

eoi

Módulo: BIOMASA

**COMBUSTIÓN DIRECTA DE LA
BIOMASA**

Juan E. Carrasco García

Índice

1. INTRODUCCIÓN.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
2. PROCESOS DE CONVERSIÓN ENERGÉTICA DE LA BIOMASA4	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
3. PREPARACIÓN (PRETRATAMIENTO) DE LA BIOMASA.....	5
4. COMBUSTIÓN DIRECTA DE LA BIOMASA.....	14
5. APLICACIONES COMERCIALES DE LAS TECNOLOGÍAS DE COMBUSTIÓN	
DIRECTA DE LA BIOMASA.....	20
	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
5.1. APLICACIONES TÉRMICAS EN EL SECTOR DOMÉSTICO	21
5.2. APLICACIONES TÉRMICAS EN EL SECTOR INDUSTRIAL	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.¡ERROR!
MARCADOR NO DEFINIDO.	
6. CONCLUSIONES.....	30

1. INTRODUCCIÓN

Se denomina “Biomasa” al conjunto de materiales biológicos y, por tanto, constituidos por materia orgánica, que están disponibles para la producción de energía.

Todos los productos que componen la biomasa constituyen una forma de energía solar y, por tanto, renovable, que se han producido a partir de la captación y transformación de la radiación solar en energía del enlace químico mediante el proceso de fotosíntesis llevado a cabo en los cloroplastos de las plantas verdes. Posteriormente esta energía ha quedado acumulada en los materiales biológicos, principalmente en macromoléculas como la celulosa y el almidón y se libera en forma de calor en la oxidación de la materia orgánica que compone la biomasa y que tiene lugar en los procesos de conversión energética de la misma.

La biomasa en forma de lo que se denomina genéricamente "leña" o “madera” fue la primera y única fuente energética utilizada por el hombre hasta el advenimiento del carbón y fué el principal recurso energético hasta principios de la era industrial, a comienzos del siglo XIX. Aún en nuestros días la biomasa sigue constituyendo una de las principales fuentes energéticas de la humanidad.

Se denominan con el término genérico de "biocombustibles" a los productos intermedios que se obtienen en las cadenas energéticas de la biomasa y que se obtienen de las materias primas que componen la biomasa mediante su tratamiento por procesos físicos y/o químicos y/o biológicos.

Dependiendo de su naturaleza cabe distinguir entre biocombustibles sólidos, líquidos y gaseosos. Los biocombustibles sólidos y gaseosos se emplean por lo general en la producción de calor y electricidad, mientras que los de naturaleza líquida encuentran su principal aplicación como combustibles en el sector transporte.

2. PROCESOS DE CONVERSIÓN ENERGÉTICA DE LA BIOMASA.

En el esquema de la figura 1 se muestran los procesos más relevantes para la transformación energética de la biomasa, las materias primas mas importantes utilizadas en cada proceso y sus aplicaciones. Como puede observarse en dicha figura, existen cuatro procesos básicos mediante los que la biomasa puede transformarse en calor y electricidad: combustión, gasificación, pirólisis y digestión anaerobia.

Los tres primeros, denominados genéricamente procesos termoquímicos, implican una descomposición térmica de los componentes biomasa, con oxidación de los mismos y liberación asociada de energía en forma de calor, en el caso de la combustión; o la obtención de combustibles intermedios, como ocurre en la gasificación y en la pirólisis.

La combustión es una reacción de oxidación de los componentes de la biomasa a alta temperatura y en presencia de una cantidad de oxígeno suficiente para producir la oxidación total de los componentes de la biomasa, de la que se obtiene energía en forma de calor y dióxido de carbono, agua y cenizas como productos de la reacción. La gasificación se lleva a cabo, como la combustión a altas temperaturas, en presencia de pequeñas cantidades de oxígeno, generalmente utilizando aire como agente gasificante y el producto principal es el gas de gasificación que está compuesto fundamentalmente por CO e hidrógeno. Por su parte, la pirólisis se realiza en ausencia de oxígeno y dependiendo de la temperatura y tiempo de proceso rinde como productos principales carbón vegetal (procesos lentos y a 350-550°C) o líquidos (aceites) de pirólisis en los procesos rápidos (típicamente reacción en segundos y a unas temperaturas de 650-850°C).

La digestión anaerobia es un proceso microbiológico que se desarrolla en ausencia de oxígeno y que está fundamentalmente ligado al tratamiento de los residuos biodegradables. El producto final es el denominado biogás, compuesto, principalmente, por metano y CO₂ y que puede utilizarse para la producción de calor y/o electricidad. El biogás se obtiene en las instalaciones depuradoras de residuos agroindustriales y de aguas residuales urbanas, así como en los vertederos controlados de residuos sólidos urbanos y puede utilizarse como combustible para fines térmicos, o bien en motores y turbinas, para la generación eléctrica.

La producción de biocombustibles líquidos para el transporte (biocarburantes) está asociada actualmente a procesos biológicos (fermentación alcohólica) y químicos (transesterificación), utilizándose comercialmente materias primas agrícolas de tipo azucarado (caña de azúcar, remolacha) o amiláceo (cereales) en el caso del bioetanol, y oleaginoso (soja, colza y palma principalmente), para la producción de biodiesel. Además, la gasificación de la biomasa, a través de la producción de hidrógeno y metanol, ofrece alternativas, aunque a largo plazo, dentro de esta aplicación. Asimismo, la biomasa lignocelulósica puede transformarse en bioetanol mediante hidrólisis ácida o enzimática de sus componentes celulosa y hemicelulosa y posterior fermentación de los azúcares resultantes.

Todas las tecnologías mencionadas para la conversión energética de la biomasa están siendo utilizadas a escala comercial, excepto la gasificación, la pirólisis rápida para obtención de aceites de pirólisis y la transformación a etanol de los materiales lignocelulósicos, si bien es la combustión y sus diferentes aplicaciones térmicas y eléctricas el proceso más difundido.

En 2005, suponiendo una producción de energía primaria a partir de la biomasa en torno a los 65EJ, aproximadamente el 96% de esta energía lo consumieron las aplicaciones térmicas mediante combustión directa, un 2,6% la generación de electricidad (1,7EJ) y un 1,3% (0,84EJ) los biocarburantes.

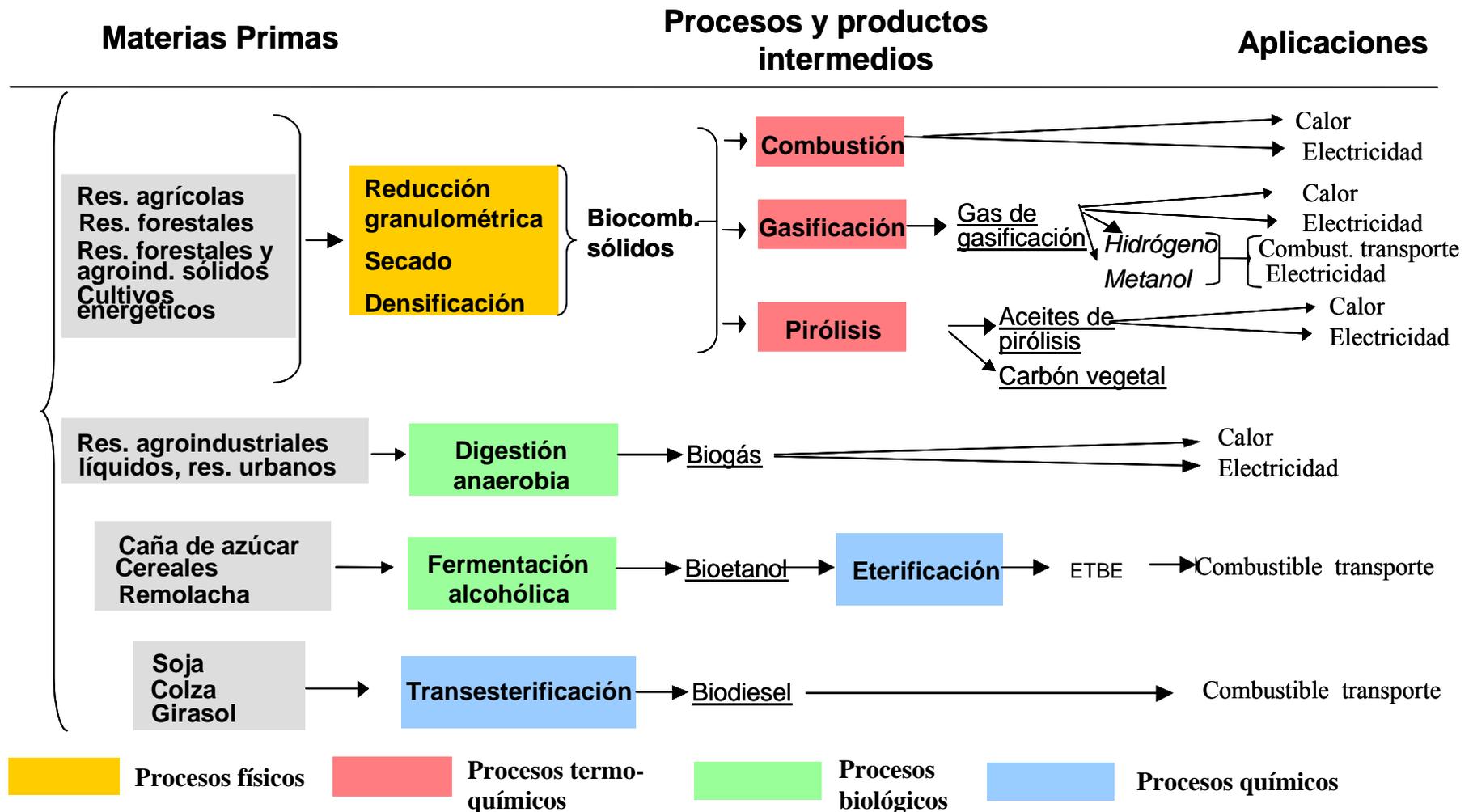


Figura 2.- Procesos de conversión energética de la biomasa. Materias primas utilizadas y aplicaciones.

3. PREPARACIÓN (PRETRATAMIENTO) DE LA BIOMASA

La biomasa, tal y como se obtiene en sus lugares de producción, no tiene, por lo general, las características adecuadas de tamaño, humedad, forma etc, requeridas por las tecnologías de conversión energética. Por ello se suelen requerir procesos previos, generalmente de naturaleza física, a fin de acondicionar la biomasa.

Los principales procesos físicos que afectan a la conversión energética de la biomasa están relacionados con la preparación de biocombustibles sólidos, para su utilización en procesos termoquímicos, como la combustión.

Entre éstos pueden citarse los siguientes:

CORTADO O TROCEADO

Los troncos y ramas mas gruesas procedentes de las labores selvícolas constituyen las denominadas leñas que son ampliamente utilizadas en el mundo rural como combustible del sector doméstico.

Al objeto de poder utilizarlas en los equipos de combustión, sobre todo en los de menor tamaño, se hace preciso un proceso de troceado o cortado de esta biomasa que da lugar a la leña de tamaño relativamente grande que se utiliza en estufas, chimeneas y calderas.

Tradicionalmente el corte de la leña se ha realizado a mano. Actualmente, existe maquinaria específicamente diseñada para este fin. En la Figura 2 se muestra un equipo de cortado de madera consistente en una sierra que corta los troncos axialmente a intervalos regulares. Posteriormente, tal y como se observa en la Figura, los troncos ya precortados se cortan longitudinalmente haciéndolos pasar impulsados por una prensa hidráulica a través de una matriz cortadora. De esta forma se consiguen unos trozos de leña muy iguales en forma y tamaño, lo que facilita su transporte y almacenaje, así como su empleo estandarizado en chimeneas, estufas y calderas.



Figura 2. Cortadora de leños

ASTILLADO

Como el proceso anterior, consiste en una reducción granulométrica de la biomasa que en este caso llega hasta unas piezas de tamaño 3-10 cm de largo que se denominan astillas.

El astillado de la biomasa se realiza mediante equipos denominados astilladoras, que, en general, utilizan como elementos de corte cuchillas en el caso de materiales húmedos y de poco grosor y rodillos con cuchillas para materiales secos o de diámetro importante.

MOLIENDA

Algunos procesos de conversión energética de la biomasa necesitan utilizar partículas de tamaño inferior al de una astilla lo que, a su vez, requiere un proceso previo de reducción granulométrica denominado molienda para conseguir un tamaño de la biomasa inicial inferior a 2-3 cm., que constituye el producto final de este proceso

Los equipos más empleados para efectuar esta operación son molinos de martillos y de tambor en grandes plantas. Estos últimos suponen un mayor coste de inversión, pero tienen un gasto de electricidad no superior al 20% el de aquellos. También se emplean molinos de cuchillas para las biomásas más húmedas.

SECADO

Como su propio nombre indica, este proceso consiste en extraer agua de la biomasa a fin de lograr un producto con menor contenido en humedad, de acuerdo a las especificaciones requeridas por los procesos de conversión energética.

La reducción en el contenido en humedad de las biomásas lignocelulósicas húmedas (p.e. contenido de un 40-50% de humedad sobre base húmeda) puede lograrse mediante secado natural, aprovechando los fenómenos termogénicos que, fundamentalmente, por acción microbiana, se producen cuando estas biomásas se acumulan en montones. Sin embargo, en climas muy húmedos o cuando se hace precisa la obtención de unos productos con un bajo grado de humedad, el proceso de secado se efectúa mediante procedimientos forzados, utilizando aire caliente o vapor como agentes secantes.

Los equipos mas utilizados por la industria para el secado de la madera energética son secaderos rotatorios (trommel) (Figura 3), en los que se utiliza, por lo general de forma directa, aire caliente o vapor seco como agentes secantes. Estos equipos disponen de unas aspas interiores continuas que favorecen el avance del material y su mezcla con el agente secante. La eficiencia de estos equipos en condiciones normales de operación suele ser del 60-65%, que expresa en porcentaje la cantidad de energía necesaria para extraer en las condiciones de proceso el agua de la biomasa, frente a la energía contenida en el combustible utilizado en la operación.

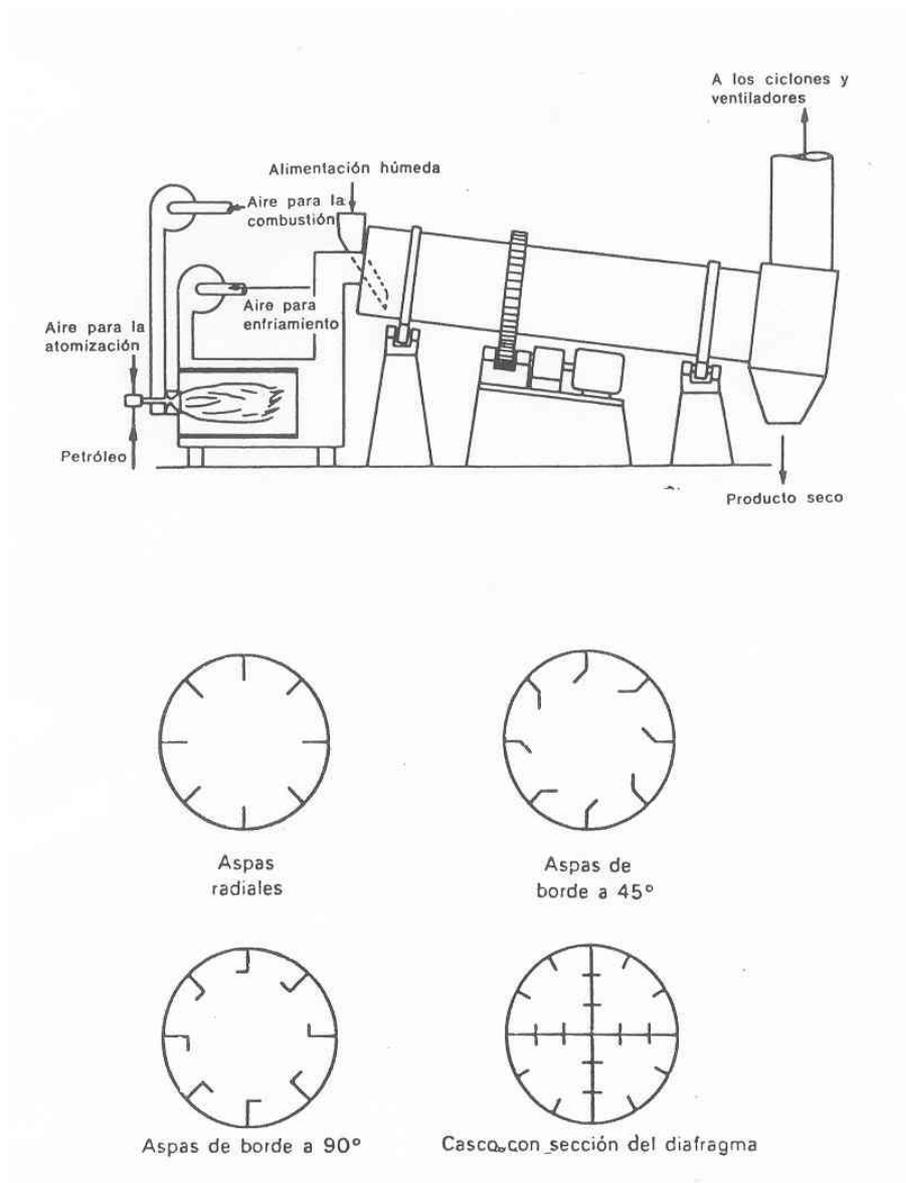


Figura 3.- Esquema de un secadero rotatorio de biomasa y distintos diseños de aspas interiores.

Para biomásas de pequeño tamaño (p.e. serrines de madera) se suelen utilizar secaderos de transporte neumático (Figura 4), en los que las partículas se secan en suspensión, en una corriente de aire caliente o vapor seco que se inyecta por la parte inferior del secadero. Cuando una partícula se seca, pesa menos y se arrastra más fácilmente por la corriente secante hasta el ciclón de salida. Estos equipos se suelen utilizar cuando no se necesita un secado muy importante de la biomasa, siendo especialmente efectivos para reducir en algunos puntos el contenido en humedad de la biomasa. A veces incorporan sistemas de recirculación de partículas, al objeto de incrementar su capacidad secante.

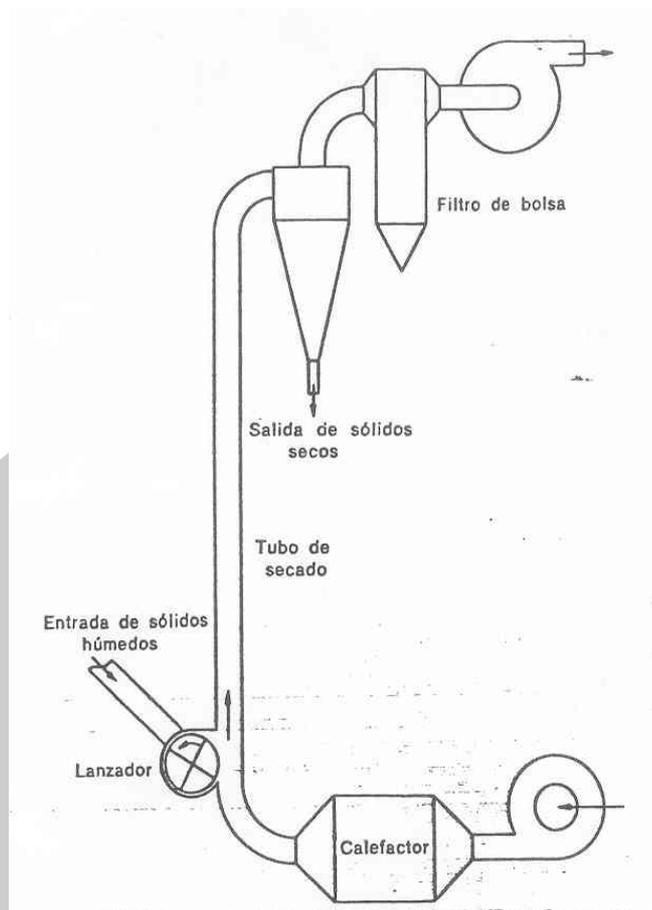


Figura 4.- Esquema de un secadero de transporte neumático de biomasa.

También se utilizan para el secado de la biomasa los secaderos de bandas y los de lecho fluidizado.

DENSIFICACIÓN

Consiste en una compactación de las partículas de biomasa sometiéndolas a altas presiones, para dar lugar a unos biocombustibles sólidos derivados denominados pelets y briquetas.

Estos productos se diferencian entre sí por su tamaño, estando los pelets constituidos por piezas de tamaño homogéneo, generalmente cilíndricas, de 3 a 12 mm de diámetro y algunos centímetros de largo, y siendo las briquetas piezas de forma cilíndrica, a veces poliédrica, de 5 a 15 centímetros de diámetro y 30-40 cm de largo.

Además de su forma regular, los pelets y briquetas de biomasa tienen una densidad específica de 1-1.3 Kg/dm³, y una densidad aparente en torno a 0.6-0.7 Kg/dm³ lo que junto a su bajo grado de humedad (igual o inferior al 10%) les convierte en unos biocombustibles de fácil manejo y de inferiores costes de transporte y almacenaje en relación con la biomasa bruta (Tabla 1). Los pelets son además aptos para su alimentación automática a calderas. Todo ello hace de estos productos unos combustibles de una calidad muy superior a la de las biomásas que se emplean como materias primas en su fabricación.

Tabla 1. Valores analíticos típicos de la madera de pino pelets de serrines de pino y carbón

Características	Astilla de pino	Pelet de astilla de pino	Carbón (hulla)
Densidad de pila (kg/m ³)	0,3-0,4	0,6-0,7	Aprox 1
Densidad aparente (kg/m ³)	n.d.	1,2-1,3	n.d.
Humedad (% b.h)	30-50	≤ 10	≤ 15
PCI (MJ/kg)	10-12	18	24

n.d. no disponible. B.h.- base húmeda.. PCI.- poder calorífico inferior

Como se acaba de mencionar, el proceso de densificación de biomasa consiste en someter a altas presiones a las partículas de biomasa, produciéndose de esta forma su unión íntima. Para que este proceso se lleve a cabo adecuadamente es preciso que las partículas de biomasa sean de pequeño tamaño, 1cm como máximo, y que tengan un contenido máximo de humedad del 15%, lo que frecuentemente exige el desarrollo de procesos de molienda y/o secado de la biomasa original. A veces se utilizan aditivos para favorecer la unión de las partículas, pero cuando el proceso se lleva a cabo correctamente estos agentes no suelen ser necesarios ya que a las altas temperaturas que se alcanzan en las cámaras de compactación (250-300°C), los componentes hemicelulosa y lignina de la biomasa se funden y actúan de colas naturales.

En la producción de briquetas se utilizan máquinas compactadoras que pueden ser prensas hidráulicas, o de pistón o equipos extrusores (Figura 5). Las prensas hidráulicas rinden productos de menor densidad y calidad, en torno a 1kg/m³. Las máquinas extrusoras pueden en determinados casos llegar a producir pelets de mayor densidad que las prensas de pistón, pero sus costes de inversión y mantenimiento son más altos, lo cual ha determinado que la mayor parte de las briquetadoras en el mercado sean finalmente de pistón.

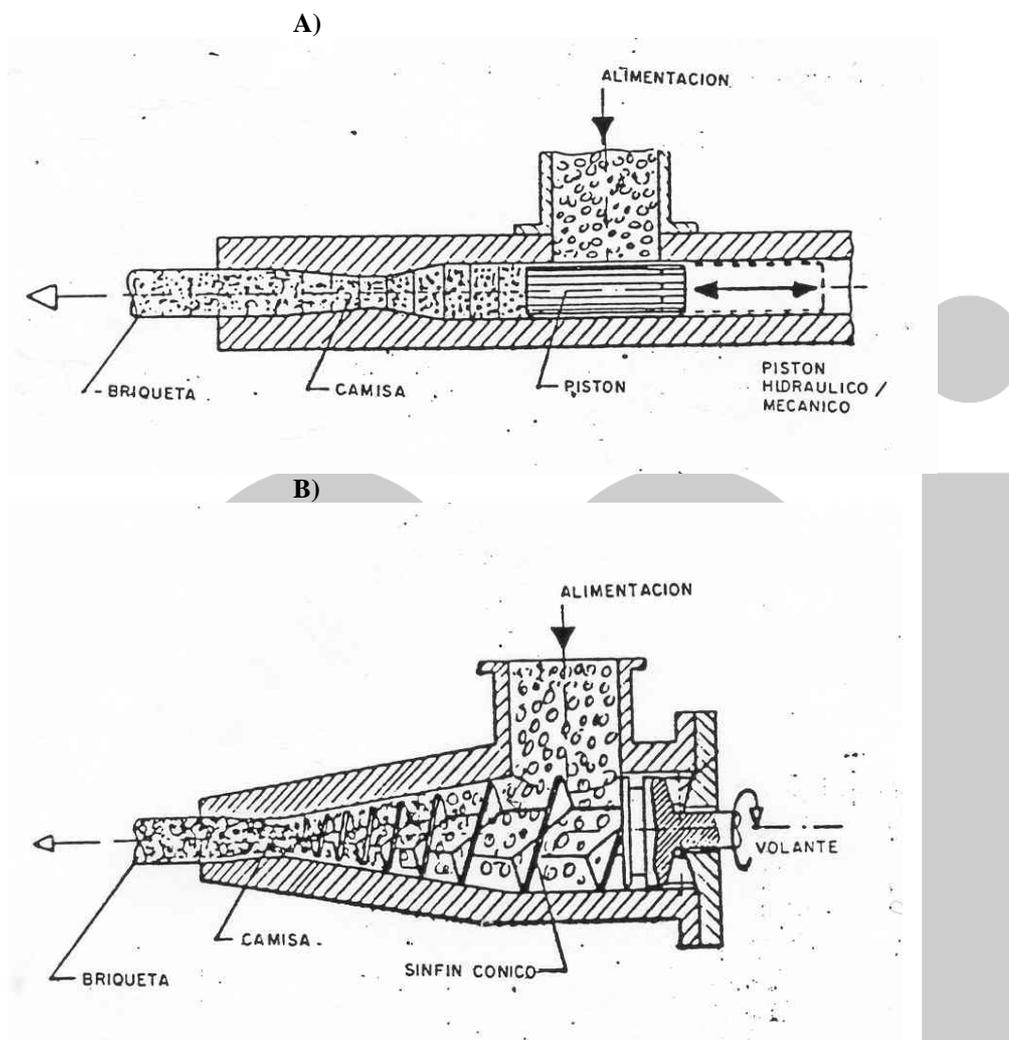


Figura 5.- Esquema de briquetadoras de biomasa. A) de tipo pistón; B) de extrusión.

Por su parte, la producción de pelets se lleva a cabo en granuladoras como la que se muestra en esquema en la Figura 6. Estos equipos son semejantes a los de fabricación de piensos granulados para piensos animales. Pueden tener una matriz horizontal o anular, dependiendo, entre otros factores, de las características del material a peletizar.

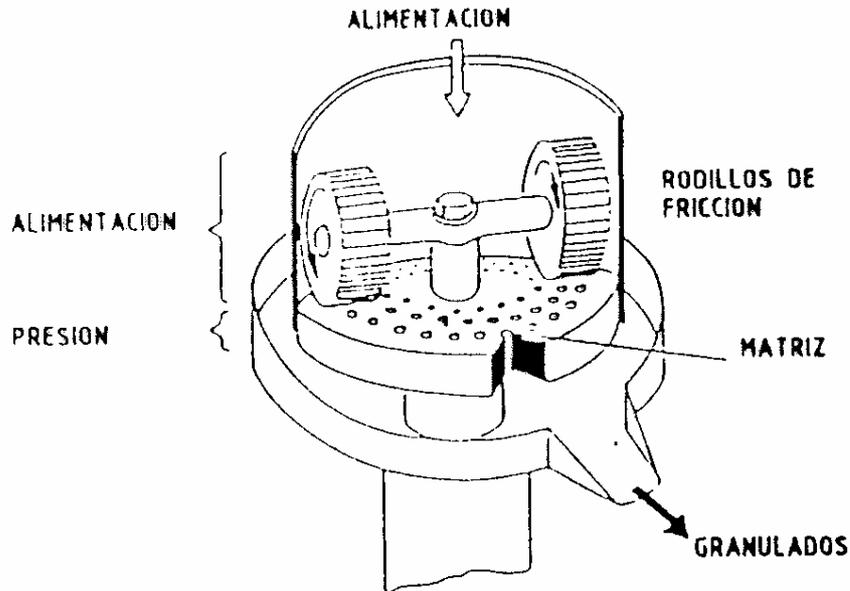


Figura 6. Esquema de una máquina peletizadora de biomasa de matriz plana.

En la Tabla 2 se indican algunas de las especificaciones técnicas más importantes de algunos equipos de densificación de biomasa utilizados en el mercado.

Tabla 2.- Datos técnicos de equipos comerciales de densificación de biomasa.

FIRMA	MODELO	Ø (mm)	DENSIDAD DEL PRODUCTO (g/cm ³)	RENDIMIENTO (kg/h)	CONSUMO MEDIO KW.h/t	COSTES AMORTIZACIÓN (€/t)
PINI-KAY (Austria)	FG-60 (Extrusión)	62	1.1	600	64	0.3
BOGMA (Suecia)	M-60 (Impacto)	60	1.2	600	45	0.4
BOGMA (Suecia)	M-75 (Impacto)	75	1.2	1000	40.6	0.3
COSTA VALMAC (Italia)	1-55/150	56	1.17	285	77.7	0.4
	1-65/150	67	1.17	450	60.7	0.5
	1-75/150	77	1.17	600	67.7	0.4
	1-85/200 (Impacto)	87	1.17	900	45.1	0.4
COSTA VALMAC (Italia)	08-45/150 (Hidráulica)	48	0,9-1,0	75	70	--

4. COMBUSTIÓN DIRECTA

La combustión es un proceso por el que la biomasa directamente o sus biocombustibles derivados son oxidados hasta dióxido de carbono (CO_2) y agua. La ecuación global de la reacción de combustión es la inversa de la de fotosíntesis. El proceso se realiza a altas temperaturas ($800^\circ\text{-}1000^\circ\text{C}$), utilizando aire como agente oxidante e involucra una etapa instantánea inicial de pirólisis y otra de gasificación de la biomasa previas a la de combustión propiamente dicha.

En la combustión en condiciones reales se emplea una cantidad de aire por encima del necesario para efectuar la oxidación total del biocombustible que se utilice en cada caso. En general, el término “combustión de biomasa” suele hacer referencia a la combustión directa de la biomasa o de los biocombustibles sólidos.

La combustión de la biomasa transcurre con liberación de energía en forma de calor y los productos principales resultantes, como se ha mencionado, son el dióxido de carbono, agua (en forma de vapor a la salida de equipo de combustión) y las sales minerales contenidas en la biomasa empleada como combustible, además de relativamente pequeñas cantidades de óxidos de nitrógeno y de azufre, así como de monóxido de carbono, partículas de carbono y otros productos orgánicos (hidrocarburos) resultantes de la combustión incompleta de la biomasa, denominados genéricamente “inquemados”. Las sales minerales junto con otros inquemados en muy pequeñas cantidades constituyen las cenizas del proceso que, bajo determinadas condiciones, pueden ser, en general, restituídas al suelo como fertilizantes. El resto de los productos secundarios mencionados constituyen las emisiones gaseosas del proceso cuya minimización es necesaria a fin de disminuir el impacto ambiental producido por este proceso.

La tecnología más difundida a escala comercial para llevar a cabo la combustión de la biomasa es la tradicional de parrilla, utilizándose tanto parrillas fijas, horizontales e inclinadas, como móviles y vibratorias, a veces refrigeradas con agua. Las calderas de parrilla de biomasa no son diferentes en esencia a las utilizadas con otros combustibles sólidos, como el carbón, si bien incorporan modificaciones importantes de diseño al objeto de adaptarlas a las características específicas del nuevo combustible. Para mejor entender este aspecto, es interesante tener en cuenta las características que presenta la biomasa sólida como combustible. En este sentido, en la Tabla I.4 se muestra la composición de diferentes biomasa de amplia utilización, frente a un carbón de buena calidad (hulla). Las cifras dadas en la tabla son meramente orientativas ya que la composición de una determinada biomasa puede variar con factores tales como la variedad de la especie considerada, las condiciones de cultivo

y recolección, la climatología y composición del suelo etc., si bien son representativas de determinadas características que se comentan a continuación.

Tabla 3.- Composición y características físico-químicas típicas de diferentes biomásas frente al carbón.

Parámetro	Astilla forestal de pino	Orujillo de aceituna	Paja de cebada (paca)	Cáscara de arroz	Carbón Colombiano (hulla)
Densidad de pila (kg/dm ³)	0,4	0,8	0,15	≤0,1	aprox.1
Poder calorífico PCI (MJ/kg) (b.h)	12-14	18-20	14-15		28
Volátiles (b.s)	76	78	76	72	34
Cenizas (815°C) (b.s.)	3,8	3,1	5	12	14
K	0,2	0,8	0,9	0,3	-
Ca	0,3	0,1	0,4	0,2	-
Ca/K	1,5	0,12	0,18	0,67	
Análisis elemental (b.s.)					
C		50	45	44	72
H	41	6,5	6,2	6	4,8
N	6	1,7	0,5	0,4	1,3
S	0,4	0,04	0,08	0,07	0,8
Cl	0,05	0,1	1,1	0,06	0,08
Humedad (b.h)	30-50	10-15	10-15	8-10	≤15

b.s. .- base seca b.h.- base húmeda

En primer lugar y como puede verse en la Tabla 3, la biomasa presenta un densidad de pila inferior, por lo general, entre tres a seis veces la del carbón y un poder calorífico unas dos veces inferior, lo que determina que su densidad energética sea de seis y hasta unas quince veces inferior a la del carbón.

Por otra parte, los materiales biomásicos presentan, en general, un contenido en cenizas muy inferior al carbón. Éste es mayor en los materiales herbáceos (paja de cereales, cáscara de arroz) que en los leñosos (astilla de pino), sobrepasando en los primeros frecuentemente el 10% del peso seco de su biomasa.

Un inconveniente importante que presentan las cenizas de la biomasa y, en particular, las de los materiales herbáceos y algunos residuos agroindustriales, es su alto contenido en álcalis, potasio principalmente y una baja relación Ca/K . Esta circunstancia se asocia a la formación durante la combustión de compuestos eutécticos de bajo punto de fusión, que se volatilizan y terminan formando aglomerados en el hogar de los combustores o depósitos en las partes mas frías de los mismos (intercambiadores) causando importantes problemas de funcionamiento, tales como una disminución considerable de

la eficiencia de los intercambiadores o la discontinuidad del lecho de combustión, en el caso de las calderas de lecho fluidizado. A esto hay que añadir al menor tamaño de las partículas volantes que se forman durante la combustión de la biomasa en relación al carbón, lo que favorece que parte de ellas choquen con las superficies interiores de los combustores y queden, asimismo, pegadas a los citados depósitos, agravando más aún este problema. Por otra parte, como se observa en la Tabla 3, las biomásas herbáceas poseen un mayor contenido en cloro que las leñosas, de lo que se derivan en muchos casos fenómenos de corrosión en los equipos de combustión.

Como consecuencia de estas características de la biomasa, los equipos de combustión de biomasa difieren, fundamentalmente, de los de carbón en las siguientes especificaciones:

1.- Debido a la muy inferior densidad energética de la biomasa, el tamaño específico de los equipos de combustión (volumen de los equipos/cantidad de combustible quemado por unidad de tiempo) de biomasa es, en general, mayor que los de carbón, lo que aumenta los costos de inversión de las instalaciones.

2.- Las calderas de carbón, cuando poseen alimentación automática, ésta suele realizarse mediante descarga por gravedad del combustible. En cambio, en el caso de la biomasa, debido a su menor densidad y a sus características reológicas, el anterior sistema no es viable y se emplean otros procedimientos, entre los cuales los más generalizados son el de tornillos y, para biomásas de pequeña granulometría, los sistemas neumáticos.

3.- La superficie específica de parrilla o de lecho es inferior en el caso de los equipos de biomasa, debido a que la mayor parte de la biomasa la constituyen los compuestos volátiles que se queman en la zona libre del combustor y no sobre la parrilla.

4.- Asimismo, el mayor contenido en compuestos volátiles de la biomasa obliga a introducir modificaciones en la geometría de la cámara de combustión de la caldera, en la distribución aire/combustible y en los sistemas de intercambio. Así, la distancia entre el punto de entrada del combustible y la salida de gases es mayor en los equipos de biomasa, a fin de producir una combustión completa de los volátiles, lo que de no producirse, daría lugar a pérdidas de eficiencia y mayores niveles de emisiones. Por este mismo motivo, los equipos de combustión de biomasa, a diferencia de los de carbón (excepto los que queman carbones con alto contenido en volátiles) poseen en la parte superior libre del combustor diferentes puntos de introducción de aire secundario, a fin de quemar en esta zona los volátiles.

5.- Debido a la mayor formación de depósitos en la combustión de las biomásas herbáceas, las zonas

de intercambio mas críticas, como ocurre principalmente con los sobrecalentadores en las plantas de generación eléctrica, suelen disponerse en las calderas de biomasa verticalmente y fuera de la propia cámara de combustión, a fin de aminorar los fenómenos de deposición que se producirían en el caso de estar dispuestos horizontalmente y dentro del propio combustor, como ocurre en las calderas de carbón. Asimismo, muchos equipos de combustión de biomasa poseen una precámara de combustión en la que, a una temperatura inferior a la de combustión, se desgasifica la biomasa y se producen parte de las cenizas del proceso, reduciéndose así, los fenómenos de deposición y aglomeración en la cámara de combustión propiamente dicha.

En la Figura 7 se muestran en esquema diferentes detalles de diseño típicos de las calderas de biomasa, como el sistema de alimentación por tornillo precedido de una válvula alveolar para conseguir una dosificación mas homogénea del combustible, así como para evitar retrocesos de llama hasta el silo de alimentación; la parrilla móvil en cascada y el sistema de extracción automática de cenizas. En algunas calderas de pequeño tamaño la alimentación se realiza mediante tornillo por debajo de la parrilla, que termina aflorando el material a su superficie.

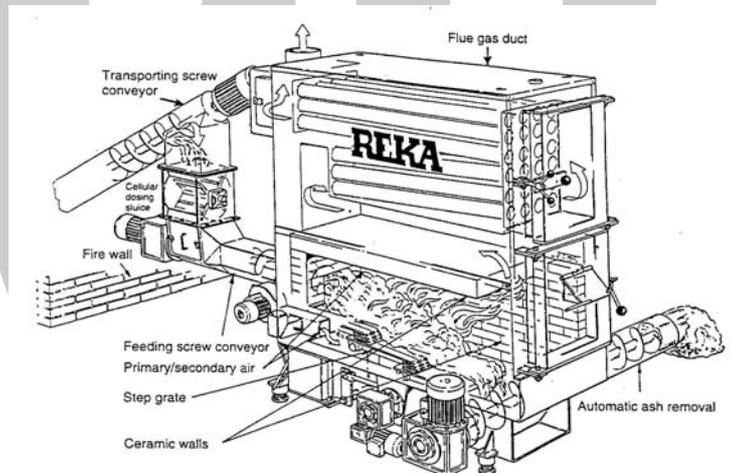


Figura 7.- Esquema de una caldera de biomasa

Como puede apreciarse, el sistema de intercambio en las calderas de biomasa no está en contacto directo con la cámara de combustión, para evitar o minimizar los problemas de sinterización causados por las cenizas de la biomasa, principalmente la de tipo herbáceo..

Los materiales biomásicos presentan también en su combustión problemas de emisiones, principal-

mente de partículas de pequeño tamaño que sobrepasan los ciclones y hacen precisa en grandes plantas térmicas la utilización de filtros de mangas o electrofiltros como elementos de limpieza adicionales. Sin embargo, los gases no precisan por lo general del lavado de los mismos, debido al bajo contenido de azufre de la biomasa.

Puede concluirse, por tanto, que la biomasa es costosa de obtener y que, principalmente la de tipo herbáceo, es un combustible de poca calidad, lo que repercute negativamente en los costos de inversión y mantenimiento de los equipos de conversión energética.

Además de la tecnología de parrilla que, como ya se ha mencionado, es en la actualidad la más difundida para la combustión de la biomasa, en los últimos veinte años está tomando auge en el mercado la tecnología de lecho fluidizado para grandes equipos que se está utilizando tanto en grandes plantas térmicas, como, principalmente, termoeléctricas alimentadas con biomasa. La tecnología de lecho fluidizado presenta la ventaja de trabajar a temperaturas inferiores, unos 800°C frente a los alrededores de 1000°C que trabajan los equipos de parrilla, lo que disminuye las emisiones de óxidos de nitrógeno y la formación de aglomerados y escorias producidos en la combustión de la biomasa. Asimismo es una tecnología más eficiente en general que la de parrilla frente a los variables contenidos de humedad y la gran heterogeneidad que suele presentar la biomasa en sus características físicas. Esta tecnología utiliza combustibles de pequeña granulometría (partículas de, aproximadamente, 3-4 cm de dimensión máxima), que, en general, no son muy aptos para los equipos de parrilla. Sin embargo, este tamaño supone unos mayores costos del combustible en el caso de que sea necesario un proceso de astillado o molienda del mismo. Otro inconveniente de la tecnología de lecho fluidizado son los mayores costos de inversión y de mantenimiento en relación a las instalaciones con equipos de parrilla.

La tecnología de lecho fluidizado más difundida con biomasa es la de tipo burbujeante (ver esquema de la Figura 8) debido a su mayor viabilidad económica en plantas de relativamente pequeño tamaño como son las de biomasa.

Aunque con una implantación mucho menor que las anteriores, existen también como tecnologías comerciales para la combustión de la biomasa los hornos de combustible pulverizado y los de combustión ciclónica. Los primeros tienen la ventaja de facilitar la utilización conjunta de biomasa de granulometrías diferentes en una única cámara de combustión, si bien tienen el inconveniente de los altos costos de la molienda fina de la biomasa y los segundos son especialmente adecuados para biomasa de pequeña granulometría.

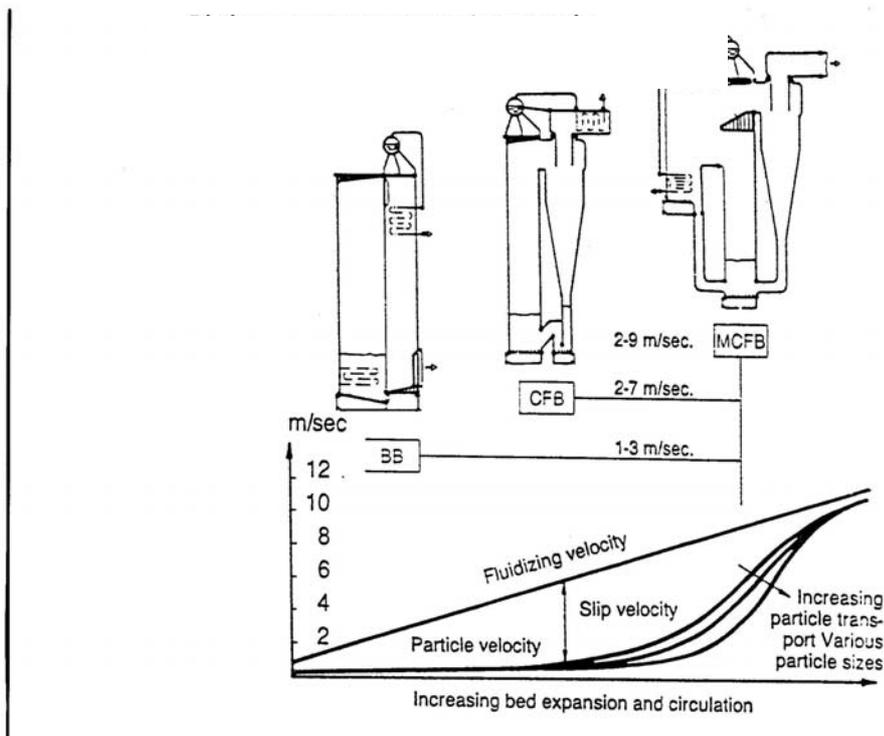


Figura 8.- Esquema de distintos conceptos de combustores de lecho fluidizado utilizados con biomasa y velocidades de fluidización típicas empleadas: BB) lecho fluidizado burbujeante, CFB) lecho fluidizado circulante y MCFB) lecho fluidizado multicirculante

En la tabla 4 se indican, de forma comparativa, algunos parámetros característicos de las tecnologías de combustión de la biomasa mencionadas.

Tabla 4. Tecnologías más relevantes de combustión de la biomasa en la UE y algunos fabricantes de referencia

Rangos de capacidad de los equipos	Tecnología de combustión/fabricante		Costes de inversión comparativos	Necesidad de limpieza del gas de chimenea(1)
De 33 MW _{th} y max. 10 MW _{el} a 63 MW _{th} y max. 20 MW _e	Combustor de parrilla GeKa	88 %	bajos	Tratamiento de los gases necesario en algunos casos
De 33 MW _{th} y max. 10 MW _{el} a 63 MW _{th} y max. 20 MW _{el}	Combustor de lecho fluidizado Babcock Borsini Austrian Energy	92-94 %	altos	No es preciso tratamiento
De 15 MW _{th} a 35 MW _{th}	Combustor de lecho fluidizado Ahlstrom/Finland	92 - 94 %	altos	No es preciso tratamiento
De 1 MW _{th} y max. 200 kW _{el} a 20 MW _{th} y max. 6 MW _{el}	Combustor ciclónico vertical BTU Cottbus, BBP IK Peitz, ERI	94 %	medios	No es preciso tratamiento
N.D.	Combustor de combustible pulverizado Schoppe	94 %	medios-altos	Tratamiento de los gases necesario en algunos casos
18 MW _{th}	Tecnología combinada parrilla/combustible pulverizado Fa. Weiss, Dillenburg	94 %	altos	Tratamiento de los gases necesario en algunos casos

(1) Limpieza adicional a los ciclones y filtros de mangas o electrofiltros
ble

N.D. No disponible

5. APLICACIONES COMERCIALES DE LAS TECNOLOGÍAS DE COMBUSTIÓN DE LA BIOMASA

EN LA TABLA 5 SE INDICAN LAS APLICACIONES COMERCIALES DE LA BIOMASA MEDIANTE COMBUSTIÓN DIRECTA.

TABLA 5- APLICACIONES COMERCIALES DE LA BIOMASA Y EQUIPOS UTILIZADOS.

● TÉRMICAS

Sector	Aplicaciones	Equipos
Doméstico	Calefacción, cocina, ACS	Equipos individuales: <i>estufas, cocinas, chimeneas, calderas.</i> Equipos centralizados: <i>calderas.</i> Calefacción de distrito: <i>calderas.</i>
Industrial	Calor de proceso: vapor, agua y aire calientes	Calderas

● ELÉCTRICAS

Ciclos Rankine: *Calderas, turbinas de vapor.*

5.1 Aplicaciones térmicas en el sector doméstico.

La biomasa sólida se emplea en este sector como combustible para cocina y principalmente para la producción de calefacción y agua caliente sanitaria en equipos individuales, como cocinas, hornos, estufas, chimeneas, pequeños quemadores y calderas. Asimismo se utiliza en calderas colectivas, tales como las de comunidades de vecinos y en instalaciones de calefacción de distrito (traducción española de “district heating” en inglés) . Este último tipo de instalaciones, muy comunes en los países del norte y centro de Europa, consisten en una central térmica alimentada con biomasa en la que se produce agua caliente que es conducida en circuito cerrado para dar calefacción a un conjunto urbano (Figura 9). El tamaño de estas centrales suele estar comprendido entre 1-10 MWth

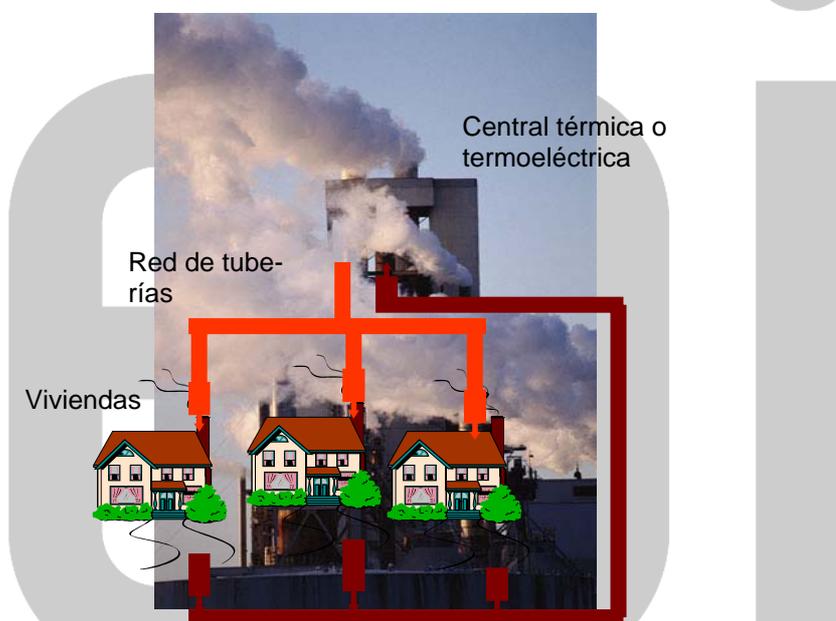


Figura 9- Esquema de una central de calefacción de distrito.

Es de reseñar el gran esfuerzo de desarrollo tecnológico llevado a cabo en los últimos veinte años en diferentes países europeos como Alemania, Finlandia, Suecia y principalmente Austria para el desarrollo de los pequeños equipos individuales de combustión de biomasa cuyos parámetros de operación, tanto en lo referente a eficiencia como fundamentalmente en emisiones, les colocaban fuera de los estándares actuales de mercado. Este esfuerzo ha determinado que en la actualidad exista tecnología para la combustión de la biomasa en pequeñas instalaciones que cumple los requisitos más exigentes de emisiones y con eficiencias térmicas que, por lo general, no son inferiores al 70% en los equipos mas simples como estufas y chimeneas y que sobrepasan el 80% en el caso de las pequeñas calderas, incluso en las de tamaño inferior a 15 kWt. Esta circunstancia ha sido posible, por una parte, gracias a la introducción de modificaciones en el diseño de los equipos que han supuesto una simplifica-

ción de su operación, así como a la incorporación de mejoras tecnológicas en los sistemas de control de la combustión y de diferentes sistemas para mejorar la distribución y acumulación de calor.

En la situación actual puede afirmarse que existe tecnología adecuada para la introducción de la biomasa en cualquier aplicación energética del sector doméstico con estándares satisfactorios, tanto bajo un punto de vista energético como medioambiental e incluso económico, debido a los precios competitivos que en este sector presenta la biomasa frente a los combustibles fósiles.

Asimismo, una alternativa en auge en el campo del sector doméstico en general, tanto en instalaciones individuales como en las centralizadas, para lograr reducir al mínimo las emisiones de los equipos de calefacción de biomasa y aumentar su eficiencia es el empleo de pélets y briquetas. Estos biocombustibles sólidos de alta calidad, permiten aumentar el rendimiento de los equipos de combustión y reducir sus emisiones gracias a su bajo contenido de humedad y a la homogeneidad de su tamaño y forma, que permite una alimentación más homogénea de los equipos. Así, hoy en día es posible quemar pellets de biomasa en estufas de diseño específico con unos índices de emisiones de CO inferiores a 40 mg/Nm³ frente a los 60 mg/Nm³ (para 11% de O₂) que exige la legislación más exigente. Esto hace que el mercado de estos biocombustibles esté experimentando un fuerte crecimiento en muchos países, a pesar de los relativamente altos costos de su producción. El mercado de densificados de biomasa se aproxima a los 2 Mt/año en los países del norte de Europa (Suecia, Finlandia, Noruega y Dinamarca) y en estados Unidos más de 500.000 hogares utilizan de una forma regular este tipo de biocombustibles.

En España, el coste de producción de briquetas de residuos forestales y de industrias de la madera, excluido el precio de la biomasa, puede oscilar entre los 30 a 50 €/t en plantas de una capacidad de producción de unos 1000kg/h y que funcionen unas 16 h/día. Estos costos pueden variar, no obstante, ampliamente en las diferentes plantas, dependiendo de su capacidad y del tiempo de operación.

El precio de la biomasa (serrines fundamentalmente) que pagan estas industrias oscila entre 30 a 40 €/t, el precio de venta a granel en fábrica en torno a los 140-160€/t, para llegar al pequeño consumidor a unos precios de venta entre 200 a 250 €/t.

No obstante, bajo un punto de vista económico puede afirmarse que en el sector doméstico los biocombustibles sólidos, incluidos los de mayor calidad como los pellets y las briquetas, son hoy en día competitivos en precio con la mayor parte de los productos fósiles utilizados en este sector, tales como el gasóleo, gas natural y carbón. Esto es cierto para la mayor parte de los países, tanto los que están en vías de desarrollo como incluso los industrializados. En muchos de estos últimos, la creación

de diferentes impuestos que gravan la utilización de los combustibles fósiles, principalmente los asociados a la emisión de CO₂ no cíclico, está favoreciendo la circunstancia descrita.

Por el contrario, las pequeñas calderas de biomasa tienen precios (Tabla 7) muy superiores a las de igual capacidad con combustibles fósiles, así como mayores costos de mantenimiento, lo que viene a contrarrestar la situación favorable de la biomasa en cuanto a precio. Es de esperar que el incremento del mercado de la biomasa en este sector mejorará esta situación a nivel global.



Tabla 7. Precios indicativos de diferentes pequeños equipos térmicos de biomasa en el sector doméstico

COMPACTO DE CHIMENEA CON RECIRCULACIÓN FORZADA DE AIRE MEDIANTE TURBINAS			
Capacidad		Sup. calentada	Precio aprox.
(Kcal/h)	kW	m ²	Euros
8.000	9	<70	680
11.000	12	70-90	810
14.000	16	90-130	950
COMPACTOS DE CHIMENEA CON CIRCUITO CERRADO DE AGUA			
Capacidad		Precio aprox. (€/kW)	
12-25 kW		40-80	
COCINAS Y ESTUFAS CON CALDERA PARA CAL EFACCIÓN Y ACS.		CALDERAS	
Capacidad (Kcal/h)	Precio aprox. (euros)	Capacidad con leña kW	Precio aprox. (€/KW)
20.000	880	10-50	200-400
25.000	1080		
30.000	1220		

Además del precio de la biomasa, en la economía de estas plantas intervienen dos factores de gran importancia:

1.- Necesidades de calefacción. Dada la relativamente alta inversión que suponen este tipo de instalación, su amortización solo es posible cuando la demanda térmica de los usuarios es muy alta y durante muchos meses al año. Esta situación se da, por ejemplo, en los países del norte de Europa, pero, en general, la viabilidad de las centrales de distrito es más comprometida en países de clima templado.

2.- Número de demandantes de energía térmica frente a la longitud de la red de distribución de agua caliente. Este índice es muy importante ya que la mayor parte de la inversión, generalmente más de un

80% del coste total de la instalación, está asociada a la red subterránea de distribución. En este sentido, la inversión específica en la red será menor cuanto mayor sea el índice indicado

5.2 Aplicaciones térmicas del sector industrial

Tradicionalmente la biomasa se ha venido utilizando en este sector fundamentalmente por industrias que utilizan sus residuos para producción de la energía necesaria en sus propios procesos, evitando, además, problemas medioambientales importantes derivados de la acumulación en el medio de dichos residuos. Las industrias de la madera, incluidas las papeleras, y algunas agroindustrias, como las de extracción de aceite de oliva, son los ejemplos más importantes en este campo, existiendo otras agroindustrias, como las azucareras de caña, que presentan un inmenso potencial, mediante el aprovechamiento energético del bagazo.

Teniendo en cuenta los precios en la industria de la energía fósil en los países industrializados, muy inferiores a los de los biocombustibles existentes en el mercado, el autoconsumo de biomasa parece que continuará siendo la opción más viable para la utilización energética del recurso en este sector en los países desarrollados, en los que no se esperan crecimientos muy significativos en la utilización energética de la biomasa en las circunstancias actuales, debido a la escasa competitividad en precio del recurso renovable con los productos fósiles..

En la industria la biomasa se utiliza como combustible en grandes calderas, a veces de cogeneración, que presentan en la mayor parte de las instalaciones eficiencias energéticas superiores al 80% y que llegan a ser del 95% en el caso de las calderas de lecho fluidizado y en los hornos de combustible pulverizado.

En general, existen soluciones técnicas viables aplicables a las características de cada tipo de biomasa empleada para su utilización energética en este sector.

5.2 Aplicaciones en la generación de electricidad.

La producción de electricidad con biomasa constituye la alternativa más ambiciosa dentro de los planes de desarrollo de este recurso que existen en numerosos países, entre ellos la UE y España. En ambos casos los objetivos suponen multiplicar en el año 2010 en torno a diez veces la producción de electricidad con biomasa de finales de 1998.

En la actualidad la única tecnología desarrollada para la producción de electricidad con biomasa sólida

es la tradicional, basada en ciclos rankine de caldera-turbina de vapor (Figura 10). A veces el calor residual de la turbina es utilizado en aplicaciones de cogeneración, empleándose el calor residual tanto en el sector industrial, como en el doméstico (en centrales de distrito).

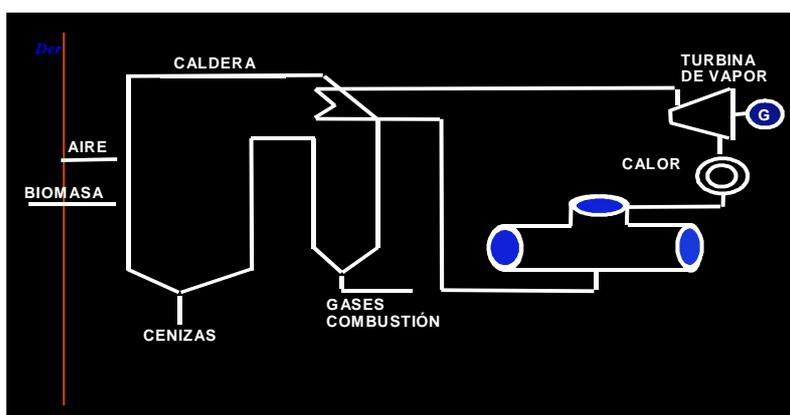


Figura 10.- Esquema de ciclo de vapor con biomasa para generación eléctrica con cogeneración.

La tecnología de ciclo de vapor para generación eléctrica alcanza una mayor viabilidad económica en grandes plantas, de varios cientos de megavatios, en las que las turbinas son más eficientes y adquieren los óptimos índices de inversión/rendimiento. Asimismo, los costes de operación y mantenimiento y el costo específico de combustible se reducen considerablemente. Sin embargo, la baja densidad energética de la biomasa y su producción dispersa encarecen los costos de recolección y transporte, lo que determina que la cantidad disponible del recurso de forma económicamente viable sea limitada y muy por debajo, generalmente, de los requerimientos de las grandes plantas de generación eléctrica con la tecnología considerada. Por ello, la producción de electricidad con biomasa debe de llevarse a cabo en plantas de relativamente pequeño tamaño, fuera de los óptimos de eficiencia para la tecnología de ciclo de vapor, lo cual limita drásticamente las posibilidades actuales de implantación comercial de la aplicación considerada sin ayudas o incentivos adicionales.

En la Figura 11 se ilustra lo expuesto con datos indicativos sobre costes de producción de electricidad en España en relación al tamaño de la planta. Asimismo, se indican dichos costes para biomásas de bajo precio, como los residuos agroindustriales (eg. orujillo de oliva) y de mas alto valor (eg.- residuos forestales).

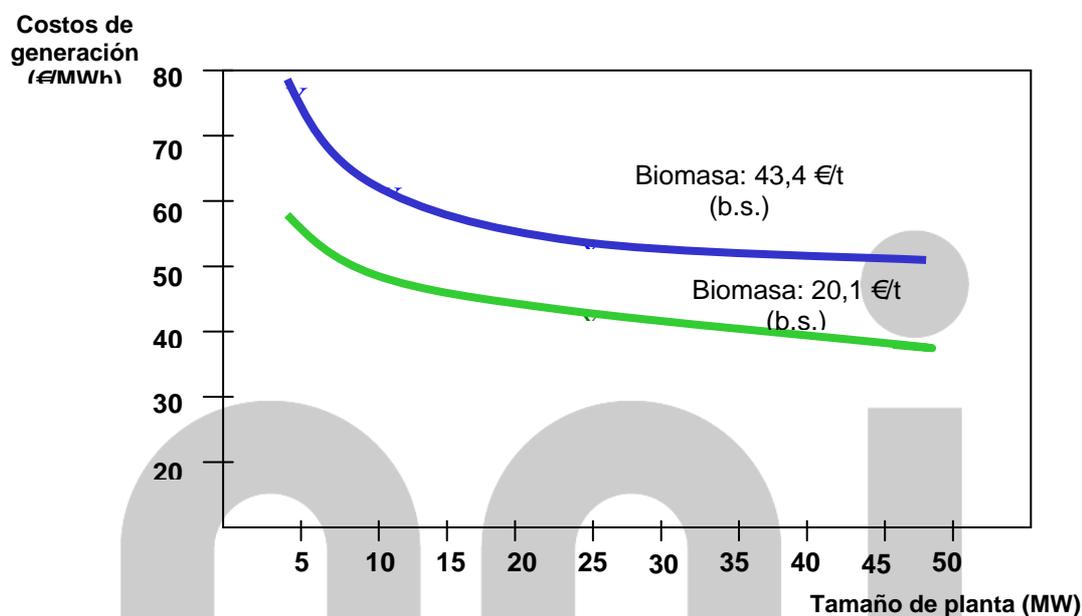


Figura 11.-Influencia del tamaño de planta y costo de la biomasa en los costos (indicativos)

Como puede observarse, los costos de generación, análogamente a los de inversión, se comportan en relación inversa al tamaño de la planta y crecen de forma prácticamente exponencial para instalaciones inferiores a 5MW (resultados no mostrados en la Figura). Tan sólo en plantas por encima de los 15-20MW los costes empiezan a hacerse independientes del tamaño de la instalación.

En la actualidad, los costes de producción eléctrica con biomasa en la UE se sitúan en 50-120 €/MWh, aproximadamente el doble que los de generación convencional, que son de 30-60 €/MWh.

Por lo expuesto, es de gran interés el desarrollo de tecnologías alternativas para la producción de electricidad con biomasa a fin de hacer más competitiva esta aplicación y poder cumplir con los importantes objetivos marcados por las políticas existentes en este campo. En la actualidad los desarrollos están dirigidos tanto a las aplicaciones de generación descentralizada como a nuevos sistemas centralizados.

Procesos para producción descentralizada con biomasa

En el primer campo y para plantas de, indicativamente, menos de 5 MWe, existen las siguientes opciones:

- Plantas de ciclo rankine de vapor, posiblemente con aplicación de cogeneración, que utilizan biomasa sólida como combustible. Como ya se ha mencionado, estas plantas tienen costos de inversión y operación muy altos que las hacen, en general, poco competitivas.
- Plantas que utilizan biogás de vertedero o de planta depuradora de residuos orgánicos, con motores o microturbinas. Es una opción empleada actualmente en el mercado y que ha experimentado un gran crecimiento en España y en la UE en los últimos años. Necesita, no obstante, fuertes subvenciones para ser rentable.
- Plantas de gasificación, generalmente con gasificadores de lecho fijo en corrientes paralelas, con utilización del gas en motogeneradores. Esta opción permite una gran modulación del tamaño de las plantas, con sistemas simples de limpieza del gas y la posibilidad de generar con relativamente altos rendimientos (del orden del 25% de rendimiento bruto) en plantas de muy pequeño tamaño. Esta opción está en fase precomercial.
- Motores stirling. Son motores de combustión externa que pueden utilizar gases de combustión o de la combustión del gas de gasificación para mover el cilindro. Están en fase de desarrollo. El rendimiento de estos motores es inversamente proporcional a su coste de inversión.

Procesos para generación eléctrica centralizada con biomasa

Ciclos combinados

Entre las nuevas tecnologías para la generación centralizada con biomasa está el empleo de la gasificación en ciclos combinados (Figura 13)

Como se observa en la Figura 12, los ciclos combinados con biomasa (BIGCC) consisten en producir electricidad en una turbina de gas alimentada con el gas procedente de la gasificación de biomasa con recuperación del calor residual de la turbina en una caldera y producción de vapor con el que se genera electricidad adicional en una turbina de vapor. En este proceso se suelen utilizar gasificadores de lecho fluidizado, generalmente a presión, y la limpieza de gas se realiza en la mayor parte de los casos con filtros cerámicos o metálicos.

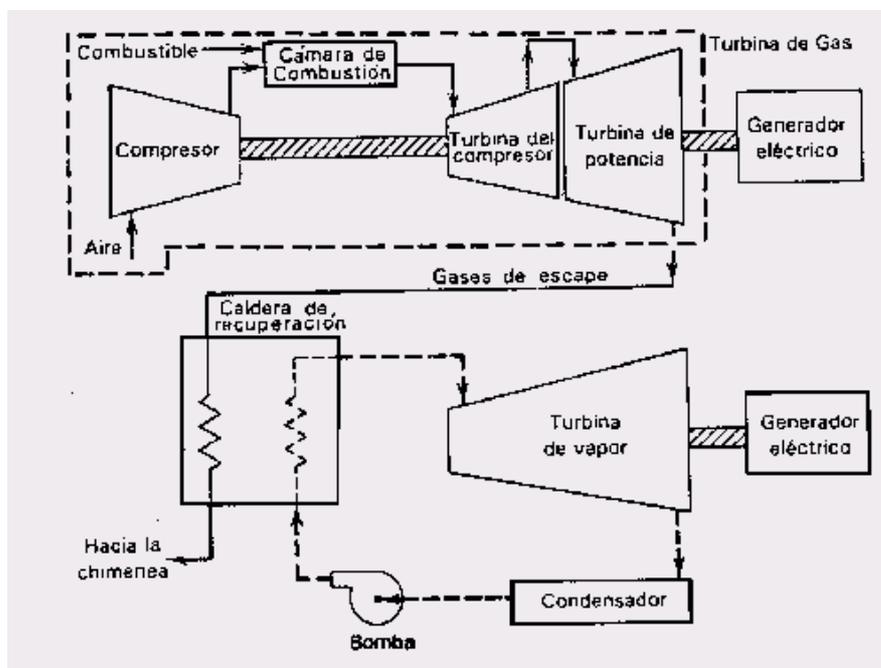


Figura 12. Esquema de ciclo BIGCC. El combustible es biomasa

Este esquema de generación se ha desarrollado en algunas plantas de demostración, como la de Värnåmo en Finlandia no habiéndose obtenido resultados satisfactorios hasta la fecha, fundamentalmente en lo referente a la limpieza del gas.

Aunque el proceso BIGCC presenta, en teoría, eficiencias mucho más altas que los procesos tradicionales, está por determinar aún el tamaño de planta necesario para alcanzar economía de escala, lo que de momento causa incertidumbre sobre la viabilidad del suministro de biomasa de estas plantas.

Coutilización con carbón en centrales térmicas

Existen dos opciones para utilizar la biomasa junto con carbón:

- Empleo de la biomasa finamente dividida (generalmente a un tamaño de partícula inferior a 1 mm) junto con el carbón pulverizado en la misma caldera del carbón, introduciendo los dos combustibles en un mismo quemador o bien en quemadores separados (co-combustión).
- Gasificación de la biomasa en un gasificador anexo a la caldera de carbón de la central térmica y utilización del gas como combustible en el proceso, por ejemplo, para “reburning” a fin

de disminuir las emisiones de óxidos de nitrógeno de la caldera. Esta opción exige una inversión mucho mayor que la anterior, pero tiene la ventaja de que con ella se evitan diversos problemas derivados de la combustión conjunta carbón-biomasa, entre ellos los fenómenos de sinterización del biocombustible (co-gasificación).

En cualquier caso, la utilización con carbón es una alternativa viable y que se está ya utilizando comercialmente en diferentes centrales en Estados Unidos y la UE y que permite producir electricidad de biomasa con alta eficiencia y unos costes muy reducidos de inversión.

6. CONCLUSIONES

De lo expuesto puede concluirse que de todos los procesos y tecnologías de combustión de la biomasa, las más viables económicamente son las utilizadas en aplicaciones térmicas del sector doméstico y las de autoconsumo industrial, debido a la situación de mayor competitividad de los biocombustibles en estos usos. En cambio, por motivos de baja eficiencia de conversión y economía de escala, las tecnologías disponibles para producción de electricidad tienen menor viabilidad e incluso en un futuro podrían ser sustituidas por otras más competitivas.