

PIROLISIS RÁPIDA DE BIOMASA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA LIMPIA

Patricia Gilligan, Juan Manuel Eberlé

Tecna S.A

Encarnación Ezcurra 365 (C1107CLA) - Buenos Aires – Argentina

Abstract. La creciente demanda mundial de energía, conjugada con el estancamiento de la oferta de petróleo, han producido un incremento de los precios del barril a valores máximos históricos. Este escenario impulsa fuertemente el desarrollo de fuentes alternativas renovables de energía.

Entre las fuentes renovables de energía, la Biomasa es una alternativa atractiva ya que permite obtener un combustible a partir de recursos biológicos y su utilización no produce impactos significativos en el medio ambiente. La Biomasa a diferencia de la energía eólica y solar, es relativamente fácil de almacenar, pero en contrapartida, opera con enormes volúmenes combustibles que hacen su transporte oneroso y constituyen un argumento a favor de una utilización local. En la actualidad las formas de utilización más difundidas de la biomasa como fuente de energía son la combustión de residuos agrícolas y los procedentes de la industria maderera.

Existen métodos para conversión de la Biomasa que se basan en la utilización de calor como fuente de transformación, entre ellos se encuentra la Pirolisis Rápida que permite obtener un combustible líquido llamado Bio Oil. La principal utilidad de la Pirolisis rápida radica en que nos permite transformar un combustible de origen biológico de baja densidad, con su consiguiente alto costo de transporte, en combustible líquido de alta densidad que puede ser transportado y utilizado mediante sistemas convencionales, presentando además la ventaja de poder ser utilizado como combustible en turbinas de generación permitiendo aprovechar los altos rendimientos de los esquemas de generación integrados.

Keywords: Pirolisis, Biomasa, energía alternativa.

1. Introducción

Ha sido demostrado que cualquier forma de biomasa puede ser considerada para la producción de combustible líquido vía la Pirolisis Rápida. El presente trabajo ha sido desarrollado sobre la base de pirolisis rápida de la madera.

El desarrollo tecnológico de este proceso ha sido desarrollado por la Universidad de Waterloo, bajo el marco de una patente, propiedad de Dynamotive, una empresa canadiense. El mismo comenzó con una pequeña planta piloto de procesamiento de 1 tonelada por día de aserrín. Produciéndose grandes avances en la segunda planta piloto de 10 toneladas por día. Y posteriormente a la misma se construyó la primer planta en escala ubicada en las afueras de Toronto, Ontario – Canadá, para procesar 100 TPD de aserrín.

Actualmente los horizontes se extienden hacia la necesidad de plantas de mayor capacidad de procesamiento aspirando por el momento a plantas de 200 TPD. A pesar de los completos aportes dados por las plantas piloto, sigue siendo un desafío el incremento de la capacidad ya que muchas de las características propias del proceso hacen difícil el escalamiento de la misma.

El objetivo del presente trabajo es mostrar en qué consiste el proceso de Pirolisis de la biomasa, comparar el combustible líquido obtenido por medio del mismo con los combustibles conocidos, describir las características principales de los equipos que conforman la planta y presentar las dificultades y desafíos que tuvieron que ser superados para el escalado a plantas de mayores caudales de procesamiento.

2. Descripción General del Proceso

El proceso está compuesto básicamente por cuatro bloques claramente diferenciados.

Sin duda, el corazón de la planta está formado por el Reactor de Pirolisis Rápida, en el cual se descompone térmicamente la madera en una combinación de carbón sólido, gases no condensables y Bio Oil.

A su vez, la biomasa ingresa al reactor dado un tratamiento previo a fin de que la misma cumpla con las especificaciones de diseño. Esta etapa está formada por una etapa de secado además de una etapa de molienda para la producción del residuo de madera en forma de aserrín.

Los productos de la Pirolisis son removidos por el tope del reactor y se dirigen a la etapa de separación del carbón sólido, paso provisto por un ciclón o conjunto de ciclones.

Los gases continúan hasta la etapa de separación primaria donde el Bio Oil es condensado y toda la corriente enfriada. Los gases no condensables son reciclados para ser reutilizados en el sistema del reactor.

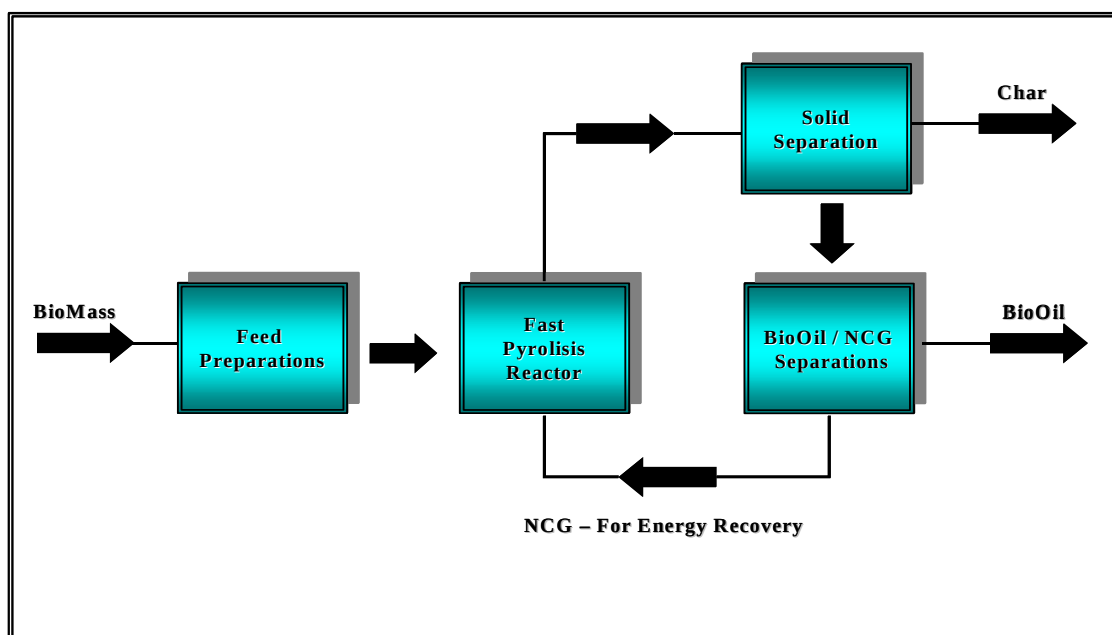


Fig. 1. Diagrama de Bloques del Proceso

3. Bio Oil – Energía Limpia

El Bio Oil es un combustible líquido que está formado por una mezcla de compuestos oxigenados entre los cuales se encuentran: 20 – 25 % de agua, 25 – 30 % de lignina, 5 – 12 % de ácidos orgánicos, 5 – 10 % hidrocarburos no polares y entre 15 y 30 % de otros compuestos oxigenados. La composición del Bio Oil variará básicamente en función al tipo de biomasa, el tamaño de partícula ingresante de la misma y a las condiciones en las cuales se lleve a cabo la reacción. El Bio Oil presenta un aspecto marrón oscuro y un fuerte olor a ahumado que puede irritar los ojos.

La propiedades del Bio Oil también varían en función del tipo de materia prima, valores aproximados de las mismas son:

Propiedades	Valor
Densidad	1100 –1300 kg/m ³
Conductividad Térmica	0,35 - 0,43 W/mK
Capacidad Calorífica	2,6 kJ/kg °C
pH	2 – 3
Vapour Pressure	5,2 kPa @ 33,5°C
Viscosidad	26 cP @ 40°C

Tabla 1. Propiedades del Bio Oil

Sobre una base volumétrica, el Bio Oil tiene aproximadamente el 55% del contenido energético que tiene un diesel o Fuel Oil liviano (Nro. 2). Se presenta la comparación de energía contenida en la siguiente tabla:

FUEL	HHV	
	MJ/litro	BTU/US gal
Bio Oil (wood)	21	75.500
Fuel Oil Liviano / Diesel	38,9	138.500
Metanol	17,5	62.500
Etanol	23,5	84.000

Tabla 2. Comparación poderes caloríficos

La demanda global de producción de energía limpia, mejoramiento de la calidad del aire y reducción de los residuos industriales ha creado un mercado poderoso como contexto de estos desarrollos. Así el Bio Oil es un combustible líquido que puede ser utilizado para reemplazar combustibles provenientes de la industria petrolera en forma de generación de “energía limpia”.

El Bio Oil puede ser utilizado como combustible en calentadores, hornos y turbinas para la generación de energía eléctrica. Una planta de 200 TPD podría proveer suficiente combustible para generar de 6 a 10 Megawatts de electricidad.

3.1. Ventajas Competitivas

Como combustible limpio el Bio Oil tiene numerosas ventajas competitivas sobre los combustibles provenientes de la industria petrolera:

- Emisiones nulas de SO_x
- Bajas emisiones de NO_x – el Bio oil genera un 50% menos de emisiones de NO_x que un Fuel Oil liviano en turbinas de gas y turbinas a diesel convencionales.
- Balance Nulo de CO₂ – debido a que el Bio Oil es un combustible proveniente de desperdicios orgánicos está considerado balance nulo de CO₂.
- Comparado con otros combustibles de la biomasa, el Bio Oil puede ser almacenado, bombeado y transportado en una manera similar a los combustibles petroleros.

4. Descripción de la Planta

4.1. El Reactor de Pirolisis

La Pirolisis consiste en el calentamiento de la biomasa en una atmósfera controlada en ausencia de oxígeno, y consiste en la descomposición térmica de la misma. Temperaturas de proceso bajas y altos tiempos de residencia favorecen la producción de combustible sólido (carbón). Altas temperaturas y altos tiempos de residencia aumentan la conversión hacia productos gaseosos. Siendo las temperaturas moderadas y mínimos tiempos de residencia la combinación requerida para la producción de combustible líquido.

La reacción de Pirolisis Rápida es un proceso de rápido calentamiento, mayor a 2 °C por segundo, a temperaturas moderadas que se encuentran entre los 450 y 550 °C.

A fin de que la conversión de Bio Oil, producto líquido, sea máxima, además de asegurar un rápido calentamiento de la Biomasa y una temperatura adecuada, otro factor importante es el tiempo de residencia de los gases producidos en las condiciones de reacción el cual debe ser mínimo para evitar la reacción secundaria de craqueo de las moléculas de Bio Oil formadas a gases no condensables, minimizando la producción del combustible líquido deseado.

Con todos estos parámetros dentro de los valores debidos es posible alcanzar entre un 60 y 70 % de conversión a Bio Oil.

Han sido desarrollados una amplia gama de configuraciones de reactores incluyendo reactores de lechos fluidizados fijos, lechos fluidizados de circulación, reactores cónicos rotativos, reactores tipo vortex y sistemas pirólíticos en vacío. Siendo los reactores de

lecho fluidizado los generalmente reconocidos como los reactores más fácilmente escalables y los más simples en cuanto a operación.

El tipo de reactor seleccionado para la Pirolisis rápida fue el reactor de lecho fluidizado con arena como medio inerte con el cual es posible lograr un rápido calentamiento de la biomasa con mínimos tiempos de residencia. La arena fluidizada tiene la característica de ofrecer una excelente transferencia térmica entre el lecho y las partículas de biomasa inyectadas ofreciendo un mezclado continuo, elevada inercia térmica y una gran área de transferencia por unidad de volumen. Los tiempos mínimos de residencia requeridos pueden ser regulados con la variación del caudal de fluidización.

El calor requerido por la reacción es provisto por mazos de tubos sumergidos dentro del lecho fluidizado por donde circula aire caliente. En función de la experiencia proveniente de las plantas pilotos, estos mazos tuvieron que ser cuidadosamente diseñados para asegurar una buena fluidización de forma tal de evitar zonas calientes en los tubos y cortocircuitos a través del lecho.

El producto de la pirolisis, compuesto por partículas de carbón, Bio Oil en fase vapor y gases no condensables son neumáticamente transportados por el gas de fluidización a través del freeboard del reactor. Tanto del diseño del mismo como la elección del tamaño de la arena debe ser tal que permita el arrastre de las partículas de carbón evitando las pérdidas de arena.

4.2. Características de la Materia Prima

El desarrollo realizado se efectuó para biomasa proveniente de los desperdicios de los aserraderos principalmente, ensayando distintos tipos de madera, blanda y dura, que resultan en Bio Oil de levemente distintas características.

La materia prima que es inyectada dentro del reactor de lecho fluidizado debe ingresar al proceso en forma de aserrín y su tamaño de partícula debe encontrarse dentro una determinada distribución de partículas. Debido a las características y exigencias de la reacción el tamaño de partícula ingresante al reactor debe ser mínimo tal que el contacto con el lecho fluidizado caliente sea rápido y enérgico a fin de maximizar la producción del combustible líquido. Además otra exigencia es la restricción de la humedad de la alimentación, a órdenes entre 5 y 10%, para obtener un combustible líquido del más alto poder calorífico posible y minimizar los altos requerimientos calóricos en el reactor.

Tanto la elección del tamaño de arena como el diseño del freeboard del reactor y el ciclón están relacionados directamente al tamaño de partículas de aserrín a procesar, es por ello que a fin que asegurar una alta eficiencia del proceso la materia prima debe cumplir con un especificado diámetro de partícula medio y máximo.

4.3. Alimentación al Reactor

La materia prima luego de ser triturada y clasificada y pasar por la etapa de secado correspondiente es ingresada al reactor.

Han sido desarrollados para las plantas piloto sistemas de alimentación mecánica por medio de tornillos sin fin con buenos resultados. Pero para reactores en escala, dada el gran área transversal requerida, a fin de lograr una adecuada distribución de la materia prima dentro del reactor, se resolvió la alimentación al reactor con inyección neumática en varios puntos del reactor simétricamente distribuidos.

4.4. Separación del carbón en fase gaseosa

Los productos de la pirolisis siguen su curso hacia un ciclón de alta eficiencia donde las partículas de carbón son separadas de la corriente gaseosa.

A fin de mantener al mínimo el contenido de carbón en el Bio Oil la separación gas – sólido debe ser de máxima eficiencia. Esto será posible siempre que el diseño del ciclón sea el correcto y para ello se requerirá exigir una distribución de entrada lo más acotada posible. Tanto la distribución como el tamaño de partícula del carbón está directamente relacionada con la distribución y tamaños de partícula de la materia prima. Debido a esto y a fin de lograr máxima eficiencia de separación en el ciclón también deberá exigirse una acotada distribución de partículas de aserrín.

Ha sido demostrado a lo largo de los desarrollos que la descomposición de las partículas de aserrín producen un carbón de un tamaño de partículas cercano a la mitad del tamaño de partícula del aserrín.

4.5. Condensación del Bio Oil

A fin de maximizar la producción de combustible líquido los productos de la pirolisis deben permanecer bajo las condiciones de reacción un tiempo mínimo, a razón de unos pocos segundos. Este mínimo tiempo de residencia es necesario para evitar la reacción secundaria de craqueo del Bio Oil hacia la producción de gases no condensables.

Otra reacción que debe tenerse presente para el diseño del sistema de condensación es la coquización de los vapores de Bio Oil. Esta coquización tiene lugar siempre que la

condensación y enfriamiento de la corriente proveniente del reactor sea gradual y lenta. Para evitar dicha reacción la condensación debe ser realizada rápidamente y esto se logra por medio del contacto directo con una corriente fría de Bio Oil líquido, por medio de un sistema Quench convenientemente diseñado para evitar la coquización en el mismo.

Esta reacción adversa de coquización impide que sea posible un aprovechamiento energético de esta corriente con las tecnologías de intercambio calórico existentes.

Los sistemas desarrollados probados consisten únicamente en el rociado del Bio Oil frío por medio de toberas convencionales convenientemente.

A fin de lograr sistemas más eficientes de condensación y enfriamiento de los gases, de forma tal de mejorar el contacto íntimo entre el Bio Oil frío con los gases calientes se estaría implementando para la próxima planta condensación por medio del efecto venturi en un equipo llamado Venturi Scrubber. El mismo principio se utilizaría también para minimizar la producción de “aerosoles” de Bio Oil que son arrastrados por la corriente gaseosa dificultando las operaciones posteriores.

4.6. Sistema de Recirculación de los Gases

Separación de los Aerosoles. Además de los gases no condensables producto de la reacción, los gases de recirculación para la fluidización y el gas proveniente del sistema de alimentación neumática, el rápido enfriamiento de los gases de pirólisis que vienen del reactor a una temperatura aproximada de 500°C producto del contacto con la corriente fría de Bio Oil, produce aerosoles difíciles de separar con cualquier equipo de separación convencional. Estos aerosoles están compuestos por pequeñísimas gotitas de Bio Oil del orden del micrón y tienen el aspecto de humos. A fin de que los mismos no presenten problemas en el compresor de reciclo es preciso separarlos eficientemente.

El producto de la condensación que se lleva a cabo en el Venturi Scrubber es recibido en el separador primario. Allí se separa la corriente de Bio Oil condensado y los gases no condensables los cuales pasan a la etapa de “limpieza” de los gases.

Una primera etapa de separación de las pequeñas gotas utiliza el efecto venturi estando compuesta por un Venturi Scrubber de alta eficiencia. En el mismo los gases tienen un contacto íntimo con una pequeña corriente de Bio Oil líquido que actúa como “motivating liquid” produciendo la coalescencia de las pequeñas gotas que conforman los aerosoles. A continuación los gases se envían a una segunda etapa de coalescencia

dada por un precipitador electrostático, equipo que utiliza alto voltaje como motor de coalescencia.

Recirculación de los Gases. El caudal de gases de recirculación para la fluidización del reactor depende principalmente de las siguientes características: propiedades de la arena (el tamaño, densidad y factor de forma de la partícula), temperatura del lecho fluidizado, propiedades del gas a la temperatura del lecho e internos del lecho.

El proceso opera a muy bajas presiones, del orden de los 30 kPag en la parte superior del reactor, por lo cual el gas deberá comprimirse a fin de contrarrestar las pérdidas de carga totales del proceso más el diferencial de presión dado por el lecho fluidizado, que se encuentra en el orden de los 40 kPa.

Las plantas pilotos y la primer planta en escala de 100 TPD utilizan para la compresión de los gases de recirculación un soplador del tipo tornillo. Debido a la presencia de las pequeñas gotitas de Bio Oil en el gas en forma de aerosoles se ha tenido la experiencia de que estos equipos presentan problemas en la operación debido al estrecho huelgo que existe entre la carcasa y el tornillo.

A pesar de que para el diseño de la nueva planta se puso especial énfasis en la selección de equipos para la remoción de estos aerosoles se ha optado por el cambio del tipo de soplador a un soplador del tipo centrífugo que puede ser limpiado continuamente con alcohol.

4.8. Scaling-Up

El escalado de la planta debido a las características del proceso presenta los siguientes inconvenientes:

- El problema inicial se encontró en el sistema de alimentación al reactor: el aumento del tamaño del reactor, a fin de lograr una buena distribución de la alimentación, obligaba a sistemas mecánicos de alimentación mucho más complejos.
- Mayores áreas requeridas de reactor exigen mayores caudales de fluidización. Junto con esto la necesidad de mayor área de transferencia provista por los mazos de tubos deriva en un mayor nivel de lecho de arena, lo que culmina en una mayor pérdida de carga a través del lecho. Ambas circunstancias dificultaron la selección del soplador: la exigencia de altos caudales y bajas presiones que se encontraban fuera de los rangos de los sopladores convencionales.

- El aumento de los volúmenes tanto del reactor como de los demás equipos hicieron dificultoso el cumplimiento de los tiempos de residencia para la maximización de producción de Bio Oil.

5. Conclusiones

El desarrollo a escala piloto del proceso de Pirolisis Rápida de la Biomasa ha demostrado que el Bio Oil resulta ser un combustible apropiado para la generación de energía. Aún así, los inconvenientes encontrados en el escalamiento de la planta deben seguir siendo estudiados y analizados a fin de llegar a la mejor solución técnico – económica.

Referencias

“A Guide to Physical Property Characterization of Biomass-Derived Fast Pyrolysis Liquids”, VTT Publications 450,

Anja Oasmaa – VTT Energy

Cordner Peacocke – Conversion and Resource Evaluation Ltd.

“BioTherm A System for Continuous Quality, Fast Pyrolysis Bio Oil”

Dynamotive Energy Systems Corporation

“Design of an Experimental Pyrolysis – Combustion System”

University of Waterloo – Supervisor: Donald S. Scott

Gas Fluidization Technology

D. Geldart – University of Bradford, UK

“Fluidized Bed Reactor Studies”

Walter G. May

“Heat Requirement for Fast Pyrolysis”

Desmond Radlein – Jan Piskorz

“Liquid Products from the Continuous Flash Pyrolysis of Biomass”

Donald Scott – Jan Piskorz – Desmond Radlein

“Product Yields and Kinetics from the Vapor Phase Cracking of Wood Pyrolysis Tars”

Michael L. Boroson – Jack B. Howard – John P. Longwell – William A. Peters

“Study of the Performance of a Large Fluidized Bed with Multiple Feed Points for Flash Biomass Pyrolysis”

F. Berruti – J. R. Muir – M. A. Hastaoglu

“The Continuous Flash Pyrolysis of Biomass”

Donald Scott – Jan Piskorz

“The Fast Fluidized Bed”

Joseph Yerushaimi – David Turner – Arthur Squires

“The Transport Phase of Pyrolytic Oil Exiting a Fast Fluidized Bed Reactor ”

Daren E. Dugaard – Robert C. Brown
