA.....	39
2.3.1. Propiedades físicas y químicas de la biomasa.....	39
2.3.2. Análisis y selección de tecnología.....	41
2.3.3. Producción de <i>syngas</i> a partir de biomasa.....	43
2.4. GENERACIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE SYNGAS.....	44

2.5.	MARCO AMBIENTAL Y LEGAL	44
2.5.1.	Residuos en la granja de producción de pollo de engorde	44
2.5.2.	Planta de beneficio: Emisiones	47
2.5.3.	La Gasificación y generación de energía con <i>Syngas</i> no contaminan.....	47
2.6.	INCENTIVOS A PROYECTOS FNCE Y MDL.....	48
3.	ANÁLISIS FINANCIERO	50
3.1.	IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO DE GASIFICACIÓN DE POLLINAZA	50
3.1.1.	Producción de pollinaza	53
3.1.2.	Disposición de la pollinaza actualmente.....	55
3.1.3.	Costo de la energía eléctrica	56
3.1.4.	Costo del gas natural.....	57
3.1.5.	Costos de transporte de pollinaza hacia la planta de tratamiento	58
3.1.6.	Inversión inicial: Costo de equipos	59
3.1.7.	Energía eléctrica generada por el sistema.....	62
3.1.8.	Pollinaza requerida para sustituir el uso de gas natural	65
3.1.9.	Energías eléctrica y térmica generadas con la pollinaza disponible	67
3.1.10.	Subproductos del piro-gasificador	67
3.1.11.	Mantenimiento del sistema y mano de obra.....	68
3.2.	ESCENARIOS PARA EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO.....	68
3.2.1.	Línea Base	69
3.2.2.	Alternativas de generación de energía	73
3.3.	METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN FINANCIERA	73
3.3.1.	Cálculo de Promesa de Valor para cada escenario	73
3.3.2.	Análisis por árboles de decisión	75
3.3.3.	Análisis por Relación Beneficio / Costo	78
	CONCLUSIONES	82
	BIBLIOGRAFÍA	84
	Bibliografía sugerida	85

ANEXO I. CD 87

ANEXO II. CONTACTOS POSIBLES PROVEEDORES..... 89

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Líneas de flujo de energía de uso y producción en la empresa avícola.	16
Tabla 2. Consumo de energía eléctrica mensual enero a agosto de 2.013 en la planta de beneficio de Lebrija, Santander.	22
Tabla 3. Consumo de gas natural mensual enero a junio de 2.013 en la planta de beneficio de Lebrija, Santander.	22
Tabla 4. Consumo de energía eléctrica mensual enero a agosto de 2.013 en la planta de beneficio de Cartagena.	22
Tabla 5. Consumo de gas natural mensual marzo a agosto de 2.013 en la planta de beneficio de Cartagena.	22
Tabla 6. Resultados de muestras de pollinaza sanitizada para humedad y cenizas.	27
Tabla 7. Poder calorífico de algunos gases.	30
Tabla 8. Tipos de gasificadores según forma de contacto entre el agente gasificante y la biomasa de alimentación.	33
Tabla 9. Composición típica del gas producto de la gasificación de biomasa, según Ankur.	43
Tabla 10. Residuos sólidos de la granja de engorde de pollo, sus impactos y tratamientos preventivos.	46
Tabla 11. Alternativas de aplicación del sistema de gasificación de pollinaza.	51
Tabla 12. Peso por cama en los municipios de la zona oriente.	54
Tabla 13. Cantidad de pollinaza producida por cada municipio.	54
Tabla 14. Ingreso por venta de pollinaza sanitizada en la zona oriente.	55
Tabla 15. Ingreso por venta y Costo por disposición de la pollinaza.	56
Tabla 16. Consumo de energía eléctrica y tarifa para las plantas de beneficio.	57
Tabla 17. Costo promedio de la factura de energía eléctrica al mes incluido el impuesto de alumbrado público.	57
Tabla 18. Costos promedio mes de gas natural.	58
Tabla 19. Costo de transporte de Pollinaza de las granjas de la zona oriente hasta la planta de Lebrija.	58
Tabla 20. Inversión (CAPEX) para el escenario de generación de energía eléctrica en Lebrija.	61

Tabla 21. Valores de inversión (CAPEX) para cada escenario.	62
Tabla 22. Cantidad de energía producida para cada escenario de generación de energía eléctrica.	64
Tabla 23. Cantidad de pollinaza requerida para suplir el consumo total de gas natural.	66
Tabla 24. Distribución de pollinaza para generación de energías térmica y eléctrica. .	67
Tabla 25. Resultados Valor Presente Neto (VPN) del status quo.	70
Tabla 26. VPN escenarios de aplicación del sistema de gasificación.	74
Tabla 27. Cálculo de beneficios de los diferentes escenarios.	79
Tabla 28. VPN del beneficio y VPN de Inversión para cada escenario.	80
Tabla 29. Resultados de escenarios de aplicación del sistema de gasificación.	80
Tabla 30. Contenido del Modelo de Evaluación del proyecto en Excel.	88

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama Producción de carne de pollo en canal.	20
Figura 2. Costos de captura y compresión de CO ₂ según tecnología de generación de energía eléctrica.	31
Figura 3. Esquema de gasificador de lecho fijo a contracorriente.....	35
Figura 4. Diagrama general de funcionamiento de una planta de gasificación.	38
Figura 5. Diagrama del proyecto de gasificación de Pollinaza para generación de energía eléctrica o generación de vapor.	52
Figura 6. Portada Modelo de Evaluación Financiera para el proyecto: Síntesis de gas a partir de desechos orgánicos de granjas avícolas para generación de energía.....	69
Figura 7. Vista de la hoja "Sin Proyecto Lebrija" del Modelo, evaluación FCL escenario sin proyecto para la planta de Lebrija.....	71
Figura 8. Vista de la hoja "Sin Proyecto Cartagena" del Modelo, Modelo Evaluación FCL escenario Sin proyecto Cartagena.....	72
Figura 9. Árbol de decisión para los escenarios de la zona oriente.	76
Figura 10. Árbol de decisión para los escenarios de la zona costa norte.	76
Figura 11. Árbol de decisión para los escenarios de implementación en las dos zonas.	77

RESUMEN

El proyecto evaluado para la empresa Avícola El Madroño propone aprovechar la biomasa residual de las granjas de pollo de engorde para generar energía eléctrica y/o energía térmica, a partir del gas combustible producido a través de gasificación de la pollinaza. La energía generada sería utilizada en las plantas de beneficio. La selección de la tecnología la realizó el fabricante basado en su experiencia de más de 20 años de trayectoria en investigación y desarrollo de gasificadores de biomasa para generación de energía.

Se plantearon y analizaron nueve escenarios: generación de energía eléctrica, o energía térmica o la generación de las dos al mismo tiempo, estas tres opciones aplicadas para la planta de beneficio de la zona Oriente (planta Lebrija), o para la planta de la zona Costa Norte (planta Cartagena) o en las dos plantas al mismo tiempo. Las dos zonas tienen una producción de pollinaza similar y las plantas de beneficio tienen un consumo de energía eléctrica del mismo orden, mientras que el consumo de gas natural en la planta de la costa es casi el doble que el de la planta de la zona oriente. Por otro lado, en la zona oriente la pollinaza es vendida a terceros mientras que en la zona costa se requiere pagar para su adecuada disposición, elevando así los costos de operación para la compañía en esta zona.

Con la pollinaza disponible en la zona oriente se determinó un potencial de generación de energía eléctrica de 560.449kWh al mes y de 517.500kWh mensuales para la zona costa norte.

El principal objetivo de este trabajo fue evaluar la viabilidad del proyecto en cada uno de los escenarios y analizar cuál sería la mejor opción para su implementación. Para esto se utilizó una metodología doble mediante árboles de decisión y relación beneficio/costo. Los resultados mostraron que el proyecto es viable para los escenarios de generación de energía eléctrica o eléctrica y térmica simultáneamente, ya que se obtuvo una relación beneficio/costo mayor a 1 para estos casos: en los casos de generación de energía eléctrica únicamente, se obtuvo 2,12 para Lebrija, 2,91 para

Cartagena y 2,45 para las dos plantas en simultánea, y en los casos de generación de energías eléctrica y térmica se obtuvo 2,13 para Lebrija, 3,10 para Cartagena y 2,53 para las dos plantas.

Se concluyó que los escenarios de implementación para la planta de Cartagena para generación de energía eléctrica o generación combinada de energías eléctrica y térmica son las mejores opciones, ya que se obtuvieron los mayores ahorros, sin embargo, se recomendó implementar el proyecto en Cartagena para generación eléctrica y térmica en una primera etapa, y como segunda etapa implementar el mismo caso en la planta de Lebrija.

INTRODUCCIÓN

La industria avícola representa una parte importante del sector industrial de la región santandereana, una de las empresas más reconocidas del sector, Avícola El Madroño S.A. dueña de las marcas Avicampo, Indupollo y Pollosan, con operación en el centro del país, en el oriente y en la costa norte, quiere analizar y desarrollar nuevas estrategias que le permitan aumentar su competitividad, a partir de la reducción de costos, mejoramiento de procesos, actualización de tecnología, optimización de recursos, entre otras opciones.

A raíz de este impulso por buscar alternativas que aumenten la rentabilidad del negocio, se ha planteado la implementación de nuevas tecnologías que mejoren la matriz energética que abastece las plantas de beneficio. Allí es donde el consumo de energía es muy alto y por consiguiente su costo es un rubro significativo. La reducción del costo de los energéticos totales utilizados en las plantas de beneficio se puede lograr mediante la optimización de procesos, cambio tecnológico, aumentando la eficiencia energética, renegociando los precios de los energéticos actuales y, por otra parte, mediante reemplazo de combustibles y traslado hacia otras fuentes de energía.

Las opciones para esta empresa son diversas en materia de combustibles, aunque dependerá de la disponibilidad de éstos en la zona donde se encuentra ubicada la planta de beneficio. Es importante tener en cuenta en este análisis los recursos a los que se tiene acceso y valorar los que son propios. La agroindustria es generadora de residuos sólidos orgánicos que tienen valor energético y son utilizados en varias partes del mundo como materia prima para la generación de energía. En Colombia el potencial de biomasa residual es notable, son conocidas sus propiedades y la tecnología para su aprovechamiento, sin embargo su aplicación aún no es común en el país. En la industria avícola los residuos orgánicos se generan en los procesos de incubación, cría de aves y también en el sacrificio. Cada uno de estos procesos proporciona residuos en cantidad, tipo y características diferentes, los residuos de las incubadoras generalmente se llevan a disposición final, los residuos de las plantas de

beneficio son vendidos para procesarlos para su uso en otras áreas o industrias de fabricación de harinas de origen animal y alimento para animales, permitiendo así que la empresa obtenga un ingreso económico; el residuo principal de la cría de aves, llamado pollinaza, se puede vender en algunas zonas para su tratamiento y posterior uso como abono orgánico, mientras que en otras zonas del país es necesario pagar para que se realice su retiro de las granjas y disposición final, ocasionando mayor gasto.

Dado este panorama, una alternativa que salta a la vista es el aprovechamiento del potencial energético de la pollinaza. Sería muy conveniente para el negocio incrementar el valor de este residuo y reintegrarlo al proceso para su propio beneficio. Para llevar a cabo este aprovechamiento pueden plantearse diferentes alternativas. La pollinaza bien se puede usar como combustible directo en una caldera de biomasa, después del tratamiento adecuado y su posterior peletización, de tal forma que se facilita su manejo y almacenamiento. La pollinaza peletizada podría ser suficiente para el reemplazo total del combustible actual para generación de vapor en la planta de beneficio o, de no ser así, se podría combinar con biomasa de otras fuentes. La pollinaza también puede llevarse a un proceso de biodigestión anaeróbica para la generación de biogás con el que se puede reemplazar el GLP utilizado para calefacción en los galpones los primeros días de crianza de las aves. Esta es tal vez la opción que más desarrollo ha tenido en Colombia y el mundo por requerir una inversión inicial baja y por la sencillez de su operación y mantenimiento. Otras opciones para el aprovechamiento de este recurso son procesos termo-químicos adicionales a la combustión, para los cuales la pollinaza se ve como un combustible atractivo. Se puede entonces tomar como alternativa la incineración, pirolisis o gasificación de la pollinaza, con el fin de obtener combustible gaseoso para la generación de vapor y/o energía eléctrica.

La empresa avícola mencionada anteriormente deberá realizar un análisis financiero y técnico de todas las alternativas existentes con el fin de encontrar la que más se ajusta a sus intereses. Por parte de la presente obra, el objetivo será el de analizar una de estas tecnologías para el caso específico de la empresa. Se ha optado por el proceso de gasificación ya que su implementación es muy poco conocida en el país, pero sus ventajas, alcances y diversidad de materias primas que puede procesar son ya

conocidas en el mundo, principalmente en países como India y Estados Unidos se han adelantado varias investigaciones y puesto en marcha una gran cantidad de proyectos.

La gasificación es un proceso termoquímico en el que ocurre una combustión incompleta de la materia prima ya que se lleva a cabo en deficiencia de oxígeno, de este proceso se obtiene una mezcla de gases que después se constituirá en el nuevo combustible. El contenido y poder calorífico del gas combustible logrado dependerá de la materia prima utilizada y del catalizador seleccionado para el proceso de gasificación, sin embargo, se reconoce por ser un gas versátil y la gasificación por ser una tecnología limpia.

La evaluación financiera será una herramienta de toma de decisión para la gerencia, y en general para el sector avícola, en cuanto a la implementación del proyecto al compararlo con las otras alternativas planteadas. Pero supondrá además, un valioso punto de partida y un interesante aporte al estado del arte para procesos de gasificación de biomasa residual como sistema de generación y autogeneración de energía y para el aprovechamiento de los residuos sólidos generados por las diferentes actividades industriales y agroindustriales desarrolladas en el país. Será la base para analizar la viabilidad de implementar el proyecto con otro tipo de residuos.

Esta monografía se presenta como trabajo de grado para optar al título de Especialista en Gerencia de Recursos Energéticos.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

Al realizar una evaluación del flujo de energía para la empresa, el análisis nos muestra que el consumo energético en la cadena de producción de carne de pollo en canal, desde la cría en la granja hasta el sacrificio, presenta flujos de energía que tienen un porcentaje recuperable a través de tecnologías como la gasificación de biomasa. A manera de síntesis podemos decir que en las granjas se utiliza energía eléctrica y GLP, y en las plantas de beneficio se consume energía eléctrica y gas natural. En ambos procesos se genera biomasa residual que es vendida a terceros para procesos agroindustriales. La Tabla 1 expone el resumen de las 6 líneas de flujo de energía en la empresa.

	Actividad	Producto	Origen	Área	Destino
1	Consume	Energía eléctrica	Red nacional	Planta de beneficio	-
2	Consume	Gas natural	Red domiciliaria	Planta de beneficio	-
3	Produce	Biomasa residual (plumas, sangre, vísceras)	-	Planta de beneficio	Harinas de origen animal
4	Consume	Energía eléctrica	Red nacional	Granjas	-
5	Consume	GLP	Proveedor local	Granjas	-
6	Produce	Biomasa residual (pollinaza)	-	Granjas	Abonos

Tabla 1. Líneas de flujo de energía de uso y producción en la empresa avícola.

De las líneas en las que se consume energía, las más significativas en costo son la 1, *consume energía eléctrica del sistema interconectado nacional para la planta de beneficio*, y la 2, *consume gas natural de la red domiciliaria para la planta de beneficio*. Se observa que estas dos líneas tienen un consumo continuo, en comparación con el GLP que utilizan las granjas, por ejemplo, y además el consumo es centralizado ya que

las plantas de beneficio son sólo dos, es decir, son menos puntos de consumo que la cantidad de granjas con que cuenta la empresa.

Por otra parte, de las líneas en las que se genera energía en forma de biomasa residual, se conoce que el proceso 3, *produce biomasa residual en la planta de beneficio para clientes industriales*, presenta rentabilidad y beneficio para la compañía, además de ser el eje de negocio para otra empresa del mismo grupo económico. Esta biomasa no sería aplicable al proyecto.

Mientras tanto, la línea 6, *produce biomasa residual en las granjas para clientes agrícolas*, es adecuada para la empresa ya que le permite cumplir con normas ambientales de disposición de desechos, sin embargo no es un proceso rentable.

Para la empresa, en la zona oriente, la pollinaza es vendida fácilmente a terceros para su tratamiento y posterior comercialización como enmiendas o abonos para suelos. Mientras que en la zona de la costa norte debe contratarse un servicio especial para que la pollinaza generada en las granjas sea recogida, empacada y transportada hasta una planta de tratamiento o almacenamiento externo, ya que no hay clientes para este bioproducto como en la zona oriente, lo cual implica un sobre costo para la compañía.

Se conoce que la biomasa contiene energía que se podría aprovechar ya sea como energía eléctrica o para producción de vapor, por esto se decide analizar el uso de la biomasa residual proveniente de las granjas para suplir la necesidad energética de las plantas de beneficio. El objetivo es comprobar si la biomasa residual de las granjas podría sustituir las fuentes de energía actuales de las plantas de beneficio y además reducir los costos del suministro energético.

Como se verá más adelante, los costos de la energía para las plantas de beneficio y los costos de la disposición de la pollinaza en la costa norte, superan en gran medida los ingresos por la pollinaza que se logra vender. Al analizar el valor presente de esta situación, el resultado es negativo, es decir que la línea base del proyecto es negativa. Con la implementación del proyecto se podría mejorar la situación y lograr un beneficio nuevo para la empresa, es decir, que el valor presente neto se reduciría. De esta forma, se producen ahorros económicos para la empresa.

Al aprovechar la pollinaza para generación de energía a través de la gasificación, se logra hacer una disposición adecuada de este residuo, acorde con los lineamientos ambientales que rigen la materia. La tecnología de gasificación de biomasa ofrece un proceso limpio, amigable con el ambiente, ya que no produce emisiones y los contaminantes que pueda tener el gas producido son filtrados fácilmente y a costo más bajo que el de limpiar otros combustibles. Además, se evita la emisión de gases de efecto invernadero por la generación eléctrica de la red nacional.

Con el proyecto se reintegra la pollinaza a la cadena productiva de la empresa y se crea un ciclo sostenible ambiental y económicamente.

1. LÍNEA BASE DEL PROYECTO

1.1. CONSUMO DE ENERGÍA EN LA PLANTA DE BENEFICIO

La producción de carne de pollo en canal demanda un alto consumo de energía eléctrica para los equipos de cada línea y energía térmica para calentar el agua que se requiere en algunos procesos. En las granjas, las aves se disponen en guacales plásticos y son transportadas hasta la planta de beneficio, donde son recibidas casi inmediatamente. Cada vehículo que llega a la planta es pesado y verificado, luego los guacales se bajan y son pesados por grupos. Las aves son evaluadas, sólo se recibirán para el proceso aves en pie (vivas) y saludables. Cada ave es colgada de sus patas en la línea o cadena de proceso.

Por otro lado, los guacales vacíos se transportan automáticamente hacia la lavadora de guacales, la cual utiliza agua calentada por una línea de vapor de la caldera. También se utiliza agua mezclada con vapor para el proceso de limpieza y desinfección de todos los equipos del proceso. Las aves entran al proceso de sacrificio, en el que primero atraviesan un corredor oscuro con el fin de tranquilizarlas, posteriormente siguen al proceso de aturdimiento, donde reciben un choque eléctrico con el objetivo de insensibilizarlas, después se efectúa un corte automático en el pescuezo para que ocurra el desangrado y muerte.

Cuando están desangradas, la misma línea las lleva hacia la primera escaldadora y luego por la escaldadora dos, a mayor temperatura. En este proceso se prepara la piel para facilitar el retiro del plumaje. El agua utilizada en las escaldadoras es una mezcla de agua que proviene de la planta de tratamiento (agua fría) y vapor directo para lograr la temperatura adecuada. El vapor entra por una flauta sumergida que cuenta con una platina difusora en cada punto de inyección.

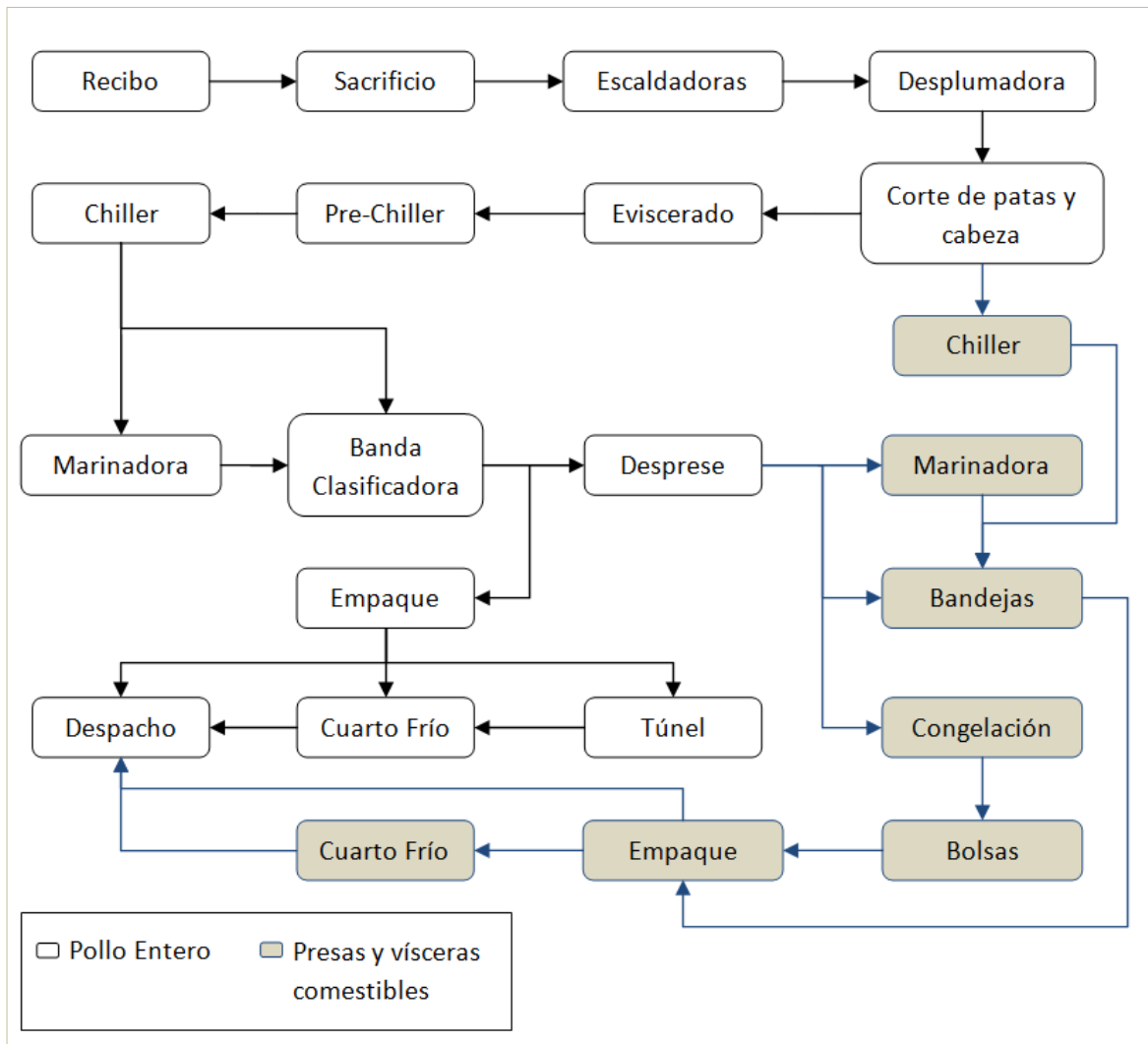


Figura 1. Diagrama Producción de carne de pollo en canal.

Posteriormente, los pollos son pasados por la máquina desplumadora. Las plumas que salen de este proceso y la sangre del proceso de sacrificio, son almacenadas en tanques. Éstos residuos posteriormente son pesados y transportados hacia una fábrica externa para ser convertidos en harina. La línea continúa con el corte de patas y el proceso de eviscerado. De aquí salen las mollejas, el corazón y las vísceras no comestibles. Éstas últimas son conducidas a tanques donde se almacenan para ser llevadas después a la fábrica externa, al igual que las plumas y la sangre.

Las canales deben pasar luego por un proceso de lavado y pre enfriado, para lo cual caen a un pre-chiller que es un tanque de agua limpia a unos 20°C, con un helicoides a lo largo que va agitando las canales y transportándolas hacia la salida del tanque. Allí, con tiempos de residencia y agitación adecuados, se logra lavar y bajar la temperatura de las canales a 26°C, recuperando el agua en los músculos del pollo. Luego pasan a un chiller, donde el agua permanece entre 0,7 y 2,4°C para cerrar los poros y bajar la temperatura de las canales a menos de 4°C. Los corazones, patas, pescuezo y mollejas, son llevados a otros chiller separados.

A la salida del chiller, las canales son llevadas por una banda que hace la clasificación según el peso de cada unidad. Las canales enteras son repartidas a otros procesos posteriores como desprese, empaque, refrigeración y congelación. En la línea de desprese se obtienen por separado los diferentes tipos de presas del pollo, algunas de las cuales se someten a un proceso de marinado. Luego se disponen en bandejas y canastas para ser llevadas a los cuartos fríos. También pueden ser congeladas y empacadas en bolsas y sacos, antes de ser enviadas a almacenamiento en cuartos fríos. Las canales enteras también pueden pasar al túnel de congelación y enviarse a cuartos fríos o despacharse congeladas o frescas hacia los puntos de venta o cuartos fríos externos. Finalmente, en el punto de despacho se entrega el producto en cada vehículo según las especificaciones de cada pedido.

En la planta de beneficio de Lebrija, se tiene capacidad para procesar 7.200 aves por hora, actualmente en el día se sacrifican alrededor de 65.000 pollos al día, 6 días a la semana. Se cuenta con una caldera pirotubular de 100 BHP y presión de trabajo de 100 PSI, el combustible que utiliza es gas natural de la red domiciliaria. El consumo de agua en la caldera no se tiene medido y el consumo de gas natural es de 10.132 m³ promedio mensual, como se observa en la Tabla 3. El consumo de energía eléctrica de la planta es de 545.018 kWh promedio mensual, según los datos de la Tabla 2.

En la planta de beneficio de Cartagena el consumo de energía eléctrica promedio es 553.451 kWh-mes como aparece en la Tabla 4 y el consumo de gas natural es 27.313 m³ en promedio mensual como se muestra en la Tabla 5.

Mes (2.013)	Consumo [kWh]
Enero	520.072
Febrero	496.988
Marzo	555.650
Abril	616.095
Mayo	599.064
Junio	508.103
Julio	520.954
Agosto	543.217
Promedio	545.018

Tabla 2. Consumo de energía eléctrica mensual enero a agosto de 2.013 en la planta de beneficio de Lebrija, Santander.

Mes (2.013)	Consumo [kWh]
Enero	565.802
Febrero	520.627
Marzo	515.850
Abril	489.572
Mayo	542.250
Junio	569.744
Julio	594.313
Agosto	629.453
Promedio	553.451

Tabla 4. Consumo de energía eléctrica mensual enero a agosto de 2.013 en la planta de beneficio de Cartagena.

Mes (2.013)	Consumo [m³]
Enero	9.700
Febrero	10.015
Marzo	9.592
Abril	10.382
Mayo	10.035
Junio	11.067
Promedio	10.132

Tabla 3. Consumo de gas natural mensual enero a junio de 2.013 en la planta de beneficio de Lebrija, Santander.

Mes (2.013)	Consumo [m³]
Marzo	28.289
Abril	28.901
Mayo	26.065
Junio	29.538
Julio	24.793
Agosto	26.290
Promedio	27.313

Tabla 5. Consumo de gas natural mensual marzo a agosto de 2.013 en la planta de beneficio de Cartagena.

1.2. PRODUCCIÓN DE BIOMASA RESIDUAL EN LAS GRANJAS DE POLLO DE ENGORDE

Para el caso en análisis, la biomasa residual de interés será la pollinaza producida en las granjas de la compañía ubicadas en diferentes sectores del departamento de Santander y las granjas del sector de la costa norte.

La cría de pollo de engorde tiene un ciclo aproximado de 60 días, que incluyen la vida del ave, el tiempo de sanitización de la pollinaza dentro del mismo galpón y el tiempo de limpieza y preparación del galpón para alojar el nuevo lote de aves.

La capacidad de encasetamiento en los galpones según Plata¹ es de 13 a 16 aves por metro cuadrado según las condiciones climáticas de la localización de la granja y las características técnicas de la misma. Para el caso de granjas en Barrancabermeja la población puede ser de hasta 13 aves por cada metro cuadrado del galpón, mientras que en las granjas ubicadas en La Mesa de Los Santos se alcanzan las 16 aves por metro cuadrado. Este será un factor importante en la producción de biomasa residual en cada galpón.

Cuando las aves son retiradas, la cama (ahora pollinaza) debe ser tratada para eliminar agentes infecciosos y patógenos antes de ser retirada, esto es, la pollinaza debe ser sanitizada. Este proceso generalmente se hace mediante el método de apilado profundo, utilizando la misma área del galpón. Tarda alrededor de 6 a 8 días, dependiendo del momento en que se alcance la temperatura objetivo. La pollinaza sanitizada se empaqueta y se pesan los costales uno a uno para registrar la cantidad total. El galpón se limpia y se desinfecta también. Mientras se lleva a cabo la sanitización, se revisan el suelo, cortinas, mallas, muros, techos y los equipos del galpón como son los bebederos, comederos, equipo de calefacción, equipo de ventilación, luminarias, entre otros. Se confirma que estén en buen estado, se procede a limpiarlos, repararlos o cambiarlos según sea necesario. Después de la limpieza y desinfección del galpón y los equipos, se procede a instalar una nueva cama sobre toda el área.

¹ ENTREVISTA con el Dr. Ricardo Plata, Jefe de Granjas de Avícola El Madroño S.A. Girón, 27 de marzo de 2012.

La cría y engorde de pollos requieren ciertas características para mantener un ambiente adecuado para las aves dentro del galpón. Las condiciones de iluminación, temperatura, ventilación y humedad son primordiales para la salud de las aves y para el éxito mismo del proceso. En ese sentido y dependiendo de las condiciones climáticas de la zona donde se ubique la granja, éstas podrán ser automatizadas o no. Una granja automatizada tendrá un consumo de energía eléctrica bastante mayor al de una granja de operación netamente manual. En el caso de estudio la mayor parte de las granjas no son automatizadas y su consumo de energía eléctrica no es comparable con el de la planta de beneficio. Es por esta razón que el objetivo del proyecto es suplir las necesidades energéticas de la planta de beneficio y no de las granjas.

1.2.1. Cama y pollinaza

Las granjas que se tienen en cuenta en este trabajo son de sistema a piso, es decir que las aves viven en el suelo libremente dentro del galpón y no en jaulas. Esto hace que para la adecuación del galpón se requiera una cama o sobresuelo que ayude a mantener una temperatura apropiada en el galpón. Por otra parte, las aves requieren un suelo libre de humedad, suave y limpio para evitar enfermedades en la piel de las patas y la pechuga, entre otras afecciones. Esta cama es de unos 10cm de espesor y generalmente está hecha de tamo de arroz, cascarillas, aserrín o materiales similares, dependiendo del costo y disponibilidad del material en la zona donde se encuentre ubicada la granja. A la vez, esta cama sirve como recepción y almacenamiento de las deyecciones de las aves durante su estadía en el galpón, lo que permite retener la humedad que es perjudicial para su salud. Al final de la vida del pollo, cuando se retira el lote de aves para su posterior procesamiento en la planta de beneficio, esta cama, que ahora contiene las deyecciones de las aves, adquiere el nombre de *pollinaza*.

Según las condiciones de la cama de 39 días de edad y las condiciones del ambiente, se puede reutilizar para uno o dos lotes más. Al retirar las aves, la cama primero se flamea para eliminar las plumas, luego se remueve del suelo y se pica para que quede suelta eliminando empastes y verificando que no hayan zonas muy húmedas. Se inicia el proceso de sanitización. En el caso de los galpones ubicados en La Mesa de Los Santos, la cama se utiliza para un solo lote, por lo cual, al finalizar la sanitización es

retirada del galpón. En granjas ubicadas en Piedecuesta y Lebrija, la cama puede utilizarse para uno o dos lotes más, por lo cual, al finalizar la sanitización, la pollinaza sanitizada se extiende nuevamente sobre el suelo del galpón. Una vez enfriada, finalmente se adiciona una nueva capa de cama limpia (tamo de arroz) para recibir el siguiente lote de aves. La cama debe ser sanitizada antes del ingreso de otro lote, el proceso se repite de la misma forma para el tercer lote. Al finalizar el último lote que utilizará la misma cama, ésta se sanitiza también y se retira del galpón. De esta forma, se pueden tener camas de distintas edades, de 39 días (cama de un lote, sin sanitizar), 54 días (un lote, sanitizada), 108 días (dos lotes, sanitizada) o 162 días (tres lotes, sanitizada), por ejemplo.

Existen varios métodos posibles y aprobados por las entidades ambientales y el ICA para la sanitización de los residuos orgánicos de las granjas (ver Tabla 10), sin embargo, se conoce el proceso por apilamiento profundo como el más común. De manera fácil y a bajo costo se logra la estabilización de la pollinaza, utilizando el área del mismo galpón. Al retirar la pollinaza de la granja, ésta debe trasladarse únicamente a plantas de tratamiento. Normalmente el proceso que reciben es de compostaje con el fin de convertirla en un subproducto que puede ser utilizado como abono orgánico, o también puede utilizarse en mezcla de alimento para ganado debido a su contenido de proteína y minerales.

1.2.2. Características de la pollinaza y su potencial energético

La pollinaza en general presenta características comunes como alto contenido de nitrógeno, olor fuerte, presencia de diferentes minerales como fósforo, calcio, hierro y zinc, entre otros, alto contenido de cenizas, no uniformidad en el tamaño de las partículas y alto contenido de material orgánico. Sin embargo, estas características y otras como la densidad del material, el porcentaje de humedad, el porcentaje de cenizas, el carbono fijo, la relación C/N y las proporciones de cada sustancia pueden variar drásticamente, dependiendo de múltiples variables.

En primer lugar el material de la cama varía de una ciudad a otra por su costo y disponibilidad, varía de una empresa avícola a otra. También la cantidad de material

seco utilizado por metro cuadrado de galpón varía, dependiendo de su costo, sus propiedades, su eficacia y las condiciones ambientales del lugar. Otro factor que causa las diferencias en las características de la pollinaza es la cantidad y calidad de las deyecciones de las aves. Esto dependerá de la cantidad de aves existentes por metro cuadrado en el galpón, las características del alimento de las aves y la edad de la cama.

En el Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia² se puede encontrar una descripción clara de cómo es la pollinaza que se puede encontrar en el país en general. Entre lo que se resalta:

- La humedad puede variar entre 18,43% y 29,42%, valores que la hacen una buena opción para aprovechar su potencial energético a través de procesos termoquímicos.
- Alto contenido de volátiles. Esta característica también la hace propicia para procesos termoquímicos para generación de energía.
- Relación C/N entre 9,12% y 13,04% p/p, lo que hace que sea posible aprovechar su contenido energético a través de la producción de biogás.
- Azufre: 0,23% p/p. Nitrógeno: 2,9% p/p. Concentraciones bajas.
- Poder calorífico inferior (PCI) de 2.248kcal/kg.

Otros análisis realizados por un proveedor de equipos de gasificación, con muestras de pollinaza de diferentes países, muestran un porcentaje de volátiles entre 43,13% y 61,67% en base seca, contenido de cenizas entre 19,27% y 39,57% en base seca y humedad entre 8,36% y 32,05%. En estos resultados se observan las diferencias ocasionadas por los parámetros mencionados anteriormente.

Para las muestras tomadas en las granjas de Avícola El Madroño se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 6.

Una característica importante que tienen en cuenta los constructores de reactores de gasificación es el punto de fusión de las cenizas, se considera su medición dentro del

² MINISTERIO de Minas y Energía *et al.* Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia. 2010. 180 p. [Disponible en línea] <<http://www.si3ea.gov.co/Home/Biomasa/tabid/76/language/es-ES/Default.aspx>> [citado en marzo 9 de 2012] ISBN: 978-9 58-8504-59-9, p. 140 – 141.

primer análisis de la materia prima a gasificar para prever si se pueden presentar inconvenientes al generarse sinterización de las cenizas debido a un punto de fusión bajo y el contenido alto de cenizas en la pollinaza.

Muestra	Humedad [%]	Cenizas [%]	Detalle
1	17,22	13,6	Pollinaza sanitizada, 3 lotes de uso
2	16,87	12,97	Pollinaza sanitizada, 3 lotes de uso
3	26,56	13,26	Pollinaza sanitizada, 2 lotes de uso
4	25,65	14,58	Pollinaza sanitizada, 1 lote de uso
5	23,08	No medido	Pollinaza sanitizada, 3 lotes de uso
6	27,16	No medido	Pollinaza sanitizada, 1 lote de uso

Tabla 6. Resultados de muestras de pollinaza sanitizada para humedad y cenizas.

El contenido de humedad preferiblemente debe estar entre 15% y 20% con el fin de que el proceso de gasificación sea más eficiente. El tamaño de las partículas no debe ser muy grande (>25mm) ni demasiado pequeño (<3mm o polvo), así que para el caso de la pollinaza sería necesario realizar un tamizado para descartar las partículas más pequeñas o peletizar la pollinaza para darle forma y tamaño uniforme y reducir la cantidad de finos para aprovechar toda la materia generada en las granjas.

2. GASIFICACIÓN

La gasificación es un proceso termoquímico que permite convertir materiales a base de carbono en una mezcla de gases que, debido a su poder calorífico, se puede aprovechar como combustible directo o para la generación de energía eléctrica. Este proceso se lleva a cabo en un reactor llamado gasificador, el cual trabaja a temperaturas muy altas, comúnmente entre 500°C y 1500°C (según Gasification Technologies Council³ -GTC- entre 1000°F y 3000°F), dependiendo del diseño, combinando dichos materiales con oxígeno y vapor bajo presiones altas. Un gasificador puede ser alimentado con biomasa, desechos urbanos, carbón, subproductos de refinería (y en general hidrocarburos) como materia prima en cualquier estado –sólido, líquido y gaseoso-, mientras se le inyecta aire, oxígeno o vapor de agua en cierta proporción como catalizador. El proceso induce reacciones termoquímicas entre la materia prima y el agente gasificante generando gases como monóxido de carbono (CO), hidrógeno (H₂), dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), entre otros. Los diferentes gases y su proporción dependen principalmente de la composición de la materia prima utilizada, pero también del tipo de gasificador y variables del proceso como temperatura, presión y la relación o tasa de combustión.

La composición típica de un gas producto de gasificación está basada principalmente en monóxido de carbono (CO) e hidrógeno (H₂), con concentraciones más bajas de metano (CH₄). Otros componentes típicos en el gas de síntesis son el dióxido de carbono (CO₂), agua (H₂O) y nitrógeno (N₂), los dos primeros como indica Castells⁴ son productos indeseados pero inevitables, Palatnic⁵ plantea que también se presentan

³ GASIFICATION TECHNOLOGIES COUNCIL. Gasification An investment in Our Energy Future. [PDF en línea] <http://www.gasification.org/uploads/downloads/Final_whitepaper.pdf> [citado en 13 septiembre de 2012]. p. 6.

⁴ CASTELLS, Xavier Elías. Tratamiento y valorización energética de residuos. Madrid: Díaz de Santos, 2005. ISBN 978-847978-694-6. p. 419.

hidrocarburos más pesados ($C_1 - C_6$). Castells⁶ indica que el gas producido tendrá también impurezas como material particulado, alquitranes, NH_3 , H_2S y HCl .

La composición del gas dependerá principalmente de los siguientes factores:

- Composición elemental del combustible a gasificar
- Relación oxígeno/combustible, según el agente gasificante y su proporción
- Presión y temperatura de gasificación⁷

El poder calorífico del gas combustible que se obtiene dependerá de las proporciones de CO , H_2 y CH_4 , de acuerdo con Mendoza⁸ a una mayor concentración de estos tres gases se obtendrá un mayor poder calorífico.

Dependiendo del catalizador o agente gasificante utilizado, se obtendrá un gas con mayor o menor poder calórico. Según Cujia⁹, si se utiliza aire, el gas obtenido se conoce como gas pobre por su bajo poder calórico que puede estar entre 4 y 6 MJ/m^3 , mientras que si se utiliza oxígeno y vapor de agua el gas producido tendrá un poder calórico que puede estar entre 10 y 20 MJ/m^3 . A éste último se le llama gas de síntesis

⁵ PALATNIC AMPUERO, María Esmeralda. Diseño y desarrollo de pequeñas unidades de gasificación de madera para aplicaciones de generación de energía térmica y cogeneración a baja escala. Santiago de Chile, 2011, 96 p. Memoria (Ingeniero Civil Mecánico). Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Ingeniería Mecánica. [en línea] <http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2011/cf-palatnic_ma/pdfAmont/cf-palatnic_ma.pdf> [citado en 13 septiembre de 2012]. p. 6.

⁶ CASTELLS, Op. Cit., p. 419.

⁷ MENDOZA, Jorge M. BULA, Antonio. GÓMEZ, Rafael D. CORREDOR, Lesmes A. Análisis Exergético de la Gasificación de Biomasa. En: Información Tecnológica. Vol. 23 N° 5 (2012); p.85-96. [en línea] <http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642012000500009&script=sci_arttext> [citado en 20 noviembre de 2012]. p. 93.

⁸ Ibid., p. 91.

⁹ CUJIA, Gabriel. BULA, Antonio. Potencial Obtención de Gas de Síntesis para la Producción de Metanol a partir de la Gasificación de Residuos de Palma Africana. En: Revista Interciencia. Vol. 35 N° 2 (Feb., 2010); p.107-112. [en línea] <http://www.interciencia.org/v35_02/106.pdf> [citado en 8 febrero de 2012]. p. 107.

o *syngas* (por su nombre en inglés *synthesis gas*) o también se conoce como *producer gas*¹⁰ en inglés.

Gas	Poder Calorífico	
Gas Natural	9.000 – 11.000 kcal/m ³	37,68 – 46,05 MJ/m ³
Biogás	4.500 kcal/m ³	18,84 MJ/m ³
Gases producto de Gasificación		
Gas Pobre		4 – 6 MJ/m ³
Syngas		10 – 20 MJ/m ³

Tabla 7. Poder calorífico de algunos gases.

La gasificación no es un método de incineración de la materia prima, ya que el proceso se genera en deficiencia de oxígeno, es decir, no es una combustión completa. GTC¹¹ recomienda una tasa de combustión entre 0,3 y 0,4 de la relación estequiométrica. En la industria química, de refinería y de fertilizantes, esta tecnología que ha sido utilizada por más de 75 años, y en la industria de energía eléctrica desde hace más de 35 años¹².

2.1. VENTAJAS DE LA GASIFICACIÓN

La primera ventaja de la gasificación es la obtención de un gas muy versátil que, como combustible, puede utilizarse de igual forma que el gas natural. Esta tecnología proporciona la posibilidad de aprovechar el potencial energético de los residuos (orgánicos, urbanos, polímeros, entre otros) y subproductos de refinería y otras industrias, convirtiéndolos en un gas combustible.

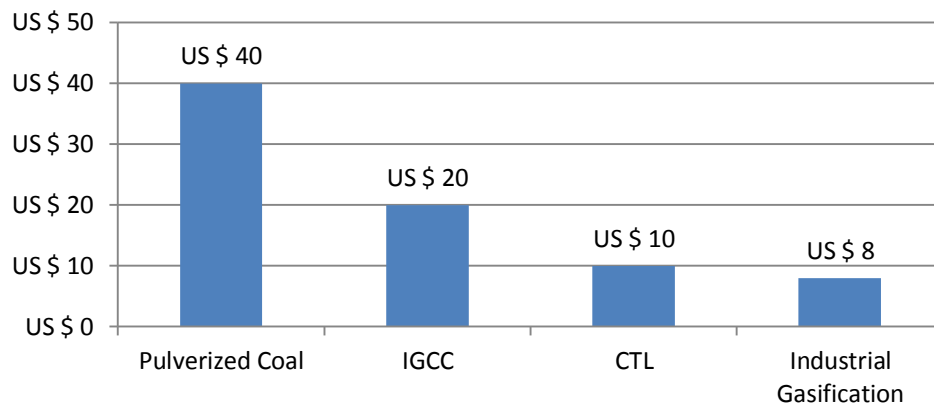
¹⁰ Las empresas constructoras de reactores en India suelen referirse al gas obtenido en la gasificación como *producer gas*.

¹¹ PALATNIC, Op. Cit., p. 4

¹² GASIFICATION TECHNOLOGIES COUNCIL. Gasification An investment in our energy future, Op. cit., p.2

El gas producido también puede aprovecharse como materia prima en procesos de producción de químicos, fertilizantes, combustibles líquidos e hidrógeno¹³. De esta forma, se le otorga un valor agregado alto a materiales que antes sólo se tomaban como residuos, los cuales representaban costos extras para su disposición final adecuada o materiales de bajo valor que no representaban ingresos importantes.

Otra de sus ventajas es que al romper los enlaces moleculares de los materiales, aquellos componentes que son indeseados en el gas combustible como nitrógeno, mercurio, azufre y material particulado son fáciles de limpiar o extraer del gas producido, a diferencia de los métodos convencionales de producción de energía en los cuales resulta muy costoso extraer estos componentes del combustible. Inclusive, el dióxido de carbono también es posible separarlo del gas con métodos ya conocidos, evitando su posterior emisión al ambiente. De esta manera, al momento de la combustión ya se cuenta con un gas limpio.



Mark Costa 2007 GTC Presentation

Source: MIT and Eastman Chemical Company¹⁴

Figura 2. Costos de captura y compresión de CO₂ según tecnología de generación de energía eléctrica.

¹³ GASIFICATION TECHNOLOGIES COUNCIL. Gasification Redefining clean energy. [en línea] <http://ccdtstorage.blob.core.windows.net/assets/resources/Final_whitepaper.pdf> [citado en 13 septiembre de 2012]. p. 1

¹⁴ GASIFICATION TECHNOLOGIES COUNCIL. Gasification Redefining clean energy. Op. Cit., p. 18.

Además, en la gasificación se obtienen diferentes subproductos, en su mayoría terminados, con valor comercial. La composición de las cenizas depende de la materia prima utilizada para la gasificación y de las variables de proceso. Castells¹⁵ indica que estas cenizas pueden utilizarse como base para fabricación de elementos de construcción, elaboración de fertilizantes o abonos, fabricación de vidrio, entre otros. En contraste con la combustión y con procesos de generación de energía convencionales, la gasificación presenta una gran reducción de emisiones al ambiente.

Por otro lado, ya que la materia prima pueden ser desechos urbanos, agrícolas y desechos peligrosos, entre otros, la gasificación se muestra también como una alternativa no sólo para darle valor a esos desechos sino para evitar los costos y efectos ambientales de su disposición en rellenos o incineración.

2.2. PROCESO DE PRODUCCIÓN DE SYNGAS

Existen varios tipos de gasificadores, los cuales se pueden clasificar en los de lecho fijo (*fixed bed*) y los de lecho fluidizado (*fluidized bed*). Los primeros pueden ser a contracorriente (*up-draft*) los cuales son de alta eficiencia pero generan gas con alto contenido de alquitranes, y los de corriente descendente (*down-draft*) que generan pocos alquitranes en el gas pero son de difícil escalado. Por su parte los de lecho fluidizado pueden ser de tipo burbujeante (*bubbling*) en los que se logra buen control de la temperatura, son de fácil escalado y permiten capacidad alta, o los circulantes (*circulating*) que proporcionan un gas de alta temperatura, poco alquitrán en el gas y los materiales para la construcción del reactor suelen ser más costosos. También, como lo enuncia Castells¹⁶ hay gasificadores de corriente de arrastre, baño fundido y rotatorio. El tipo de reactor se definirá principalmente según la materia prima a gasificar, el agente gasificante a utilizar y la calidad de gas que se quiera obtener, entre otros aspectos.

¹⁵ CASTELLS, Op. Cit., p. 414.

¹⁶ CASTELLS, Op. Cit., p. 425.

A continuación en la Tabla 8, Cujia¹⁷ expone las características de operación de los principales tipos de gasificadores.

Tipo de Gasificador	Descripción y Características de Operación
Gasificador por flujo de arrastre	La biomasa pulverizada se alimenta en la misma dirección con el vapor y el oxidante, y se gasifica suspendido en una corriente de O ₂ (o aire) y vapor. Opera a presiones hasta de 35bar y a mayor temperatura que los demás gasificadores. Comúnmente empleados para combustibles fósiles como carbón. Su uso en la gasificación de biomasa es limitado pues requiere tamaños de partículas muy finos (80-100µm). Producen un gas con cantidades despreciables de metano y poca formación de alquitranes e hidrocarburos pesados.
Gasificador de lecho fluidizado	La biomasa es gasificada en un lecho de pequeñas partículas fluidizadas por la acción del medio oxidante (aire/O ₂ /vapor). Por la intensa mezcla gas-sólido que se presenta, las zonas de secado, pirolisis, oxidación y reducción no se distinguen. Presentan una distribución de temperatura uniforme, mayor rendimiento que los de lecho fijo, mejor transferencia de calor y masa, alto contenido energético del gas producido y mayor conversión del carbono. Se destacan dos tipos: lecho fluidizado circulante que opera a altas velocidades, (4-7m/s) y a temperaturas de 800-1000C, y lecho fluidizado burbujeante (BFB) que opera a 1-1.5m/s y 700-900C.
Gasificador de lecho fijo	El medio de gasificación fluye a través de un lecho fijo de partículas de combustible. Producen un gas de alto poder calorífico y elevado contenido de alquitranes. Pueden ser de tres tipos: ascendente, descendente y transversal. En el flujo ascendente la biomasa es alimentada por la parte superior del reactor y se mueve corriente abajo como el resultado de su conversión y la remoción de cenizas en el fondo, el aire es tomado desde el fondo y el gas producido sale por la parte superior. En el de flujo descendente la biomasa y el oxidante entran al gasificador y se mueven en igual dirección, alimentándose ambos por la parte superior mientras el gas producido sale por la parte inferior del reactor. El gas sale dejando la zona de mayor temperatura, lo cual reduce la eficiencia global.

Tabla 8. Tipos de gasificadores según forma de contacto entre el agente gasificante y la biomasa de alimentación.

En un gasificador de lecho fijo en contracorriente el combustible o materia prima entra por la parte superior del reactor, formando un lecho que va descendiendo. El gas de síntesis sale por la parte superior mientras que el agente oxidante ingresa al reactor por la parte inferior del mismo, como se observa en la Figura 3.

¹⁷ CUJIA, Op. Cit., p. 108.

La materia prima al entrar al gasificador sufre un proceso de secado por efecto de los gases calientes que se han generado y van saliendo del reactor. Allí también ocurre una destilación primaria y se incorporan hidrocarburos ligeros al gas. En el fondo del reactor, la zona llamada de oxidación (o combustión), ocurren las reacciones exotérmicas que proporcionan la energía necesaria para el proceso siguiente. En esta zona ocurren reacciones de formación de CO₂ principalmente.

En la zona de reducción primaria ocurre la pirólisis e inicio de la gasificación. Allí las reacciones son endotérmicas y forman CO y H₂ mayormente.

En la zona de reducción secundaria ocurre la gasificación, en la que suceden otras reacciones endotérmicas formando más CO y H₂ junto con otros hidrocarburos de cadena larga.

Las cenizas producidas se retiran por la parte inferior del reactor. Mientras, la mezcla de gases producida sale por la parte superior y se conoce como Gas de Síntesis o *syngas* por su nombre en inglés (*synthesis gas*). Como lo enuncia Castells¹⁸ el gas se compone principalmente por monóxido de carbono e hidrógeno, que son los componentes que más aportan al poder calorífico al gas, dióxido de carbono, metano, agua, nitrógeno y algunos hidrocarburos más, también alquitranes, aceites, cenizas y partículas carbonosas. Antes de ser introducida al reactor, la materia prima puede requerir algunos procesos de acondicionamiento como por ejemplo para lograr una granulometría específica y homogénea o regulación del contenido de humedad, dependiendo de las necesidades del proceso. Adicionalmente, debe proveerse una estación para la producción del agente gasificante que se utilizará, bien sea oxígeno, vapor de agua, aire o una combinación. Al ingresar al reactor la materia prima y el agente gasificante se inicia el proceso y la producción de gas de síntesis así como de las cenizas.

Por su parte, las cenizas o subproductos sólidos, según sus características, serán enfriados y tratados para su posterior uso. El gas producido tendrá cierto contenido de impurezas que deben extraerse, después de un proceso de enfriado. Esta limpieza

¹⁸ CASTELLS, Op. Cit., p. 418.

puede proporcionar CO₂ y azufre, carbón, entre otros minerales, los cuales pueden ser fácilmente comercializados.

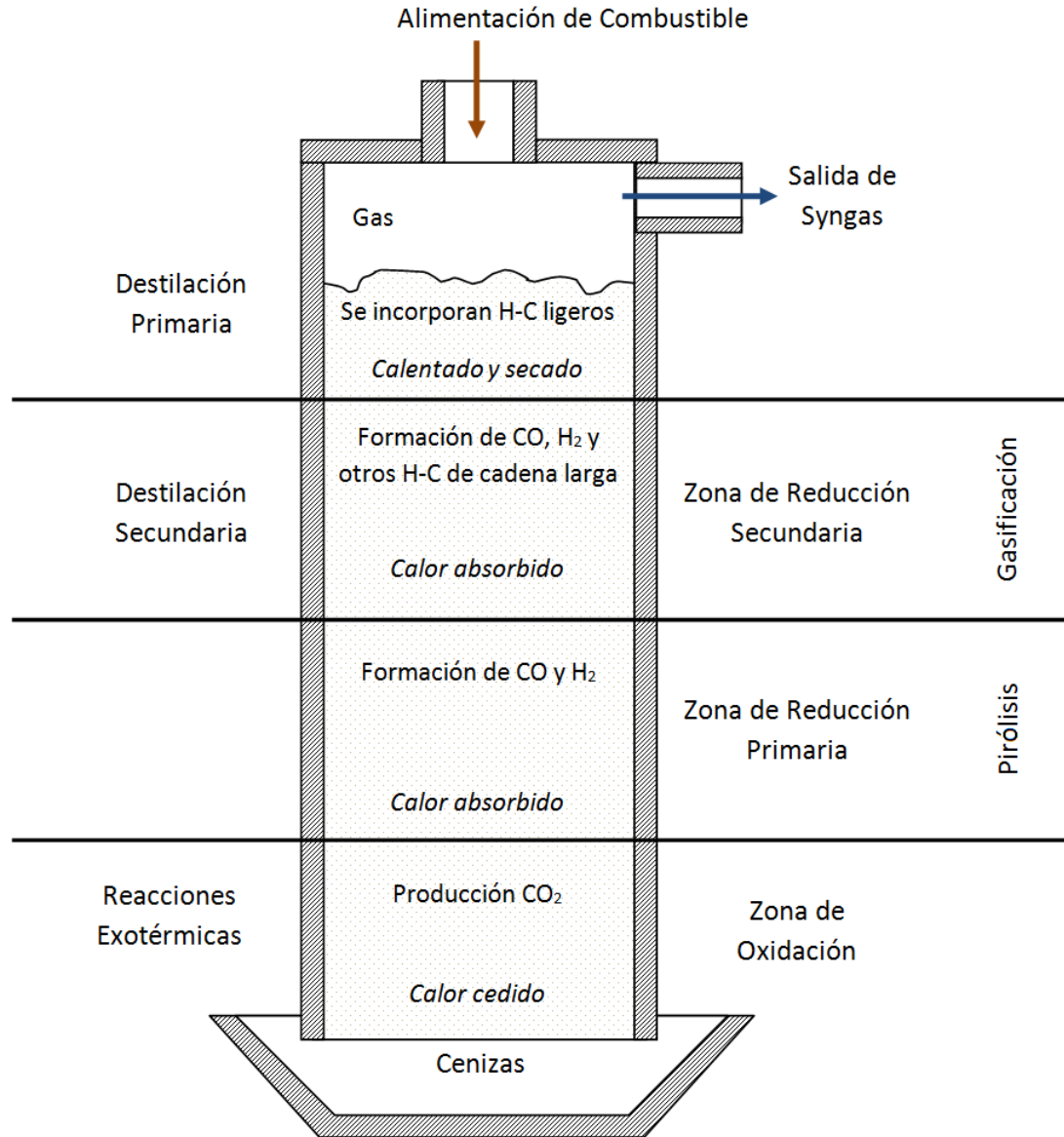


Figura 3. Esquema de gasificador de lecho fijo a contracorriente.

En general, se pueden identificar cuatro etapas que ocurren dentro del reactor en el proceso de gasificación:

Primera etapa: a temperatura de hasta 100°C, se produce el secado mediante la evaporación de la humedad que contiene la biomasa.

Segunda etapa: denominada como pirólisis (ruptura por calor), consiste en el rompimiento de las macro moléculas dando lugar a otras de cadena más corta que posteriormente, a la temperatura del reactor, pasan a fase gaseosa.

Tercera etapa: se describe por la combinación del vapor de agua producido en la primera etapa, con el dióxido de carbono que viene arrastrado por la corriente del agente gasificante.

Cuarta etapa: reducción, se desarrolla mediante la oxidación de la fracción más pesada (carbonosa) de la biomasa al entrar en contacto con el agente gasificante.

Visto de otra forma, las etapas del proceso también se pueden establecer en el sentido del flujo que sigue el agente gasificante, así:

- Oxidación parcial del residuo carbonoso y caliente de la biomasa, elevando mucho su temperatura, ya que las reacciones de oxidación son exotérmicas;
- En la zona de reducción, la falta de oxígeno unida a la disponibilidad de carbono, CO₂ y vapor de agua, hace que se produzca una recombinación hacia hidrógeno molecular y monóxido de carbono;
- La tercera etapa en el sentido del gas es la pirólisis en la que, por efecto del calor, los componentes más ligeros de la biomasa se rompen y convierten en gas, uniéndose a la corriente,
- Por último, los gases calientes evaporan el agua contenida en la biomasa entrante.

El rendimiento del proceso depende de la tecnología que se utilice (lecho móvil o lecho fluidizado), el combustible y el agente gasificante; el margen de variación oscila entre el 70% y 80% y el resto de la energía se consume en las reacciones endotérmicas del proceso, las pérdidas por calor en los motores y el enfriamiento del *Syngas* principalmente.

Es importante señalar dos aspectos importantes y destacados en el proceso de gasificación: el agente gasificante y el catalizador.

Agentes gasificantes: Según el agente gasificante que se emplee se producen efectos distintos en la gasificación, y el *syngas* —producto final— varía en su composición y poder calorífico. Si se gasifica con aire, parte de la biomasa procesada se quema con el

oxígeno presente y el resto de la biomasa sufre la reducción. No obstante, el 50% del *syngas* es nitrógeno y, en términos de poder calorífico, el gas ronda los 5,5 MJ/Nm³. Este *syngas* es apropiado para motores de combustión interna convencionales, ya que como materia prima para la síntesis del metanol es un gas pobre.

La gasificación con vapor de agua u oxígeno, mejoran el rendimiento global y aumenta la proporción de hidrógeno en el *syngas*. Es el sistema más adecuado de producir *syngas* si se desea emplearlo como materia prima para producir metanol o gasolina sintética. Si bien el aire es gratuito y el vapor de agua se produce a partir del calor contenido en el gas de síntesis, el oxígeno tiene un coste energético y económico a tener en cuenta. La utilización de hidrógeno como agente gasificante permite obtener un *syngas* que puede sustituir al gas natural, pues puede alcanzar un poder calorífico de 30 MJ/kg. No obstante, el hidrógeno es el mejor de los combustibles, susceptible de usarse en cualquier dispositivo termoquímico o electroquímico, por lo que no es muy recomendable como gasificante en el ámbito industrial, excepto en los casos de excedentes de baja pureza, no aptos para otra aplicación como una pila de combustible.

Catalizadores: Dependiendo de la tecnología que se emplea y de las condiciones de gasificación (relación biomasa/gasificante, tiempo de residencia, etc.) se pueden usar catalizadores para inducir ciertas reacciones y que se produzca prioritariamente algún componente. Catalizadores de reformado de níquel o cobalto, gasificando a menos de 550°C facilitan el craqueo de las fracciones pesadas, es decir, la reducción de la formación de alquitranes. Catalizadores basados en zeolita y dolomía reducen la temperatura de craqueo de 1.100°C a 800°C – 900°C, es decir, que permiten trabajar a menor temperatura en la zona de reducción. Si se quiere facilitar la formación de monóxido de carbono e hidrógeno, se deben utilizar catalizadores de níquel y cobalto, trabajando entre 700°C y 800°C en la zona de reducción.

Al salir del reactor, el gas de síntesis debe pasar por un proceso que disminuya su temperatura. Posteriormente, es filtrado con diferentes técnicas dependiendo de los elementos que se requieran extraer del gas. De esta forma, se eliminan el dióxido de carbono, nitrógeno, azufre, material particulado, entre otros. Estos elementos que se retiran del gas son otros subproductos del proceso de gasificación que también pueden

ser comercializados, ya que tienen usos en la industria química y petrolera. Finalmente se obtiene un gas de síntesis limpio que permitirá un uso amable con el ambiente. Un diagrama de los procesos de una planta de gasificación típica se muestra en la Figura 4.

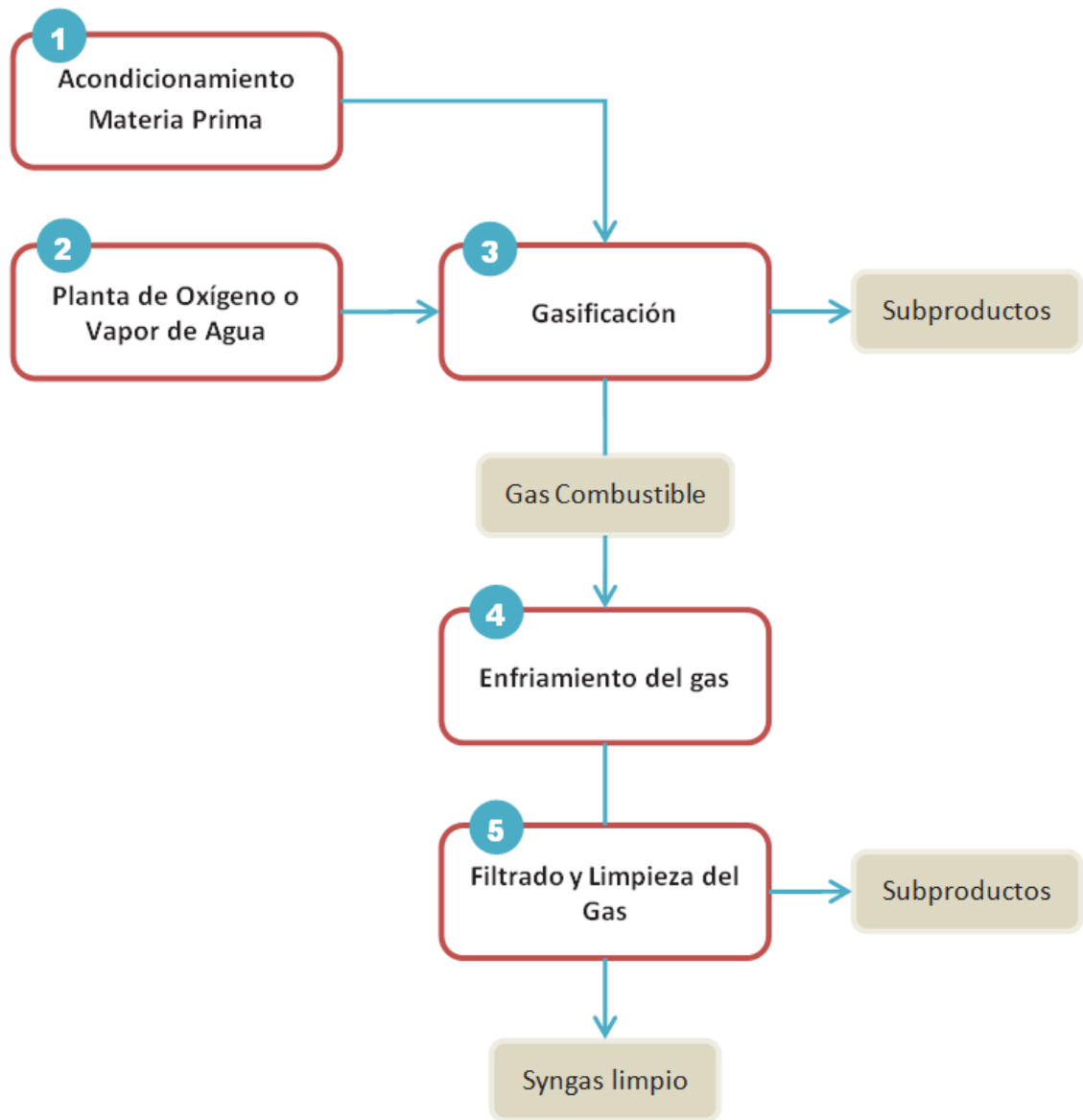


Figura 4. Diagrama general de funcionamiento de una planta de gasificación.

La gasificación se considera una tecnología limpia y amigable con el medio ambiente, previene la emisión de gases de efecto invernadero debido a que el gas producido puede ser limpiado de forma fácil y económica de todas las impurezas antes de ser utilizado como combustible. De esta forma no se emitirán gases contaminantes y se podría acceder a beneficios económicos como bonos de carbono al reducir las emisiones y aplicar a incentivos del gobierno para el desarrollo de tecnologías limpias y energías renovables.

2.3. GASIFICACIÓN DE BIOMASA

Es importante realizar análisis de laboratorio para evaluar la materia prima que se utilizará con el fin de conocer si se cumple con los parámetros necesarios para mantener la eficiencia del proceso de gasificación en niveles altos, para adquirir criterios para seleccionar el reactor más adecuado, para prever el funcionamiento y reacciones que se originarán dentro del reactor, la cantidad de gas que se producirá por unidad de materia prima, cómo será la composición y poder calorífico del gas obtenido y los subproductos.

2.3.1. Propiedades físicas y químicas de la biomasa

Las tecnologías comerciales de gasificación permiten procesar prácticamente todo tipo de combustibles de origen biomásico, con una limitación de su densidad mínima de 200 a 250 kg/m³. Densidades menores crean problemas en el manejo de la biomasa en los conductos verticales. Asimismo, complican la gasificación en lecho fluidizado, pues la biomasa es arrastrada por el gas de síntesis, con la consecuente pérdida de eficiencia y disponibilidad. Otro aspecto importante respecto a la biomasa es que su tamaño sea homogéneo (y estable en el tiempo) y lo suficientemente pequeño. Un tamaño de partícula pequeño permite aumentar la calidad del *syngas*, reducir el tamaño del reactor o bien aumentar el tiempo de permanencia para el craqueo de las fracciones más pesadas y condensables (alquitranes). Un tamaño de partícula muy grande o un tamaño no homogéneo podría ocasionar atascos en algún punto del proceso y afectar la eficiencia en el reactor. Un tamaño excesivamente pequeño puede hacer que la biomasa se atasque en los conductos o que sea arrastrada junto con las

cenizas volantes al exterior del reactor antes de tiempo. En conclusión, se puede decir que cada gasificador precisa de un determinado tamaño de partícula, que en la mayoría de los casos no debe ser menor de 2-3 mm de diámetro ni mayor a 25mm.

En cuanto a la humedad de la materia a gasificar, valores del 10 al 15% son los más adecuados, aunque generalmente se aceptan valores menores a 30%. Secar más la biomasa presenta dos inconvenientes. El primero es que, a medida que se seca más, es más costoso en términos energéticos y económicos. En segundo lugar, una biomasa secada más allá de su punto de equilibrio recupera la humedad al entrar en contacto con el aire ambiente. En general, la humedad facilita la formación de hidrógeno, pero reduce la eficiencia térmica.

La biomasa a gasificar debe estar libre de otras impurezas como tierra, aceites, piezas de metal, piezas de plástico y cualquier elemento ajeno a la biomasa. Pueden darse una combinación de biomasa, por ejemplo dos cultivos energéticos diferentes, residuos de madera de distintos procesos, o juegos de biomasa similares por sus características o que se complementen para lograr las características necesarias.

Un análisis elemental de la biomasa permite conocer, como primera aproximación, la cantidad de aire u oxígeno que es necesario introducir, valor que luego se contrastará en la práctica. Un análisis inmediato da información sobre carbono fijo, volátiles, humedad y cenizas. Estos datos son importantes a la hora de elegir la tecnología de gasificación y el tiempo de residencia en el reactor, para reducir al máximo los inquemados carbonosos, es decir, agotar al máximo el PCI de la biomasa. Conocido el poder calorífico del combustible se obtiene una idea aproximada del poder calorífico del *syngas* que se llegaría a obtener.

Por último, es importante que las cenizas entrantes (fracción mineral mezclada o adherida al combustible) sean lo más reducidas posible. Estas cenizas sólo absorben calor, ensucian los filtros, erosionan los conductos y pueden llegar a formar escorias y producir sinterizaciones. Es necesario analizar el punto de fusión de las cenizas presentes en la materia prima a utilizar con el fin de prever si ocasionarán estos efectos adversos, ya que si es bajo se puede presentar sinterización de las cenizas.

Como lo señala CEDER¹⁹ “La escorificación de las cenizas puede ocasionar atascos en los sistemas utilizados para su evacuación, mientras que la sinterización produce la reducción del rendimiento energético en los intercambiadores de calor y la aparición de corrosión asociada a los depósitos”.

2.3.2. Análisis y selección de tecnología

Este tipo de reactores para gasificación de biomasa no son de fabricación nacional, por lo cual fue necesario realizar una búsqueda de posibles proveedores extranjeros.

Se ubicaron varias empresas que ofrecen gasificadores de biomasa, en su mayoría ubicadas en India. Los datos de contacto que se utilizaron son los que se listan en el ANEXO II. CONTACTOS POSIBLES PROVEEDORES.

Aunque se hallaron otros posibles proveedores, sólo éstos fueron contactados vía correo electrónico. Se obtuvo respuesta de la mayoría, sin embargo, ninguno de ellos afirmó tener experiencia específica en gasificación de paja, por lo cual varios no se enviaron propuesta económica o técnica para el proyecto. Otros informaron que la cantidad de biomasa era inferior a la requerida para el funcionamiento de la tecnología que habían desarrollado. Sólo uno de los proveedores contactados envió una propuesta de un tipo de reactor desarrollado por ellos y que ha sido probado e instalado en varias plantas, aunque no específicamente para gasificación de paja. Este proveedor es Ankur Scientific Energy Technologies Pvt Ltd., en adelante “Ankur”. Se trata de una empresa creada en 1986, dedicada a la investigación y desarrollo de fuentes alternativas de energía, especialmente en gasificación de biomasa y sistemas solares de calentamiento de agua. Ha desarrollado y comercializado gasificadores desde 5kWe hasta 2200kWe de capacidad, en aplicaciones industriales y de electrificación rural. Actualmente existen en funcionamiento instalaciones de gasificadores Ankur en países como Sri Lanka, Uganda, Camboya, Italy, U.S.A, Australia, entre otros. En Colombia la Universidad Nacional sede Bogotá cuenta con un gasificador Ankur en su laboratorio de Energías Renovables y Plantas Térmicas. La compañía cuenta con certificaciones de

¹⁹ CEDER, Centro de Desarrollo de Energías Renovables. Biomasa – Situación Actual. [en línea]. <<http://www.ceder.es/CEDERportal/portal.do?TR=C&IDR=31>> [citado el 22 de septiembre de 2013]

calidad en ISO 9000, ISO 14000 y OHSAS 18000 y diversas distinciones y reconocimientos en investigación en ciencia y tecnología a lo largo de su trayectoria. El proveedor además cuenta con representación en Colombia, a través de la empresa Acquaire Ltda., lo que facilita la comunicación y acercamiento.

La propuesta que hace Ankur consta de dos piro-gasificadores modelo PG-780 que, según indican, es la opción apropiada para la biomasa seleccionada y el proyecto planteado, ya que permite la gasificación de materiales con rangos amplios de densidad aparente, humedad y tamaño, además que el gas generado es de calidad alta y puede ser utilizado para generación de energía eléctrica o térmica.

De acuerdo con lo informado por Ankur en la oferta y en algunas comunicaciones electrónicas, cada uno de los dos piro-gasificadores puede alimentarse con un máximo de 650kg/h de biomasa, que sería la pollinaza a 20% de humedad. De esta forma se generaría un flujo de gas de 1.625Nm³/h en cada uno. El poder calorífico del gas sería como mínimo de 1.100kCal/Nm³.

La oferta incluye un grupo de 6 plantas a gas (grupo electrógeno o motogenerador a gas) de 225kWe en operación continua cada una. El gas obtenido, junto con el grupo de plantas a gas, podrán generar 1,2MW de energía eléctrica.

Este tipo de reactor generará además un porcentaje de subproductos que son carbón vegetal y cenizas de alta calidad, que pueden ser utilizados para crear carbón activado para filtros de agua y otras sustancias.

El sistema se compone también de equipos para el enfriamiento y limpieza del gas. El gas se enfría mediante un intercambiador de calor y el aire caliente resultante se puede utilizar para el secado de la biomasa. Esto permite evitar el uso de agua en el sistema y evitar el contacto del gas con agua. Después de enfriado, el gas pasa por un primer filtro de tela que elimina material particulado y alquitranes. Los gasificadores de Ankur están diseñados para eliminar alquitranes en el mismo reactor, sin embargo, puede ocurrir que se generen sobretodo en la gasificación de tamo de arroz (base para la cama de los galpones). Luego el gas pasa por un filtro de viruta de madera para eliminar partículas suspendidas. Este sistema de enfriamiento y filtrado del gas permite menor consumo de energía que otros, facilidad de manejo de los residuos retirados ya que están secos y además exige menor espacio para su instalación. El gas tendría una

cantidad de material particulado y alquitranes menor a 5mg por Nm³ de gas, de esta manera el gas puede ser utilizado directamente en grupos electrógenos.

Es importante resaltar que la oferta realizada por Ankur contiene variables aproximadas y está basada en su vasta experiencia, pero es imprescindible para evaluar técnicamente el proyecto y ajustar algunas variables de operación y producción del sistema de gasificación, la evaluación en laboratorio de la biomasa que se pretende gasificar y realizar pruebas piloto con ésta para conocer con mayor exactitud las tasas de conversión de biomasa a gas y de gas a energía eléctrica. Estos análisis fueron cotizados también por la Universidad Nacional.

2.3.3. Producción de *syngas* a partir de biomasa

El gas producido puede tener diferentes composiciones y poder calorífico dependiendo de varios factores como el catalizador utilizado, el tipo de reactor y sobretodo la materia prima utilizada. De acuerdo con información del fabricante de reactores para gasificación Ankur Scientific Energy Technology Pvt. Ltd. 'Ankur'²⁰, un kilogramo de biomasa procesada en un gasificador de su fabricación que utiliza aire como catalizador, puede llegar a producir entre 2,5 y 3,0 Nm³ de gas el cual podría tener un poder calorífico entre 1.000 y 3.000 kcal/Nm³ con la siguiente composición:

Compuesto	Proporción
CO	21±3%
H ₂	16±4%
CO ₂	11±3%
CH ₄	1 a 2,5%
O ₂	0,2 a 0,9%
N ₂	>1%

Tabla 9. Composición típica del gas producto de la gasificación de biomasa, según Ankur.

²⁰ ANKUR Scientific Energy Technology Pvt. Ltd. Oferta: OFF / 13 – 14 / 36 / 406. Septiembre 18 de 2013.

Además del gas combustible, la gasificación de biomasa genera subproductos que pueden tener valor comercial. Uno de estos subproductos es el carbón vegetal, char, *charcoal* o también llamado por algunos autores como biochar. Según enuncia Palatnic²¹ es un carboncillo que sirve para mejorar las tierras de cultivos. También puede ser utilizado como carbón vegetal para procesos de cocción de alimentos y, si cumple con ciertas características, puede servir como materia prima para obtener carbón activado utilizado como material filtrante.

2.4. GENERACIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE SYNGAS

Como se mencionó anteriormente, el *syngas* es un combustible bastante fácil de utilizar. Para generación de energía es posible usar grupos electrógenos a gas adecuados para el poder calorífico de este gas, menor al de otros combustibles como el diésel y el gas natural que son los de uso común. En el caso del diésel éste puede ser sustituido hasta en porcentajes del orden de 70 a 80%, mientras que en el caso del gas natural en la mayoría de los casos es posible sustituir el 100%.

Para la generación de energía térmica, es posible llevar el *syngas* a combustión en calderas a gas o calderas de biomasa, después de algunas adecuaciones del sistema de quemadores y el hogar.

2.5. MARCO AMBIENTAL Y LEGAL

2.5.1. Residuos en la granja de producción de pollo de engorde

Tanto para el cuidado del medio ambiente como para la bioseguridad en la granja es muy importante el manejo adecuado de los desechos orgánicos que se generan allí. En su mayoría, estos desechos son las deyecciones y los cadáveres de las aves que mueren durante su cría o que deben ser descartados, ambos desechos suponen un gran peligro para la sanidad de la granja si no se manejan adecuadamente, ya que

²¹ PALATNIC, Op. Cit., p. 2.

pueden causar enfermedades mortales en las aves, afectar lotes nuevos y afectar galpones de otras granjas vecinas.

Además de perturbar la sanidad de la granja, una mala disposición de estos residuos generaría afecciones en el suelo, aguas subterráneas, fauna y flora cercanas y facilitaría la generación y propagación de enfermedades en humanos.

En general, los residuos que se generan en una granja de pollo de engorde, su posible impacto ambiental y el tratamiento preventivo que se debe realizar, según las normas ambientales vigentes se resumen en la Tabla 10.

El residuo más importante en la granja es la pollinaza debido a que se genera un gran volumen, representa el mayor porcentaje de los residuos generados en la granja. Después de establecido el método productivo en la granja, se conocerá con cierta exactitud la cantidad de pollinaza que se va a generar. El volumen dependerá del tamaño del galpón, la cantidad de lotes que se produzcan con la misma cama (normalmente entre 1 y 3), el material que se utilice para elaboración de la cama y la cantidad de aves alojadas por unidad de área. La CDMB²², en la Resolución 1051 del 30 de agosto de 2013, en concordancia con la normatividad emitida por el ICA, exige al productor sanitizar la pollinaza dentro de la misma granja antes de retirarla, no se podrá transportar fuera de ésta sin antes cumplir este requisito. Después de sanitizada, la pollinaza podrá ser estabilizada bien dentro o fuera de la granja. Si la pollinaza no es estabilizada dentro de la granja, deberá ser procesada en una planta de tratamiento antes de ser comercializada para uso como abono o enmienda. Todos los procedimientos determinados por el productor deberán incluirse dentro del Plan de Manejo Ambiental (PMA) y éste ser aprobado por la CDMB. Adicionalmente, las plantas de tratamiento deben registrarse ante la CDMB y cumplir los requisitos de control ambiental y de bioseguridad exigidos.

En el PMA de las granjas del caso está aprobado el retiro de la pollinaza sanitizada de la granja hacia plantas de tratamiento para su posterior uso como fertilizantes y

²² CDMB, Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga. Autoridad ambiental con jurisdicción en los municipios de Bucaramanga, Girón, Floridablanca, Rionegro, El Playón, Suratá, Vetas, California, Matanza, Charta, Tona, Lebrija y Piedecuesta, del departamento de Santander.

abonos orgánicos. Toda la pollinaza generada es vendida para este uso final (en la zona oriente).

Residuo	Impacto²³	Solución
Pollinaza	<p>Suelo:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Aumento de la actividad microbiana. -Como abono sin sanitizar correctamente, disminuye la capacidad de drenaje en el terreno. Acumulación de sales y nutrientes. -Disminución de oxígeno en el ambiente, dificultando la mineralización del nitrógeno. -Contaminación por lixiviados. <p>Agua:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Contaminación de mantos acuíferos por generación de lixiviados. <p>Aire:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Generación de olores y vectores. <p>Sanidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Generación de vectores. -Desarrollo de microorganismos en el suelo que son potencialmente patógenos. 	<p>Procesos de Estabilización:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Sanitización por apilado (Tratamiento térmico) -Compostaje
Mortalidad	<p>Suelo:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Contaminación por degradación de cadáveres. <p>Agua:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Contaminación por degradación de cadáveres. <p>Aire:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Mayor generación de olores. <p>Sanidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Afecta la bioseguridad. -Aumento de poblaciones de plagas y vectores. 	<p>Procesos de Estabilización:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Cooker o digestor -Hornos incineradores -Fosa séptica -Ensilaje -Enterramiento (contingencia) -Compost: se logra una disposición final sanitaria y se produce materia orgánica estabilizada.
Otros	Residuos de vacunación, residuos orgánicos domésticos, podas, barridas, empaques y envases de alimentos y otros insumos, residuos de lavado y desinfección de utensilios.	Disposición adecuada según regulación legal ambiental vigente para cada tipo de residuo.

Tabla 10. Residuos sólidos de la granja de engorde de pollo, sus impactos y tratamientos preventivos.

²³ USAID. Manual de Compostaje de Granjas Avícolas de Engorde. Programa de USAID de excelencia ambiental y laboral para CAFTA-DR. Julio 2011, p. 14.

En la regulación vigente está contemplado el tratamiento térmico para aprovechamiento de la pollinaza para generación de energía como proceso de estabilización, ya que se cumple así con el correcto tratamiento del residuo sólido y además se obtienen beneficios económicos. La mortalidad por su parte es un residuo que no se debe transportar fuera de la granja sin antes ser estabilizado, es decir que su tratamiento debe realizarse en la misma granja.

2.5.2. Planta de beneficio: Emisiones

En la planta de beneficio se genera vapor a partir del calor de la combustión de gas natural. Las emisiones generadas por la caldera de la planta de beneficio están dentro de la regulación ambiental vigente, el gas natural se considera un combustible limpio. La entidad ambiental, generalmente, exige medición de emisiones de NOx. En operación normal, es decir, con los parámetros de operación ajustados, la caldera no genera niveles de NOx mayores al máximo permitido por la Resolución 909 de 2.010.

Por otro lado, las emisiones de CO₂ ocasionadas la generación de la energía eléctrica que consume la planta de beneficio se puede medir con el factor de emisión de CO₂ del Sistema Interconectado Nacional Colombiano calculado por la UPME²⁴ que es de 0,2917kgCO₂e/kWh. Con este valor es posible calcular la cantidad de CO₂ que se dejaría de emitir al ambiente al reemplazar la fuente de energía.

2.5.3. La Gasificación y generación de energía con Syngas no contaminan

El proceso de gasificación se lleva a cabo dentro de un reactor cerrado que no genera emisiones al ambiente, el gas producido es un gas limpio, que al quemarse en hornos, calderas o motores no generaría GEI por encima de los valores permitidos por la entidad ambiental en Colombia. Los gases contaminantes que se producen y hacen parte del syngas pueden ser fácilmente extraídos antes de utilizar el syngas como

²⁴ UNIDAD de Planeación Minero Energética. Cálculo del Factor de Emisión de CO₂ del Sistema Eléctrico Interconectado Colombiano. Versión 2010.0. p. 18.

combustible, haciendo que su combustión sea un proceso limpio que no requerirá de sistemas de control ambiental. Los residuos generados en la gasificación serán materiales de uso en industria química o agrícola, por lo cual no tendrán que ser dispuestos como desechos sino que serán vendidos y utilizados como materias primas en otros procesos industriales.

2.6. INCENTIVOS A PROYECTOS FNCE Y MDL

En Colombia actualmente están reglamentados algunos incentivos tributarios para el desarrollo de proyectos de Fuentes No Convencionales de Energía –FNCE- y para inversiones que permitan mejorar condiciones ambientales. Estos incentivos se componen de exclusión de IVA y deducción sobre la renta. A partir de la ley 697 de 2.001 se promueve el uso racional y eficiente de la energía (URE), ley reglamentada por los decretos Presidenciales 3683 de 2.003 y el 2501 de 2.007 del Ministerio de Minas que dictan los lineamientos del programa PROURE y crean la comisión CIURE. El Ministerio de Minas además crea los subprogramas URE (resolución 180609/2.006) y dicta el Plan de Acción Indicativo ProURE 2.010 – 2.015 (resolución 180919/2.010).

Los proyectos que aplican a los incentivos son únicamente los que están definidos en la resolución 186 de 2.012. Se puede acceder al beneficio sobre el IVA y también al beneficio sobre la renta al mismo tiempo para la misma inversión, éste último puede ser la deducción del valor de la inversión sobre la renta líquida, sin superar el 20% de ésta. Por su parte, la inversión será exenta del IVA tanto para compras nacionales como para importaciones. Para el caso de proyectos de energía con FNCE éstos deben ser demostrativos, es decir, como se indica en la resolución 563 de 2.012 de la UPME²⁵, proyectos que “después de pasar la etapa piloto, se consideran promisorios, en condiciones reales específicas, con miras a su posterior replicación por otros interesados”. De esta manera, la implementación de un proyecto de gasificación tendría que pasar primero una fase piloto para poder evaluar la viabilidad técnica y demostrarlo ante la UPME.

²⁵ Resolución MADS – MME 186 de 2.012

La gasificación es un proceso que aplica para clasificación dentro de proyectos de Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL), lo que permitiría acceder a financiación de entidades internacionales y multilaterales como el Banco Mundial, la Corporación Andina de Fomento, Corporación Interamericana de Inversiones (del BID), entre otras.

El mercado de Certificados Verdes (CER²⁶) o Bonos de Carbono no está muy arraigado en Colombia, los procedimientos y tiempos para el registro y certificación de las reducciones de emisiones de GEI o emisiones evitadas son muy largos, del orden de 2 años. Por otro lado, el precio es variable, no se puede tener certeza de su valor transable en el futuro.

²⁶ CER: Certificado de Emisiones Reducidas

3. ANÁLISIS FINANCIERO

3.1. IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO DE GASIFICACIÓN DE POLLINAZA

En la búsqueda de alternativas que permitan hacer más competitivo el negocio de producción de carne de pollo en canal, aprovechando los recursos propios y reduciendo los costos, se plantea beneficiarse del potencial energético de los residuos orgánicos que se generan en las granjas, principalmente pollinaza, y darle uso para suplir parte de la matriz energética de la planta de beneficio.

El proyecto consiste en recolectar la pollinaza sanitizada de las granjas de pollo de engorde de las diferentes granjas en un centro de acopio que será la planta de tratamiento de la pollinaza y a su vez será la planta de gasificación. Con el proceso de gasificación de la pollinaza se obtendrá un gas combustible limpio y apto para generar energía eléctrica o energía térmica, que serán aprovechadas en los procesos de la planta de beneficio. Se tendrán en cuenta dos zonas de operación de la empresa, una es la zona oriente, en el departamento de Santander, allí la pollinaza producida en las diferentes granjas es vendida actualmente a terceros para su posterior tratamiento y uso agrícola, y se cuenta con una planta de beneficio en el municipio de Lebrija con una producción media de 65.000 canales al día. La segunda zona es la costa norte, principalmente en el departamento de Bolívar donde, por el contrario, para poder retirar la pollinaza de las granjas es necesario pagarle a terceros. Allí se cuenta con una planta de beneficio que produce 69.000 canales al día y está ubicada en el municipio de Cartagena.

Se plantean como escenarios la aplicación del sistema de gasificación para la zona oriente con el propósito de generar energía eléctrica o para generar vapor o ambas, gasificación en la zona costa norte para generar energía eléctrica o energía térmica o energía eléctrica y vapor, y como últimas opciones, combinar la implementación del sistema en ambas zonas, analizando primero la generación de energía eléctrica y

energía térmica por separado y también combinadas. En total se analizarán 9 escenarios, como se muestra en la Tabla 11.

Escenario	Zona / Planta Beneficio	Objetivo
1		Energía Eléctrica
2	Oriente / Lebrija	Energía Térmica
3		Energías Eléctrica y Térmica
4		Energía Eléctrica
5	Costa Norte / Cartagena	Energía Térmica
6		Energías Eléctrica y Térmica
7		Energía Eléctrica
8	Ambas zonas / Ambas plantas	Energía Térmica
9		Energías Eléctrica y Térmica

Tabla 11. Alternativas de aplicación del sistema de gasificación de pollinaza.

En la Figura 5 se puede observar un esquema de funcionamiento del proyecto, recolectando la pollinaza de las diferentes granjas, transportándola hasta el área de secado y almacenamiento en la planta de gasificación. La pollinaza, luego de alcanzar la humedad requerida, es tamizada para luego alimentar los reactores, donde se obtendrá gas combustible a alta temperatura por una parte, y por otra parte subproductos de la gasificación. El gas combustible pasará por un proceso de enfriado y las impurezas se filtrarán. El combustible, ahora limpio, podrá ser utilizado directamente en la caldera para generar vapor para el proceso productivo o podrá ser utilizado en motores a gas para generación de energía eléctrica que se proporcionará a la planta de beneficio. Los subproductos podrán ser comercializados a la industria química y otras.

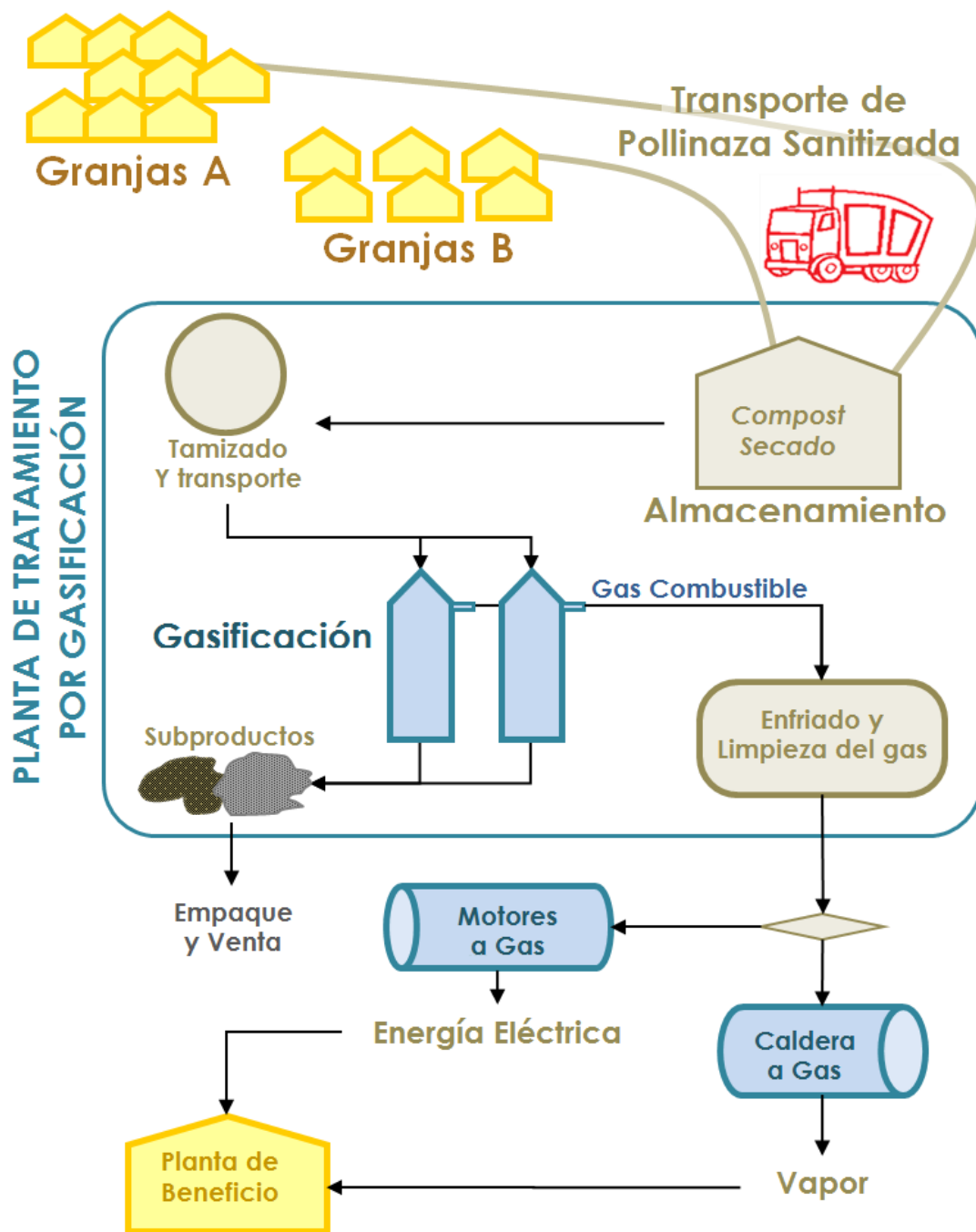


Figura 5. Diagrama del proyecto de gasificación de Pollinaza para generación de energía eléctrica o generación de vapor.

3.1.1. Producción de pollinaza

Las dos zonas cuentan con varias granjas que operan de manera muy similar, las camas de los galpones se inician con tamo de arroz limpio y seco, se reutilizan para dos o tres lotes de aves en la mayoría de los galpones.

Para la zona costa norte se conoce con cierta exactitud la cantidad de pollinaza que se genera al mes en promedio, es de 1.200ton y la humedad promedio es de 31% en base húmeda. Dado que la pollinaza para gasificación debe ser llevada a un porcentaje de humedad máximo 20% en base húmeda, se calcula la cantidad que se obtendría después de alcanzar la humedad requerida:

$$\frac{\text{parte agua}}{\text{parte seca}} 100\% = 31\% \quad (1)$$

$$\text{Masa total}_{31\% \text{ Hum}_{BH}} = \text{parte agua} + \text{parte seca} = 1.200\text{ton} \quad (2)$$

$$31\% \text{ Masa Total}_{31\% \text{ Hum}_{BH}} = \text{parte agua} = 372\text{ton} \quad (3)$$

$$\text{parte seca} = \text{Masa Total}_{31\% \text{ Hum}_{BH}} - \text{parte agua} = 828\text{ton} \quad (4)$$

Para calcular la masa total si la humedad fuese de sólo 20% en base húmeda, se asume que el 80% lo conforma la parte seca, es decir 828ton, entonces:

$$\text{Masa Total}_{20\% \text{ Hum}_{BH}} = \frac{828\text{ton}}{0.8} = 1.035\text{ton} \quad (5)$$

Se tiene entonces que la pollinaza total disponible en la zona Costa Norte será de 1.035ton promedio mensual con 20% de humedad en base húmeda. En la zona oriente, por su parte, aún no se tiene medido un promedio del residuo mes a mes debido a que hasta hace poco se está implementando la reutilización de las camas en dos y tres lotes en las granjas de los municipios Piedecuesta y Lebrija. Por lo tanto, se calculó la cantidad aproximada de pollinaza producida utilizando como base la suma de

áreas de los galpones por cada municipio, la capacidad de encasetamiento y la cantidad de usos de la cama que se harán en las granjas de cada municipio. En las granjas de La Mesa de Los Santos sólo se puede levantar un lote de aves por cama, mientras que en las granjas de Piedecuesta y Lebrija se reutilizará la cama hasta para 3 lotes. Por algunas experiencias que ya se han dado en granjas de esta zona, se conoce que la cama de un solo uso en La Mesa es de 12,3kg/m² de galpón y la cama de tres usos en Lebrija y Piedecuesta es en promedio de 37kg/m².

Municipio	No. de Aves	Área [m2]	Peso cama de 1 Lote [kg]	Peso cama de 3 Lotes [kg]
La Mesa de los Santos	972.000	60.750	747.225	
Piedecuesta	702.000	54.000		1.998.000
Lebrija	778.000	59.846		2.214.308

Tabla 12. Peso por cama en los municipios de la zona oriente.

En la Tabla 12 se muestra el peso de una cama para un grupo de granjas, es necesario calcular cuántas camas se producirán al año en cada municipio. Una cama de un uso (para un solo lote de aves) tendrá una edad de 54 días mínimo, mientras que una cama de 3 usos tendría una edad mínima de 162 días, por lo tanto, en La Mesa se producirán 6,76 camas al año y en Lebrija y Piedecuesta se producirán 2,25 camas al año.

	La Mesa	P/cuesta	Lebrija	Total
Camas por año	6,76	2,25	2,25	
Cantidad de pollinaza 26% Hum _{BH} [kg/año]	5.050.688	4.501.667	4.989.027	14.541.381
Cantidad de pollinaza 20% Hum _{BH} [kg/año]	4.671.886	4.164.042	4.614.850	13.450.777
Pollinaza disponible al mes [kg/mes]	389.324	347.003	384.571	1.120.898

Tabla 13. Cantidad de pollinaza producida por cada municipio.

De esta forma se tendrían en promedio al mes 1.120.898kg de pollinaza con una humedad de 20% en base húmeda, disponibles para gasificación en la zona oriente. Se puede disminuir la humedad de la pollinaza aumentando el tiempo de almacenamiento en las bodegas de compost de las granjas o de la planta de tratamiento, también se puede secar en la planta de tratamiento con aire caliente proveniente de los intercambiadores de calor de enfriamiento del gas que sale del gasificador.

3.1.2. Disposición de la pollinaza actualmente

La pollinaza producida en la zona oriente es vendida fácilmente a plantas de tratamiento donde se composta y se vende para uso en suelos. El precio promedio de venta por cada bulto de pollinaza sanitizada es de \$1.100, incluido el costo del saco que para la Avícola es de \$280. Se conoce que un bulto tiene un peso promedio de 37kg. Con estos datos se calcula un ingreso anual de \$322.268.438 por venta de pollinaza en la zona oriente.

	Bultos/año	Valor/bulto	Valor total /año
La Mesa de Los Santos	136.505	\$ 820	\$ 111.934.155
Piedecuesta	121.667	\$ 820	\$ 99.766.667
Lebrija	134.839	\$ 820	\$ 110.567.616
Total			\$ 322.268.438

Tabla 14. Ingreso por venta de pollinaza sanitizada en la zona oriente.

En el caso de la zona costa norte, como se había indicado anteriormente, se debe contratar el servicio de recolección de la pollinaza compostada y su retiro de las granjas. Cada viaje de pollinaza tiene un costo entre \$190.000 y \$200.000 y capacidad de 10,5ton. Un costo promedio por viaje para las diferentes granjas es de \$ 193.333. Dadas 1.200ton producidas al mes, serían 114 viajes que costarían en total \$22.095.238/mes, lo que significa un costo anual de \$265.142.856 por disposición de la pollinaza en la zona costa norte.

Es decir, mientras en la zona oriente se obtiene un ingreso por la pollinaza generada, en la zona costa norte se efectúa un gasto a penas 17% menor. En la siguiente tabla se observan los valores que representa la pollinaza generada en ambas zonas mensualmente.

Zona	Valor por Disposición de Pollinaza al mes
Oriente	+\$ 26.855.703
Costa Norte	-\$ 22.095.238

Tabla 15. Ingreso por venta y Costo por disposición de la pollinaza.

3.1.3. Costo de la energía eléctrica

En la planta de beneficio de Cartagena se tiene un consumo promedio mes²⁷ de 553.451kWh y \$244,15 de costo unitario promedio²⁸. A este costo se le debe sumar el 5% por concepto de Alumbrado Público, tarifa estipulada por el estatuto tributario del municipio de Cartagena para usuarios industriales no regulados.

Para el caso de la planta de beneficio de Lebrija, al mes se tiene un consumo promedio de 545.018kWh y el costo es de \$ 223,82/kWh. La tarifa de alumbrado público en este municipio es de 15% para usuarios industriales.

Así, el costo promedio de la factura de energía mensualmente para la planta de Lebrija es de \$140.286.402 y para la planta de Cartagena el costo promedio se calculó en \$141.882.364. Estos valores incluyen el impuesto de alumbrado público.

²⁷ Consumo promedio de los meses enero a agosto de 2.013, de acuerdo con teledatada de la planta de Cartagena.

²⁸ Tarifa promedio de los meses enero a agosto de 2.013, de acuerdo con facturas de la planta de Cartagena.

Mes	Lebrija		Cartagena	
	Consumo [kWh-mes]	Tarifa [\$/kWh]	Consumo [kWh-mes]	Tarifa [\$/kWh]
ene-2013	520.072	\$ 223,21	565.802	\$ 242,96
feb-2013	496.988	\$ 220,51	520.627	\$ 244,52
mar-2013	555.650	\$ 222,73	515.850	\$ 238,33
abr-2013	616.095	\$ 228,40	489.572	\$ 245,55
may-2013	599.064	\$ 222,71	542.250	\$ 248,92
jun-2013	508.103	\$ 224,81	569.744	\$ 248,09
jul-2013	520.954	\$ 226,63	594.313	\$ 243,42
ago-2013	543.217	\$ 221,59	629.453	\$ 241,42
Promedio	545.018	\$ 223,82	553.451	\$ 244,15

Tabla 16. Consumo de energía eléctrica y tarifa para las plantas de beneficio.

Planta	Costo Energía	Tarifa AP ²⁹	AP	Total Mes
Lebrija	\$ 121.988.176	15%	\$ 18.298.226	\$ 140.286.402
Cartagena	\$ 135.126.061	5%	\$ 6.756.303	\$ 141.882.364

Tabla 17. Costo promedio de la factura de energía eléctrica al mes incluido el impuesto de alumbrado público.

3.1.4. Costo del gas natural

La planta de beneficio de Cartagena tiene un consumo mucho mayor de gas natural domiciliario que el de la planta de Lebrija, debido a que el vapor generado en la caldera es requerido para otros procesos adicionales al escaldado de las canales y a la limpieza de los equipos. Los consumos y costos unitarios promedio se muestran a continuación:

²⁹ AP: alumbrado público

	Lebrija	Cartagena
Consumo [m3]	10.132	27.313
Tarifa [\$/m3]	\$ 844,55	\$ 964,00
Costo promedio mes	\$ 8.556.774	\$ 26.329.411

Tabla 18. Costos promedio mes de gas natural

3.1.5. Costos de transporte de pollinaza hacia la planta de tratamiento

La planta de gasificación de pollinaza se constituirá también, ante la entidad ambiental, como una planta de tratamiento de pollinaza y como tal se deberá incluir dentro del Plan de Manejo Ambiental de las granjas. Será además el centro de acopio de la pollinaza proveniente de todas las granjas incluidas en el proyecto en cada zona.

Para el caso de la zona oriente, el transporte de la Pollinaza proveniente de granjas en La Mesa de Los Santos tiene un costo de \$15.000/ton, desde las granjas de Piedecuesta el costo es de \$10.000/ton y desde las granjas de Lebrija y alrededores hasta la planta de beneficio, tiene un valor de \$7.000/ton. El cálculo del costo total es como sigue:

Origen	Costo/ton	Ton/año	Valor Anual	Valor Mensual
Mesa de Los Santos	\$ 15.000,00	5.051	\$ 75.760.313	\$ 6.313.359
Piedecuesta	\$ 10.000,00	4.502	\$ 45.016.667	\$ 3.751.389
Lebrija	\$ 7.000,00	4.989	\$ 34.923.186	\$ 2.910.266
Total			\$ 155.700.165	\$ 12.975.014

Tabla 19. Costo de transporte de Pollinaza de las granjas de la zona oriente hasta la planta de Lebrija.

En Cartagena y alrededores se conoce que el precio promedio para el transporte de la pollinaza desde las granjas hasta la planta de beneficio es de \$7.000/ton. Para las 1.200ton/mes el costo total del transporte sería de \$8.400.000 al mes.

3.1.6. Inversión inicial: Costo de equipos

De acuerdo con la experiencia del fabricante Ankur³⁰, el equipo sugerido es una dupla de piro-gasificadores (ítem 1, Tabla 20) con capacidad para procesar un promedio de 1.200kg/h de biomasa en conjunto, que pueden proporcionar un flujo máximo de gas de 3.470Nm³/h con poder calorífico inferior PCI a 1.100kcal/Nm³. La propuesta incluye un grupo electrógeno compuesto por 6 motores a gas (ítem 5, Tabla 20) de 225kWe cada uno en operación continua, con el fin de poder generar 1.200kW de potencia eléctrica, una torre de enfriamiento para reducir la temperatura del gas producido con su sistema de enfriamiento del agua y un sistema de tratamiento de condensados (ítems 2, 3 y 4, Tabla 20). Además se tienen en cuenta los costos de importación y transporte de estos equipos (ítems 6, 7 y 8, Tabla 20).

Otras inversiones requeridas para la planta son los equipos de almacenamiento, adecuación y transporte de la biomasa para poder operar, así como los elementos de transporte y limpieza del gas producido, montaje de todos los equipos y obras civil y eléctrica requeridas para poner en marcha y operar el sistema (ítems 11 y 12, Tabla 20).

En la oferta del proveedor del gasificador se incluye el valor del servicio de supervisión del montaje y puesta en marcha de la planta por parte de ingenieros especialistas, así como la capacitación del personal que operará la planta (ítem 10, Tabla 20). Estos costos también son incluidos como parte de la inversión inicial.

Ítem	Descripción	Cant.	Valor total
1	Reactor (gasificador) modelo PG-780 de ANKUR	2	\$ 2.112.800.000
2	Torre de Enfriamiento	1	\$ 37.308.780
3	Sistema de tratamiento de condensados	1	\$ 7.695.000
4	64 TR Chiller para enfriar agua recirculante	1	\$ 238.777.560
5	Grupo electrógeno Motor a gas CUMMINS 240kWe	6	\$ 1.708.272.900
	Radiadores para los motores	1	\$ 129.545.800
	Sincronización de motores	1	\$ 28.471.215

³⁰ ANKUR, Op. Cit.

Ítem	Descripción	Cant.	Valor total
6	Costos de embalaje 5% del valor de la carga	5%	\$ 197.530.935
7	Transporte interno en India	1	\$ 85.500.000
8	Costos de Importación y Transporte		
	Flete marítimo hasta puerto Buenaventura	1	\$ 57.000.000
	Seguro internacional de la carga	1	\$ 665.000
	Cargos bancarios (carta de crédito)	1	\$ 7.600.000
	Inspección de la carga en planta del fabricante	1	\$ 950.000
	Arancel	15%	\$ 635.047.445
	IVA	16%	\$ 677.383.942
	Costo de manejo y nacionalización	1	\$ 4.560.000
	Transporte terrestre (Buenaventura - Lebrija)	5	\$ 35.000.000
	Acompañamiento de la carga (escolta)	20%	\$ 7.000.000
9	Ingeniería de la planta de energía	1	\$ 95.345.800
10	Supervisión de instalación y puesta en marcha del sistema, capacitación al personal		
	-Tiquetes aéreos ida y regreso India-Colombia-India para 2 ingenieros de Ankur	2	\$ 7.600.000
	-Tiquetes aéreos ida y regreso Bogotá-Bucaramanga-Bogotá para 2 personas	1	\$ 700.000
	-Alimentación, hospedaje, transporte interno y otros, para 2 ingenieros por día	50	\$ 17.500.000
	-Costo por día de dos ingenieros (US\$250/day/person)	50	\$ 47.500.000
	-Imprevistos	10%	\$ 4.750.000
11	Recepción, almacenamiento y adecuación de biomasa		
	Obra Civil (base en concreto)	1	\$ 27.000.000
	Silo con capacidad de 25ton de pollinaza (incluido el montaje)	2	\$ 45.000.000
	Transportadores (un sinfín móvil para cargue de los silos, incluido montaje)	1	\$ 19.000.000
	Sistema de transporte alimentar gasificadores (transportadores de cadena, elevador y zaranda)	1	\$ 58.400.000
12	Planta gasificador		

Ítem	Descripción	Cant.	Valor total
	Obra civil para el gasificador y otros equipos	1	\$ 216.000.000
	Obra eléctrica y de control	1	\$ 28.000.000
	Tubería y montaje de tubería	1	\$ 20.000.000
	Líneas de aire comprimido	1	\$ 12.000.000
	Montaje de equipos	1	\$ 55.000.000
13	Análisis y pruebas piloto	1	\$ 8.380.000
TOTAL CAPEX			\$ 6.633.284.377

Tabla 20. Inversión (CAPEX) para el escenario de generación de energía eléctrica en Lebrija.

Los análisis químicos y de poder calorífico de la biomasa residual por parte del laboratorio del proveedor son necesarios para ajustar las características de los pirogasificadores y su operación. Dado que la pollinaza puede tener distintas composiciones según múltiples factores, es importante evaluar con mayor certeza las condiciones óptimas de operación del sistema para esta pollinaza específica antes de poner en marcha la planta. Por esta razón los análisis y pruebas piloto se incluyen dentro de los valores de inversión del proyecto (ítem 13, Tabla 20).

Adicionalmente, el proveedor debe realizar la ingeniería de detalle de la planta para poder generar los planos e indicaciones específicas de montaje y operación. Este servicio también está incluido en la oferta del proveedor (ítem 9, Tabla 20).

En la Tabla 20 se muestran las cantidades y valores para cada ítem que hace parte de la inversión requerida para el escenario 1, generación de energía eléctrica para la planta de Lebrija. Para el caso de generación de energía eléctrica en la planta de Cartagena las cantidades son iguales y el valor final tiene una variación muy pequeña. Para los casos de gasificación de pollinaza para generación de energía térmica se incluye sólo un gasificador de menores dimensiones cuyo costo es menor también, no se requieren los motores a gas y en cambio se hace necesaria una inversión en las modificaciones y adecuaciones de la caldera de gas existente para poder quemar el syngas producido.

Las demás tablas de inversión para cada escenario se muestran en detalle en la hoja llamada "CAPEX" del archivo de Excel del CD-ROM que acompaña la presente obra (ver ANEXO I. CD). En la Tabla 21 se observan los valores finales de inversión.

Escenario	Inversión
Energía Eléctrica en Lebrija	6.633.284.377
Energía Térmica en Lebrija	1.925.030.460
Energía Térmica y Eléctrica en Lebrija	6.753.284.377
Energía Eléctrica en Cartagena	6.647.934.377
Energía Térmica en Cartagena	1.930.680.460
Energía Térmica y Eléctrica en Cartagena	6.376.312.815
Energía Eléctrica en Lebrija y Cartagena	13.135.912.954
Térmica en Lebrija y Cartagena	3.732.007.020
Térmica y Eléctrica en Lebrija y Cartagena	12.984.291.391

Tabla 21. Valores de inversión (CAPEX) para cada escenario.

3.1.7. Energía eléctrica generada por el sistema

La experiencia del fabricante de reactores indica que por cada $1,2 \pm 0,1$ kg de biomasa se puede producir 1kWh con los equipos ofertados. Para el caso de la pollinaza y teniendo en cuenta los análisis que tiene el fabricante de diferentes muestras de esta biomasa, se determina un valor de 2kg de pollinaza por cada unidad (kWh) de energía para efecto de cálculos y análisis del proyecto. Esta razón de producción de energía eléctrica por cantidad de biomasa residual sólo puede ser confirmada a través de análisis elemental y de poder calorífico de la biomasa y con experimentos piloto con muestras de la biomasa propia del estudio.

El fabricante también proporciona la rata de producción de gas de síntesis según la experiencia en R+D de más de 20 años y sus equipos en más de 900 proyectos. En promedio un kilogramo de biomasa genera de 2,5 a 3,0 m³ de gas. Para el caso de la pollinaza de este trabajo se tendrá en cuenta una rata de producción de gas de

1,5m³/kg de pollinaza. De acuerdo con esto, se realizan los siguientes cálculos para hallar la cantidad de energía que se generaría para cada uno de los escenarios planteados.

Para el caso de la planta de Lebrija, se tienen disponibles 1.121ton/mes de pollinaza para gasificar. Si se reparten en 600h de trabajo al mes (para dos turnos de producción diarios, 5 días a la semana), teniendo en cuenta que los días ordinarios son de mayor demanda de energía en la planta y que el precio de la energía en bolsa es más alto para esos días, se tendría disponibilidad de 1.868kg/h que pueden generar 934kWh. Sin embargo, los dos piro-gasificadores pueden procesar un máximo de 1.200kg/h (600kWh), así que la pollinaza restante se utilizaría para cubrir más horas al día y también en días no ordinarios.

$$\text{Pollinaza disponible}_{Leb} = 1.120.898\text{kg/mes} \quad (1)$$

$$\text{Rata de producción de energía: } 0,5\text{kWh/kg de pollinaza} \quad (2)$$

$$1.120.898\text{kg} * 0,5\text{kWh/kg} = 560.449\text{kWh} \quad (3)$$

Al mes se producirían 560.449kWh para la planta de Lebrija. Para el caso de la planta de Cartagena, se tiene:

$$\text{Pollinaza disponible}_{ctg} = 1.035.000\text{kg/mes} \quad (4)$$

$$\text{Rata de producción de energía: } 0,5\text{kWh/kg de pollinaza} \quad (5)$$

$$1.035.000\text{kg} * 0,5\text{kWh/kg} = 517.500\text{kWh} \quad (6)$$

De acuerdo con los valores hallados en las fórmulas precedentes, al mes se producirían 517.500kWh para la planta de Cartagena.

Se deberá tener en cuenta además que el sistema consume parte de la energía que se generaría, consumo que está tipificado entre el 12 y 16%.

$$\text{Energía Eléctrica Generada}_{Leb} = 560.449\text{kWh/mes} \quad (7)$$

$$EE\ disponible_{Leb} = 560.449\text{kWh} * (100\% - 16\%) = 470.777,16\text{kWh} \quad (8)$$

$$\text{Energía Eléctrica Generada}_{Ctg} = 515.500kWh/mes \quad (9)$$

$$EE\ disponible_{Ctg} = 517.500kWh * (100\% - 16\%) = 434.700kWh \quad (10)$$

Con el sistema de gasificación y generación de energía eléctrica, se tendrán entonces 470.777,16kWh/mes de energía generada para el consumo de la planta de beneficio de Lebrija y para la planta de Cartagena se tendrían disponibles 434.700kWh/mes. Para generación de energía eléctrica en los dos casos, Lebrija y Cartagena, se utilizarán los dos gasificadores y el total de los 6 motores (plantas a gas) ofertados.

Escenario	Pollinaza [ton/mes]	Generación [kWh-mes]	Consumo del Sistema [kWh-mes]
E. Eléctrica en Lebrija	1.121	560.449	89.672
E. Térmica y Eléctrica en Lebrija	1.060	530.063	84.810
E. Eléctrica en Cartagena	1.035	517.500	82.800
E. Térmica y Eléctrica en Cartagena	871	435.587	69.694
E. Eléctrica en Lebrija y Cartagena	2.156	1.077.949	172.472
E. Térmica y Eléctrica en Lebrija y Cartagena	1.931	965.649	154.504

Tabla 22. Cantidad de energía producida para cada escenario de generación de energía eléctrica.

En la Tabla 22 se muestran las cantidades de pollinaza requerida para alimentar cada sistema en que se prevé generación de energía eléctrica, la cantidad que se generaría en kWh-mes y la energía que consumiría el sistema para su propia operación. La energía eléctrica disponible para uso de la planta de beneficio sería la resta entre la energía generada y el consumo del sistema.

En la Tabla 22 no se muestran los escenarios de generación de energía térmica ya que no aplican estos cálculos para tales escenarios. Para los casos de generación de energía eléctrica y térmica en conjunto, la pollinaza disponible para generación de energía eléctrica es menor ya que se toma primero la pollinaza requerida para sustituir totalmente el gas natural para producción de vapor, la pollinaza restante será la disponible para generación eléctrica.

Se establece el potencial energético con que cuenta la empresa a partir de la biomasa residual de sus granjas y que puede ser aprovechada a través de la implementación del proceso de gasificación. Para el caso de la biomasa obtenida de las granjas de Santander se tiene un potencial de 5.783.834 kWh/año para generación de energía eléctrica, y para el caso de las granjas de engorde de la Costa Norte se cuenta con un potencial de generación de aproximadamente 5.340.600 kWh/año.

3.1.8. Pollinaza requerida para sustituir el uso de gas natural

Teniendo en cuenta el consumo de gas natural en cada planta, el poder calorífico promedio del gas natural y del gas de síntesis que se generará y la rata de generación de gas por unidad de biomasa, se hallará la cantidad de pollinaza que se requiere en cada planta para sustituir el 100% de gas natural domiciliario.

El poder calorífico del Gas Natural se toma como valor promedio (según datos de las últimas facturas) un valor de 37,27MJ/m³, que equivalen a 8.997kcal/m³.

$$\text{Consumo Gas Natural}_{Leb} = 10.132\text{m}^3/\text{mes} \quad (11)$$

$$10.132\text{m}^3/\text{mes} * 8.997\text{kcal}/\text{m}^3 = 91.158.781\text{kcal}/\text{mes} \quad (12)$$

$$\frac{91.158.781\text{kcal}/\text{mes}}{1.000\text{kcal}/\text{m}^3\text{GS}} = 91.158\text{m}^3\text{GS}/\text{mes} \quad (13)^{31}$$

$$\frac{91.158\frac{\text{m}^3\text{GS}}{\text{mes}}}{1,5\frac{\text{m}^3\text{GS}}{\text{kg pollinaza}}} = 60.773\text{kg de pollinaza}/\text{mes} \quad (14)$$

La fórmula (14) nos da 60.773kg de pollinaza al mes para sustituir el consumo de gas natural en la planta de Lebrija.

³¹ GS: gas de síntesis o producto de la gasificación.

La fórmula (18) nos muestra la cantidad de pollinaza requerida para que la planta de Cartagena sustituya el consumo de gas natural, sería de 163.823,37kg de pollinaza al mes.

$$\text{Consumo Gas Natural}_{ctg} = 27.313\text{m}^3/\text{mes} \quad (15)$$

$$27.313/\text{mes} * 8.997\text{kcal}/\text{m}^3 = 245.735.061\text{kcal}/\text{mes} \quad (16)$$

$$\frac{245.735.061\text{kcal}/\text{mes}}{1.000\text{kcal}/\text{m}^3\text{GS}} = 245.735,06\text{m}^3\text{GS}/\text{mes} \quad (17)$$

$$\frac{245.735,06\frac{\text{m}^3\text{GS}}{\text{mes}}}{1,5\frac{\text{m}^3\text{GS}}{\text{kg pollinaza}}} = 163.823,37\text{kg de pollinaza}/\text{mes} \quad (18)$$

Para el caso del escenario de producción de energía térmica únicamente, no se requerirían los 6 motores a gas. El gasificador requerido para el escenario de generación de energía térmica únicamente sería uno sólo y de una referencia de menor capacidad, por tanto de menor valor. Sin embargo, se requiere tener en cuenta el costo de adecuaciones de la caldera de gas existente para poder utilizarla con el gas de síntesis producido.

Escenario	Pollinaza Requerida [ton/mes]
Energía Térmica en Lebrija	61
Energía Térmica en Cartagena	164
Energía Térmica en Lebrija y Cartagena	225

Tabla 23. Cantidad de pollinaza requerida para suplir el consumo total de gas natural.

En la Tabla 23 se presentan las cantidades de pollinaza mensual requeridas para generación de vapor, sustituyendo la totalidad del consumo de gas natural en cada

planta y en la combinación de las dos. Los escenarios de generación de energía eléctrica y térmica al mismo tiempo requerirían la misma cantidad, según la planta.

3.1.9. Energías eléctrica y térmica generadas con la pollinaza disponible

En los escenarios donde el objetivo es generar tanto energía eléctrica como térmica, se dará prevalencia a la sustitución del gas natural total necesario en la planta y con la pollinaza que quede disponible generar energía eléctrica.

Planta(s)	Pollinaza Disponible [ton/mes]	Pollinaza para E. Térmica [ton/mes]	Pollinaza para E. Eléctrica [ton/mes]	E. Eléctrica Generada [kWh-mes]
Lebrija	1.121	61	1.060	530.063
Cartagena	1.035	164	871	435.587
Lebrija y Cartagena	2.156	225	1.931	965.649

Tabla 24. Distribución de pollinaza para generación de energías térmica y eléctrica.

En estos escenarios se utilizarían sólo cinco motores ya que se tendría menor disponibilidad de biomasa residual para generar energía eléctrica que en los escenarios en que el objetivo es sólo la generación eléctrica. Se sustituye el total del gas natural que requiere la planta y se genera energía eléctrica en menor cantidad.

3.1.10. Subproductos del piro-gasificador

El piro-gasificador seleccionado para implementación del proyecto produce carbón vegetal y cenizas ricas en carbono. El carbón vegetal producido puede ser utilizado para combustión (parrillas) o, dependiendo de su calidad, como materia prima para producción de carbón activado utilizado para filtrar y limpiar líquidos. Mientras tanto, las cenizas pueden ser utilizadas como aditivos para mejorar las propiedades agronómicas del suelo. El carbón vegetal producido es alrededor del 5 al 6% de la biomasa gasificada y las cenizas están entre el 1 y el 3%.

De acuerdo a valores promedios del mercado, se le asignó al carbón vegetal un valor de venta de \$70.000/ton y a las cenizas el mismo valor de venta de la pollinaza sanitizada, es decir, \$22.162/ton.

3.1.11. Mantenimiento del sistema y mano de obra

Con ayuda del fabricante se determinó un valor total de mantenimiento anual para todo el sistema de gasificación y generación de energía eléctrica de \$60.000.000, lo que da un presupuesto de \$5.000.000 al mes. Este valor incluye mantenimientos preventivos, limpieza del sistema, repuestos y reparaciones menores eventuales. Así mismo, para el sistema de gasificación para generación de energía térmica únicamente, el presupuesto mensual para mantenimiento es de \$3.000.000. En los escenarios en que se conjugan los dos objetivos, el presupuesto para mantenimiento se estimó en \$6.000.000 mensuales.

Para la operación del sistema durante dos turnos al día se proponen un operario y un técnico electromecánico.

3.2. ESCENARIOS PARA EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO

Una evaluación financiera de proyectos completa permite al tomador de decisiones contar con los elementos de juicio necesarios para analizar la promesa de valor esperada de la inversión. Por otra parte, la función objetivo de un proyecto, puede definir su alcance como: la maximización de ingresos, la reducción de costos, la adquisición de conocimiento e intangibles o el cumplimiento de políticas corporativas; para el caso particular de estudio, la función objetivo se orienta a la reducción de costos y a la maximización de ingresos.



Figura 6. Portada Modelo de Evaluación Financiera para el proyecto: Síntesis de gas a partir de desechos orgánicos de granjas avícolas para generación de energía.

Para el desarrollo de esta evaluación se elaboró un modelo financiero basado en el Flujo de Caja Libre (FCL), árboles de decisión y relación beneficio/costo, el modelo tiene por objetivo apoyar a la gerencia en la toma de decisiones mediante un análisis comparativo entre los escenarios planteados para el desarrollo del proyecto versus el escenario actual o status quo. El modelo se entrega desarrollado en archivo³² de hoja de cálculo de Microsoft Office Excel® incluido en medio electrónico (CD-ROM), en adelante se referenciará como el ANEXO I. CD.

3.2.1. Línea Base

Uno de los costos más representativos en el proceso productivo de la planta de sacrificio, corresponde al consumo de energía eléctrica y térmica. Con base en esto y

³² VARGAS, Carolina. CARRILLO, Jesús Mauricio. Producción de gas de síntesis a partir de pollinaza para sustitución parcial o total de energéticos de uso en la planta de sacrificio. [CD-ROM] : Excel 2007 o superior. Bucaramanga, 2013. Monografía (Especialista en Gerencia de Recursos Energéticos). Universidad Autónoma de Bucaramanga. Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas.

el potencial aprovechamiento de los desechos orgánicos de las granjas de engorde como fuente de energía, se estudia la implementación de la tecnología descrita en el capítulo de gasificación como alternativa rentable para la reducción de los costos operacionales de la planta de sacrificio (reducción en costos de energía eléctrica - térmica).

La línea base del proyecto o status quo, contempla la valoración de la situación actual de las plantas de sacrificio en las ciudades de Lebrija y Cartagena, y el uso de la biomasa residuo de las granjas avícolas que actualmente es vendida o desechada. La Figura 7 y la Figura 8 muestran el análisis por FCL para los escenarios sin proyecto, el cual podrá ser detallado en el ANEXO I. CD, en las hojas "Sin proyecto Lebrija" y "Sin proyecto Cartagena". A continuación se presentan los resultados obtenidos del status quo, en donde se evidencia la alta inversión que realiza la empresa en energéticos.

Escenario	VPN
Escenario Sin Proyecto Lebrija	-9.032.649.705
Escenario Sin Proyecto Cartagena	-13.180.384.888
Escenario Sin Proyecto Lebrija + Cartagena	-22.213.034.593

Tabla 25. Resultados Valor Presente Neto (VPN) del status quo.

ESCENARIO SIN PROYECTO PLANTA LEBRIJA

Bultos de Pollinaza Año Santander	393009
Toneladas de Pollinaza Año Costa Norte	14400
Energía Consumida Año Santander	6.540.213
Energía Consumida Año Costa Norte	6.641.415
Años Valoración del Proyecto	10
Tasa de Oportunidad	12,50%
Incremento en Consumo de Energía Planta de	1%
Aumento de la Tarifa de Energía	2%
Aumento de Costos	3%
Porcentaje Alumbrado Público Lebrija	15%
Incremento de Precios Venta por Inflación	3,10%



	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Ingresos Venta de Pollinaza Los Santos		\$ 111.934.155	\$ 111.934.155	\$ 111.934.155	\$ 111.934.155	\$ 111.934.155	\$ 111.934.155	\$ 111.934.155	\$ 111.934.155	\$ 111.934.155	\$ 111.934.155
Ingresos Venta de Pollinaza Piedecuesta		\$ 99.766.667	\$ 99.766.667	\$ 99.766.667	\$ 99.766.667	\$ 99.766.667	\$ 99.766.667	\$ 99.766.667	\$ 99.766.667	\$ 99.766.667	\$ 99.766.667
Ingresos Venta de Pollinaza Lebrija		\$ 110.567.616	\$ 110.567.616	\$ 110.567.616	\$ 110.567.616	\$ 110.567.616	\$ 110.567.616	\$ 110.567.616	\$ 110.567.616	\$ 110.567.616	\$ 110.567.616
INGRESO TOTAL VENTA POLLINAZA SANTANDER	\$ -	\$ 322.268.438	\$ 332.258.760	\$ 342.558.782	\$ 353.178.104	\$ 364.126.625	\$ 375.414.550	\$ 387.052.401	\$ 399.051.026	\$ 411.421.608	\$ 424.175.678
Energía Eléctrica consumida Planta Lebrija		\$ 6.540.213	\$ 6.605.616	\$ 6.671.672	\$ 6.738.388	\$ 6.805.772	\$ 6.873.830	\$ 6.942.568	\$ 7.011.994	\$ 7.082.114	\$ 7.152.935
Costo de Kwh		\$ 224	\$ 228	\$ 233	\$ 238	\$ 242	\$ 247	\$ 252	\$ 257	\$ 262	\$ 267
COSTO TOTAL ENERGÍA CONSUMIDA SANTANDER	\$ -	\$ 1.463.855.087	\$ 1.508.063.510	\$ 1.553.607.028	\$ 1.600.525.961	\$ 1.648.861.845	\$ 1.698.657.472	\$ 1.749.956.928	\$ 1.802.805.627	\$ 1.857.250.357	\$ 1.913.339.318
Consumo de Gas (m ³) Lebrija		\$ 121.581	\$ 122.797	\$ 124.025	\$ 125.265	\$ 126.518	\$ 127.783	\$ 129.061	\$ 130.351	\$ 131.655	\$ 132.971
Tarifa Unitaria por m ³		\$ 845	\$ 861	\$ 879	\$ 896	\$ 914	\$ 932	\$ 951	\$ 970	\$ 990	\$ 1.009
COSTO TOTAL GAS LEBRIJA	\$ -	\$ 102.681.289	\$ 105.782.264	\$ 108.976.888	\$ 112.267.990	\$ 115.658.483	\$ 119.151.370	\$ 122.749.741	\$ 126.456.783	\$ 130.275.778	\$ 134.210.106
ALUMBRADO PÚBLICO MUNICIPIO LEBRIJA		\$ 219.578.263	\$ 226.209.527	\$ 233.041.054	\$ 240.078.894	\$ 247.329.277	\$ 254.798.621	\$ 262.493.539	\$ 270.420.844	\$ 278.587.554	\$ 287.000.898
FCL		\$ (1.463.846.200)	\$ (1.507.796.541)	\$ (1.553.066.183)	\$ (1.599.694.741)	\$ (1.647.722.980)	\$ (1.697.192.912)	\$ (1.748.147.807)	\$ (1.800.632.229)	\$ (1.854.692.081)	\$ (1.910.374.645)
VPN		\$ (9.032.649.705)									

Figura 7. Vista de la hoja "Sin Proyecto Lebrija" del Modelo, evaluación FCL escenario sin proyecto para la planta de Lebrija.

ESCENARIO SIN PROYECTO PLANTA CARTAGENA

Bultos de Pollinaza Año Santander	393009
Toneladas de Pollinaza Año Costa Norte	14400
Energía Consumida Año Santander	6.540.213
Energía Consumida Año Costa Norte	6.641.415
Años Valoración del Proyecto	10
Tasa de Oportunidad	12,50%
Incremento en Consumo de Energía Planta de sacrificio	1%
Aumento de la Tarifa de Energía	2%
Aumento de Costos	3%
Pocentaje Alumbrado Público Cartagena	5%



	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
INGRESO TOTAL VENTA POLLINAZA SANTANDER											
Energía consumida Costa Norte		\$ 6.641.415	\$ 6.707.823	\$ 6.774.907	\$ 6.842.656	\$ 6.911.083	\$ 6.980.194	\$ 7.049.936	\$ 7.120.496	\$ 7.191.701	\$ 7.263.618
Costo de Kwh		\$ 244	\$ 243	\$ 254	\$ 259	\$ 264	\$ 270	\$ 275	\$ 280	\$ 286	\$ 292
COSTO TOTAL ENERGÍA CONSUMIDA COSTA NORTE	\$ -	\$ 1.621.512.730	\$ 1.670.482.415	\$ 1.720.930.984	\$ 1.772.903.100	\$ 1.826.444.773	\$ 1.881.603.405	\$ 1.938.427.828	\$ 1.996.968.349	\$ 2.057.276.793	\$ 2.119.406.552
Toneladas Pollinaza para Disposición Final		\$ 14.400	\$ 14.400	\$ 14.400	\$ 14.400	\$ 14.400	\$ 14.400	\$ 14.400	\$ 14.400	\$ 14.400	\$ 14.400
Viajes Camión (capacidad 10,5 ton) para Toneladas Generadas		\$ 1.371	\$ 1.371	\$ 1.371	\$ 1.371	\$ 1.371	\$ 1.371	\$ 1.371	\$ 1.371	\$ 1.371	\$ 1.371
Valor Viaje		\$ 193.333	\$ 199.133	\$ 205.107	\$ 211.261	\$ 217.598	\$ 224.126	\$ 230.850	\$ 237.776	\$ 244.909	\$ 252.256
COSTO TOTAL DISPOSICIÓN POLLINAZA COSTA NORTE	\$ -	\$ 265.142.857	\$ 273.097.143	\$ 281.290.057	\$ 289.726.759	\$ 298.420.622	\$ 307.373.240	\$ 316.594.437	\$ 326.092.271	\$ 335.875.039	\$ 345.951.290
Consumo de Gas (m ³) Cartagena		\$ 327.752	\$ 331.030	\$ 334.340	\$ 337.683	\$ 341.060	\$ 344.471	\$ 347.915	\$ 351.395	\$ 354.908	\$ 358.458
Tarifa Unitaria por m ³		\$ 964	\$ 983	\$ 1.003	\$ 1.023	\$ 1.043	\$ 1.064	\$ 1.086	\$ 1.107	\$ 1.129	\$ 1.152
COSTO TOTAL GAS CARTAGENA	\$ -	\$ 315.952.928	\$ 325.494.706	\$ 335.324.647	\$ 345.451.451	\$ 355.864.085	\$ 366.631.784	\$ 377.704.064	\$ 389.110.727	\$ 400.861.871	\$ 412.967.699
ALUMBRADO PÚBLICO MUNICIPIO CARTAGENA		\$ 61.075.637	\$ 63.524.121	\$ 66.046.549	\$ 68.645.155	\$ 71.322.239	\$ 74.080.170	\$ 76.921.391	\$ 79.848.417	\$ 82.863.840	\$ 85.970.328
FCL	\$ -	\$ (2.283.684.152)	\$ (2.352.598.385)	\$ (2.423.592.237)	\$ (2.496.728.464)	\$ (2.572.071.718)	\$ (2.649.686.600)	\$ (2.729.647.721)	\$ (2.812.019.763)	\$ (2.896.877.542)	\$ (2.984.296.068)
VPN	\$ (13.180.384.888)										

Figura 8. Vista de la hoja "Sin Proyecto Cartagena" del Modelo, Modelo Evaluación FCL escenario Sin proyecto Cartagena.

3.2.2. Alternativas de generación de energía

Con la producción de gas de síntesis se puede generar energía eléctrica, energía térmica o ambas al mismo tiempo, sustituyendo así el total o una parte del suministro de energía eléctrica de la red nacional y/o el suministro de gas natural domiciliario en la planta de beneficio. Debido a esto y teniendo en cuenta las dos plantas de beneficio analizadas, se plantean las posibilidades de generar energía eléctrica, térmica, o la combinación de ambas en cada planta por separado o en ambas al mismo tiempo, a fin de establecer cuál de estos casos representa un potencial de beneficio mayor para la empresa. Los escenarios en total para el análisis serán 9, tal como se indicaron en la Tabla 11 al inicio de este capítulo. En el ANEXO I. CD, se pueden detallar los cálculos que soportan la evaluación de cada escenario, en donde se determinan los ingresos, los valores CAPEX (capital, inversión) y los valores OPEX (costos de operación) del proyecto.

3.3. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN FINANCIERA

En ocasiones, la valoración financiera de proyectos tradicional por Flujo de Caja Libre e indicadores como VPN y TIR (tasa interna de retorno) se queda corta debido a que limita al tomador de decisiones con valores de cumplimiento teórico de los indicadores analizados; por lo anterior, se plantea para el presente proyecto, la valoración financiera a partir de la relación Beneficio/Costo y complementar la estimación por FCL al combinarla con un análisis por árboles de decisión.

3.3.1. Cálculo de Promesa de Valor para cada escenario

A continuación se desarrolla el análisis tradicional por FCL para cada uno de los escenarios planteados, determinando los ingresos y egresos correspondientes y el efecto de los ahorros en el costo operativo de consumo energético que supone la implementación de la tecnología de gasificación para las plantas de sacrificio de Lebrija y Cartagena. La Tabla 26 expone los resultados de los VPN obtenidos, en el ANEXO I.

CD se puede observar en detalle la procedencia de cada uno de los datos que componen el análisis mencionado.

Escenario	VPN
Generación Energía Eléctrica en Lebrija	-\$ 1.350.583.109
Generación Energía Térmica en Lebrija	-\$ 10.906.676.049
Generación Térmica y Eléctrica en Lebrija	-\$ 1.178.545.613
Generación Energía Eléctrica en Cartagena	-\$ 2.599.971.642
Generación Energía Térmica en Cartagena	-\$ 13.028.001.764
Generación Térmica y Eléctrica Cartagena	-\$ 2.384.264.538
Generación Energía Eléctrica en Lebrija y Cartagena	-\$ 3.950.554.751
Generación Térmica en Lebrija y Cartagena	-\$ 23.934.677.814
Generación Térmica y Eléctrica en Lebrija y Cartagena	-\$ 3.562.810.152

Tabla 26. VPN escenarios de aplicación del sistema de gasificación.

El proyecto de implementación de gasificación a partir de biomasa para los casos estudiados presenta una inversión muy alta, sin embargo, al observar la Tabla 27 podemos decir que los escenarios de generación de energía eléctrica y energías eléctrica y térmica al mismo tiempo, presentan un VPN mayor al de los escenarios en estado actual del negocio detallados antes en la Tabla 25. En los escenarios de generación de sólo energía térmica se observa lo contrario y el VPN obtenido es menor (negativo) que el del *status quo*.

La mayor diferencia entre el VPN de un escenario con el del *status quo* se da para el escenario de generación combinada de energías eléctrica y térmica para las dos plantas. Lo siguen el escenario de generación de energía eléctrica para las dos plantas y el escenario de generación de energías eléctrica y térmica para la planta de Cartagena.

En todos los escenarios de aplicación del proyecto, los valores de mayor incidencia positiva en el VPN corresponden al valor de salvamento de la maquinaria y, en los casos donde hay generación de energía eléctrica, al ahorro por los costos de este servicio.

3.3.2. Análisis por árboles de decisión

Con base en los requerimientos de la dirección, se plantean los diferentes escenarios de valoración para las plantas de sacrificio de Lebrija y Cartagena. La Figura 9 muestra el análisis por árbol de decisión para los escenarios de implementación del proyecto en la zona oriente (Santander) frente al escenario sin proyecto, en la Figura 10 se observa el árbol de decisión para los escenarios de la zona costa norte y la Figura 11 se muestra el árbol de decisión para los escenarios en los que el proyecto se implementa en conjunto en ambas zonas.

En estas figuras se puede ver cuál es la opción seleccionada por la herramienta de decisión. Para los tres árboles planteados, árbol de aplicación en la planta de Lebrija, árbol de aplicación en la planta de Cartagena y el árbol de aplicación en las dos plantas, la mejor opción (marcada con el valor *VERDADERO*) es la de generación combinada de energía eléctrica y energía térmica, mientras que las otras opciones se descartan.

Estos resultados también se pueden observar en detalle en el ANEXO I. CD en la hoja de cálculo llamada "ARBOL". De esta manera, se muestran las diferentes opciones planteadas para la gerencia, que son objeto de análisis mediante la utilización del modelo de evaluación financiera diseñado por los autores del proyecto para la toma de decisiones. El modelo se plantea como una herramienta que permite visualizar todos los escenarios objeto de estudio a nivel empresa y no planta por planta, posibilitando establecer en primer lugar los beneficios esperados de cada escenario y, en segundo lugar, el núcleo principal del proyecto, es decir, el eje que logra que un escenario tenga mejores resultados que otro, en caso de que hayan resultados favorables para más de uno de los escenarios analizados. El análisis por árboles de decisión fue elaborado mediante la utilización del software³³ para análisis de decisiones Precisión Tree del fabricante Palisade.

³³ Software Precisión Tree. Palisade 2012, Versión 6.1.

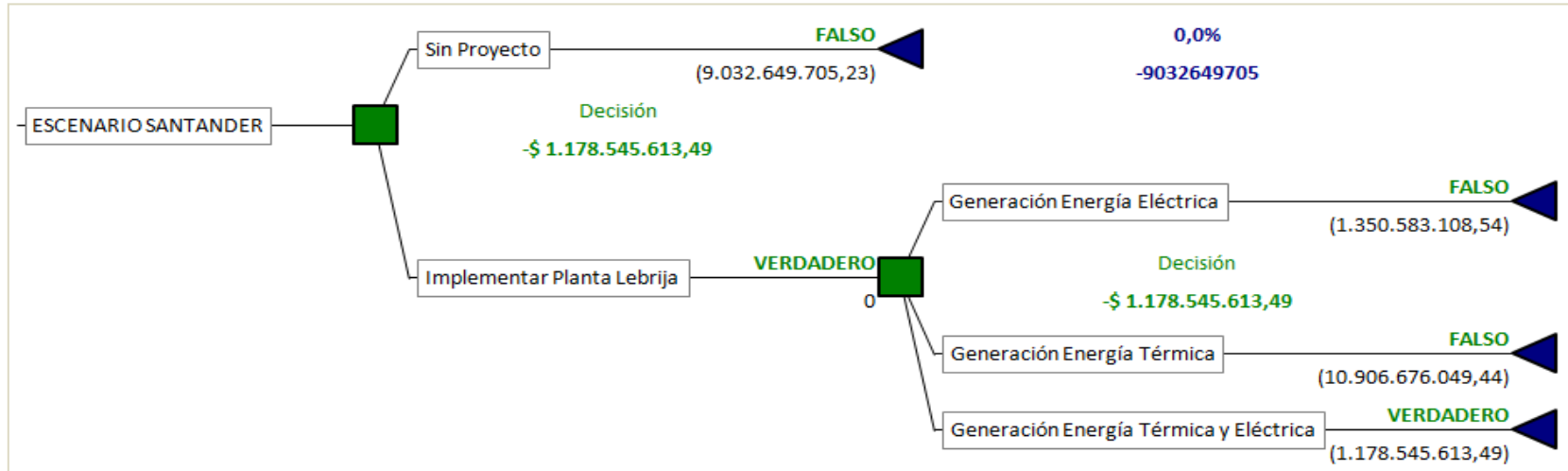


Figura 9. Árbol de decisión para los escenarios de la zona oriente.

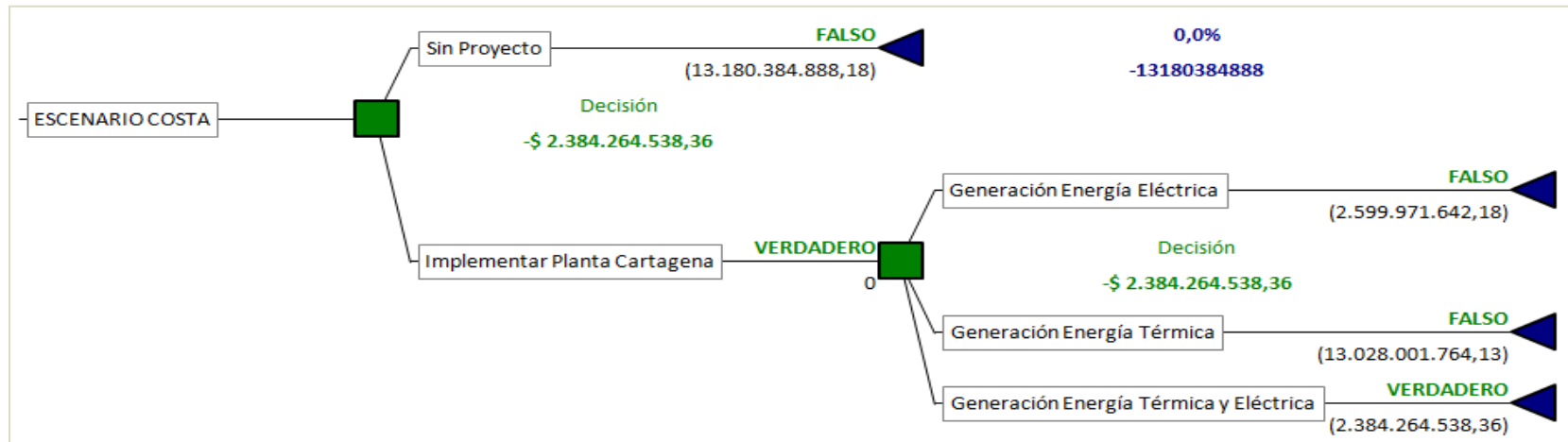


Figura 10. Árbol de decisión para los escenarios de la zona costa norte.

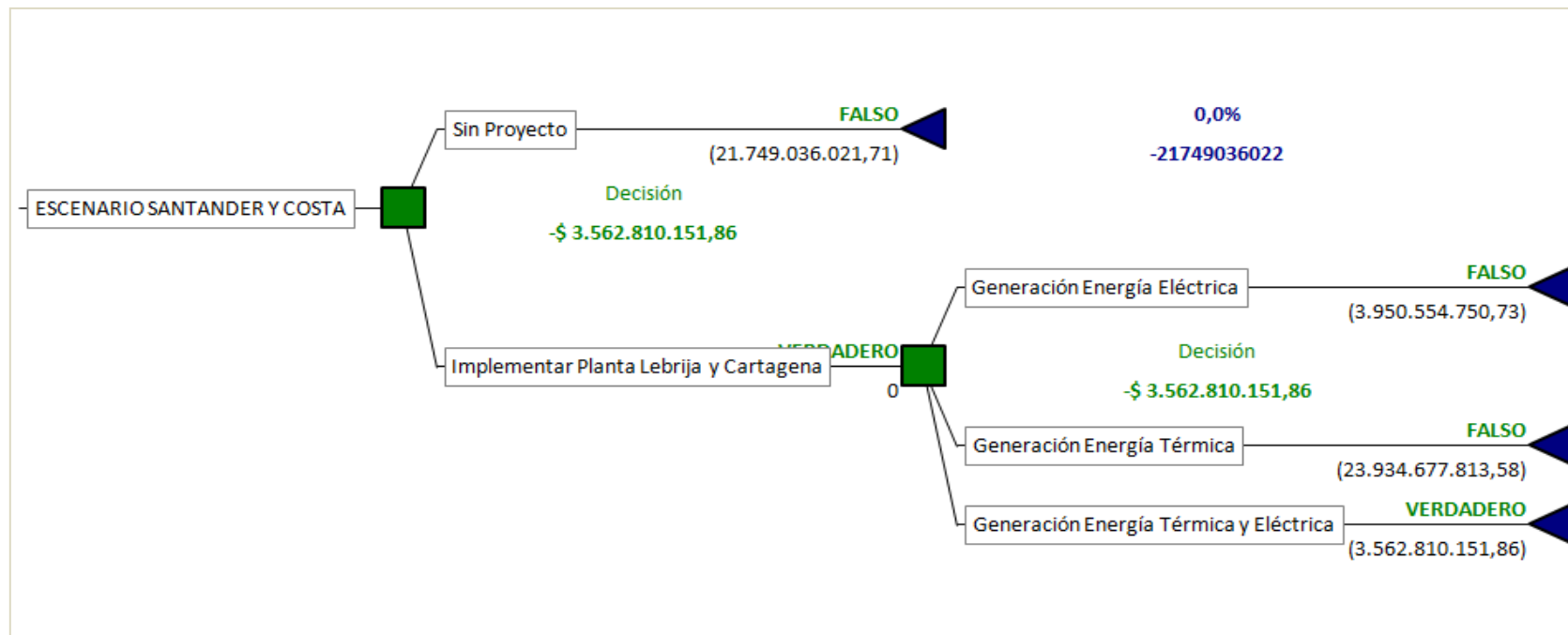


Figura 11. Árbol de decisión para los escenarios de implementación en las dos zonas.

3.3.3. Análisis por Relación Beneficio / Costo

El cálculo de la Relación B/C metodológicamente se llevó a cabo de la siguiente manera: se plantea la teoría del valor presente del beneficio a partir de la teoría planteada por Lohrenz³⁴ y Waggoner³⁵ del valor presente de la información:

$$\text{Valor Presente Beneficio} = \text{Valor Presente (Con Proyecto)} - \text{Valor Presente (Sin Proyecto)}$$

El VPN calculado para cada escenario representa el monto de dinero que debe pagar la empresa en el periodo de valoración definido (10 años) para cubrir el suministro energético en sus plantas de sacrificio de aves en las ciudades de Lebrija y Cartagena respectivamente. Como se observa en la hoja titulada "ÁRBOL" del módulo de evaluación financiera (ANEXO I. CD) y en la Tabla 26, los valores obtenidos son negativos. Como se mencionó con anterioridad, dado que la función objetivo del presente proyecto es principalmente reducir costos, se aplica la fórmula antes descrita para calcular el beneficio potencial de los diferentes escenarios. La Tabla 27 presenta el resumen de los resultados. El mayor valor presente del beneficio se obtiene para el escenario de generación combinada de energía eléctrica y térmica en las dos plantas.

Una vez calculado el beneficio que ofrece cada escenario, se procede a hallar la relación beneficio / costo mediante la aplicación de la siguiente ecuación:

$$\left(\frac{B}{C}\right) = \frac{\text{Beneficios}}{VP\ INVERSIÓN}$$

Si la relación $\left(\frac{B}{C}\right)$ es mayor a 1, se dice que el proyecto es viable

Si la relación $\left(\frac{B}{C}\right)$ es menor a 1, se dice que el proyecto no es viable

³⁴ LOHRENZ, Jhon. Net values of our information. *En* : Journal of Petroleum Technology. Volumen 40, número 4 (Abril, 1988); p. 499-503.

³⁵ WAGGONER, J.R. Quantifying the economic impact of 4d seismic Projects. *En* : SPE Reservoir Evaluation & Engineering. Volumen 5, Número 2 (Abril, 2002); p. 111-115.

Si la relación $\left(\frac{B}{C}\right)$ es igual a 1, se dice que el proyecto no es viable

	VPN Con Proyecto	VPN Sin Proyecto	VPN Beneficio
Escenarios Planta Lebrija			
Energía Eléctrica	-\$ 1.350.583.109	-\$ 9.032.649.705	\$ 7.682.066.597
Energía Térmica	-\$ 10.906.676.049	-\$ 9.032.649.705	-\$ 1.874.026.344
Energía Térmica y Eléctrica	-\$ 1.178.545.613	-\$ 9.032.649.705	\$ 7.854.104.092
Escenarios Planta Cartagena			
Energía Eléctrica	-\$ 2.599.971.642	-\$ 13.180.384.888	\$ 10.580.413.246
Energía Térmica	-\$ 13.028.001.764	-\$ 13.180.384.888	\$ 152.383.124
Energía Térmica y Eléctrica	-\$ 2.384.264.538	-\$ 13.180.384.888	\$ 10.796.120.350
Escenarios Plantas Lebrija y Cartagena			
Energía Eléctrica	-\$ 3.950.554.751	-\$ 21.749.036.022	\$ 17.798.481.271
Energía Térmica	-\$ 23.934.677.814	-\$ 21.749.036.022	-\$ 2.185.641.792
Energía Térmica y Eléctrica	-\$ 3.562.810.152	-\$ 21.749.036.022	\$ 18.186.225.870

Tabla 27. Cálculo de beneficios de los diferentes escenarios.

Teniendo en cuenta lo anterior se presentan los resultados obtenidos para el cálculo de este método de evaluación financiera que sin lugar a dudas, ayudará al tomador de decisión a evaluar el potencial de beneficios a partir de su inversión. La Tabla 29 a continuación presenta el resumen de los resultados.

De estos resultados se observa que los escenarios de generación de energía eléctrica y generación combinada de energía térmica y eléctrica para el caso de las dos plantas son viables, sin embargo, incorporando un segundo criterio de análisis vemos que el rendimiento de nuestra inversión es casi idéntica en ambos casos por lo que la toma de decisiones debe definir un criterio de tipo gerencial a la hora de priorizar los escenarios positivos respondiendo a las necesidades propias de la planta de sacrificio. Desde el punto de vista netamente financiero, se puede decir, que los escenarios de generación de energía térmica y eléctrica tienen una relación beneficio/costo levemente superior que los escenarios de generación de energía eléctrica para la misma planta de aplicación.

Escenario	VPN Beneficio	VPN Inversión
Energía Eléctrica en Lebrija	\$ 7.682.066.597	\$ 3.627.498.258
Energía Térmica en Lebrija	-\$ 1.874.026.344	\$ 1.052.728.067
Energía Térmica y Eléctrica en Lebrija	\$ 7.854.104.092	\$ 3.693.121.826
Energía Eléctrica en Cartagena	\$ 10.580.413.246	\$ 3.635.509.802
Energía Térmica en Cartagena	\$ 152.383.124	\$ 1.055.817.843
Energía Térmica y Eléctrica en Cartagena	\$ 10.796.120.350	\$ 3.486.970.000
Energía Eléctrica en Lebrija y Cartagena	\$ 17.798.481.271	\$ 7.263.008.060
Térmica en Lebrija y Cartagena	-\$ 2.185.641.792	\$ 2.108.545.910
Térmica y Eléctrica en Lebrija y Cartagena	\$ 18.186.225.870	\$ 7.180.091.826

Tabla 28. VPN del beneficio y VPN de Inversión para cada escenario.

Escenario	Beneficio Costo	Decisión
Energía Eléctrica en Lebrija	2,12	Viable
Energía Térmica en Lebrija	-1,78	No viable
Energía Térmica y Eléctrica en Lebrija	2,13	Viable
Energía Eléctrica en Cartagena	2,91	Viable
Energía Térmica en Cartagena	0,14	No viable
Energía Térmica y Eléctrica en Cartagena	3,10	Viable
Energía Eléctrica en Lebrija y Cartagena	2,45	Viable
Térmica en Lebrija y Cartagena	-1,04	No viable
Térmica y Eléctrica en Lebrija y Cartagena	2,53	Viable

Tabla 29. Resultados de escenarios de aplicación del sistema de gasificación.

La relación beneficio/costo mayor se logra en el escenario de generación combinada de energía eléctrica y térmica para la planta de Cartagena. Se observa que la

implementación de la tecnología no es viable para generar sólo la energía térmica que demandan las plantas. El caso de implementación de la tecnología de gasificación para generar energía eléctrica es un escenario atractivo para el inversionista pues se tiene una relación beneficio-costos de 2,12 para el caso de la planta de Lebrija, de 2,91 para el caso de Cartagena y un valor intermedio de 2,45 para el caso de aplicación en las dos plantas simultáneamente. Para el caso de generación combinada de energía térmica y eléctrica se observa que en la planta de Lebrija la relación de 2,13 es casi igual a la obtenida para sólo generación de energía eléctrica, para Cartagena una relación beneficio/costo de 3,10 que es mayor a la obtenida para generación sólo de energía eléctrica, y nuevamente un valor intermedio para el caso de aplicación en las dos plantas, 2,53.

Para los casos de Cartagena se obtiene una relación beneficio/costo mayor debido a que se disminuyen los costos de disposición de la biomasa residual y se ahorra un mayor costo por sustitución del gas natural ya que el consumo allí es mayor que en la planta de Lebrija.

En los casos de Lebrija es importante tener en cuenta que la relación beneficio/costo se ve afectada por los ingresos no percibidos por la venta de la pollinaza que se reciben actualmente, pero el indicador se mejora debido a la tarifa de alumbrado público mucho mayor a que la de Cartagena.

CONCLUSIONES

La zona más idónea para implementar el proyecto es la costa norte (planta de beneficio de Cartagena), ya que allí se presenta un beneficio mayor al de la implementación en la zona oriente. El ahorro que se logra para la generación de sólo energía eléctrica en Lebrija es \$7.682.066.597 y en Cartagena es \$10.580.413.246 en el periodo de evaluación contemplado de 10 años. Para el caso de generación combinada de energías térmica y eléctrica se obtiene en Lebrija un ahorro de \$7.854.104.092 y en Cartagena de \$10.796.120.350. Como se observa, los beneficios para la implementación en Cartagena son 1,37 veces mayores que para la implementación en Lebrija, es decir que la inversión se recuperaría en menor tiempo. Los mayores ahorros y la mayor rentabilidad se obtienen de la implementación del proyecto en la zona costa norte para generación tanto de energía térmica como eléctrica al mismo tiempo. En conclusión, el proyecto debe implementarse para generación combinada y no para generación de energía eléctrica solamente.

Se recomienda que, si se toma la decisión de implementar el proyecto, se ejecute primero para la planta de Cartagena para generación combinada de energías térmica y eléctrica y, luego de un tiempo prudencial en que se haya aprendido y experimentado lo suficiente con el sistema de gasificación, se implemente también para la planta de Lebrija igualmente para generación combinada de energía. Ya que si bien es cierto que el beneficio es mayor al implementar el proyecto para la planta de Cartagena, la implementación en ambas zonas simultáneamente es también viable, presenta un beneficio alto y permite reducir los costos de la empresa.

La metodología de análisis y evaluación de proyectos a través de árboles de decisión y relación beneficio/costo, es una herramienta muy útil para casos en los que el VPN de los escenarios evaluados es negativo y el flujo de caja libre (FCL) no presenta cambios de signo, imposibilitando el uso de indicadores como la tasa interna de retorno (TIR). Esta metodología brindó indicadores cualitativos y cuantitativos que permiten

comparar los escenarios y facilitan la evaluación objetiva de la implementación o no del proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

ANKUR Scientific Energy Technology Pvt. Ltd. Oferta: OFF / 13 - 14 / 36 / 406. Septiembre 18 de 2013.

CASTELLS, Xavier Elías. Tratamiento y valorización energética de residuos. Madrid: Díaz de Santos, 2005. 1256 p. ISBN 978-847978-694-6

CDMB. Resolución CDMB 001051 de agosto 30 de 2013.

CEDER, Centro de Desarrollo de Energías Renovables. Biomasa – Situación Actual. [en línea]. <<http://www.ceder.es/CEDERportal/portal.do?TR=C&IDR=31>> [citado el 22 de septiembre de 2013]

COBB-VANTRESS. Guía de Manejo del Pollo de Engorde [en línea, documento pdf]. <<http://67.43.0.82/docs/default-source/guides/cobb-broiler-management-guide---spanish.pdf?Status=Temp&sfvrsn=0>> [citado en 24 de marzo de 2012].

CUJIA, Gabriel. BULA, Antonio. Potencial Obtención de Gas de Síntesis para la Producción de Metanol a partir de la Gasificación de Residuos de Palma Africana. En: Revista Interciencia. Vol. 35 N° 2 (Feb., 2010); p.107-112. [en línea] <http://www.interciencia.org/v35_02/106.pdf> [citado en 8 febrero de 2012]

GASIFICATION TECHNOLOGIES COUNCIL. Gasification An investment in our energy future. [en línea] <http://www.gasification.org/uploads/downloads/Final_whitepaper.pdf> [citado en 13 septiembre de 2012]

_____. Gasification Redefining clean energy. [en línea] <http://ccdtstorage.blob.core.windows.net/assets/resources/Final_whitepaper.pdf> [citado en 13 septiembre de 2012]

ICA. Resolución ICA 1183 de 2010.

LOHRENZ, Jhon. Net values of our information. En : Journal of Petroleum Technology. Volumen 40, número 4 (Abril, 1988); p. 499-503.

MINISTERIO de Minas y Energía et al. Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia. 2010. 180 p. [Disponible en línea] <<http://www.si3ea.gov.co/Home/Biomasa/tabid/76/language/es-ES/Default.aspx>> [citado en marzo 9 de 2012] ISBN: 978-9 58-8504-59-9.

PALATNIC AMPUERO, María Esmeralda. Diseño y desarrollo de pequeñas unidades de gasificación de madera para aplicaciones de generación de energía térmica y cogeneración a baja escala. Santiago de Chile, 2011, 96 p. Memoria (Ingeniero Civil Mecánico). Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Ingeniería Mecánica. [en línea] <http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2011/cf-palatnic_ma/pdfAmont/cf-palatnic_ma.pdf> [citado en 13 septiembre de 2012]

Resolución 909 de 2008. Emisiones Fuentes Fijas.

USAID. Manual de Compostaje de Granjas Avícolas de Engorde. Programa de USAID de excelencia ambiental y laboral para CAFTA-DR. Julio 2011, p. 14.

WAGGONER, J.R. Quantifying the economic impact of 4d seismic Projects. En : SPE Reservoir Evaluation & Engineering. Volumen 5, Número 2 (Abril, 2002); p. 111-115.

Bibliografía sugerida

COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS. Resolución 05 de 2010.

CUSGUEN OLARTE, Eduardo. Estatuto Tributario. Bogotá 2011.

GASIFICATION TECHNOLOGIES COUNCIL. Database and Library. [en línea] <http://www.gasification.org/page_1.asp?a=103> [citado en 13 septiembre de 2012]

GASIFICATION TECHNOLOGIES COUNCIL. Gasification: Redefining clean energy. [video] [en línea] <<http://www.gasification.org/homePageVideoPlayer.asp?videoID=11>> [citado en 3 marzo de 2013]

GRUPO DE INVESTIGACIÓN GESTIÓN EFICIENTE DE ENERGÍA (KAI) DE LA UNIVERSIDAD DEL ATLÁNTICO, GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ENERGÍAS (GIEM) DE LA UNIVERSIDAD DE OCCIDENTE, UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA DE COLOMBIA Y COLCIENCIAS. Cogeneración.

INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA (IDAE). Biomasa, Gasificación. Madrid, octubre de 2007.

MENDOZA, Jorge M. BULA, Antonio. GÓMEZ, Rafael D. CORREDOR, Lesmes A. Análisis Exergético de la Gasificación de Biomasa. En: Información Tecnológica. Vol. 23 N° 5 (2012); p.85-96. [en línea] <http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642012000500009&script=sci_arttext> [citado en 20 noviembre de 2012]

REPÚBLICA DE COLOMBIA. Artículo 74.1, Ley 142 de 1994.

REPÚBLICA DE COLOMBIA. Ley 1215 de 2008.

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. Resolución 520 y 638 de 2007.

ANEXO I. CD

Con el presente trabajo escrito se entrega un CD-ROM que incluye las memorias de cálculo y análisis del proyecto, dentro del Modelo de Evaluación planteado.

El Modelo se encuentra desarrollado en un archivo de hoja de cálculo de Microsoft® Excel 2007, nombrado ***Evaluación Financiera Gasificación de Pollinaza.xlsx***.

A continuación se encuentra un resumen del contenido y de cómo está organizado el archivo por hojas.

Nombre hoja de cálculo	Contenido
Resumen Resultados	Resumen de los beneficios calculados para los escenarios analizados
Intro	Título, integrantes y convenciones para leer el archivo
Árbol	Árboles de decisión para los escenarios evaluados en el proyecto vs el <i>status quo</i>
Sin Proyecto Lebrija	Evaluación Sin proyecto planta Lebrija
Sin Proyecto Cartagena	Evaluación Sin proyecto planta Cartagena
Sin Proyecto 2 plantas	Evaluación de la situación actual de las 2 plantas
Lebrija Eléctrica	Escenario de Generación de energía eléctrica mediante la implementación del proyecto evaluado en la planta de Lebrija
Cartagena Eléctrica	Escenario de Generación de energía eléctrica mediante la implementación del proyecto evaluado en la planta de Cartagena
Lebrija Térmica	Escenario de Generación de energía térmica mediante la implementación del proyecto evaluado en la planta de Lebrija
Cartagena Térmica	Escenario de Generación de energía térmica mediante la implementación del proyecto evaluado en la planta de Cartagena
Cartagena Combinada	Escenario de Generación de energía térmica y eléctrica mediante la implementación del proyecto en la planta de Lebrija

Biomasa	Escenario de Generación de energía térmica y eléctrica mediante la implementación del proyecto en la planta de Cartagena
Consumo de Energía	Cálculos de la cantidad de biomasa disponible en las granjas de Santander y la Costa Norte
OPEX	Cálculo de la Energía consumida en las plantas d Lebrija y Cartagena
CAPEX	Costos operacionales proyecto
Depreciación	Costos de capital proyecto
Ingresos Vta Productos	Cálculo del valor de la depreciación para los equipos comprados para el proyecto
Estudios	Ingreso por venta de productos para la empresa en el escenario sin proyecto y con proyecto
Finan & WACC	Valor de estudios requeridos en implementación
Desecho activo	Método de financiación definido por el inversionista y cálculo cuota de pago del mismo

Tabla 30. Contenido del Modelo de Evaluación del proyecto en Excel.

ANEXO II. CONTACTOS POSIBLES PROVEEDORES

EMPRESA	HEFEI DEBO BIOENERGY SCIENCE AND TECHNOLOGY CO. LTD
URL	http://www.hfdepo.com/hfdepo/en/
EMAIL	hfdebo@aliyun.com hfdepo@aliyun.com
DIRECCIÓN	F8 Building C, Chiyuan Chuangye Park, Kexue Avenue, Hefei City, Anhui Province, China Tel: +86-0551-65370358 Fax: +86-0551-65370368
CONTACTO	Julie. hfdepo@aliyun.com
EMPRESA	ANKUR SCIENTIFIC ENERGY TECHNOLOGIES PVT LTD
URL	http://www.ankurscientific.com/
EMAIL	ascent@ankurscientific.com
DIRECCIÓN	Near Old Sama Jakat Naka, Sama Road, Baroda 390008, Gujarat, India Phone: 91-265-2793098/2794021, fax: 91-265-2794042
CONTACTO	Juan Fernando Gutiérrez, Representante en Colombia info@acquaire.com Acquaire Ltda. Tel: 1 + 2179246 Ashok Chaudhuri ashok.chaudhuri@ankurscientific.com
EMPRESA	INFINITE ENERGY PVT LTD
URL	www.infiniteenergyindia.com www.briquetter.in www.gasifier.in
EMAIL	infenergy@gmail.com
DIRECCIÓN	Flat No.1107, 11th Floor Arunachal Buliding 19-Barakhamba Road New Delhi - 110001 Phone: +91-11-65191937, 65273819 Fax: -23738392 Mobile: -9212084842
CONTACTO	Naval Kishore infenergy@gmail.com

EMPRESA	GP GREEN ENERGY SYSTEMS PVT LTD
URL	http://gpenergy.net/
EMAIL	info@gpenergy.net
DIRECCIÓN	BH 114, Salt Lake, Kolkata-700091, India. Telefax : +91 33 23210809 / +91 33 23580114,
CONTACTO	Michael Zahradnik
	Güssing Renewable Energy GmbH (filial)
	Tel. +43-699-1000 0003 Tel.: +43 664 88739688
URL	www.gussingrenewable.com
EMAIL	michael.zahradnik@gussingrenewable.com skype: htnvie
EMPRESA	CHANDERPUR WORKS PVT LTD
URL	http://www.chanderpur.com/biomass-coal-gasifier.html
EMAIL	info@chanderpur.com cpwindia@gmail.com
DIRECCIÓN	Jorian, Delhi Road, Yamuna Nagar - 135 001, Haryana (India) Phone : +(91)-(1732)-203460 / 203461 / 203462 Fax : +(91)-(1732)-203463
EMPRESA	BELLIS
URL	http://www.bellissindia.com/
EMAIL	gabraham@bellissindia.com info@bellissindia.com
DIRECCIÓN	71, Tras Street, # 07-179, Union Building, Singapore - 079025 Tel: +65 6423 1078 Fax: +65 6423 1079
CONTACTO	Mr. George Abraham Cell: +65 96209720 gabraham@bellissindia.com
EMPRESA	TANGSHAN KEYUAN
URL	http://www.ts-ky.com/en/index.html
EMAIL	keyuan@kitlec.com
DIRECCIÓN	No.47, Daqing Road, High and New Technology Development Zone, Tangshan, Hebei, P.R. China. Free hotline: 400-000-3855 After sale service: +86-315-3855295

Technology consulting: +86-315-3855296

Sales hotline: +86-315-3855289

EMPRESA	AGROPOWER GASIFIERS
URL	http://www.agropowergasifier.com/products.html
EMAIL	contact@agropowergasifier.com agropower_gasifier@yahoo.com
DIRECCIÓN	REGISTERED OFFICE B. 37/181 B - 1 BIRDOPUR, VARANASI - 221010 (U.P) INDIA. Ph No: 91542 - 2364285 Mob.: +91 9415290799 FACTORY 38, RATAN BAGH, TENGARA MOR, RAMNAGAR, VARANASI-221008 (U.P.) INDIA Mob.: +91 9415221537