

SECCIÓN I - EL QUEHACER DENDROENERGETICO

ARGENTINA

Fundamentos de los métodos térmicos de conversión de biomasa forestal

La madera podría describirse como un compuesto de materia orgánica polimérica que posee propiedades físico-químicas y mecánicas únicas. Químicamente, la madera seca contiene 40 - 53 % de celulosa, 20 - 35 % de hemicelulosa y 19-33% de lignina, además de pequeñas cantidades de productos orgánicos volátiles (extractivos) y sales inorgánicas. La composición real varía según la especie, edad y medio en el cual se desarrolla la biomasa forestal.

Por sus características físico-químicas, la biomasa forestal puede ser transformada en intermediarios energéticos mediante procesos donde el calor es uno de los principales "ingredientes". En efecto, a temperaturas elevadas, los polímeros que ya conforman se descomponen (de polimerización o craking térmico) en una gran variedad de sustancias volátiles de relativamente bajo peso molecular, dejando en determinadas condiciones un residuo carbonoso amorfo de elevada porosidad en comparación con el material de partida. Este proceso es conocido como pirólisis y se considera que es la etapa precursora de los métodos térmicos de conversión de la biomasa. La pirólisis tiene lugar según un conjunto de reacciones complejas, concurrentes y consecutivas, cuyo mecanismo cinético aún se encuentra insuficientemente definido. Sin embargo, es conocido que la temperatura, el período y velocidad de calentamiento, la composición del medio de reacción (presencia de O₂, gases reductores, catalizadores) y la naturaleza físico-química del sustrato afectan enormemente dichas reacciones, y por lo tanto la proporción relativa de los productos de la descomposición.

La reacción global puede ser dividida en reacciones primarias y secundarias (ver Fig. 1). El mismo consiste en agrupar los productos de la reacción en tres grupos: gases + volátiles, alquitranes y un residuo carbonoso. Las reacciones primarias, paralelas y por lo tanto comparativas, conducen a la formación de los tres tipos de productos (reacciones 1, 2 y 3), en tanto que los alquitranes formados, según la reacción 2, se descomponen a su vez según las reacciones paralelas 4 y 5. Teniendo en cuenta que se trata de reacciones irreversibles, se pueden visualizar dos rutas bien diferenciadas, una que conduce a la formación de combustibles volátiles y la otra a la formación de un residuo carbonoso. Dado que estos dos caminos compiten entre sí por el mismo sustrato inicial, uno podría predominar a expensas del otro, según las condiciones prevalecientes en el medio de reacción. Efectivamente, un calentamiento lento (<100 °C/min) y a temperaturas relativamente bajas (300- 400 °C) se favorece la formación de carbón. A temperaturas un poco más elevadas (500 - 600 °C) la evidencia experimental muestra una mayor proporción de alquitranes. Estas condiciones están asociadas directamente con la conversión de grandes trozos de biomasa, donde precisamente el objetivo fundamental es la obtención de carbón vegetal, con o sin recuperación de los condensables y gases. Este proceso es conocido industrialmente como carbonización, destilación seca o destilación

destruictiva de la madera. En este proceso los reactores industriales operan a temperaturas que nunca sobrepasan los 600 °C, puesto que un aumento ulterior de la misma no mejora el rendimiento en carbón vegetal, ni se justifica un aumento en el consumo de energía en pos de una mejor calidad en el producto terminado.

Cuando la velocidad de calentamiento es elevada (~ 1000 °C/s) y el tiempo de residencia de los productos de la descomposición térmica en el reactor es pequeño (< 1 s), el rendimiento en volátiles es significativamente mayor que en el caso anterior. Este proceso se conoce como "Pirólisis flash" y normalmente se lleva a cabo en condiciones tales que la velocidad de transferencia de calor sea lo más alta posible, es decir con partículas pequeñas (~ 1 mm) y en reactores que posibiliten un buen contacto entre las fases sólida y gaseosa. Los estudios realizados en laboratorio, utilizando en algunos casos gases inertes (N₂, He, Ar) y en otros gases reactivos (CH₄, H₂) como gases portadores, muestran hasta el presente los siguientes resultados:

— Los parámetros que más afectan el comportamiento de la biomasa en condiciones de calentamiento rápido son el tiempo de residencia en el reactor y la temperatura. La conversión a productos gaseosos se ve favorecida con la temperatura.

— El gas obtenido posee un poder calorífico elevado (~ 19.000 kJ/Nm³) y contiene proporciones significativas de hidrocarburos no saturados, principalmente etileno, a 1000 °C usando N₂ como gas portador. Sin embargo, se observa que dicha proporción se ve sensiblemente incrementada cuando el gas portador es CH₄ a 1000 °C.

— Utilizando N₂ como gas portador, se observa una máxima producción de alquitranes a temperaturas comprendidas entre 450 y 550 °C.

— La presencia de agua en el medio de reacción favorece notoriamente el grado de gasificación a temperaturas más bajas.

La reacción de la madera con gas de síntesis (CO + H₂) en presencia de un catalizador alcalino en medio acuoso conduce a la formación de hidrocarburos líquidos pesados. La clave de la transformación parecería ser la ruptura y remoción de átomos de O de la estructura molecular de la madera. Las reacciones involucradas son muy complejas y el mecanismo aún tiene que ser dilucidado. El proceso requiere de condiciones drásticas, es decir elevadas presiones (> 70 bar), temperaturas de 300 a 450 °C y partículas finamente divididas. Este proceso se denomina *Licuefacción directa* y se fundamenta en el desarrollo de Bergius (1921) de la licuefacción termocatalítica de carbones minerales.

A pesar de que en laboratorio se han obtenido resultados muy prometedores (rendimiento del orden de 45 % P/P en aceite con un poder calorífico de 33 MJ/kg, frente a 42,3 MJ/kg del fuel-oil), aún son necesarios diversos estudios experimentales a fin de determinar la influencia de los siguientes parámetros:

— especies forestales

— tipo de catalizador y su recuperabilidad

— solventes

— combinaciones óptimas de presión, temperatura, velocidad de calentamiento, tiempo de reacción y enfriamiento y efecto de la agitación.

La presencia de O_2 en el medio de reacción produce la oxidación de los gases y volátiles, en tanto que el residuo carbonoso es gasificado, es decir convertido a productos gaseosos combustibles que posteriormente son oxidados junto con los anteriores (ver Fig. 2). Si la cantidad relativa de O_2 que ingresa al reactor es mayor o igual que la cantidad estequiométrica requerida por la madera, los productos finales del proceso son, al menos teóricamente, CO_2 y H_2O . Esta transformación, altamente exotérmica se denomina combustión y está asociada normalmente con la generación de vapor de agua.

Dado que la velocidad del proceso global es controlada por el fenómeno de transferencia de calor hacia las partículas de combustible, el tamaño de las mismas, como hemos visto anteriormente, es un factor importante que afecta directamente su capacidad de generar materia volátil. Cuanto más pequeñas sean las partículas, más rápidamente los volátiles serán generados. Por el contrario, grandes piezas de madera, las cuales presentan una relación mucho menor entre la superficie externa y su volumen tienden a aislar sus partes internas, por lo que un mayor tiempo de residencia en el reactor es requerido para que las mismas alcancen la temperatura de pirólisis. Por otro lado, el contenido de humedad del combustible sólido es quizás el factor que más afecta el balance térmico del proceso, pues una excesiva cantidad de agua puede llegar a provocar el apagado del reactor. Estos aspectos conducen a diseños de combustores disímiles, pero con una premisa básica, todos ellos deben permitir que se alcance la temperatura de ignición de volátiles, el tiempo de residencia necesario para la oxidación completa de los mismos y las condiciones de

turbulencia apropiadas para un correcto mezclado con el combustible.

Por último, si la cantidad relativa de O_2 que ingresa al medio de reacción es inferior a la estequiométrica, los productos resultantes de la transformación global no serán exclusivamente CO_2 y H_2O , por el contrario, los mismos se caracterizarán por su elevado contenido de "no quemados", es decir, H_2 , CO y CH_4 . Esto es lo que tradicionalmente se conoce como proceso de gasificación, en el cual se trata, precisamente, de maximizar la conversión del carbono e hidrógeno en CO e H_2 . Esto se consigue operando el reactor en condiciones tales que las reacciones de gasificación, que son endotérmicas, alcancen el equilibrio a altas temperaturas.

De las alternativas consideradas, tanto la pirólisis como el proceso de licuefacción se encuentran aún en la etapa de investigación en laboratorio y planta piloto, no previéndose en el corto plazo su implementación a nivel industrial. Por el contrario, los procesos de combustión, carbonización y gasificación son ampliamente conocidos y las tecnologías, cuyo grado de complejidad es función directa de la capacidad del sistema, están realmente disponibles. En los últimos años se ha registrado un creciente interés por la utilización de la biomasa forestal en la generación de energía útil en el rango de pequeña a mediana potencia (30 a 500 kW), ya sea mediante la generación de vapor de agua y su posterior expansión en turbinas y/o motores de vapor o la generación de "gas pobre" y su posterior utilización como combustible en máquinas de combustión interna

Mario R. Ogara, Alberto Berset, Enrique Grünhut
 División Energía No Convencional
 Departamento de Energía
 INTI- CC 757- 1650 San Martín
 Provincia de Buenos Aires
 Argentina

