

Aprovechamiento de la Biomasa Forestal producida por la Cadena Monte-Industria.

Parte III: Producción de elementos densificados.

✍ Luis Ortíz, Alejandro Tejada, Antonio Vázquez
Dpto. de Ingeniería de los Recursos Naturales y M.A. - E.U.I.T. Forestal, Pontevedra
Gonzalo Piñeiro Veiras
Área de Innovación y Tecnología - CIS-Madera



En el presente trabajo se hace una revisión de los procesos de transformación física que hacen posible la obtención de productos de mejor calidad energética y mayor valor añadido que las materias primas originarias, aportando los resultados obtenidos en los trabajos realizados en el marco del "Proyecto de Aprovechamiento de la Biomasa Forestal producida por la Cadena Monte-Industria de Galicia". Este estudio ha sido coordinado por el CIS-Madera en colaboración con las Universidades de Santiago y Vigo.

INTRODUCCIÓN

En la utilización de la biomasa residual forestal, generalmente es necesario realizar una serie de operaciones previas de transformación física y acondicionamiento.

Estas operaciones hacen posible obtener productos de mayor valor añadido, lo que posibilita la ampliación de su mercado y su consumo.

No obstante, para que este acondicionamiento previo sea viable, es necesario que el incremento de valor del producto final, compense los gastos de transformación del material. De esta forma, en función del tipo de aplicación a la que se destina, será necesario aplicar distintas etapas de transformación y acondicionamiento.

Las principales etapas de transformación realizables para el tratamiento de la biomasa residual son el astillado, secado natural, secado forzado, molienda, tamizado y densificación.

SECADO NATURAL

Normalmente, la biomasa residual forestal presenta un elevado contenido de humedad (sobre el 100% en base seca), lo que plantea una serie de problemas en el acondicionado para su utilización con fines energéticos.

El secado natural se basa en aprovechar las condiciones ambientales favorables para facilitar la deshidratación de los residuos. En el caso de los residuos forestales procedente de las cortas existen dos posibilidades: realizar el secado directamente en el monte, o realizar el secado después de haberlos convertido en astillas.

En los países nórdicos, se suele realizar un apilado de los restos de corta en grandes pilas que se cubren con un film de papel encerado para evitar que

penetre el agua de la lluvia. La finalidad de este sistema de trabajo es disponer de un almacén de biomasa directamente en el monte, ya que al utilizarse en aplicaciones energéticas-caloríficas el consumo de material es estacional, y se trata de conseguir una deshidratación del material de forma que tenga un mayor contenido energético.

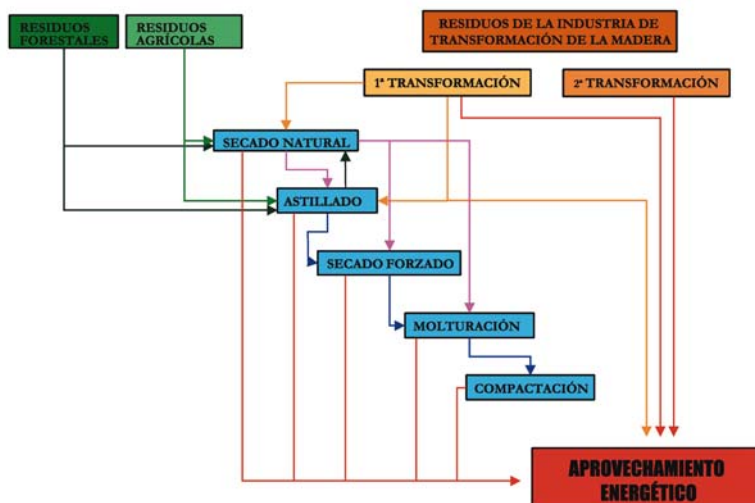
En otros casos, debido al sistema de trabajo utilizado para la recogida y aprovechamiento de los residuos, a la premura en la preparación y plantación del monte, o a que exista un riesgo importante de plagas e incendios, el secado natural se realiza después del astillado del material.

Durante el almacenado de residuos de la madera se producen una serie de procesos termogénicos debidos a la acción de las células vivas de la madera, a la actividad biológica de microorganismos (bacterias y hongos) y a fenómenos de oxidación química e hidrólisis ácida de los componentes de la celulosa, que ocasionan pérdidas energéticas en los materiales.

La liberación inicial de calor en la pila, es producida fundamentalmente por la respiración de las células vivas de parénquima y el desarrollo de bacterias. Cuando se alcanzan temperaturas del orden de 40 °C, las células vivas mueren gradualmente; a partir de este punto la evolución del calor a largo plazo está ocasionada fundamentalmente por la respiración de los hongos, pero por encima de 45 - 50 °C las reacciones químicas liberadoras de calor se hacen también cada vez más importantes.

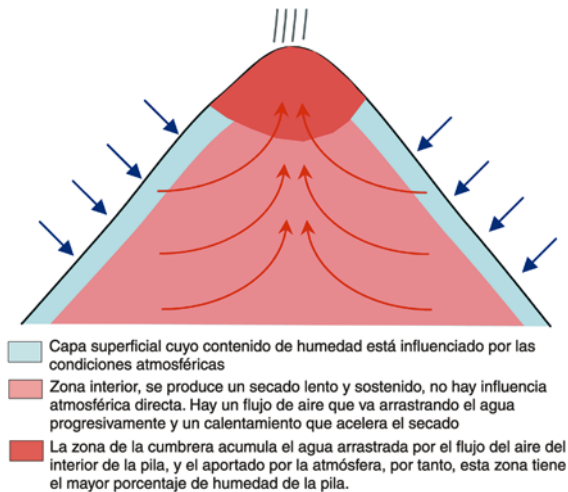
La temperatura que llegan a alcanzar las pilas de residuos depende, además, de la temperatura ambiente, precipitaciones, tamaño y compactación de la pila, y del contenido y distribución de corteza y elementos finos.

En las partes centrales de las pilas la temperatura se eleva rápidamente durante las primeras semanas de almacenaje, luego se estabiliza y, finalmente, disminuye de forma progresiva. Bajo determinadas condiciones pueden producirse fenómenos de carbonización o ignición espontánea de las pilas. Este fenómeno tiene mayores probabilidades de aparecer en pilas grandes, comenzando en las cavidades que contienen elementos finos y corteza. El fenómeno de autocombustión de los montones de fitomasa se ve favorecido cuando los residuos tienen gran cantidad de corteza o cuando sobre la superficie se forman costras de hielo o se acumulan mate-



riales finos que obturan los huecos e impiden el intercambio de calor con la atmósfera.

Durante el secado de astilla en montones o pilas, se produce el llamado "efecto chimenea" cuya dinámica es la siguiente: El aire penetra en las pilas desde la superficie y enfría los residuos a la vez que se recalienta según avanza hacia el centro del montón; la corriente de aire arrastra el agua contenida en los materiales, produciéndose así un flujo de aire húmedo y cálido desde el interior de los montones hacia la cumbre; de esta forma, el agua fluye verticalmente y se acumula en la cúspide donde se experimenta un fuerte recalentamiento y salida de vapor a la atmósfera. El recalentamiento se ve favorecido por la acumulación de microorganismos arrastrados por el flujo de aire, con lo que se acelera el incremento de población microbiológica y, por tanto, la actividad termogénica. La salida de vapor a la atmósfera produce una impresión de "humeo" de la cúspide de los montones, lo cual da nombre a este fenómeno (efecto chimenea).

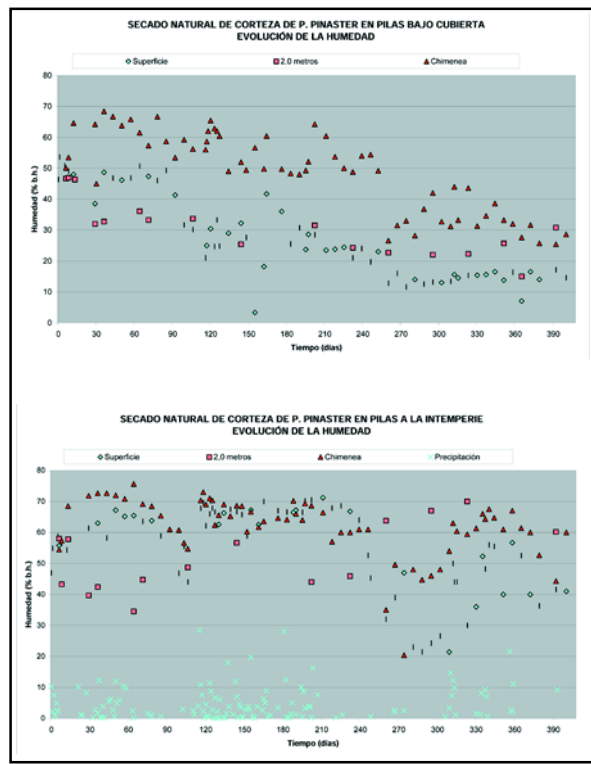


Durante este almacenamiento en pilas de la astilla, se registra una pérdida de madera que en general suele estar comprendida entre el 0,5-1% por mes en climas fríos y templados, y el 0,75-3% por mes en climas cálidos y húmedos.

Las recomendaciones prácticas más importantes para lograr un secado natural, sin tener una pérdida importante de materia seca, son:

- Hacer pilas de no más de 40-50 m³, evitando el apelmazamiento del material.
- Evitar la presencia de finos que impiden la entrada de aire en la pila.
- Controlar la temperatura en el interior de la

pila, y voltear el material cuando se registren temperaturas superiores a 60 °C.



SECADO FORZADO

Con el secado natural, contando con una climatología adecuada e infraestructura suficiente para el almacenamiento durante un período más o menos largo de tiempo, no es posible alcanzar normalmente humedades por debajo del 20% en base húmeda.

Cuando la humedad conseguida con el secado natural no es la adecuada para el procesado del material, o bien no se disponen de las condiciones necesarias para su realización, es necesario recurrir al secado forzado.

Para el secado forzado de biomasa, los equipos más utilizados se clasifican en:

- **Secaderos directos:** la transferencia de calor es por contacto directo entre el material húmedo y los gases calientes.
- **Secaderos indirectos:** la transferencia de calor se realiza a través de una pared de retención.

Los diseños que mejor se ajustan a estos tipos de transferencia de calor, y suelen resultar más adecuados para el secado de biomasa son los de tambor rotatorio o "trommel" y los de tipo neumático.

Los de tipo neumático están basados en el arrastre de los residuos mediante un flujo térmico que

TECNOLOGÍA Y EQUIPOS DE BRIQUETADO

Las briquetas son unos elementos normalmente de forma cilíndrica, con diámetros comprendidos habitualmente entre 5 y 10 cm y de gran densidad, formados por materiales prensados que se utilizan como combustible. Cuando se emplean para su fabricación elementos lignocelulósicos, como la madera, las temperaturas originadas durante la fase de prensado producen un reblandecimiento de la lignina, de forma que tras su enfriamiento funciona como un aglomerante de las partículas. Esta acción aglomerante de la lignina a alta temperatura, permite que para la fabricación de briquetas, a partir de elementos de madera, no sea necesario agregar ningún tipo de aglomerante (resinas o ceras).

Estos elementos densificados presentan una serie de ventajas con respecto al material del que provienen, ya que su mayor densidad permite disminuir el coste de transporte y almacenamiento, además de ser productos más homogéneos en características y propiedades, más limpios, y mucho más fáciles de manejar.

Los métodos industriales de briquetado datan de la segunda parte del siglo XIX. Desde entonces el uso de las briquetas ha estado ligado a períodos de escasez de combustible y a épocas de crisis. Durante la II Guerra Mundial la fabricación de briquetas a partir de residuos de madera y otros desperdicios se encontraba muy extendido en Europa y América. Tras la guerra las briquetas fueron apartadas del mercado por los hidrocarburos baratos.

De nuevo durante los períodos de alto precio de la energía, como los años 70 y principios de los 80, el uso de briquetas se revitaliza, principalmente en Escandinavia, los EEUU y Canadá.

Actualmente la tendencia es producir briquetas de combustible de bajo coste económico, a partir de residuos no utilizados para otros usos de mayor valor.

Para que durante la producción de las briquetas se produzca el proceso de autoaglomeración, es necesario que la humedad del material esté comprendida entre el 8 y 15% B.H. y que el tamaño de las partículas esté comprendido entre 0,5 y 1 cm.

Existen distintas tecnologías de briquetado, siendo las más utilizadas las siguientes:



Densificación por impacto – Briquetadoras de pistón

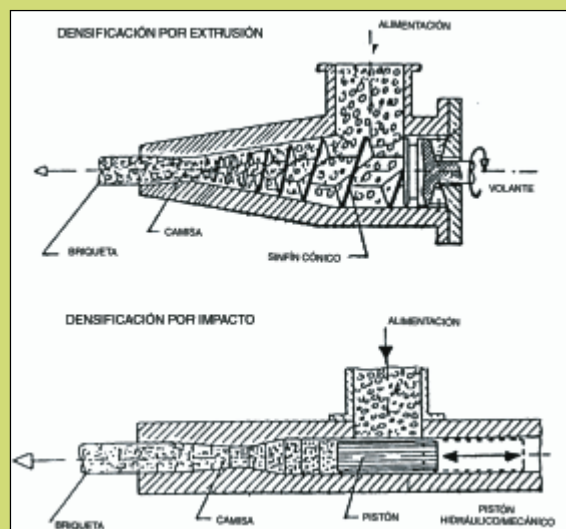
La compactación del material se consigue mediante el golpeo, producido sobre la biomasa, por un pistón accionado a través de un volante de inercia. Las densidades conseguidas suelen estar entre 1.000 y 1.200 kg/m³.

Densificación por extrusión – Briquetadora de tornillo

Se trata de un sistema basado en la presión ejercida por un tornillo sinfín especial, que hace avanzar el material hasta una cámara que se estrecha progresivamente (forma cónica). Este tipo de equipos permite realizar briquetas con orificios interiores que favorecen su combustión. Con este sistema se pueden obtener briquetas de mayor densidad que con los sistemas de impacto (1.300-1.400 kg/m³), si bien, los consumos energéticos y los costes de mantenimiento son notablemente más elevados.

Briquetadoras hidráulicas o neumáticas

En estas máquinas la presión es producida por uno o varios cilindros accionados por sistemas hidráulicos o neumáticos. Se suelen utilizar cuando los residuos son de muy mala calidad, o están húmedos y no se requiere una gran calidad de la briqueta final. Son equipos de muy poco consumo y mantenimiento. Estos equipos producen briquetas con densidades del orden de 700-800 kg/m³, si bien en determinados casos pueden llegar a alcanzar hasta 900 -1.000 kg/m³.



Fuente: Energía Xilogenerada. Luis Ortiz. 1994

durante el recorrido extrae la humedad del material. Suelen utilizarse cuando el producto es de granulometría fina y/o se requiere una ligera deshidratación. Básicamente constan de un foco de calor que genera el flujo térmico deshidratador, un canal de secado donde el flujo térmico arrastra los sólidos en suspensión y provoca la salida del agua contenida en ellos, y un sistema de succión que posibilita el movimiento del flujo y los materiales.

Los secaderos rotatorios tipo "trommel" se suelen utilizar cuando se trabaja con materiales muy húmedos y/o de granulometría gruesa. Fundamentalmente constan de las mismas partes que en el caso anterior, si bien en estos equipos el canal de circulación es un cilindro que gira, facilitando el contacto entre los sólidos y el flujo secante. En este tipo de secaderos el movimiento de los sólidos se controla regulando la pendiente interior y el giro del cilindro.



Atendiendo a la dirección del flujo térmico respecto al flujo del material, se distinguen secaderos de corrientes paralelas unidireccionales y secaderos a contracorriente. En los del primer tipo, el flujo de gas y de sólidos discurren en el mismo sentido, de forma que el gas se va cargando de humedad durante el recorrido, por lo que al final del secadero el gas puede llegar a estar saturado de agua, con lo que la eficacia de secado disminuye.

En los secaderos a contracorriente los flujos de gas y sólido viajan en sentidos distintos. De esta manera, los sólidos según avanzan van encontrando un ambiente cada vez más seco y de mayor temperatura, con lo que la deshidratación es más eficaz y constante. Se trata de un sistema que presenta un mayor riesgo de ignición de los sólidos y, por tanto, de incendios. Las temperaturas de entrada de gases suelen estar entre los 200 y 500°C y los de salida entre los 90 y 120°C (para evitar condensaciones y pérdidas de calor en la chimenea).

A continuación se exponen los resultados de 2 experiencias de secado forzado realizadas emplean-

do residuos astillados de eucalipto y pino en un secadero industrial de tipo trommel.

RESUMEN DE RESULTADOS

PARÁMETRO	PINO	EUCALIPTO	
CAPACIDAD	1280	1292	Kg/h
HUMEDAD INICIAL	38,8	23,7	%B.H.
HUMEDAD FINAL	6,3	6,6	%B.H.
TEMP. AMBIENTE	26,4	19,4	° C
HUMEDAD AMBIENTE	34,7	45,5	%
TEMPERATURA HORNO	438	458	° C
TEMP. GAS ENTRADA	385	410	° C
TEMP. GAS SALIDA	66,8	68,6	° C
HUMEDAD GAS SALIDA	12,7	10,67	%
CONSUMO ENERGETICO40		63	KW
VELOCIDAD TROMMEL	9	9	RPM
CAUDAL GASES	7004	3369	Kg/h
CAUDAL GASES	5448	2620	Nm3
AGUA EVAPORADA	443,9	236,5	Kg/h
AIRE/MADERA (secos)	8,94	3,42	Kg/Kg
AIRE SECO/MADERA	0,27	0,2	Kg/Kg
AIRE SECO/AGUA EVAP.	15,78	14,24	Kg/Kg
CONSUMO COMBUSTIBLE (pellet-PCI 3849)	203	183	Kg/h

Los ratios obtenidos, para secado forzado de astilla de eucalipto y pino con un flujo de 1.300 kg/h, de aire/madera de entre 3 y 8 kg/kg, y de aire seco/madera de 0,2 kg/kg, así como de aire seco/agua evaporada de unos 15 kg/kg, son básicos para el diseño de secaderos específicos para este tipo de material.

Es importante apuntar que conforme disminuye la humedad del producto obtenido, más difícil y más caro es el proceso de secado. Esto se debe a la mayor resistencia a la transferencia de materia y a que el gradiente de humedad en la partícula es cada vez menor (fuerza impulsora).

Debe quedar claro que para que la operación de secado artificial sea viable para aplicaciones energéticas directas, es necesario que se logre aumentar el rendimiento de combustión, al aumentar el PCI del material. Otro de los condicionantes que haría necesario secar el material, sería que el sistema de combustión no permita una combustión continua y uniforme con un material con tan bajo poder calorífico.

Con los precios actuales de mercado, en estos momentos sólo estaría justificado el secado artificial del material cuando se utilice para aplicaciones energéticas de mayor valor añadido como pueden ser los elementos densificados, pellets y briquetas.

Curvas de secado forzado en función del tipo de residuo y la temperatura

Se realizó un estudio para determinar el gradiente de deshidratación de la astilla procedente de ramas gruesas (2,5-6 cm de diámetro) de pino gallego y eucalip-

TECNOLOGÍA Y EQUIPOS DE PELLETIZADO

Los pellets son elementos densificados de forma cilíndrica con diámetros normalmente comprendidos entre 6 y 12 mm y longitudes de 10 a 30 mm, por lo que su tamaño es muy inferior al de las briquetas. Al igual que éstas, los pellets se utilizan como combustible, teniendo la ventaja de que pueden ser alimentados y dosificados mediante sistemas automáticos, lo cual amplía sus posibilidades de utilización en instalaciones de envergadura y en el sector industrial.

Para su producción es necesario disponer de un producto base con una humedad comprendida entre el 8-15% B.H. y un tamaño de partícula del orden de 5 mm. La densidad de los pellets suele estar entre los 1.000-1.200 kg/m³, si bien cuando se distribuye a granel la densidad aparente suele ser del orden de 800 kg/m³.

La historia de fabricación de pellets es mucho más reciente que la de las briquetas. Si bien ya se utilizaban las prensas de pelletizado para la fabricación de alimentos para el ganado, no fue hasta el 1961 cuando comenzó su densificación con fines energéticos. Ese año, la sociedad Sprout-Waldon Co, fabricante de prensas, creó una instalación completa para granular la corteza de roble en Tennessee (EE.UU.).

En 1967, el laboratorio de investigaciones forestales vinculado a la Universidad de Oregón, procedió a unos 200 ensayos de granulación de corteza y de madera (CURRIER, 1978).

En 1977, GUNNEMAN creó la BIO SOLAR RESEARCH en Eugenia, Oregón, y lanzó una experiencia piloto en Browneville (Oregón). En el mismo año, registra una patente de granulación a la que da el nombre de WOODEX. Se señala que la materia debe estar triturada (tamaño de las partículas inferior al 85% de la dimensión mínima de los pellets), seca o humidificada (humedad comprendida entre 16 y 28%) y calentada a una temperatura suficiente (de 163 a 176 °C) durante la granulación con el fin de garantizar la calidad del producto final. Desde 1977, algunas instalaciones explotan esta patente en Estados Unidos y Canadá. Otras firmas han preferido efectuar sus propias investigaciones y lanzar sus productos al mercado. Estas instalaciones pueden producir hasta varios cientos de toneladas al día, según la potencia de la prensa. Son caras y tienen altas productividades de 5- 20 toneladas/h para una única unidad.

Todos los tipos de prensa han sido concebidos inicialmente para la fabricación de alimentos para el ganado, pellets de mineral y aplicaciones similares y son, igualmente, aptos para la densificación de madera después de algunas modificaciones. La diferencia esencial reside en la medida de las hileras, que



deben tener en cuenta el particular comportamiento en compresión de las materias lignocelulósicas.

Actualmente la granulación de materias lignocelulósicas con fines energéticos está difundida, sobre todo, en Estados Unidos y Canadá, donde el combustible es empleado en usos

semi-industriales (calderas de alimentación automática).

Las tecnologías de fabricación más utilizadas son:

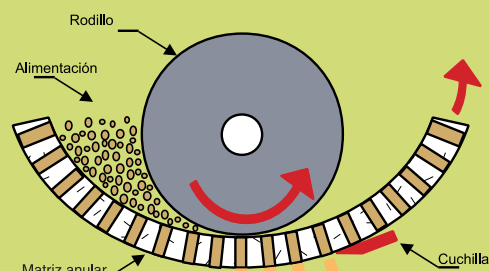
Pelletizadora de matriz anular

En este equipo la forma de la matriz es anular o en anillo. Dentro de este tipo de prensa existen dos variantes, en el primero la matriz anular es fija y los rodillos, también llamados discos, animados de un movimiento giratorio, empujan la materia a través de las numerosas hileras; en el segundo los rodillos son fijos y es la matriz la que gira a alta velocidad.

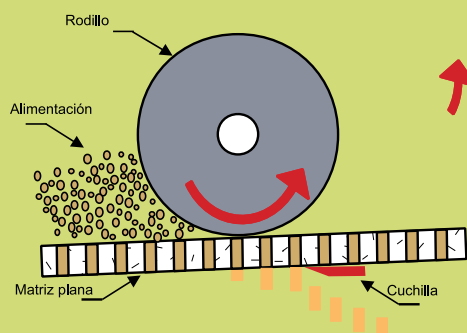
Pelletizadora de matriz plana

En este caso, la matriz es fija y tiene la forma de un disco horizontal, mientras que los rodillos recorren la cara superior.

ESQUEMA DE SISTEMA DE MATRIZ ANULAR



ESQUEMA DE SISTEMA DE MATRIZ PLANA

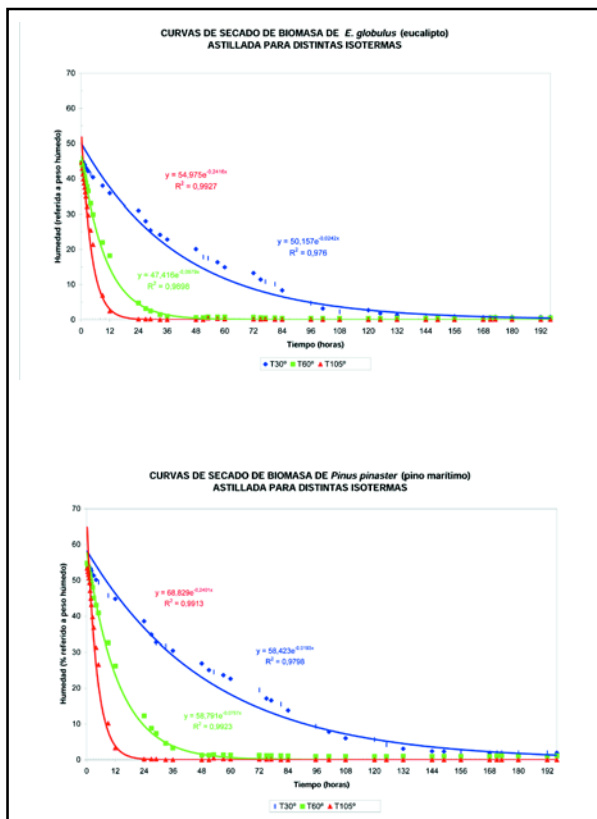


to, en función de las temperaturas de secado empleadas.

Para ello se introdujeron las muestras en estufa a diferentes temperaturas, haciendo un seguimiento de la pérdida de peso del material.

Se consideraron tres posibles escenarios de secado con temperaturas de 30, 60 y 105 °C. Estos valores, se mantuvieron de manera constante durante las 196 horas que duró el ensayo, para cada temperatura y especie. La humedad de las muestras se obtuvo por el método de desecación en estufa a 105 °C hasta obtener peso constante.

En las siguientes gráficas se muestran las curvas de secado obtenidas para los distintos materiales y temperaturas.



Como se puede apreciar en las gráficas, el descenso de humedad es muy rápido para las isotermas de 60 y 105 °C.

Los tiempos de deshidratación obtenidos pueden tomarse como referencia en el caso de hacer un tratamiento industrial de secado mediante la formación de mantas de no más de 7 cm de altura y bajo techumbre. En el caso del tratamiento de pilas de astilla los tiempos aquí indicados no se cumplen, debido a que el secado en montones sufre una dinámica de secado sensiblemente diferente.

REDUCCIÓN GRANULOMÉTRICA

Esta operación es imprescindible cuando se pretende utilizar el material en aplicaciones energéticas, tanto en aplicaciones directas como para la fabricación de elementos densificados. Cuando el material se destina a la producción de energía, la calidad de la astilla producida no es un factor primordial, siendo éste el rendimiento de astillado y el evitar piezas de gran tamaño que pueden producir atascos en los equipos de transporte y alimentación.

Si parte de la astilla producida se quisiera emplear como materia prima para la fabricación de tableros derivados de la madera, es necesario conseguir una astilla de mayor calidad y más homogénea en tamaño. Actualmente la mayor parte de los equipos de astillado de biomasa residual forestal utilizados en Europa emplean cuchillas, bien montadas sobre un tambor o un disco de inercia, y sistemas de alimentación normalmente horizontales y forzados mediante el empleo de rodillos presores. En algunos casos, también se utilizan astilladoras de martillos, pero suelen destinarse a materiales que contienen una gran cantidad de arena y piedras que provocarían un desafilado prematuro de las cuchillas.

Uno de los materiales más difíciles de astillar es la corteza de eucalipto. Su consistencia fibrosa unida a su alto contenido de humedad, hacen que se provoquen atascos y cegado de las mallas cuando las instalaciones no tienen las condiciones adecuadas para este material.

Las pruebas realizadas en el marco de este proyecto para el astillado de corteza de eucalipto nos han permitido llegar a la conclusión, de que para el procesamiento de este material es recomendable utilizar equipos de tambor con cuchillas con alimentación horizontal forzada, siendo imprescindible para obtener un funcionamiento continuo, que la cuchilla se encuentre perfectamente ajustada a la contracuchilla, recomendándose que la luz entre ellas sea de forma general menor de 1 mm.

Para algunas aplicaciones como la fabricación de elementos densificados es necesario realizar además una molienda del material para conseguir una mayor homogeneidad y menor tamaño de partícula. Normalmente para estas aplicaciones se suelen emplear molinos de martillos debido principalmente a su menor mantenimiento, comparado con los equipos de cuchillas.

En la planta piloto de la E.U.E.T. Forestal de Pontevedra, con una capacidad de producción de 200 kg/h, se realizaron una serie de pruebas de molienda con molino de martillos y malla de 8 mm, con distintos tipos de residuos.

EL SECTOR DE FABRICACIÓN DE BRIQUETAS EN ESPAÑA

En los últimos años se ha producido en España un importante auge del consumo de biomasa residual densificada, que es del orden de las 30.000 toneladas equivalentes de petróleo. La mayor parte de las 12 instalaciones de briquetado existentes, fueron concebidas y diseñadas para transformar residuos de industrias de segunda transformación de la madera, los cuales escasean, pues ya se están utilizando en su práctica totalidad o tienen mercados alternativos en el sector ganadero, fabricación de tableros, etc.

Aunque durante los años 90, el mercado de productos energéticos compactados fue el único que mantuvo un incremento cuantitativo sensible y sostenido, hoy en día se observa una cierta estabilización del sector debido a la dificultad de obtener los productos residuales de industrias de la madera, con los que se ha venido abasteciendo mayoritariamente esta industria.

Por este motivo, para incrementar la producción de briquetas, es necesario potenciar la utilización de fitomasa residual de origen forestal, que cuantitativamente representa un importantísimo potencial energético, pero que técnica y económicamente plantea problemas en cuanto a su transformación física y manejo, lo cual limita su viabilidad.

En general, las instalaciones de briquetado se instalaron para solucionar el problema de la acumulación de residuos procedentes de aserraderos, carpinterías y fábricas de transformación secundaria de la madera (puertas, muebles, parquet, etc.). De esta forma cerca del 90% de la materia prima se obtiene de industrias de primera y segunda transformación de la madera y sólo un porcentaje residual se obtiene de la limpieza de bosques. Esto demuestra que la existencia de unos costes de transporte, manipulación y tratamiento (secado, astillado, reducción granulométrica, etc.) están haciendo inviable la obtención de briquetas a partir de los residuos forestales.

Prácticamente todas las empresas utilizan los residuos en forma de serrines o virutas como materia prima, ya que de esta forma se reducen drásticamente los costes de acondicionamiento higrotérmico y granulométrico del material.

La tecnología más utilizada es la densificación por impacto, con un 86% de los equipos operativos. El resto de los equipos son de funcionamiento hidráulico y generan únicamente entre el 3-4% de la producción. En general las máquinas instaladas tienen producciones horarias pequeñas. La producción total alcanzada es de 45.000 t/año con producciones horarias comprendidas entre 250 y 3.000 kg/h.

En cuanto a las transformaciones previas al proceso de briquetado, aproximadamente el 60% de las fábricas no realiza ningún proceso de acondicionamiento y, en los casos en los que se realiza, consiste generalmente en una etapa de reducción granulométrica (refino), complementada, a veces, con un secado forzado.

Aunque las características de las briquetas varían en función de la materia prima y del proceso de fabricación. Las características del producto producido en España es una briqueta de 25 cm de longitud, con un diámetro de 6-7 cm y una densidad media de 1.100-1.200 kg/m³.

La cuarta parte de la producción total se envasa en paquetes de plástico retráctil, con pesos que oscilan entre los 10 y 35 kg. El 31% se comercializa en cajas de cartón, con pesos entre 10 y 50 kg. Algunas empresas los expenden en sacos de rafia de 25-50 kg, y otras directamente a granel. En algún caso, se pueden encontrar las briquetas en sacos de papel, flejadas en un atadillo, o incluso en sacos especiales de 1.000 kg.

El sector doméstico es el mayor consumidor de briquetas en España, con un consumo del 80%, utilizándose principalmente en calefacción doméstica. El resto de la producción se destina a aplicaciones energéticas en pequeñas industrias como cerámicas (10%), o en hornos y panaderías (10%).

El precio de venta a granel en planta es del orden de 0,05-0,06 €/kg, aunque el precio final de venta al público al detalle oscila entre los 0,18-0,60 €/kg. El precio de la materia prima es muy variable, oscilando generalmente por debajo de 0,03 €/kg.



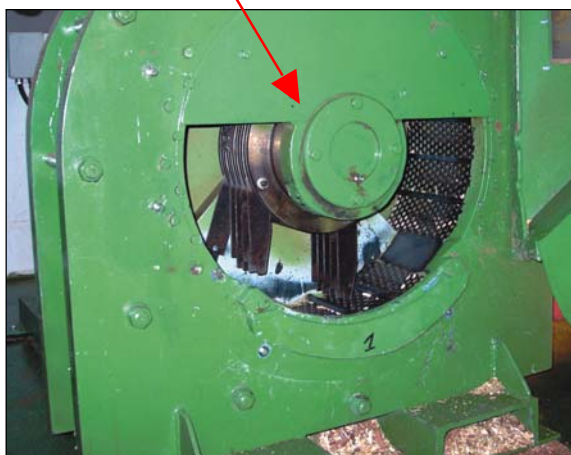
COMBUSTIBLE	P.C.I. (kcal/kg)	P.V.P (cent. €/kg)	c€/termia
Butano comercial*	10.938	69,20	6,3
Gas natural **	-	5,82	6,8
Gasóleo C ***	10.000	48,8	4,9
Antracita	7.300	12-14	1,6-2,0
Leña	2.500-3.500	3-9	1,2-2,6
Briquetas	4.300	6-18	1,4-4,2

* PVP máximo autorizado del 1 de mayo al 30 de abril de 2003.

** PVP máximo autorizado con tarifa 3.1 (3.000 kWh/año = 2.579 termias)

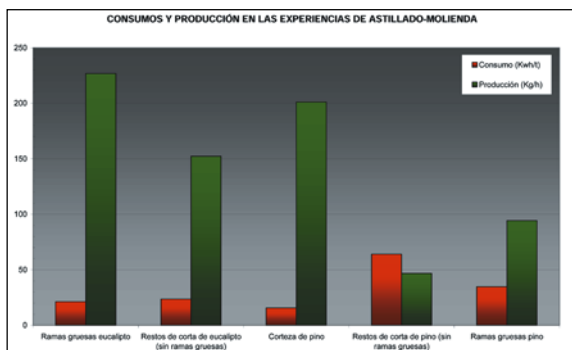
*** Dato de PVP con una densidad de 0,83 kg/l.

Fuente: Comisión de la Energía UE (abril 2003).



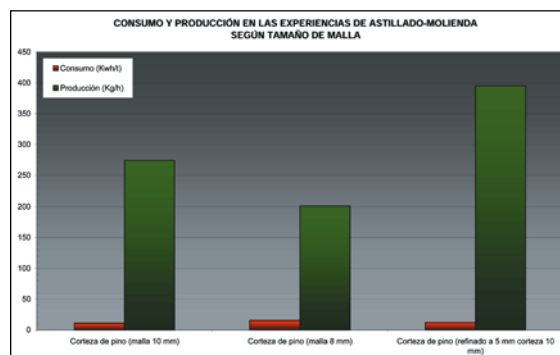
Planta piloto de astillado-molienda y detalle del molino

Con todos los productos ha sido posible conseguir un proceso de molienda continuo, excepto en el caso de la corteza de eucalipto, donde aún utilizando una malla de 20 mm ha sido imposible conseguir un resultado satisfactorio.



Los mejores resultados en cuanto a rendimiento energético corresponden a la corteza de pino. A continuación se sitúan las ramas gruesas de eucalipto y pino y por último las ramas de eucalipto y pino de pequeño calibre que contienen gran cantidad de acículas y hojas, lo cual limita la velocidad de alimentación y complica puntualmente el proceso de molienda.

El empleo de mallas de menor tamaño implican un mayor consumo energético, que sólo puede ser justificado por la mayor calidad en el producto final. De esta forma, en cuanto a la elección del tamaño de malla adecuado, se debe llegar a un compromiso entre el gasto energético durante la fase de astillado-molienda y la calidad del producto final.



DENSIFICACIÓN

El empleo energético de la biomasa forestal residual tiene una serie de desventajas con respecto a otros combustibles como son su baja densidad y dificultad de manejo. Una de las posibilidades de transformación física, consiste en su compactación para la obtención de productos combustibles densificados con un alto poder calorífico, y homogéneos en propiedades y dimensiones. Esto permite la automatización de los sistemas de alimentación y control de la combustión, además de permitir de unos gastos menores de transporte y almacenamiento.

Durante el proyecto, se realizaron una serie de pruebas industriales y de laboratorio para evaluar la aplicación técnica de distintos materiales procedentes de la fitomasa forestal, como materia prima de elementos densificados.

Los materiales empleados en las pruebas fueron:

- Serrín y viruta roja.
- Corteza de pino
- Corteza de eucalipto
- Restos de corta de eucalipto
- Restos de corta de pino

EL SECTOR DE FABRICACIÓN DE PELLETS EN ESPAÑA

En estos momentos existen 4 plantas en España, de las cuales las localizadas en Vimianzo (A Coruña) y en Pedroñeras (Cuenca) se encuentran actualmente cerradas.

Las dos plantas que siguen operativas se encuentran en Bastabales (Pontevedra) y Villacañas (Toledo), si bien esta última pertenece a la firma Vapormatira con sede en Vigo.

En Villafranca (Navarra) la empresa Empasa fabrica pellets de paja para alimentación de animales. En años de excedentes agrícolas comercializa parte de su producción como combustible.

Si bien las plantas comenzaron utilizando como materia prima cortezas de coníferas, en estos momentos se está usando mayoritariamente residuos de empresas de la madera, generalmente de 2ª transformación.

Actualmente, el consumo de pellets en España supera la producción, por lo que se están importando pellets producidos en Canadá y otros países europeos. De la misma forma, las plantas nacionales suministran pellets a otros países europeos como Francia, Alemania o Italia.

El sistema más habitual de envasado de los pellets es su ensacado en unidades de 15-50 kg. En otros países donde existe una red de comercialización importante, el material se suele manejar a granel o en grandes bolsas de 1 m³ de capacidad.

El mayor consumidor de este producto en España es el sector doméstico, utilizándose principalmente en estufas equipadas con sistemas automáticos de alimentación. Por este motivo el sistema más usual de venta de los pellets es en sacos de pequeño tamaño.

En otros países, donde es muy común el uso de los pellets en sistemas de calefacción y producción de agua caliente sanitaria, tanto en viviendas unifamiliares como en edificios, y en calderas industriales, es muy normal que el material sea comercializado a granel y con un contacto directo con la fábrica, lo que permite reducir el precio de venta sustancialmente.



COMBUSTIBLE	P.C.I. (kcal/kg)	P.V.P (c€/kg)	c€/termia
Butano comercial*	10.938	69,20	6,3
Gas natural **	-	5,82	6,8
Gasóleo C ***	10.000	48,8	4,9
Antracita	7.300	12-14	1,6-2,0
Leña	2.500-3.500	3-9	1,2-2,6
Pellets	4.400	9-12	2,0-2,7

* PVP máximo autorizado del 1 de mayo al 30 de abril de 2003.

** PVP máximo autorizado con tarifa 3.1 (3.000 kWh/año = 2.579 termias)

*** Dato de PVP con una densidad de 0,83 kg/l.

Fuente: Comisión de la Energía UE (abril 2003).

PRECIO DE LOS PELLETS EN SUECIA

Sistema de envasado	€/t
En camión a granel	128-150
En grandes sacos (500-1000 kg)	141-154
En sacos pequeños (50 kg)	225-240

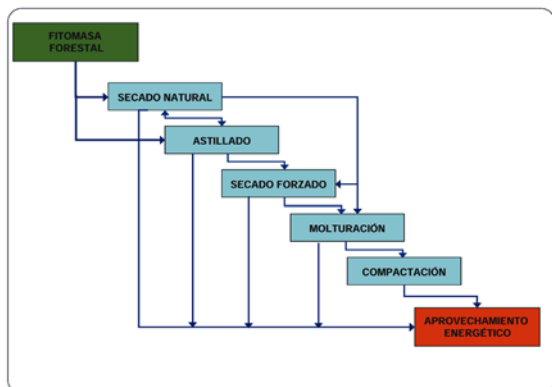
*Datos del año 2003 de la empresa Biowatti.

Son precios finales incluyendo el transporte e IVA (22%), considerando un pedido de 5-8 toneladas.



Descarga de Pellets a granel.

Fuente: Vapo Oy.



Proceso de fabricación de elementos densificados. Fases del Proceso

Con estos materiales se realizaron las siguientes pruebas:

1. Densificado en planta piloto con equipo de briquetado hidráulico (100 kg/h).
2. Densificado en planta industrial con equipo de briquetado de pistón (350 kg/h).
3. Pelletizado en planta industrial con equipo de pelletizado con matriz plana (2.500 kg/h).

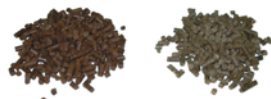
BRIQUETADORA HIDRÁULICA DE LABORATORIO



BRIQUETADORA DE PISTÓN INDUSTRIAL (350 kg/h)



PELLETIZADORA DE MATRIZ PLANA (2.500 kg/h)



Briquetadora hidráulica



Detalle de cabezal de briquetado

A continuación se exponen las pruebas de compactación realizadas con distintas tecnologías y distintos materiales, así como las conclusiones obtenidas.

Densificación en planta piloto con briquetadora hidráulica

Estas experiencias se realizaron en la briquetadora hidráulica de doble cabezal y 100 kg/h de la E.U.E.T. Forestal de Pontevedra.

Para la realización de las pruebas de densificado, se partió de materiales molidos con malla de 10 mm. Debido a las características de los equipos con funcionamiento hidráulico, que permiten

densificar elementos con humedades por encima incluso del 20 % en B.H, las pruebas se realizaron con el material bastante húmedo. La finalidad de esto es conseguir reducir el coste económico de la etapa de secado, ya que es uno de los puntos claves que en muchos casos limitan la viabilidad técnica y económica de la densificación a escala industrial.

Se ha logrado producir briquetas con todos los materiales, si bien las densidades conseguidas son, en general, menores que las de elementos producidos en equipos de impacto.

Las materias primas que permiten conseguir densidades por encima de 1.000 kg/m³, son los residuos industriales de serrín y viruta roja, y la corteza de pino, siendo además las briquetas de mayor calidad superficial.

Con respecto al consumo energético, si bien hay una cierta variabilidad, el material que mayor consumo energético supuso fue la corteza de eucalipto con un contenido de humedad del 13% en B.H..

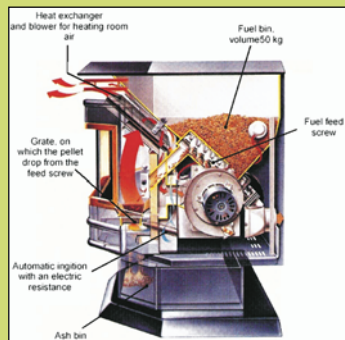
SISTEMAS DE COMBUSTIÓN AUTOMÁTICOS DE PELLETS

Uno de los factores de mayor incidencia en la expansión de la combustión de pellets en Europa, además del incremento en el precio de los combustibles fósiles tradicionales, ha sido el avance en los sistemas de combustión utilizados en el sector doméstico y de instalaciones de media potencia.

Durante los primeros años, se utilizaron calderas fabricadas para leña y carbón, de forma que se conseguía un bajo rendimiento. En cambio, en las grandes calderas industriales no se dió este problema, ya que los pellets se desmenuzan convirtiéndolos en polvo, lo que permite inyectarlos en la caldera como polvo en suspensión, de forma que el rendimiento sea muy alto.

Estufas de pellets

La potencia normal de estos equipos está entre 3-6 kW, y suelen emplearse en viviendas unifamiliares aisladas, con una baja demanda calorífica o que disponen de un sistema complementario de calefacción. Estas estufas disponen de un pequeño almacén de pellets (15-25 kg) y un sistema de regulación de la



Fuente: Whitfield

alimentación automática en función de la temperatura ambiental. El calentamiento se realiza mediante un intercambiador aire-aire, y además disponen de sistemas automáticos de ignición. La instalación de estos equipos automáticos es muy sencilla, y únicamente requiere una salida de gases (no necesita chimenea). La eficiencia de estos equipos está normalmente entre el 70 y el 90%.

Quemadores de pellets

Se han desarrollado una serie de quemadores específicos para la combustión automática de pellets, con potencias comprendidas entre 15 y 500 kW y que pueden ser incorporadas a calderas que trabajaban con gasoil o gas, si bien la capacidad nominal de la caldera se reduce alrededor del 70-80%.

La principal diferencia de estos quemadores es que disponen de una cámara de combustión donde los pellets se van alimentando automáticamente, según la

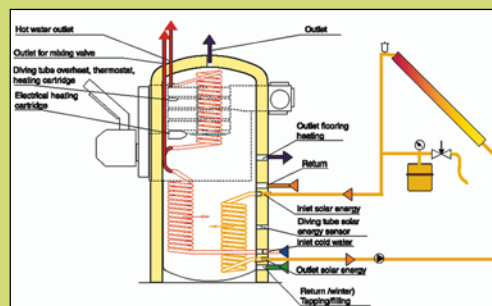


Fuente: PelIX

demanda de energía mediante un tornillo sinfín. El control del combustible y del aire de combustión es automático, así como el apagado y encendido, funcionando con un sistema similar al de las calderas de gasoil o gas.

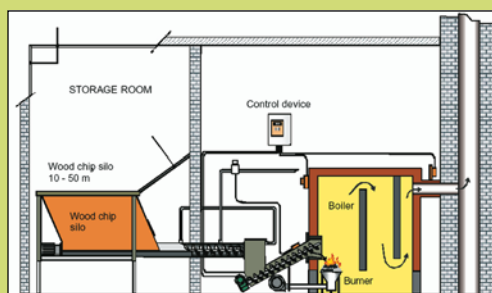
Uno de los mayores problemas que tuvieron inicialmente estos equipos era la acumulación de cenizas. Actualmente, se han desarrollado equipos automáticos de limpieza que permiten reducir el mantenimiento de la caldera. La eficiencia con estos sistemas, está comprendida entre el 80-90%.

Se han desarrollado también calderas con acumuladores de agua que disponen de una caldera de pellets, un sistema alternativo compuesto de una resistencia eléctrica, y la posibilidad de utilizar el agua calentada en placas solares.



Fuente: PelIX

El almacenamiento de los pellets, consiste generalmente en un silo con un sistema de descarga por gravedad en un tornillo sinfín. Para evitar la ignición del material almacenado, generalmente los quemadores disponen de sistemas de control del rebufo de la llama, así como de sistemas de detección y extinción.



Fuente: VTT Energy

Uno de los factores que más inciden en la eficiencia de la combustión, en los períodos de mantenimiento, y en general en un correcto funcionamiento de la caldera, es la calidad de los pellets. En estos momentos se está desarrollando una norma europea de estandarización de biocombustibles (CEN TC335 Solid Biofuel Standard).

		HUMEDAD		DENSIDAD
		% b.h.	% b.s.	kg/m.c.
Eucalipto	Serrín y viruta roja	<15	<17,6	1.056
	Ramas gruesas, Ramas finas y hojas	13,4	15,5	848
	Ramas gruesas	18,7	23,0	681
	Ramas finas y hojas	15,8	18,7	821
	Corteza	35,2	54,2	776
Pino	Corteza	13,0	15,0	922
	Corteza	24,7	32,9	736
	Corteza	19,8	24,7	1.229
	Ramas gruesas, Ramas finas y acículas	14,8	17,3	734
	Ramas finas y acículas	15,1	17,7	643
	Ramas gruesas	15,4	18,2	733

Propiedades de las briquetas realizadas con equipo hidráulico

Además, la producción con este tipo de material fue muy baja, debido a que la corteza de eucalipto molida y seca, es muy fibrosa y se apelmaza formando grumos o madejas que tienen muy baja densidad aparente. De esta forma, en la cámara de prensado entraba muy poco material en peso, de forma que la longitud de las briquetas de corteza de eucalipto eran mucho menores que las de otros productos.

		Humedad	Consumo	Producción
		% b.h.	Kwh/tonelada	Kg/h
Eucalipto	Serrín y viruta roja	<15	-	-
	Ramas gruesas, Ramas finas y hojas	13,4	35,9	63
	Ramas gruesas	18,7	10,8	77
	Ramas finas y hojas	15,8	-	-
	Corteza	35,2	30,6	40
Pino	Corteza	13,0	87,0	25
	Corteza	24,7	16,9	79
	Corteza	19,8	31,3	77
	Ramas gruesas, Ramas finas y acículas	14,8	18,5	54
	Ramas finas y acículas	15,1	10,7	136
	Ramas gruesas	15,4	17,7	63

Producción y consumo con distintas materias primas

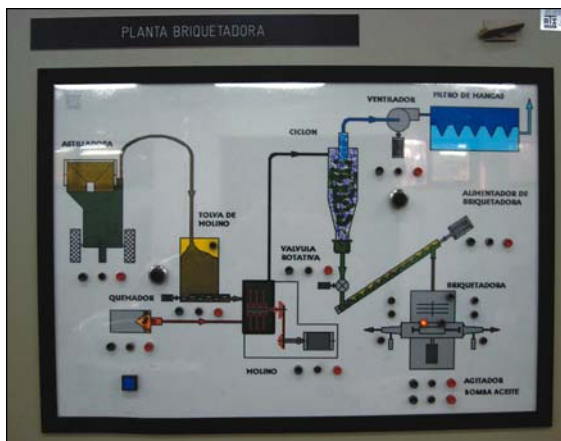
En base a estas pruebas se puede comprobar que, a excepción de la corteza de eucalipto, todos los demás materiales residuales forestales son aptos para la fabricación de briquetas de características similares a las comercializadas actualmente.

Además, si bien el equipo de briquetado produce elementos con densidades menores que otros equipos como los de impacto, esta tecnología permite emplear el material con humedades más altas lo que permite economizar el gasto de la fase de secado.

Densificación en planta industrial con briquetadora de impacto o pistón

Estas experiencias se han realizado en una briquetadora industrial de impacto con una capacidad de 350 kg/h, instalada en una fábrica de muebles que utiliza sus residuos industriales para la fabricación de los elementos densificados.

Los resultados obtenidos, permiten comprobar que las densidades obtenidas son bastante superiores a las logradas con los mismos materiales, pero en el

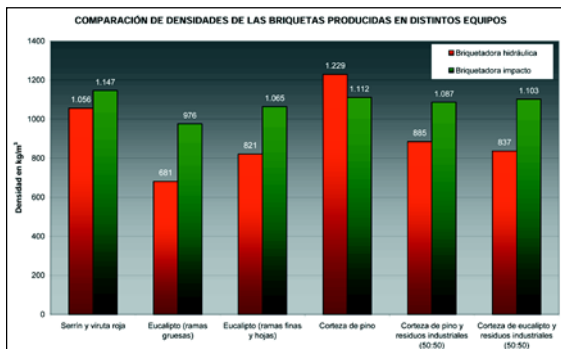


Panel de control de planta piloto de briquetado



Equipo de briquetado de impacto

equipo hidráulico. Las características de las briquetas han sido comparables a las obtenidas industrialmente, si bien en las producidas a partir de ramas gruesas de eucalipto se aprecia una peor aglomeración de las partículas. En parte, esto puede ser debido a la granulometría del material, ya que al aportar poco material fino y ser muy duro dificulta la fase de aglomeración.



EL SECTOR DE LA DENSIFICACIÓN EN SUECIA

La primera planta de producción de pellets en Suecia comenzó su producción en el año 1982. Esta fábrica tuvo problemas debido a que los costes de producción eran mucho más altos de lo previsto, lo que hizo que en el año 1986 cerrase. En esta época no existían equipos específicos para este tipo de combustible, de forma que la eficiencia en la combustión era muy baja.

En 1984 el grupo Volvo construyó una planta de fabricación que tuvo que cerrar también en el año 1989.

En 1987 se fundó la primera planta que utilizaba como materia prima material seco (las anteriores utilizaban fundamentalmente corteza), con una producción de 3.000 toneladas/año. Esta fábrica actualmente continúa con su actividad.

A principios de los años 90, el gobierno sueco impone unos impuestos para gravar a los combustibles fósiles. Esta decisión, marca el inicio de un rápido crecimiento en el empleo de pellets.

El sector de fabricación de pellets en Suecia, se compone de 30 grandes plantas con una capacidad de producción de 1.000.000 toneladas al año. La principal materia prima empleada es serrín procedente de la industria de aserrado. Únicamente una empresa utiliza corteza como materia prima. Para poder aumentar la capacidad de producción, la industria está buscando materias primas alternativas como los restos generados durante las cortas u otras operaciones selvícolas como podas o claras.

INDUSTRIA SUECA DE PELLETS	
Año	Capacidad de producción en toneladas
1995	180.000
1996	200.000
1997	400.000
1998	600.000
1999	780.000
2000	1.000.000

*Thermie B DIS/2043/98-AT
Industrial Network on Wood Pellets, January 2000*

En el año 1998, el consumo de pellets en Suecia fue de 570.000-600.000 toneladas. Ese mismo año, la producción nacional de pellets fue de 470.000 toneladas, importándose además unas 100.000 toneladas principalmente de Canadá.

Los tres factores principales que han permitido este gran desarrollo del sector son:

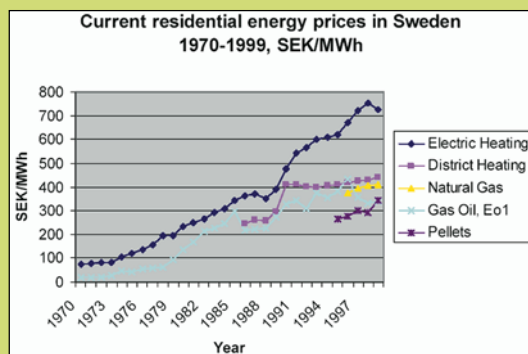
- Disponibilidad de materia prima residual.
- Alto gravamen de los combustibles fósiles.
- La existencia de una red en el país de centrales de calefacción centralizada.

Las grandes centrales de calefacción de distrito o municipales, son las mayores consumidoras de pellets (sobre el 60% del total). Las calderas que se utilizan queman el polvo en suspensión producido al desintegrar los pellets. De esta forma los pellets se utilizan sólo para mejorar la distribución y el almacenado del combustible. Muchas de estas plantas comenzaron quemando carbón, siendo modificadas para poder trabajar con pellets.

Además, en 1998 existían en Suecia 9.000 quemadores de pellets implantados en calderas que funcionaban con fuel o gasoil, 100 calderas específicas para pellets y unas 1.500 estufas.

Uno de los mercados con mayor futuro es el de las estufas de pellets, sobre todo en uso doméstico, donde todavía se utiliza calefacción eléctrica en unas 550.000 viviendas. Los costes de instalación de estas estufas son, en estos casos, menores que los de las calderas o su conexión a calefacción de distrito.

El mayor problema para el desarrollo de este sector doméstico está en los costes de los equipos, comparado con los empleados en otros tipos de combustibles. Sin embargo, el factor que más influye en el desarrollo de este sector, además de los condicionantes medioambientales, es que actualmente en Suecia la producción de energía con pellets es más barata que con otros combustibles, llegando a suponer en algunos casos un ahorro de un 50%.



Fuente: Swedish National Energy Administration

El desarrollo en la utilización de los elementos densificados, ha permitido que se desarrollasen unas 30 empresas dedicadas a la fabricación de estufas y calderas específicas. Además, otras 17 empresas se dedican a la fabricación de equipos de producción de pellets y también sistemas de almacenamiento y otros elementos accesorios.

Para incrementar el mercado algunos grandes fabricantes, ofrecen al usuario un contrato donde ellos se hacen cargo de la instalación de combustión, realizándose el pago no por el combustible consumido, sino por la cantidad de calor utilizado.



Medición de la densidad de las briquetas



Matrices de pelletizado

Pelletizado en planta industrial

Estas pruebas se realizaron en una planta industrial de fabricación de pellets con una capacidad de producción de 2.500 kg/h.

Para la realización de la prueba se envió a la planta de fabricación, residuos de corta astillados de eucalipto y pino en estado verde.

La instalación dispone de un primer molino de martillos de 125 CV y malla de 6 mm que realiza la primera reducción granulométrica. El material molido se deshidrata en un secadero tipo trommel de 8 m de largo, de paso simple y corrientes paralelas. Este secadero se alimenta de los gases de escape de una instalación de cogeneración con gasoil, que entran en el trommel a 200 °C, y salen a unos 85-110 °C. El material tiene un tiempo medio de residencia en el

secadero de 3-5 minutos y alcanza una temperatura a la salida de 60 °C.

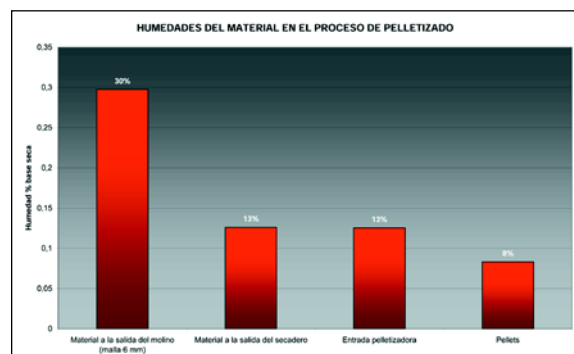


Instalación industrial de pelletizado

El material seco pasa por un vibrotamiz con dos mallas de 8 y 6 mm, el material de menor medida se almacena en el silo de material seco, mientras que los elementos que no cumplen la medida se procesan en un segundo molino de martillos con malla de 6 mm para su refinado.

El proceso de densificación se realizó en una prensa de matriz plana reversible, ajustada para realizar pellets de 6 mm de diámetro. El material producido pasó posteriormente por un enfriador formado por una cámara por la que discurre una cinta metálica perforada que transporta los pellets y que a su vez es atravesada por una corriente de aire, de forma que se logra disminuir la temperatura del material y eliminar las fracciones finas de polvo.

Para finalizar el proceso, los pellets pasan por una criba vibrante que permite segregar los elementos de menor tamaño o que se han roto durante el proceso.



Se lograron producir industrialmente pellets con una densidad media de 970 kg/m³ y una humedad final del 8% en base seca, a partir de restos de corta de eucalipto y pino. Si bien el proceso de molienda, secado y pelletizado se realizó sin incidencias, se produjeron problemas de atasco en las cribas debido al cegado de las mallas por la corteza de eucalipto seca. Para poder utilizar este material, principalmente res-

tos de corta de eucalipto, en la fabricación industrial de elementos densificados se debe disponer de sistemas de cribado adaptados a las características propias de la corteza de eucalipto seca.

Para comprobar si era posible pelletizar la corteza de eucalipto, se probó a densificar unos 200 kg de material molido y seco, resultando imposible obtener un producto final densificado. En cambio, la corteza de pino presentó buenas características de densificación obteniéndose producto final con densidades de algo más de 900 kg/m³.

FACTORES QUE AFECTAN A LA VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONOMICA

La viabilidad técnica en cuanto a la obtención de densificados de calidad a partir de residuos forestales ha sido puesta de manifiesto en todas las pruebas realizadas con las diferentes fracciones granulométricas de las muestras utilizadas, obteniéndose productos de características cualitativas perfectamente comerciales. El único problema limitante es la presencia masiva de corteza de eucalipto, que impide el correcto funcionamiento de los diferentes equipos empleados en el proceso industrial de densificación. En el resto de los casos estudiados, incluso con una presencia limitada de corteza de eucalipto, no se presentan mayores problemas que los habituales en cualquier proceso industrial.

En cuanto a los costes de producción en fábrica pueden ser ligeramente superiores en el caso de empleo de residuos forestales, con respecto al empleo de subproductos de la industria de la madera, debido a un menor rendimiento en la maquinaria empleada o a la necesidad de utilizar cribas previas en algunos casos. No obstante la diferencia es mínima.

Por otra parte, los costes de recogida y transporte hasta la planta de transformación, son generalmente superiores en el caso de residuos forestales con respecto a los industriales, si bien, la tendencia creciente en los precios de éstos últimos podría llegar a hacer competitivos los residuos forestales a medio plazo. No obstante, el factor de incertidumbre en cuanto al aprovisionamiento en términos de disponibilidad estacional, así como de homogeneidad y uniformidad desde el punto de vista de calidad (humedad, piedras, tamaños extremos, porcentaje de finos, etc) representan, sin duda, el mayor factor limitante para un uso generalizado de estos recursos renovables.

Por tanto, en función del desarrollo de las técnicas de aprovechamiento forestal y de la garantía de aprovisionamiento continuado y asegurado en términos de calidad, estos residuos podrían llegar a sustituir a los que hoy en día se utilizan y que son en

su práctica totalidad residuos de la industria de la madera.

PROSPECTIVA DE FUTURO DEL MERCADO DE BRIQUETAS EN ESPAÑA

En los últimos años se ha observado una clara tendencia a la desaparición de las industrias con capacidad de producción superior a 1.000 kg/h debido en gran parte a la necesidad de suministro de residuos de otras industrias, lo cual ocasiona incertidumbres desde el punto de vista de suministro regular y en condiciones de calidad aceptables. Asimismo, la enorme variabilidad de precios de la materia prima que se produce, por motivos tanto estacionales como logísticos, impide que las empresas que no dependen fundamentalmente de sus propios subproductos hayan conseguido subsistir en un mercado de carácter estacional, atípico y descontrolado.

Por otra parte las pequeñas empresas que disponen de sus propios residuos han experimentado un aumento sostenido ya que la amortización de la maquinaria es relativamente rápida y la producción se autoconsume o se vende de forma directa.

Estas empresas con capacidades de producción inferiores a 500 kg/h tienen posibilidad de subsistir con sus propios recursos, pues el aprovechamiento de los residuos tiene un coste positivo por la reducción de gastos de almacén, gestión y manejo, y dicho aprovechamiento representa un pequeño eslabón más en la cadena productiva de las industrias de la madera, por lo que no se depende exclusivamente del sector xiloenergético para subsistir en el mercado.

Por otra parte, se observa un incremento de las importaciones de otros países, sobre todo en época estival. Esto suele ser debido a la simplificación de los trámites aduaneros, al euro y sobre todo a la presencia en España de multinacionales del sector servicios que distribuyen sus propias marcas al margen de aspectos meramente geográficos o económicos.

Por tanto las previsiones de futuro son optimistas pues el consumo se incrementa constantemente debido a la comodidad y calidad del producto y a la existencia en el mercado de quemadores de leña adaptados a este tipo de materiales, si bien, el factor limitante para su completo desarrollo sigue siendo el alto precio que alcanza en el mercado minorista.

Nota: Este proyecto ha sido financiado parcialmente por el Programa de Fomento de la Investigación Técnica (PROFIT) del Ministerio de Ciencia y Tecnología.