



# Aprovechamiento energético de maderas residuales

## Modulo de cogeneración de baja potencia vía gasificación de biomasa

Las necesidades energéticas son crecientes. No sólo se necesita energía para vivir, sino, además, para el desarrollo de diferentes tipos de proceso e industria que satisfacen necesidades vitales de la sociedad. Los continentes y países dependientes de las energías fósiles, como Europa y, dentro de ésta España, mira cada vez más, y con mayor interés, las energías renovables y apuesta por el desarrollo de las mismas. La biomasa en general, y dentro de ella la forestal, constituyen una valiosa materia para la producción de energía y productos químicos. Los procesos de tratamiento térmico, como la pirolisis, combustión y gasificación, son tecnologías hoy disponibles para valorizar esta biomasa desde el punto de vista energético, y con ello suplir necesidades de diferentes tipos de entidades.

LA COGENERACIÓN es un procedimiento de generación de energía en el que se genera simultáneamente electricidad y calor. Es un sistema altamente eficiente, ya que el calor es producido durante el proceso de generación de la electricidad y supone, por tanto, el aprovechamiento de un calor residual. Los módulos de cogeneración de baja potencia (MCBP), sustentado en la gasificación de biomasa, constituyen una alternativa para suplir necesidades energéticas locales de entidades, tales como granjas agrícolas, casas rurales, hoteles e instalaciones distantes de la red eléctrica.

Los módulos de cogeneración MCBP se diseñan para una producción eléctrica comprendida entre 10 a 75 kWe/h, dando la posibilidad, a su vez, de poder tener aire y/o agua caliente para la climatización de locales e instalaciones o para otros usos de las mismas.

La gasificación como proceso termoquímico presenta cada día una más amplia aplicación como medio de obtención de energía a partir de la biomasa en general, y de la biomasa forestal en particular, tanto en aplicaciones domésticas como industriales.

## TIPOS DE BIOMASAS

Se puede considerar biomasa a toda la materia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los materiales procedentes de su transformación natural o artificial. Atendiendo a su origen, la biomasa se puede clasificar en:

### Biomasa natural

Es la que se produce en ecosistemas naturales. Es la que se produce en la naturaleza sin la intervención humana. La explotación intensiva de este recurso no es compatible con la protección del medioambiente.

### Biomasa residual

Es la que genera cualquier actividad humana, principalmente en los procesos agrícolas, ganaderos y los del propio hombre, como basuras y aguas residuales. Incluye los residuos forestales y agrícolas, los residuos de industrias forestales y agrícolas, los residuos sólidos urbanos y los residuos biodegradables.

### Cultivos energéticos o biomasa producida

Es la cultivada con el propósito de obtener biomasa transformable en combustible, como la caña de azúcar en Brasil, orientada a la producción de etanol para carburante. Son cultivos que se caracterizan por una gran producción de materia viva por unidad de tiempo y por permitir minimizar los cuidados al cultivo.

### Excedentes agrícolas

Los excedentes agrícolas no utilizados para la alimentación humana son biomasa. Pueden aprovecharse, por ejemplo, para la elaboración de biocombustibles líquidos.

Las Figuras 1, 2 y 3 muestran diferentes tipos de biomasa forestal susceptible de ser usada para la generación de energía a por medio de la gasificación.

Entre las diferentes técnicas de tratamiento térmico, la gasificación ofrece una mayor versatilidad que la combustión como método de aprovechamiento de los residuos lignocelulósicos y una mayor simplicidad tecnológica que la pirólisis. La gasificación permite una mayor flexibilidad en la composición del combustible, así como una más amplia gama de posibilidades en las aplicaciones finales comparada con los sistemas de combustión. La gasificación es una tecnología de mayor eficiencia y menor impacto ambiental cuando se trata de producir electricidad a bajo coste a partir de materiales sólidos.

### Gasificación

Es el proceso de conversión térmica de la materia orgánica a elevada temperatura y, en condiciones reductoras, para producir fundamentalmente gases combustibles y, en menor medida, vapor de agua y compuestos condensables (alquitranes).

Para ello se utilizan diferentes tipos de agentes gasificantes: aire, aire enriquecido, aire más vapor de agua, aire más hidrógeno, aire más  $\text{CO}_2$ . El uso de uno u otro agente gasificante está en función del tipo de gas que se desea obtener (gas pobre o gas de síntesis), es decir, fin que se persigue: producción de energía o productos químicos.

En este proceso, la materia se oxida parcialmente para garantizar la energía necesaria para el desarrollo del proceso, por lo que se puede decir que la gasificación es un proceso au-

Figura 1. Pelet de madera



Figura 2. Piña y cáscara de pino



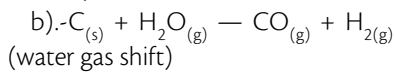
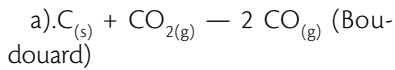
Figura 3. Cáscara de almendras



totermico, es decir, genera su propia energía para el desarrollo del mismo.

Reacciones involucradas.

**Combustible + O<sub>2</sub> subestequiométrico —  
— Gas combustible + Calor**



c).-Atmósfera/ambiente reductora.

El principio de diseño de la gasificación se basa en maximizar la transformación de la materia prima (biomasa) en gas, principalmente en CO y H<sub>2</sub>.

Los equipos utilizados para este proceso son conocidos como gasificadores (reactores) y tienen la función de transformar la materia a tratar en un gas combustible, portador, tanto de energía química como térmica.

En la Tabla 1 aparecen, reportado, los tipos de gasificadores y sus características básicas.

Las Figuras 4.1 a 4.4 muestran los

diferentes tipos de gasificadores existentes en el mercado

En la Figura 5 se presentan las etapas/proceso que toman lugar durante la gasificación en dependencia del tipo de gasificador (reactor).

De la Tabla 1 se deduce que los gasificadores del tipo *downdraft* son los que mejor se pueden adaptar a los sistemas de cogeneración de baja potencia, pues en ellos, además de la cantidad de biomasa a tratar, la tendencia a la producción de alquitranes es menor que en cualquier otro tipo de gasificador.

### MÓDULO DE COGENERACIÓN DE BAJA POTENCIA VIA GASIFICACIÓN DE BIOMASA

Esta tecnología se sustenta en un gasificador del tipo *downdraft*, pero con la característica de que la corriente del gas generado sale por la parte superior, similar a un gasificador tipo *updraft*, por lo que se le denomina gasificador *downdraft* de corriente invertida. En este gasificador el calor

sensible del gas se utiliza para calentar la materia a gasificar de manera indirecta, lo cual garantiza unas condiciones óptimas para el desarrollo tanto de las etapas como de las reacciones de gasificación, pues se trabaja cerca del equilibrio químico del proceso.

La Figura 6 representa el modelo conceptual de planta de gasificación modular. En ella se encuentran montados todos los equipos y máquinas que conforman la tecnología sobre una base metálica de *tramex*, formando un pack tecnológico que facilita las tareas de mantenimiento, instalación y transporte del mismo.

La tecnología se compone de forma general de las siguientes partes fundamentales:

#### Acondicionamiento de la materia (opcional)\*

- Reducción de tamaño por trituración: molinos de cuchillas.
- Secado del material. Reducción de humedad hasta valores próximos al 10-20%
- Peletización: elaboración de partícula de tamaño medio de 20 mm.
- Almacenamiento: silos y tolvas.
- Transporte del material: transporte del material hasta el sistema de alimentación, silos y tolvas (neumático o mecánico).

\* Se considera opcional porque, aunque se puede suministrar con la tecnología, el desarrollo actual que ha alcanzado el mercado de la biomasa permite adquirir la materia prima ya acondicionada. Un ejemplo lo constituye el mercado del pelet.

**Tabla 1. Tipos de gasificadores. Características principales**

Gasifier type (air blown)	Typical capacity range, t/h	Higher heating value MJ/Nm <sup>3</sup>	Gas outlet temperature, °C	Efficiency, %
Downdraft	0,1 ÷ 0,7	4,5 ÷ 6	400 ÷ 1.000	70 ÷ 90
Updraft	0,2 ÷ 10	4,5 ÷ 6	100 ÷ 400	60 ÷ 80
FBG	0,3 ÷ 15	4 ÷ 6	500 ÷ 900	70 ÷ 80
CFBG	2 ÷ 3	5 ÷ 6,5	700 ÷ 1.100	75 ÷ 85
Pyrolysis-Gasification	1 ÷ 10	13 ÷ 22	750 ÷ 1.150	65 ÷ 80

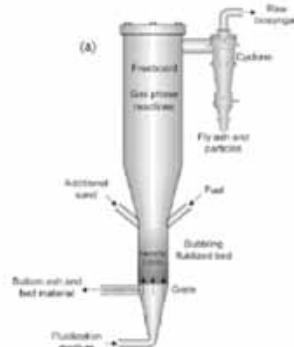
**Figura 4.1. Downdraft**



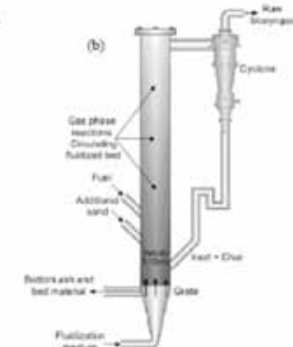
**Figura 4.2. Updraft**



**Figura 4.3. Burbujeante**



**Figura 4.4. Circulante**



### Planta de de gasificación

- Tolvas de almacenamiento.
- Reactor tipo *downdraft* de corriente invertida a presión atmosférica.
- Separador de partículas: ciclón de alta eficacia.
- Quemador.
- Soplante canal lateral.
- Recuperador de calor.

### Acondicionamiento del gas producto

- Sistema de acondicionamiento del gas. Para producciones eléctricas superiores a los 50 kWe se utiliza un condensador evaporativo.
- Sistema de recuperación de calor: caldera de recuperación o intercambiador gas-aire (opcional).
- Filtro de cartucho cerámico/inox316.
- Intercambiador de calor. Tipo aire-gas o agua-gas.
- Soplantes canal lateral

### Planta de cogeneración

- Gasómetro campana invertida.
- Motor y sistema de cogeneración.

### Módulo

- Control y sistema de recuperación. Sistemas auxiliares.
- Antorcha llama oculta/llama vista.

## DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El material acondicionado (tamaño-humedad) pasa a la tolva de recepción por medio de tornillo de Arquimides (sinfín), que lo eleva hasta dicho equipo. Dicha tolva cuenta con un visor para controlar el llenado de la misma y dosificar a su vez la cantidad de material que alimenta al gasificador por medio de una válvula de cuchilla.

El reactor (gasificador) (Figura 7) está construido en refractario, resistente a altas temperaturas y revestido exteriormente en acero. Su forma es cilíndrica y su cuerpo cuenta con dos secciones diferentes, siendo la parte superior del mismo de mayor sección que la inferior para garantizar el suministro constante de biomasa a gasificar. El reactor dispone en su interior de un sistema de distribución de aire, por

medio de boquillas, que garantiza la distribución uniforme del aire (agente gasificante) en toda la sección de la garganta del gasificador.

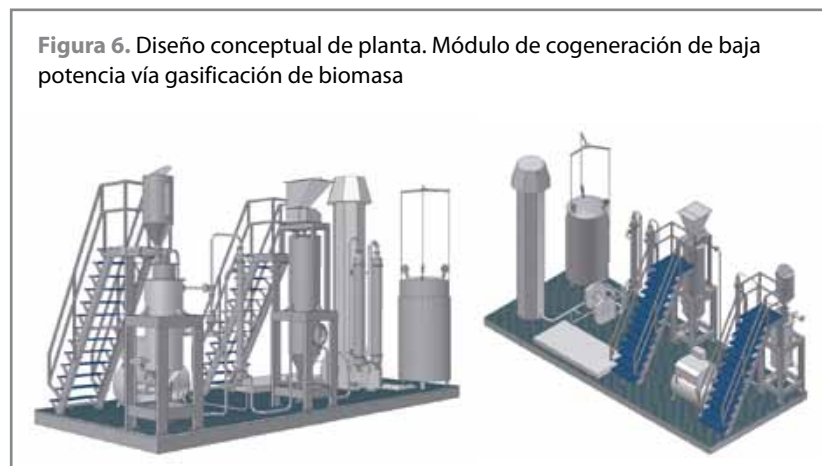
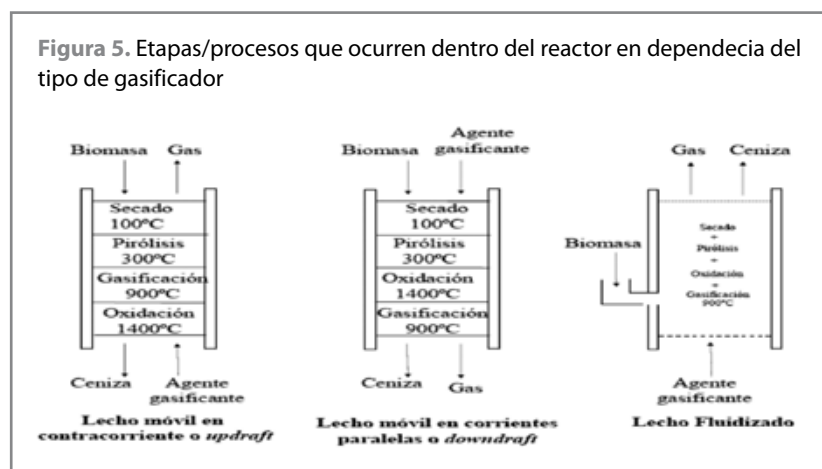
Para el arranque del proceso, el gasificador está provisto de un quemador de gasoil/GN o un calentador de aire, que depende del tamaño de la planta, y que se utiliza para atemperar al reactor. La temperatura dentro del gasificador se eleva escalonadamente hasta valores cercanos a los 550°C. Una vez alcanzada esta condición, se inicia la alimentación de la biomasa al gasificador. Inicialmente se realiza la combustión de esta biomasa, para continuar elevando la temperatura hasta alcanzar la temperatura de trabajo (800°C). Una vez alcanzadas las condiciones de trabajo, se reduce el flujo de aire hasta la relación establecida para la gasificación de la biomasa alimentada.

La alimentación del agente gasificante (aire) se lleva a cabo por medio

de un soplante de canal lateral a una presión aproximada de 100 mbar, lo que permite una alimentación controlada al gasificador. Este aire, antes de entrar al gasificador, es calentado hasta unos 400°C en el recuperador de calor (Figura 8). Para ello se utiliza el gas producido procedente del ciclón, una vez se le ha eliminado el contenido en particular. No todo el aire caliente se alimenta al gasificador, por lo que parte de él queda libre para ser utilizado como fuente de energía térmica para la instalación.

Por tanto, la corriente del agente gasificante se divide en dos: una primaria, que se introduce por la parte inferior del reactor para el desarrollo del proceso, y una secundaria, remanente del proceso.

En el gasificador se forman dos productos: las cenizas, que son extraídas periódicamente por el fondo del gasificador, por medio de una válvula, y



**Figura 7.** MCBP. Gasificador downdraft



**Figura 8.** MCBP. Recuperador de calor



**Figura 9.** MCBP. Sistema de acondicionamiento del gas



**Figura 10.** MCBP. Sistema de cogeneración



un gas (combustible), que sube por la parte exterior del gasificador, calentando el material a gasificar. El gas sale del reactor (gasificador) y pasa al ciclón, donde se le eliminan las partículas que pueda arrastrar.

El gas procedente del ciclón (combustible), a una temperatura de 750-800°C, intercambia calor con el aire de alimentación en el recuperador de calor, que disminuye su temperatura hasta los 550°C, aproximadamente. El gas a 550°C, con trazas de partículas y alquitranes, pasa al sistema de acondicionamiento, donde por intercambio térmico con agua y/o aire se limpia y enfría hasta temperatura próxima a los 40°C. El intercambio de calor que tiene lugar posibilita tener otras fuentes de producción de energía térmica para ser utilizada para la instalación, lo que permite suplir las necesidades de energía térmica del local.

El gas limpio y frío es bombeado por la soplante al gasómetro de campana invertida para su almacenamiento y distribución. Este constituye, a su vez, un pulmón para absorber las posibles intermitencias que puedan surgir en el proceso.

Del gasómetro se distribuye el gas hacia el motor, y tanto el exceso de producción de gas como el gas que se pro-

duce durante el arranque pasa directamente a la antorcha para ser tratado.

La primera planta de este tipo fue construida en el 2010 para el departamento de Ingeniería Química de la Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona (UPC). Dicha planta tiene una producción eléctrica de 20 kW<sub>e</sub> y una producción aproximada de 38 kW<sub>t</sub> térmicos.

#### Referencias

- [1] Reina, J. Tesis doctoral. Dpto. de Ingeniería Química. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona (1999).
- [2] Reina, J. Comparativa entre la combustión y la gasificación como técnica de tratamiento/valorización de residuos. *Infoenviro*. Marzo 2010.
- [3] Reina, J. Aprovechamiento energético de maderas residuales (I). Caracterización de la madera y procesos de conversión termoquímicos. *Ingeniería Química*. Junio 2001.
- [4] Reina, J. Aprovechamiento energético de maderas residuales (II). Caracterización hidrodinámica de partículas. *Ingeniería Química*. Julio/Agosto 2001.
- [5] Reina, J. Aprovechamiento energético de maderas residuales (y III). Comportamiento hidrodinámico de partículas de madera. *Ingeniería Química*. Octubre 2001.
- [6] Reina, J. Estudio cinético del aprovechamiento energético de maderas residuales (I). Estudio de la reactividad de la madera en atmósfera oxidante (aire). *Ingeniería Química*. Junio 2010.
- [7] Reina, J. Estudio cinético del aprovechamiento energético de maderas residuales (II). Estudio de la reactividad de la madera en atmósfera reductora (CO<sub>2</sub>). *Ingeniería Química*. Septiembre 2010.
- [8] Reina, J. Estudio cinético del aprovechamiento energético de maderas residuales (y III). Influencia de la atmósfera de reacción y tipo de madera. Noviembre 2010.
- [9] Cabanilla, A. Gasificación de biomasa. *Conversión energética*. CIEMAT-Madrid
- [10] Moreno, J. Simulación de gasificación de biomasa en lecho fluidizado burbujenante. Proyecto de fin de carrera. Dpto. de Ingeniería Térmica y de Fluidos. *Tecnología Energética*. Febrero 2010. 