

Pirólisis, un proceso para *derretir* la biomasa



La pirólisis es un proceso termoquímico que ocurre en ausencia de oxígeno. El proceso de pirólisis tiene tres etapas: la dosificación y alimentación de la materia prima, la transformación de la masa orgánica y, finalmente, la obtención y separación de los productos (coque, aceite y gas). La planta piloto de la PUCP puede producir un biocombustible de segunda generación a partir de desechos orgánicos lo que responde al reto de un desarrollo sostenible de bioenergía en Perú.

Michael Klug*

Las energías eólica, solar, hidroeléctrica y de biomasa son energías renovables ampliamente estudiadas y utilizadas en la producción de calor y electricidad. Entre ellas, la biomasa ha sido identificada como una prometedora fuente sostenible de energía renovable. Sin embargo, la generación de energía utilizando un combustible sólido ha tenido limitaciones significativas en relación con los requisitos de manipulación de materiales y con respecto a su eficiencia energética. Una vía prometedora para la producción de energía, sin competir con el suministro de alimentos, es la pirólisis flash o pirólisis rápida de biomasa. La pirólisis flash es un proceso único mediante el cual se convierte la biomasa de residuos sólidos en tres productos: un líquido relativamente limpio, coque y un gas de efecto invernadero neutro. [Robinson, 1986; WBGU, 2010]

Principios de la pirólisis

La pirólisis es una descomposición térmica que ocurre en ausencia de oxígeno. La pirólisis siempre es el primer paso en los procesos de combustión y gasificación, seguido de una oxidación total o parcial de los productos primarios.

El proceso de pirólisis tiene tres etapas: la dosificación y alimentación de la materia prima, la transformación de la masa orgánica y, finalmente, la obtención y separación de los productos (coque, bio-aceite y gas).

Existen diferentes tipos de pirólisis. Cada una de ellas tiene diferentes condiciones en el proceso, lo cual favorece la generación de diferentes productos, como se muestra en la tabla 1 para el caso de la madera. (PEP, 2003)

* Michael Klug tiene una Maestría en Química y se encuentra realizando su tesis doctoral en Ciencias de la Minería y Medio Ambiente en la Universidad de Leoben (Austria). Actualmente, se encuentra como investigador invitado en la PUCP. (e-mail: klugmichl@hotmail.com)

Pirólisis flash

La pirólisis flash también se conoce como pirólisis rápida por la alta velocidad del proceso. No obstante, en este proceso no solo la cinética juega un rol importante sino que también son importantes los procesos de transferencia de calor y de masa, tales como los fenómenos de cambio de fase. En este proceso, la biomasa se descompone para generar, principalmente, vapores, aerosoles y una determinada cantidad de coque. Después del enfriamiento y de la condensación, se forma un líquido de color marrón oscuro (bioaceite) con un valor calórico que es la mitad del valor correspondiente al del diesel. A diferencia de los procesos tradicionales, la pirólisis flash es un proceso avanzado con parámetros cuidadosamente controlados para la obtención de altos rendimientos del líquido. [Bridgwater, 2001]

Para llevar a cabo este proceso, se debe observar detenidamente lo siguiente: (a) someter las partículas de biomasa a una temperatura óptima para que reaccionen y (b) minimizar su exposición a temperaturas intermedias bajas que estimulen la formación de coque. Un método para lograr estos objetivos es usar pequeñas partículas como, por ejemplo, las que están presentes en procesos de lecho fluidizado (u n lecho fluidizado es un lecho empaquetado con un sólido de grano fino). Otra posibilidad es transferir calor rápidamente solo a la superficie de las partículas que estén en contacto con la fuente de calor, lo cual se aplica en procesos de ablación. [Bridgwater, 2008]

El producto principal, el bioaceite, es obtenido en altos rendimientos, mayores al 75% en peso sobre base de alimento seco, junto con los subproductos gas y coque. Los subproductos podrían ser usados para proveer el calor requerido en todo este proceso, de modo que no haya otros residuos, solo gas de escape y cenizas. Es importante notar que el bioaceite es una mezcla líquida de compuestos carbonílicos y fenólicos. (IEA, 2012)

Tabla 1. Rendimientos típicos de los productos (base madera seca) obtenidos por los diferentes modos de pirólisis de la madera

Modo	Condiciones	Líquido	Carbón	Gas*
Gasificación	~ 800 °C	5 %	20 %	85 %
Flash/rápida	~ 500 °C, corto tiempo de residencia de vapor caliente ~1s	75 %	12 %	13 %
Intermedio	~ 500 °C, tiempo de residencia del vapor caliente ~10 – 30 s	50 %	25 %	25 %
Carbonización lenta	~ 400 °C, largo tiempo de residencia del vapor ~horas - días	30 %	35 %	35 %
Torrefacción lenta	~ 290 °C, tiempo de residencia de sólidos ~30 min	-----	82 %	18 %

* La composición del gas puede variar fuertemente dependiendo de la materia prima y las condiciones del proceso. Los componentes típicos son: nitrógeno y dióxido de carbono (hasta 60%), hidrógeno (hasta 5%), monóxido de carbono (hasta 35%) e hidrocarburos superiores (hasta 10%).

El proceso de pirólisis rápida incluye el secado de la materia prima (que debe contener menos de 10% de agua), de modo que el contenido de agua sea mínimo en el aceite líquido producido. Además, se necesita moler adecuadamente el material para producir partículas lo suficientemente pequeñas para asegurar una reacción rápida, es decir, la reacción de pirólisis. Una de las principales ventajas de este proceso es que, en teoría, cualquier forma de biomasa podría ser considerada para un proceso de pirólisis rápida. (IEA, 2012)

El corazón del proceso es el reactor. Este es el lugar donde ocurren todas las reacciones. No obstante, para realizar la pirólisis flash es necesario contar con reactores especiales. Para este proceso se requiere una atmósfera sin oxígeno en el reactor y un rango de temperaturas entre 475 y 550°C. En

el proceso aquí presentado, el reactor ha sido diseñado con un lecho fluidizado. Cuando el gas fluye a través del lecho, el sólido se comporta como un líquido. Las ventajas de un lecho fluidizado son las siguientes (Prabir, 2006):

- Excelente intercambio entre el gas y las partículas en el lecho.
- Excelente transmisión de calor y transporte de masa.
- Una mezcla homogénea en el reactor.
- Fácil impermeabilización debido a que sólo algunas partes del reactor son móviles.

El reactor tiene que estar construido de manera tal que se garantice que no hay ingreso de oxígeno gaseoso, pues de otro modo podría ocurrir una incineración de la biomasa sin producir aceite. Por esa razón, es importante el uso de un gas inerte como fluido de transporte. (Kunii, 1991)

La planta piloto de la Sección Química de la PUCP

En la Sección Química de la Pontificia Universidad Católica del Perú hemos diseñado y construido una planta piloto de tipo pirólisis flash, para maximizar el rendimiento de bioaceite a partir de desechos orgánicos de la misma universidad. La figura 1 muestra el diagrama de flujo de la planta experimental. Todas

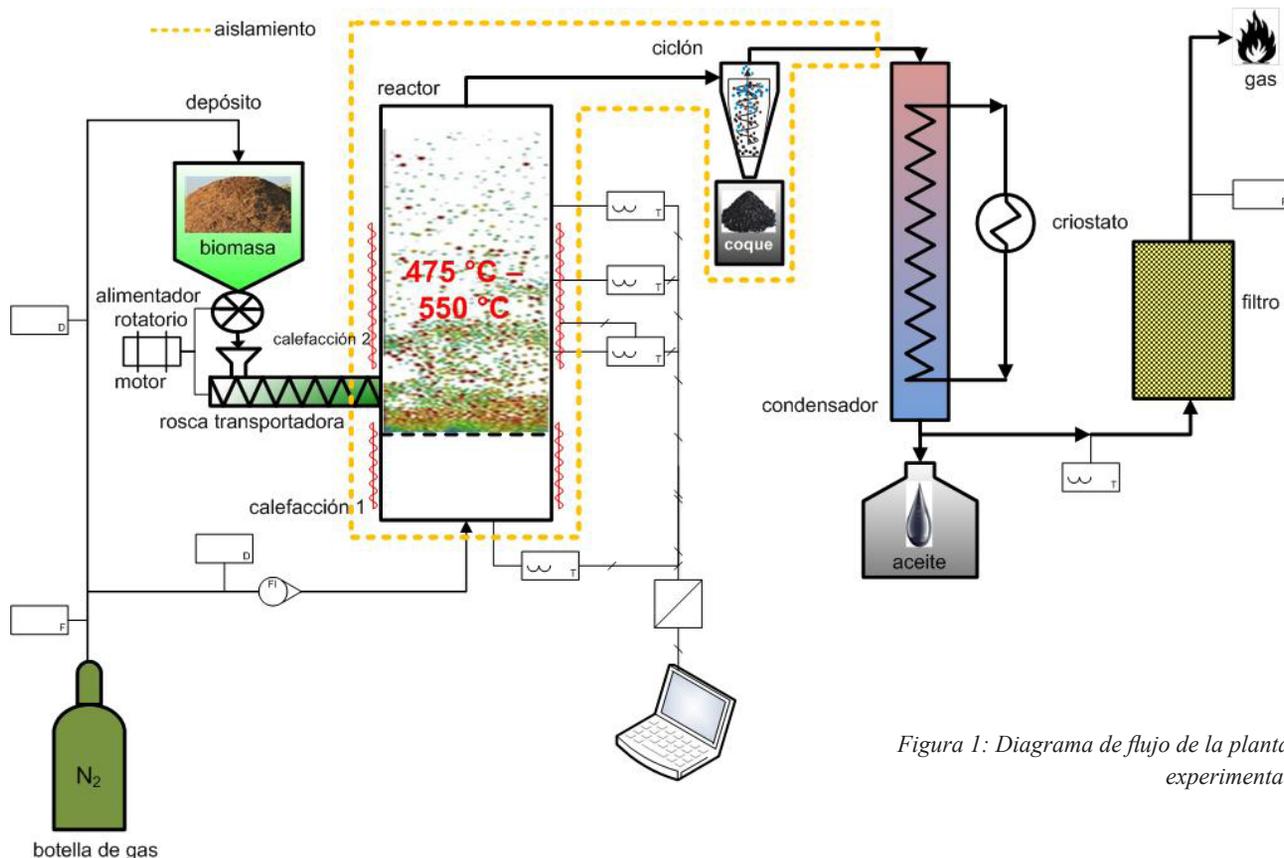


Figura 1: Diagrama de flujo de la planta experimental

las partes desde el depósito hasta el ciclón han sido fabricadas con acero inoxidable AISI 304. El proceso tiene tres diferentes etapas:

1. Dosificación y alimentación de la materia prima.
2. Transformación de la masa orgánica.
3. Obtención y separación de los productos.

La botella de nitrógeno que se muestra en el diagrama es necesaria para inyectar $N_2(g)$ y asegurar que no haya oxígeno en el sistema. Asimismo, el N_2 también es necesario para la fluidización de la arena en el reactor. La presión en el reactor se fija entre 1,1 y 1,2 bar, ligeramente mayores a la presión atmosférica, para garantizar la ausencia de oxígeno. El reactor tiene un lecho fluidizado y puede trabajar entre 450 y 600 °C. Las especificaciones del reactor se presentan en la tabla 2.

Después del reactor se ubica el ciclón, que separa las partículas sólidas del gas. Las partículas sólidas son coque, que podría ser usado para generar energía. El reactor y el ciclón están protegidos del calor con un recubrimiento aislante. El reto es que los gases se enfríen muy rápido en el condensador y no antes, para obtener el máximo rendimiento de aceite. El condensador utiliza agua fría. Para garantizar una temperatura baja, se ha contemplado el uso de un criostato. En la figura 2 se presenta una gráfica 3D del reactor. Los productos típicos de la pirólisis de la planta piloto en la PUCP a partir de la borra de café se muestran en la figura 3.

Conclusiones y comentarios finales

Los primeros experimentos con biomasa en la PUCP muestran que el proceso funciona y que los tres productos esperados pueden ser separados. La eficiencia del proceso hasta ahora es muy baja, lo cual es un reto para el futuro. Eso significa que hasta ahora los parámetros necesitan ser variados para encontrar las condiciones óptimas para el proceso.

Se ha observado que el aceite que se obtiene está separado en dos fases. El aceite producido en los primeros experimentos tiene un valor calórico neto de 19,07 MJ / kg, un contenido de agua de aproximadamente 50% y una densidad de alrededor de 1,038 kg/m³.

Como trabajo futuro, se pretende buscar residuos de las actividades agrícolas o forestales que pudieran ser utilizados en el reactor. Por ejemplo, cáscara de arroz, restos de la producción de café, restos de la industria maderera, etc. Lo importante es que sean desechos, y así no exista ningún conflicto entre bioenergía y seguridad alimentaria.

Si los experimentos son exitosos, el próximo paso será el aumento de escala (alimentación de 3 - 5 kg/h de biomasa), acoplado a un incremento de la eficiencia. Eso podría lograrse con

Tabla 2: Características del reactor.

Tipo de reactor	Lecho fluidizado
Partículas sólidas del lecho	Arena de cuarzo
Cantidad de arena	100 – 250 g
Tamaño de las partículas de arena	350 – 450 µm
Temperatura	450 – 600 °C
Gas utilizado	Nitrógeno
Alimentación	< 300 g/h de biomasa
Tamaño de las partículas de biomasa	< 1 mm
Tiempo de permanencia del gas en el reactor	0,5 – 2 s
Tipo de calefacción	Eléctrico
Termocuplas	4 del tipo K
Volumen del reactor	1,03 L

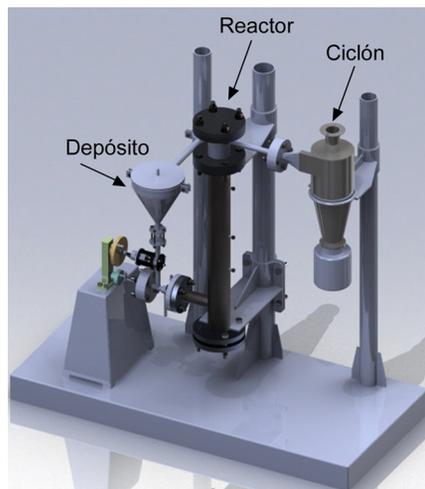


Figura 2: gráfica 3D del reactor utilizado.

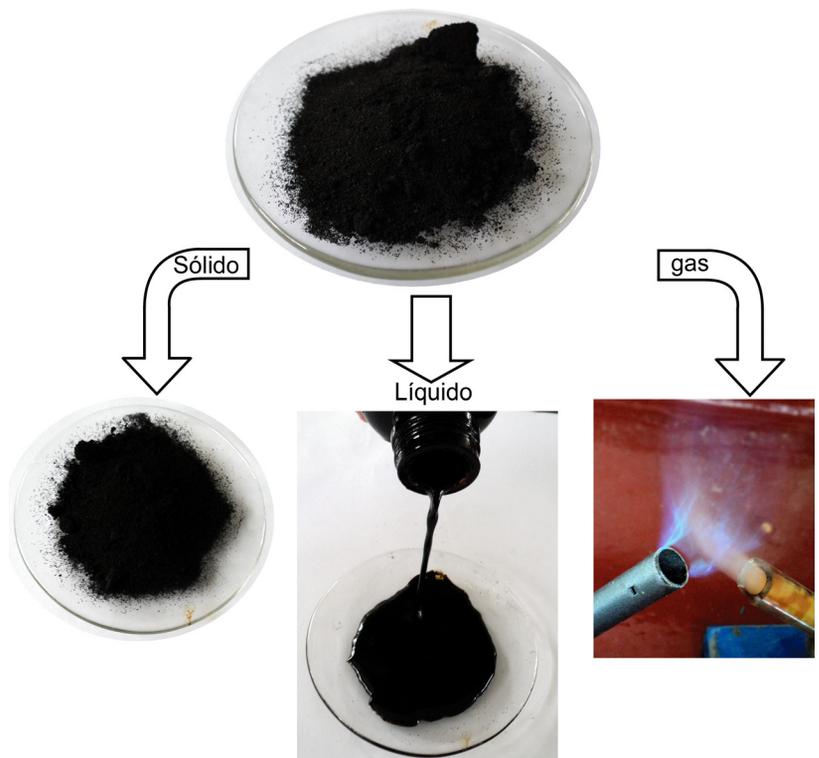


Figura 3.- Productos de la pirólisis obtenidos a partir de la borra de café (foto superior).

el uso del biogas producido para el calentamiento del reactor (menos energía eléctrica) y como gas inerte del proceso (reemplazo del nitrógeno). Otras preguntas para el futuro serían si el uso de un catalizador mejoraría el proceso o si otro reactor sería más eficiente para las condiciones que se tienen en el Perú, entre otras posibilidades.

Esto último está relacionado con el aprovechamiento de la biomasa. En el Perú, por ejemplo, el fin principal del uso de la biomasa se encuentra en la producción de biodiesel y su aprovechamiento para generar electricidad. Sin embargo, en

muchos países de Europa, con climas más fríos en términos generales, la biomasa se puede aprovechar con mucha eficiencia si también se usa el calor del proceso para la calefacción de las casas.

También es necesario investigar qué biomasa hay disponible en Perú, porque el reactor que se ha diseñado necesita partículas pequeñas y biomasa seca. Si esta no se encuentra disponible con facilidad, habría que pensar en otros tipos de reactores adecuados para diferentes tipos de materia prima.

Bibliografía Esencial

Bridgwater, A.: “*Progress in Thermochemical Biomass Conversion*”. Blackwell Science: Oxford, 2001
Bridgwater, A. (ed): “*Fast Pyrolysis of Biomass: A Handbook*”. Volume 2. Cpl Press: Newbury 2008.
IEA Bioenergy Task 34 for Pyrolysis: PYNE (Pyrolysis network); 2012. (📄)
Kunii; Daizo; Octave, Levenspiel: “*Fluidization engineering*”. Butterworth-Heinemann: Newton, 1991.
PEP (Professional Engineering Publishers): “*Renewable Bioener-*

gy - Technologies, Risks and Rewards: Imeche Conference Transaction 2003-3 (Imeche Event Publications)”. Professional Engineering Publishing y Wiley: Bury St Edmunds 2003.
Prabir, B.: “*Combustion and Gasification in Fluidized Bed*”. 1ª ed. Taylor&Francis: Boca Raton, 2006.
Robinson, W: “*The Solid Waste Handbook: A Practical Guide*”. John Wiley & Sons: Nueva York, 1986;
WBGU (German Advisor Council on Global Change): “*Future Bioenergy and Sustainable Land Use*”. Earthscan; Londres, 2009.