

PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES SÓLIDOS DE ALTA DENSIDAD EN ESPAÑA

Luis Ortiz Torres*

Universidad de Vigo
E.U.I.T. Forestal
Campus A Xunqueira, s/n 36005 Pontevedra. España

*Autores para la correspondencia: lortiz@uvigo.es

Boletín del CIDEU 5: 107-123 (2008)
ISSN 1885-5237

Resumen

En el documento se hace un repaso a las principales tecnologías y sistemas existentes en el mercado nacional para la producción de combustibles biomásicos densificados como las briquetas, los pelets y los gránulos. Asimismo, se aportan datos técnicos de productos, características, costes, rendimientos, problemática asociada. etc.

Por otra parte, se incluyen tablas de datos ambientales y económicos, así como diseños, esquemas e imágenes de diferentes equipos.

Summary

This paper is a review on the main technologies and systems in the national market of the densified biomass fuel production such as briquettes, pellets and grain. Also, technical data on products, characteristics, costs, yields are contributed, and usual problems etc. On the other hand, tables of environmental and economic data, as well as designs, schemes and pictures of different equipment are included.

INTRODUCCIÓN:

DENSIFICACIÓN DE LA BIOMASA

Una de las mayores limitaciones que presenta el aprovechamiento energético de biomásas residuales es la baja densidad de los materiales, lo cual plantea problemas en el almacenaje, transporte, etc. En el caso de los subproductos generados en las industrias de transformación y elaboración secundaria de la madera, estos residuos pueden llegar a suponer volúmenes de hasta el 20-25% de la materia prima utilizada.

Estos productos como serrines, virutas, astillas y residuos varios de mayor tamaño se utilizan como materia prima en otros procesos de fabricación; se comercializan en mercados específicos o bien se usan como sustitutivo energético en las instalaciones donde se obtienen o en otras industrias, dependiendo de las características intrínsecas y calidad de los productos.

En muchos casos, debido a la falta de mercado que absorba estos subproductos o a la carencia de tecnología y medios para hacer una utilización rentable de los mismos, estos residuos industriales plantean a las empresas una serie de problemas de acumulación y eliminación de los mismos, con el consiguiente coste adicional al proceso de fabricación propiamente dicho.

En el caso de aprovechamiento energético de estos materiales, su baja densidad hace necesarios grandes volúmenes de almacén y encarece notablemente el transporte y el manejo por lo que, para evitar este inconveniente, se procede a compactarlos obteniéndose productos elaborados como las briquetas y los pelets (gráfico 1) que presentan ventajas adicionales como la limpieza, homogeneidad y facilidad de manejo, a la vez que se reducen considerablemente las pérdidas por degradación durante períodos de

almacenaje prolongados.



Gráfico 1.- Diferentes tipos de briquetas y pelets

En general, se utilizan residuos generados en industrias de la madera de primera y segunda transformación, puesto que los materiales residuales obtenidos tienen unas características en cuanto a granulometría y humedad que los hacen susceptibles de compactación sin prácticamente ningún proceso de transformación secundario. Por otra parte, hay que tener en cuenta el ahorro económico que representa la eliminación de residuos inaprovechables, puesto que se evitan unos costes de almacenamiento, transporte y eliminación que suponen una carga para las empresas.

Además, el vertido de estos residuos plantea varios problemas en algunos lugares donde la legislación medioambiental impide la acumulación en vertederos; sobre todo en los casos en que los materiales residuales son de naturaleza tóxica, o bien cuyas características y composición química producen fenómenos alérgicos en personas y/o animales.

En función de las características de los materiales a manejar, el proceso de acondicionamiento previo a la densificación se realiza parcial o totalmente, dependiendo de la naturaleza de la materia prima residual.

Para obtener productos compactados de

calidad es preciso que el contenido en humedad no supere valores del orden del 15% B.H. y que esté por encima de valores del 8%, puesto que por debajo de este nivel no se obtiene una adecuada aglomeración, ya que el agua en determinadas proporciones actúa como sustancia termoplástica favoreciendo la autoaglomeración y, por tanto, si no alcanzan esos porcentajes mínimos la compactación es defectuosa.

En cuanto al factor granulometría, puede decirse que existe gran diversidad de criterios, ya que si bien en España se emplean materiales finos de granulometrías medias entre 0,1 y 1cm y, en ocasiones, superiores. Lo que sí es evidente es que una cierta uniformidad estructural es importante para obtener densificados de elevada calidad y, por tanto, comercializable en mercados más sofisticados, donde se alcanzan las mayores cotizaciones.

Un proceso completo de briquetado a partir de un material tipo residuo agrícola o forestal astillado constaría de varias etapas previas como:

- *eliminación de materiales indeseables.*
- *reducción granulométrica.*
- *secado.*

En cuanto a los materiales accesorios como piedras, palos, elementos metálicos, etc., diremos que en general, los elementos terrígenos se eliminan mediante sistemas de aspiración forzada que absorben las piezas de madera segregando las piedras por diferencia de densidad. Los elementos gruesos o de difícil manejo se eliminan mediante sistemas de cribado por vibración y los metálicos empleando uno o varios imanes o electroimanes situados estratégicamente.

En lo relativo a la reducción granulométrica, es de señalar que si el producto viene astillado o molido, basta una simple molturación de acondicionamiento

empleando las mallas adecuadas para dar una cierta homogeneidad al producto si bien, la presencia de ciertos materiales fibrosos o de distinta forma favorece la aglomeración, al llenarse los poros del producto con materiales de distinto tamaño. En general, se emplean los molinos de martillos para esta etapa de refinado.

En lo referente al secado, se suelen emplear secaderos rotatorios (*trommel*), donde los gases secantes se generan a partir de la combustión de los materiales que no tienen otro aprovechamiento más noble.

En algunas ocasiones, se recurre a columnas de secado, si bien este método se usa sólo cuando la reducción higrométrica ha de ser pequeña.

En algunos casos, en que se manejan serrines o virutas obtenidos al elaborar maderas comerciales previamente secadas, estos tienen un contenido en humedad del 5-7% B.H., por lo que es preciso humedecerlos antes de compactarlos. En estos casos lo más lógico sería mezclar estos productos excesivamente secos con otros más húmedos hasta conseguir una dosificación adecuada.

1- PELETIZADO

Su fundamento operativo se basa en la presión ejercida por una serie de rodillos (de 1 a 5) sobre los residuos situados sobre una matriz metálica dotada de orificios de calibre variable (0,5 a 2,5 cm.). Los pélet de biomasa residual se fabrican a partir de un producto base con una humedad comprendida entre el 8 y 15% B.H. y un tamaño de partícula del orden de 0,5 cm., tienen forma cilíndrica con diámetros de 0,5 a 2,5cm y de 1 a 3cm de longitud. La densidad aparente a granel es del orden de 800 kg/m³. Como principal ventaja respecto a las briquetas, los pélet pueden ser alimentados y dosificados mediante sistemas automáticos, lo cual amplía sus posibilidades de utilización en instalaciones

de mayor envergadura y en la industria.

En lo referente a tecnologías de fabricación se distinguen:

PELETIZADORAS DE MATRIZ ANULAR y PELETIZADORAS DE MATRIZ PLANA, en función de la forma de la placa-matriz empleada.

Como equipos adicionales se emplean enfriadores de pélet que pueden ser verticales u horizontales, siendo estos últimos más adecuados para reducir el volumen de piezas defectuosas y producción de finos debidos al golpeteo

1.1.- SITUACIÓN DEL SECTOR DE FABRICACIÓN DE PELETS EN ESPAÑA

En Galicia existen plantas de peletización en Bastabales (Pontevedra), Vimianzo (Coruña) y Coruña. Asimismo, están en fase de construcción fábricas en A Estrada (Pontevedra) y Santa Comba. En otras comunidades existen plantas en Mocejón y Villacañas (Toledo), en Extremadura, Córdoba, Cataluña, Asturias, País Vasco, Navarra, etc. Por otra parte, existen nuevos proyectos, entre otros, en Galicia (Marcos, 1989), Burgos, País Vasco, Cantabria, Asturias (Marcos, 2001), Granada, Cataluña, Navarra, etc. En Galicia empresas como ECOWARM (Pontevedra), suministran pelets no solo al mercado nacional sino que se exportan a países como Francia, Alemania, Italia, etc. Por tanto, en unos años España prácticamente puede llegar a cuadruplicar su capacidad de producción, que actualmente se sitúa en torno a las 150.000 t/año; de las cuales prácticamente el 80% se dedica a la exportación.

Sin embargo, a corto plazo el pélet fabricado en España no compite en precio con el generado en los países centroeuropeos, ya que el coste medio de transporte en nuestro país se sitúa en torno a los 50 a 55 €/t, mientras que en Austria o Italia es del orden de 20 €/t.

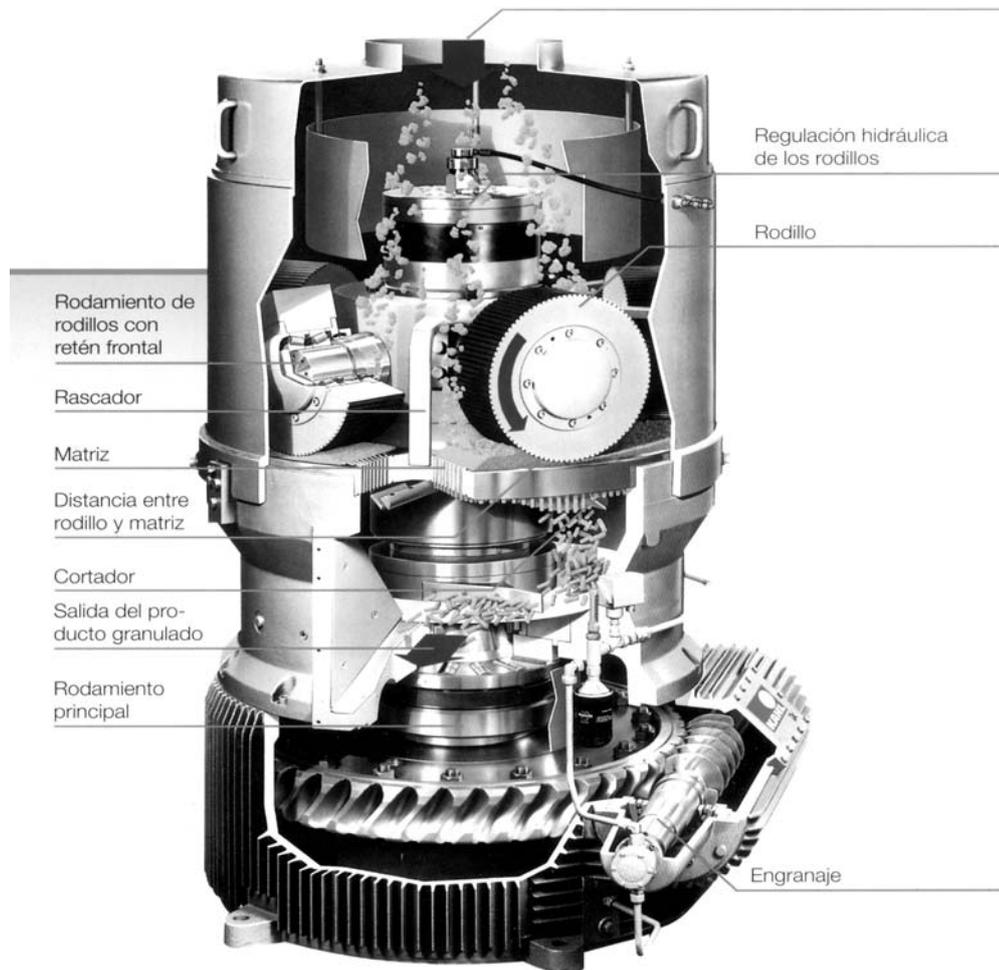
En Portugal existen 3 plantas que emplean peletizadoras de matrices de tecnología anular, que producen unas 25.000 t/año y se están construyendo otras cuatro.

Por otra parte, se están construyendo nuevas fábricas en países del este de Europa. Asimismo, han aparecido en escena nuevos productores en América del sur, como por ejemplo en Brasil (8 plantas) y Argentina (6 plantas). También hay nievas fábricas en Sudáfrica y Canadá.

En Asia, China se genera importantes cantidades a un precio competitivo, que exporta desde el puerto de Fuchzan.

Actualmente, a nivel centroeuropeo existe un stock de cerca de 1.000.000 t debido a que el último invierno ha sido bastante benigno.

El sistema más habitual de envasado de los pelets es el 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. Actualmente, existen plantas en fase de puesta a punto, proyecto avanzado y/o construcción, al menos, en País Vasco (Marcos, 1995), Cantabria, Asturias, Pontevedra ((Carre *et al*, 1987), etc. Por tanto, a corto y medio plazo la capacidad de producción se verá incrementada en más de un 500% con respecto a la producción actual



Prensa granuladora KAHL

Gráfico 2.- Peletizadora de matriz plana

En España el mayor consumo se registra en el sector doméstico, utilizándose principalmente en estufas equipadas con sistemas automáticos de alimentación. Por este motivo el sistema más usual de venta de los pelets es en sacos de pequeño tamaño. En otros países, donde es muy común el uso de los pelets 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 manejado a granel y se suministre directamente desde las fábricas, lo cual permite reducir sensiblemente los costes.

1.2.- Características del pélet como combustible

La humedad del producto es, en general, inferior al 10% b.h., por lo que se obtienen unos elevados rendimientos térmicos durante la combustión.

Las piezas de pelets tienen una densidad real del orden de 1.000 a 1.200 Kg/m³. Comparativamente, el peso de un m³ de leña cortada en el verano es de unos 1.000 Kg. y si se corta en invierno es del orden de los 900 Kg. Este m³ de madera, una vez secado al aire en el monte, pesa de 650 a 700 Kg, por lo que el estéreo (metro cúbico

aparente) pesa entre 350 y 450 Kg. Es decir, de 2 a 3 estéreos por tonelada de peso. (Ortiz, 2006)

En cuanto al empleo como combustible del pélet, cabe señalar que es posible obtener rendimientos energéticos del orden del 80%-95%.

Se trata de productos ecológicos, que contribuyen a reducir el "Efecto Invernadero" y la "Lluvia Acida".

Actualmente, es posible amortizar la instalación para la combustión de pelets en períodos inferiores a 5 años y, a partir de ese momento, el ahorro para el usuario está garantizado.

Además de estas ventajas cuantitativas hay que tener en cuenta las ventajas cualitativas del pélet con relación al carbón en cuanto a su facilidad de almacenaje (ensacado ó a granel) y a la limpieza de manipulación y utilización.

1.3.- PERSPECTIVAS DE CARA AL FUTURO

En la actualidad podemos decir que se ha alcanzado un nivel tecnológico aceptable (al menos en algunos países) y aunque el estado del arte está menos avanzado que en otros sectores tecnológicos, el desarrollo logrado hasta hoy permite abordar la fase industrial de compactación con bastante solvencia.

Fundamentalmente, la investigación de tipo laboratorio se enfoca hacia el diseño de nuevas mezclas de materias que permitan aprovechar mayor cantidad de productos residuales.

Se trata de desarrollar nuevas líneas de fabricación y de obtener procesos versátiles.

Por otra parte, lo que se busca con mayor interés es la optimización de procesos para reducir los costes de producción, que es el factor limitante para la penetración en el mercado mundial de combustibles.

En el ámbito industrial se están desarrollando nuevos materiales que resistan eficazmente las condiciones de trabajo más extremas para reducir desgastes y abrasiones de las piezas. Se trata también de construir máquinas que puedan adaptarse a las más amplias gamas de residuos y con la posibilidad de obtener densificados de diferentes características (densidad, diámetro, etc.).

En resumen, pueden distinguirse a escala general dos vías de desarrollo paralelas y a la vez complementarias:

- Por una parte, se trata de obtener densificados de gran calidad sin rebasar unos costes umbrales.

- Por otro lado, se busca la forma de producir densificados de calidad media para abastecer a la industria, para lo cual los costes de producción deben ser mínimos.

En general, se trata de aumentar la eficacia de los diferentes equipos y sistemas para aumentar la productividad y reducir costes.

Es preciso mejorar los sistemas de alimentación y de manejo para evitar atascos y trabajar en continuo. Por otra parte, se trata de garantizar la calidad de los productos finales, envasando en recipientes estancos y empleando sistemas automatizados.

Finalmente, cabe decir que una de las cuestiones más importantes es la eliminación de mano de obra, que es uno de los parámetros que introducen un mayor coste al densificado.

De forma paralela, se trata de mejorar y desarrollar sistemas de combustión o gasificación más eficaces, con los que obtener rendimientos más elevados que justifiquen el mayor precio a pagar por unos combustibles a los que se ha dado un mayor valor.

1.4.- SISTEMAS DE COMBUSTIÓN AUTOMÁTICOS DE PELETS

Uno de los factores que más ha contribuido a la expansión de la combustión de pelets 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 quemar leña y carbón, de forma que se conseguía un rendimiento muy bajo. En cambio, en las grandes calderas industriales no se dio este problema, ya que los pelets se desmenuzan convirtiéndolos en polvo, lo que permite inyectarlos en la caldera como polvo en suspensión, de forma que los rendimientos obtenidos son muy altos.

En Galicia, la empresa ECOFOREST (Pontevedra) diseña y fabrica una línea de quemadores especialmente concebidos para la combustión de productos densificados. Estos quemadores una vez optimizados permiten una combustión prácticamente sin emisiones apreciables, y se ha convertido en el principal suministrador de este tipo de equipos a nivel nacional.

Actualmente, en Santiago de Compostela la constructora Otero desarrolla un proyecto pionero en España consistente en el abastecimiento de más de 30 viviendas unifamiliares con sistemas autónomos de calefacción con pelets alimentados a partir de depósitos y camiones especialmente diseñados a tal efecto, que permiten la descarga automática y autonomía anual.

Estufas de pelets

La potencia normal de estos equipos está entre 3-6 Kw., y suelen emplearse en viviendas unifamiliares bien aisladas, con una baja demanda calorífica o que disponen de un sistema complementario de calefacción. Estas estufas disponen de un pequeño almacén de pelets (15-25 kg) y un sistema de regulación de la alimentación automático 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 requieren una salida de gases (no necesita chimenea). La eficiencia de estos equipos ronda normalmente el 70-90%. (Ortiz, 2006)

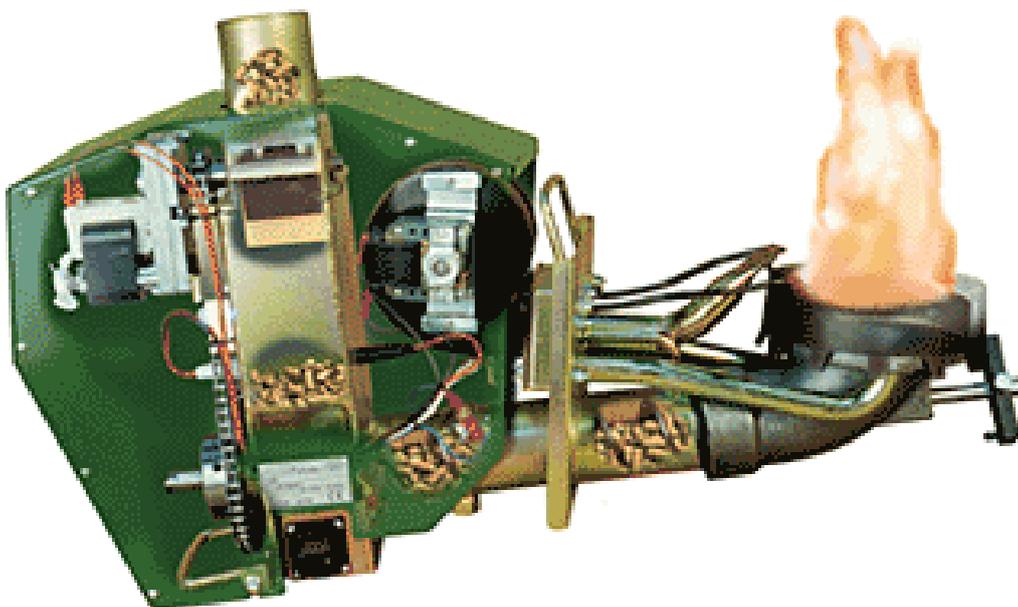


Figura 3.- Quemador de pelets

Quemadores de pelets

Recientemente se han desarrollado una serie de quemadores específicos para la combustión automática de pelets, con potencias comprendidas entre 15 y 500 Kw., que pueden ser incorporados a calderas que trabajaban con gasoil o gas, si bien la capacidad nominal de la caldera se reduce a 70-80%. La principal diferencia de estos quemadores es que disponen de una cámara de combustión donde los pelets se van alimentando automáticamente según la 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 de forma semejante a las de las calderas de gasoil o gas. Asimismo, existen hoy en día algunos equipos especialmente diseñados para producir incluso energía termoeléctrica para suministrar a viviendas.

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, es del orden del 80-90%. Se han desarrollado también calderas con acumuladores de agua que disponen de un quemador de pelets y un sistema alternativo compuesto de una resistencia eléctrica con la posibilidad de utilizar el agua calentada en placas solares. El sistema de almacenamiento de los pelets consiste, generalmente, en un silo con un sistema de descarga por gravedad a un tornillo sinfín. Para evitar la ignición del material del silo, normalmente los quemadores disponen de sistemas de control del rebufo de la llama, así como sistemas de detección y extinción. 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 pelets empleados. En estos momentos se está desarrollando una norma europea de estandarización de biocombustibles (CEN TC335 Solid biofuel standard), dentro de los cuales se incluyen los pelets.

Seguidamente, se presentan algunos datos publicados en documentos y proyectos de la U.E., así como datos facilitados por los propios fabricantes del sector.

Tabla 1: Datos comparativos de diferentes combustibles

Emisiones en mg/kwh de energía suministrada	Gasóleo de calefacción	Gas Natural	Astillas de madera /pelets
CO	10	150	250
SO ₂	350	20	20
NO _x	350	150	350
Partículas	20	0	150
NM VOC	5	2	10

Datos básicos de los biocombustibles para calefacción			
	Pelets de madera	Astillas de madera seca	Residuos agroindustriales
Poder calorífico inferior	17,0 GJ/t	13,4 GJ/t	14,6 – 16,7 GJ/t
Por Kg.	4,7 kWh/kg	3,7 kWh/kg	4,0 – 4,7 kWh/kg
Por m³	3.077 kWh/m ³	744 kWh/m ³	744 – 2.500 kWh/m ³
Humedad (b.s.)	8 %	25 %	10 – 40 %
Densidad	650 kg/m ³	200 kg/m ³	200 – 500 kg/m ³
Contenido en cenizas	0,5 %	1 %	1-2 %

Fuente: UE. Proyecto Propellets

Tabla 2: Situación de las instalaciones de producción de pelets en España

En producción:		Granulación	Marca (n°)	Producción (t/h)	Producción Anual	Export
1	Toledo	Anular	Mabrick	2	20000	60%
2	Navarra	Anular	CPM (3)	8	30000	80%
3	Córdoba	Plana	Kahl	2	10000	70%
4	Córdoba	Plana	Kahl	2	10000	90%
5	Guadalajara	Plana	Kahl (3)	4	6000	??
6	Toledo	Plana	Kahl (4)	7	40000	80%
7	Extremadura	Anular	CPM	2	4000	??
8	Euskadi	Anular	Promil	2	12000	70%
9	Cataluña	Plana	Kahl	2	4000	??
10	Galicia	Plana	Kahl	2	10000	80%
11	Galicia	Oleodinámica	O.M.A.	0,5	1000	50%
en proyecto:		Granulación	Marca (n°)	Producción (Tn/hora)		
1	Burgos	Anular	??	4		
2	Burgos	Anular	??	8		
3	Euskadi	Anular	Promil	2		
4	Cantabria	Anular	CPM	12		
5	Cantabria	Anular	??	4		
6	Asturias	??	??	??		
7	Asturias	Anular	??	??		
8	Galicia	Anular	LaMeccanica	3,5		
9	Galicia	Plana	Kahl	2		
10	Galicia	Oleodinámica	OMA	0,5		
11	Galicia	Anular	Mabrick	8		
12	Granada	??	??	??		
13	Cataluña	??	??	??		
14	Navarra	Plana	Kahl	2		
15	Galicia	Anular	??	??		

Fuente: ECOWARM de Galicia

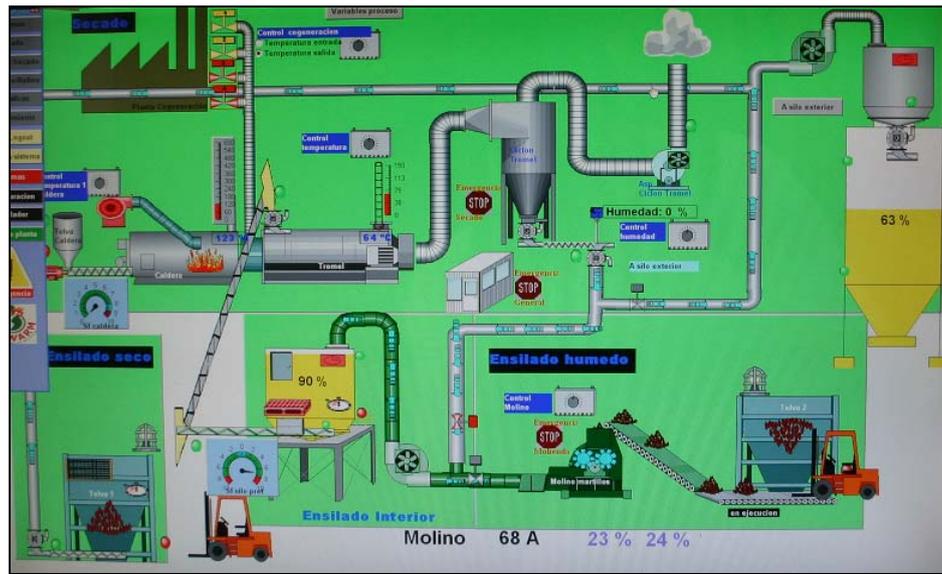


Figura 4.- Cuadro de control de fábrica de pellets (ECOWARM-RESIFOR)



Figura 5.- Vista de planta de peletizado (Pontevedra)

2.- BRIQUETADO.

Durante el proceso de briquetado se generan mecánicamente elevadas presiones (200 Mpa/cm^2), que provocan un incremento térmico del orden de 100 a 150°C ; esta temperatura origina la plastificación de la lignina que actúa como elemento aglomerante de las partículas de madera, por lo que no es necesaria la adición de productos aglomerantes (resinas, ceras).

Para que tenga lugar este proceso de auto aglomeración es necesaria la presencia de una cantidad de agua (material termoplástico) comprendida entre el 8 y el 15% B.H. y que el tamaño máximo de partícula sea del orden de $0,5$ a 1cm . Cuando se dispone de materiales con estas características la fabricación de briquetas es muy económica ($40 - 60 \text{ Kwh/t}$). Sin embargo, si es necesario secar o moler los

residuos previamente, los costes se incrementan notablemente limitando la viabilidad económica de la producción (Ortiz y Míguez, 1995).

Los principales tipos de briquetadoras utilizadas son:

Briquetadoras de pistón (densificación por impacto) -

La compactación se consigue mediante el golpeo que producido sobre la biomasa mediante un pistón accionado a través de un volante de inercia. Las producciones varían entre los 200 y los 1.500 kg/h.

Briquetadoras de tornillo (densificación por extrusión) -

Se trata de un sistema basado en la presión ejercida sobre la biomasa por un tornillo sinfín especial (aleaciones de Cromo-Níquel o Carburo de Tungsteno), que gira con velocidad variable, haciendo avanzar el producto hasta una cámara que se estrecha progresivamente (forma cónica). Algunos modelos disponen de una camisa térmica (SISTEMAS DE MANTO CALIENTE), para regular la temperatura del proceso y favorecer la plastificación. Con este tipo de maquinaria es posible fabricar briquetas con orificios interiores, lo cual favorece su combustión.

Las producciones suelen oscilar entre los 500 y 2.500 kg/h y existen modelos que producen simultáneamente varias hileras de briqueta. Mediante sistemas de extrusión es posible obtener briquetas de mayor densidad que con los sistemas por impacto, pudiendo llegar a alcanzarse densidades próximas a los 1.300 kg/m³; si bien, los consumos energéticos y los costes de mantenimiento de los equipos son notablemente más elevados que en el caso de briquetas producidas por impacto. (Ortiz, 2006)

Briquetadoras hidráulicas y neumáticas -

En este tipo de máquinas la presión es producida mediante la acción de varios

pistones (1, 2, o 3) accionados mediante sistemas hidráulicos o neumáticos. Se suelen utilizar cuando se manejan residuos de muy mala calidad (algodón, papel, serrín húmedo, etc.) y cuando no se requiere una gran calidad de la briqueta final o tan sólo se pretende reducir el espacio ocupado por los residuos. Se trata de equipos de muy bajo consumo y mantenimiento y existen modelos que manejan desde 50 kg/h hasta 5.000 kg/h. (Ortiz, 1996)

Briquetadoras de rodillos-

Se trata de máquinas dotadas de 2 rodillos cuya superficie tiene una serie de rebajes donde se deposita el producto a compactar que queda densificado al ser sometido a la acción del otro rodillo. Se suelen utilizar cuando no se requieren elevadas densidades finales (ej.: briquetas de carbón vegetal). La forma de la briqueta depende de las matrices empleadas (según diseños).

Los equipos de briquetado, en general, constan de: TOLVA ALIMENTADORA, SISTEMA DE DOSIFICACIÓN SIMPLE O MÚLTIPLE de velocidad regulable, CÁMARA DE COMPACTACIÓN, CANAL DE ENFRIADO (conducto de 5 a 40m de longitud donde la briqueta toma consistencia) y SISTEMA DE CORTE para dar la longitud definitiva deseada.

Comparativamente, estos sistemas presentan una serie de ventajas e inconvenientes que son precisos evaluar en cada caso concreto.

En general, puede decirse que los equipos hidráulicos se emplean cuando se pretende trabajar con materiales de baja calidad y la briqueta a obtener no ha de ser de elevada calidad ya que se trabaja con pequeñas presiones 200 - 400 - 600 kg/cm², pero el coste de producción es más reducido.

Con estos sistemas pueden obtenerse briquetas de densidades del orden de 0.7 kg/dm³ - 0.8 kg/dm³, aunque en determinados sistemas pueden llegar a alcanzar valores de hasta 0.9-1.0 kg/dm³

(Ortiz y Miguez, 1995)

La capacidad de producción suele ser del orden de 40-300kg, pero con algunos modelos especiales pueden alcanzarse los 500 y 1.000 kg/h. (Ortiz, 1996)

En cuanto a los sistemas por extrusión, los equipos suelen alcanzar producciones de unos 50-800 kg/h de productos con densidades del orden de 1 a 1,3 kg/dm³.

Los sistemas por impacto generan producciones entre 200-1.500 kg/h, aunque existen equipos que procesan hasta 2.000-6.000 kg/h, obteniendo briquetas de densidades entre 1 y 1,2kg /dm³. (Ortiz, 2006)

Comparando estos dos últimos sistemas puede decirse, en términos muy generales, que en el sistema de impacto se puede llegar a trabajar con un grado de humedad de hasta el 15 y 17% B.H., mientras que en los de extrusión no es recomendable superar el 10%, pero en los modelos dotados con sistemas de calefacción forzada, para favorecer la plastificación de la lignina, se puede trabajar hasta con porcentajes del 12-14% H.B.

En los equipos de extrusión se produce un mayor desgaste de las piezas internas por fenómenos abrasivos, si bien la densificación es más homogénea y el recalentamiento se produce en toda la materia a compactar, mientras que en el método por impacto el rozamiento sólo se produce en la capa superficial.

Mediante ambos métodos es posible alcanzar presiones semejantes del orden de 50-100 Mpa, pero en el sistema de impacto se generan briquetas en que se aprecia cierta discontinuidad (discos), aunque ésta puede llegar a ser inapreciable.

En determinadas circunstancias puede interesar producir discos de briquetas, que tienen las ventajas típicas de las briquetas de mayor longitud y la posibilidad de ser susceptibles de alimentación mediante sistemas automáticos convencionales.

En las briquetadoras hidráulicas el consumo energético por kg de briketa obtenida es del orden de 40 a 120 w, mientras que en los modelos de extrusión son de unos 50-65 w/kg y en los de impacto de 20 a 60 w/kg. (Ortiz *et al*, 2003)



Figura 6.- Fábrica de briquetas (Valladolid)

Seguidamente, se presentan los resultados de experiencias de briquetado realizadas con materiales típicos de los montes

gallegos generadas en la E.U.I.T.Forestal de Pontevedra y en fábricas del sector por nosotros mismos.

Tabla 3.- Análisis inmediato de diferentes briquetas

MATERIAL	MUESTRA	ANÁLISIS INMEDIATO		
	Referencia	Carbono fijo	Volátiles	Cenizas
		%b.h	%b.h	%b.h
Restos aserradero	T	16,85	82,82	0,33
Corteza de eucalipto joven triturada	E1-3	16,12	76,11	7,77
Eucalipto: Ramas gruesas, Ramas finas y hojas	E4-6	13,36	84,19	2,45
Eucalipto: Ramas gruesas	E7-9	11,93	86,64	1,43
Eucalipto: Ramas finas y hojas	E10-12	16,10	79,58	4,32
Corteza de eucalipto adulto	E13-15	15,82	76,82	7,36
Corteza de pino	P1-6	11,83	83,04	5,13
Pino: Ramas gruesas, Ramas finas y Acículas	P7-9	17,91	80,74	1,35
Pino: Ramas finas y Acículas	P10-12	19,33	79,90	0,77
Pino: Ramas gruesas	P13-15	16,28	82,99	0,73

Tabla 4.- Análisis energético de diferentes briquetas

MATERIAL	MUESTRA	HUMEDAD	PODER CALORÍFICO			
	Referencia		P.C.S. 0%	P.C.I. 0%	P.C.S. H%	P.C.I. H%
			Kcal/kg			
		% en b.h.				
Restos aserradero	T	25,28	4777,55	4461,47	3569,78	3185,64
Corteza de eucalipto joven triturada	E1-3	55,79	3871,29	3555,22	1711,50	1245,21
Eucalipto: Ramas gruesas, Ramas finas y hojas	E4-6	35,14	4560,57	4244,49	2957,99	2547,30
Eucalipto: Ramas gruesas	E7-9	33,89	4745,70	4429,63	3137,39	2730,06
Eucalipto: Ramas finas y hojas	E10-12	29,68	5063,66	4747,58	3560,76	3164,78
Corteza de eucalipto adulto	E13-15	57,65	3526,38	3210,30	1493,42	1022,12
Corteza de pino	P1-6	52,75	4623,85	4307,78	2184,77	1726,67
Pino: Ramas gruesas, Ramas finas y Acículas	P7-9	46,50	5012,38	4696,31	2681,63	2240,35
Pino: Ramas finas y Acículas	P10-12	47,84	4851,63	4535,55	2530,61	2085,73
Pino: Ramas gruesas	P13-15	48,09	4864,95	4548,88	2525,40	2079,84

Fuente: Elaboración Propia

Figura 7.- Humedad final de briquetas

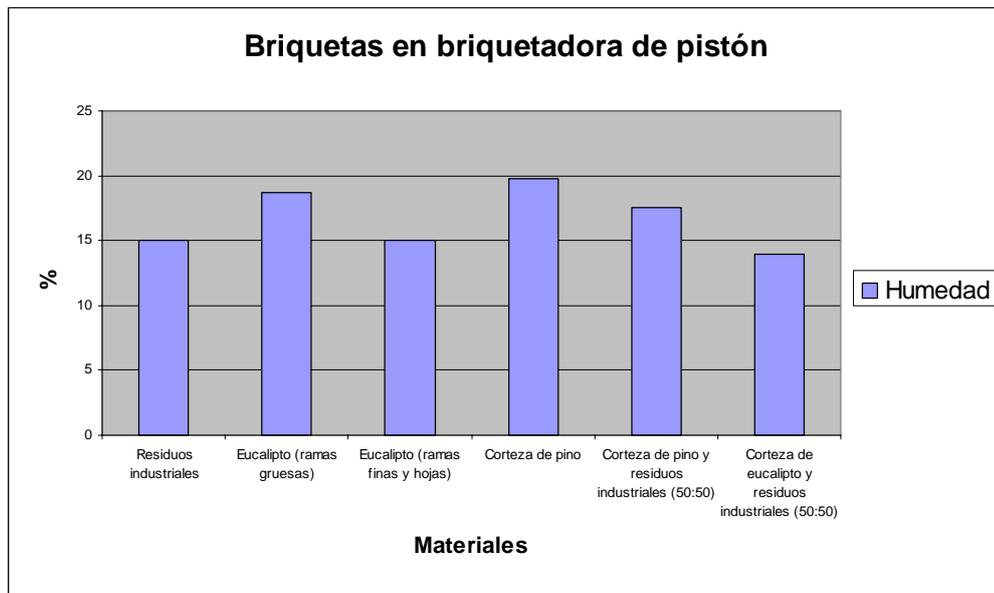
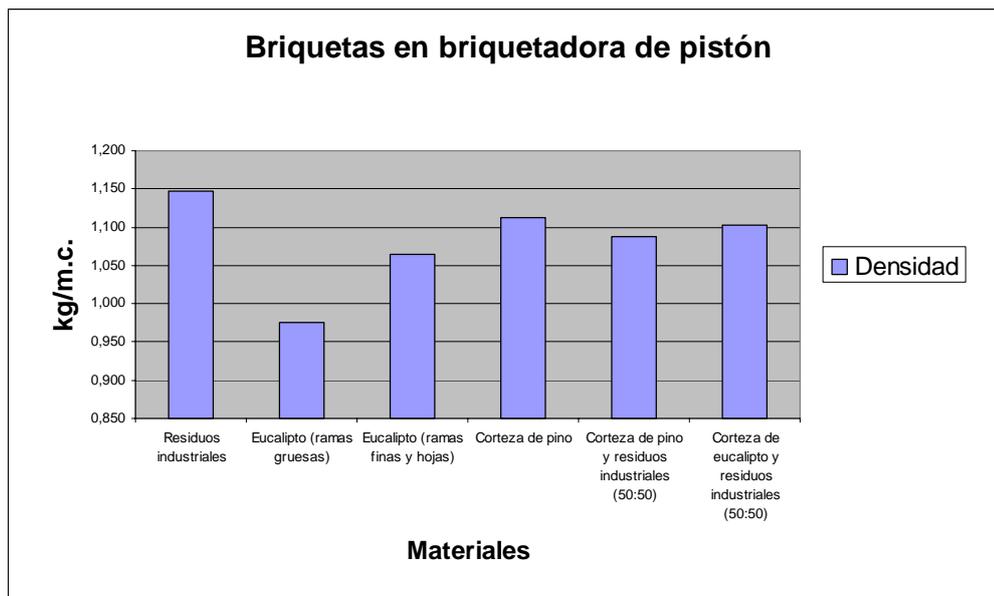


Figura 8.- Densidad final de briquetas

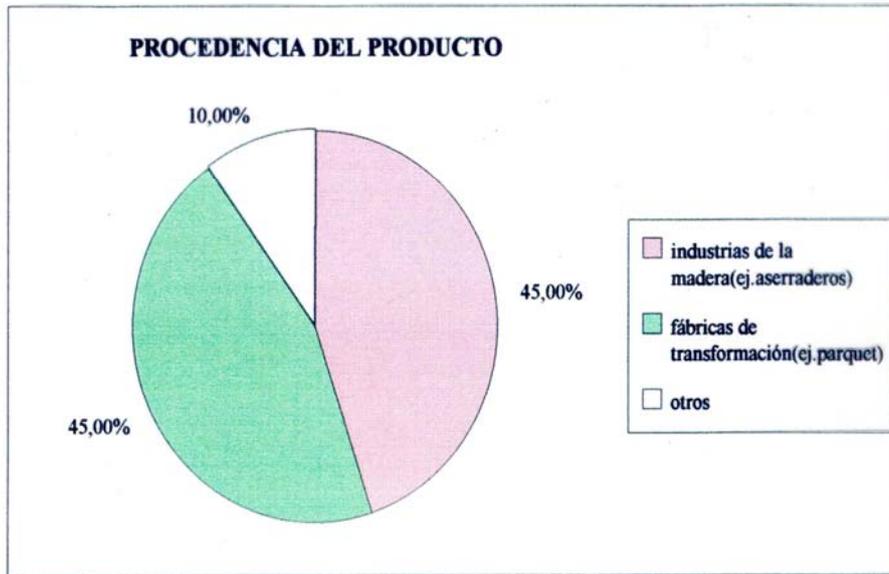


Fuente: Elaboración Propia

Por último, se exponen algunos datos obtenidos mediante visitas a, prácticamente,

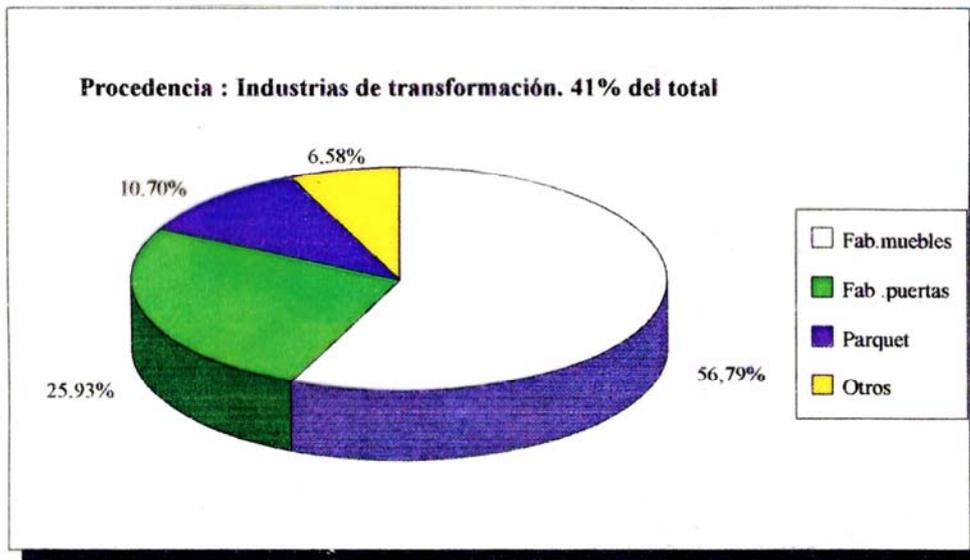
la totalidad de las fábricas de briquetas existentes en España.

Figura 9:- Origen de las materias primas empleadas



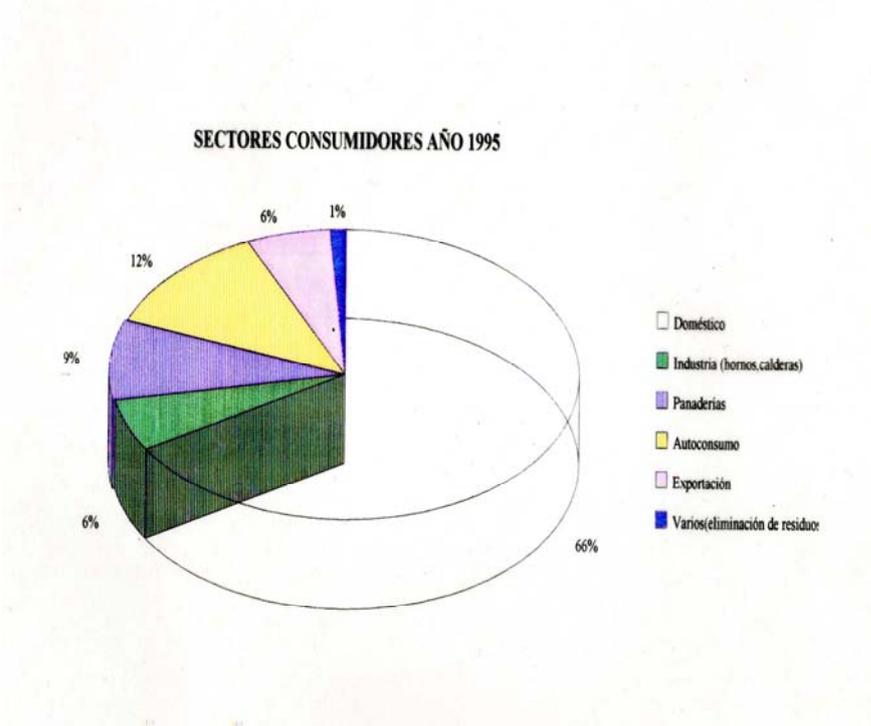
Fuente: Elaboración Propia

Figura 10: Origen industrial de las materias primas



Fuente: Elaboración Propia

Figura 11.- Principales sectores consumidores



Fuente: Elaboración Propia

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Carre J. et al. 1987. Briquetting Agricultural and Wood Residues, Workshop on Handling and Processing of Biomass for Energy, Hamburgo.
- Marcos F., 2001. Biocombustibles sólidos de origen forestal. AENOR. Madrid.
- Marcos F., 1995. Pelets y briquetas. Rev. AITIM: 171: 54-62. Madrid.
- Marcos F. 1989. El carbón vegetal, propiedades y obtención. Mundi Prensa, Madrid.
- Marcos F., 1987. - Impactos causados por los aprovechamientos energéticos forestales. In: La práctica de las estimaciones de impactos ambientales. Cátedra de Planificación, ETSI de Montes de Madrid.
- Vesterinen R. 1999. Standardisation of solid biofuels in Finland. Comunicación personal del proyecto europeo FAIR titulado Standardisation of solid biofuels
- Ortiz L.; Tejada A.; Vázquez A. 2003. Aprovechamiento de la biomasa residual (Parte III). Rev. CIS MADERA- nº 11 - 2º semestre 2003
- Ortiz L., 2003. Procesos de densificación de la biomasa. Ed. GAMESAL
- Ortiz L., 1996. Aprovechamiento energético de la biomasa forestal. Ed. GAMESAL
- Ortiz L.; Miguez, 1995. Energías alternativas y medio ambiente. Ed. GAMESAL
- Ortiz L.; 2006. La biomasa como fuente de energía renovable. Ed. GAMESAL.