

## EVOLUCIÓN DE PILAS DE ASTILLA FORESTAL BAJO DOS COBERTURAS DIFERENTES AL AIRE LIBRE: EXPERIENCIA EN ALP (GERONA)

**Ignacio López Vicens\***

Centre Tecnològic Forestal de Catalunya. Grup d'aprofitaments fusters i biomassa (GAFiB)  
Centre Tecnològic Forestal de Catalunya – Edifici Can Mascaró. Ctra vella de Sant Llorenç, km 2. 25280  
SOLSONA (Lleida)

\*Autor para correspondencia: [ignacio.lopez@ctfc.es](mailto:ignacio.lopez@ctfc.es)

Boletín del CIDEU 5: 85-95 (2008)  
ISSN 1885-5237

---

### Resumen

Para el uso de biomasa de origen forestal en calderas automáticas es necesario su astillado y unos requerimientos mínimos que permitan rendir su máximo energético y sin problemas en los depósitos de combustible.

El material astillado en esta experiencia se almacenó formando dos pilas, una cubierta con material textil transpirable y otra con papel protector. Su conservación fue adecuada, mostrando la pila cubierta con material textil evidencias de secado. La pila cubierta con papel no lo hizo de la misma manera, acumulando humedad en la coronación de la pila. La temperatura interna ha sido más elevada bajo la cobertura de papel que bajo la textil, posiblemente debido a procesos microbianos favorecidos por el mayor contenido en humedad.

**Palabras clave:** temperatura, humedad, TopTex, Walki Wrap Energi, caldera, biocombustible

### Summary

**Evolution of two chip piles stored outdoors under two different protection materials: experience in Alp**

The use of forest biomass for energy in automatic boilers requires the material to be chipped. Therefore, the chipped material needs to accomplish some minimum requirements to yield maximum energy content and to have absence of problems when feeding the burners.

The chipped material of this experience was stored in two piles. One pile was covered with a protection fabric which allows respiration and the other pile with a protective paper. Preservation of piles was adequate, and the chip pile under protection fabric showed evidence of a drying process. Chip pile under paper dried less, and accumulated moisture on the top of the pile. Furthermore, it had higher temperature than under the fabric, possibly due to microbial activity which develops better with high moisture content.

**Key words:** temperature, moisture content, Top Tex, Walki Wrap Energi, boiler, biofuel

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha incrementado notablemente el número de iniciativas para aprovechar energéticamente la biomasa de origen forestal. Para facilitar el uso de material forestal en calderas automáticas, éste se debe astillar y debe llegar a los silos de combustible en condiciones de ser transportado por los sistemas de alimentación sin dificultades. Asimismo, para una combustión eficiente, el contenido en humedad e impurezas debe ser mínimo. Uno de los riesgos que aún dificultan el desarrollo del aprovechamiento energético de la biomasa forestal es la escasez de información y control en lo que respecta a la calidad del combustible. Por ello la evaluación de ciertas características relacionadas con la calidad de la astilla constituye un paso más en la normalización del uso de este material.

El material suministrado a las instalaciones de calefacción debería seguir estrictos controles de calidad como cualquier otro combustible. En el caso de instalaciones de tamaño medio o pequeño, la granulometría debe ser homogénea y ausente de elementos gruesos o largos. Las astillas deben estar suficientemente secas (<35% humedad en base húmeda) para no dificultar la combustión. La presencia de impurezas, como arena, pequeñas piedras, plásticos, etc., puede dañar los sistemas de alimentación, las superficies internas de la caldera o generar humos contaminantes. Por lo tanto, las condiciones de suministro, el astillado y el almacenaje del material son fundamentales para garantizar los requerimientos mínimos de calidad respecto a humedad, dimensión e impurezas.

Existe un gran número de experiencias en lo que se refiere a la evolución de las pilas de astilla con objeto de optimizar el almacenaje cuando se destina dicho

material para pasta (p.ej. Cullis *et al.* 2003), donde se evalúan sus efectos en los procesos industriales subsiguientes. No son tantos, sin embargo, los estudios realizados cuando dicho material tiene un destino energético.

En países nórdicos se ha experimentado con diferentes condiciones de almacenaje y secado, resultando efectivo cubrir el material forestal entero para preservarlo del agua de lluvia (Jirjis, 1995). Otro estudio señala que el mejor secado resulta de dejar el material en montones en el monte, en comparación con el acordonado a pie de pista o en cargadero (Nurmi, 1999).

En el presente trabajo se estudia la evolución de dos pilas de astilla en lo que refiere al contenido de humedad y temperatura interna, situadas en un vertedero clausurado del municipio de Alp (Gerona). Las pilas se cubrieron con dos materiales diferentes: una cobertura textil (TopTex) y un papel protector (Walki Wrap Energi). La pila cubierta con material textil redujo en mayor medida su porcentaje de humedad que la pila cubierta con papel protector. Asimismo, la pila cubierta con papel sufrió un calentamiento mayor. Entre otros factores que afectan al calentamiento de pilas de astilla, se cita la compactación de la pila (Jirjis 2005, Nurmi 1999), teniendo dos efectos contrapuestos: falta de evacuación de calor por convección y disminución de la actividad biológica, debido a la falta de aire, efectos que podrían ser asimilables a los de una cobertura con papel.

## MATERIAL Y MÉTODOS

El aprovechamiento de biomasa forestal del presente estudio, formó parte de la puesta en marcha de una cadena de suministro en el marco del proyecto 5Eures, promovida por el *Departament de Medi Ambient i Habitatge* de la *Generalitat de Catalunya*

(DMAH). El material forestal procedió de los tratamientos convencionales sobre *Pinus sylvestris*, principalmente, y *Pinus nigra*, del monte “Muntanya d’Alp”, de propiedad del municipio de Alp. Se realizó también un aprovechamiento puntual para una pista de esquí familiar, en donde se llevó a cabo, con fines demostrativos en el marco de la *Semana del Aprovechamiento Energético de Biomasa Forestal* (proyecto 5Eures – DMAH), un astillado en pista.

La madera no aprovechable para sierra, constituida por árboles y fustes enteros pequeños o torcidos, se acumuló en un vertedero municipal clausurado, a lo largo de 2006. El rango de clases diamétricas del material acumulado fue de entre 5 y 45 cm, siendo la media, moda y mediana la clase diamétrica 15. El astillado tuvo lugar en noviembre de 2006. Éste se realizó con una astilladora Bruks 802 montada sobre un

camión Mercedes Unimog 240 ch din (Ets Holtzinger) que proporcionaba 200 CV de potencia (figura 0). Esta misma astilladora se desplazó para la demostración del astillado en pista. Una pequeña parte del astillado en patio se realizó con una astilladora Jenz HEM 360Z (Alameda-Torrent, S.L.) acoplada a un tractor de 160 CV y alimentada con la grapa de un autocargador Dingo 450 (Fitor Forestal, S.L.).

El patio o punto de acopio (figura 2) se orienta en dirección E-SE en un relieve cóncavo sujeto a la circulación del agua de escorrentía. Se afirmó el terreno aprovechando asfalto reciclado, compactado y sin aglomerante. Este patio de unos 1.100 m<sup>2</sup> permitió el tránsito de maquinaria entre el material entero y el que se iba astillando (figura 2 y figura 3).



Figura 1: Astillado en patio: astilladora Bruks 802 sobre camión Mercedes Unimog

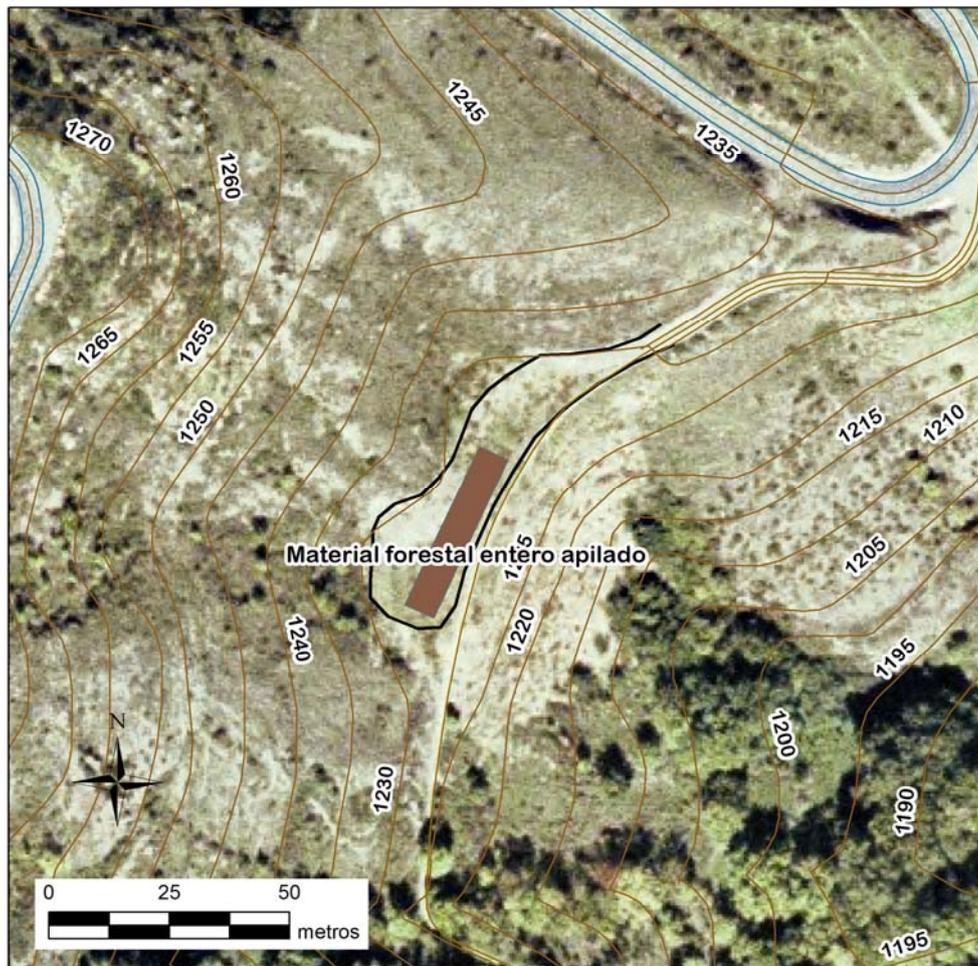


Figura 2: Punto de acopio y disposición del material para astillar



Figura 3: Astillado en patio, disposición del material bruto y pilas provisionales

### Evolución de las pilas de astilla

Las pilas se cubrieron con material protector para preservarlas del agua de lluvia. Una pila se cubrió con un material textil (figura 4) que permite la transpiración a su través y escurre el agua de lluvia. Es de fabricación austriaca (Polyfelt<sup>1</sup>) y su nombre comercial es TopTex. La otra pila, se cubrió con papel protector (figura 5) especialmente indicado para la cobertura de material forestal sin astillar, constituido por dos capas de papel, una de polietileno y una malla que le proporciona resistencia. Su fabricación es finlandesa (Walki Wisa<sup>2</sup>) y su nombre comercial Walki Wrap Energi. La efectividad del textil TopTex fue ya anteriormente estudiada en Alemania (Burger y Weißenböck, 2006) y el segundo se usó como prueba piloto en el presente trabajo.

Se efectuó un control de temperatura y humedad de las pilas de astilla. La medición de la temperatura tuvo lugar desde enero hasta abril para la pila cubierta con papel, y mayo para la pila cubierta con

textil. Dichas astillas se utilizaron a lo largo del invierno para las dos instalaciones del municipio de Alp. Las muestras para la determinación de la humedad se extrajeron periódicamente entre diciembre y abril.

### Humedad

Se estimó el contenido de humedad del material antes de astillar y recién astillado. En el caso de las pilas de astillas, se extrajeron cada dos semanas tres muestras por pila. Las muestras, de tres litros cada una, se sacaron manualmente profundizando 20 cm bajo la superficie de la pila. A dicha profundidad, el muestreo es de fácil recogida y se supone que no altera la pila ni está influenciado por la proximidad a la superficie exterior. Los puntos de muestreo en las pilas fueron la coronación, el punto medio y la parte inferior de la pila.

Para la determinación de la humedad, se ha procedido al secado de las muestras en estufa a  $104\pm 2^\circ\text{C}$  hasta pesada constante, en caliente. El tiempo de secado es variable, estando las muestras un mínimo de 16 horas en la estufa (Alakangas, 2005). El pesado se efectuó en báscula de precisión de 0,01 g.

<sup>1</sup> Distribuidor asociado: Atica Maquinaria S.L.

<sup>2</sup> Distribuidor asociado: UPM-Kymmene, S.A.



Figura 4: Pila cubierta con material textil TopTex



Figura 5: Pila cubierta con papel protector Walki Wrap Energi

## Temperatura

Para el control de la temperatura interna de las pilas de astilla, se colocaron tres sensores de temperatura en cada pila, a profundidades de 20 cm, 80 cm y 110-130 cm desde la coronación de la pila, en un extremo de ésta. La recogida de datos se programó con dos dataloggers Onset HOBO H8, con un período de una hora y sensores Onset TMC20-HD.

Para confrontar ambas variables, humedad y temperatura, con las condiciones meteorológicas se ha contado con los datos medidos por la estación meteorológica automática (EMA) de Das (Girona).

Los sensores se retiraron de la pila cubierta con papel y de la pila cubierta con textil el 12 de abril y el 17 de mayo de 2007 respectivamente, debido a la merma de las pilas de astilla por su consumo.

## Caracterización granulométrica del material estudiado

Durante el proceso de astillado se tomaron muestras de 6 litros para la determinación de la distribución granulométrica. Las

muestras se clasificaron según la especificación técnica CEN/TS 14961:2005 propuesta por el Comité Técnico 335 (TC 335) del Comité Europeo de Normalización (CEN). El tamizado se realizó con un vibrotamiz Filtra FTL-0300 de 30 cm de diámetro y de luz de malla según la siguiente serie (mm): 63 - 45 - 31,5 - 22,4 - 16 - 11,2 - 8 - 4 - 3,15 - 2 - 1 - base.

Las pilas estudiadas estaban constituidas únicamente con material astillado en patio, dejándose aparte el material astillado en pista, con un gran porcentaje de acículas. En la tabla 1 se muestran algunas características de estas astillas así como su clasificación según la especificación técnica citada.

Cabe mencionar que la granulometría depende en gran medida del material a astillar y su humedad, de la potencia de la astilladora o del tractor, del tipo de astillado (de tambor o de disco) y de la distancia entre cuchillas y contracuchillas, y de la posibilidad de acoplar una criba en la astilladora.

Tabla 1: Características granulométricas medias, desviación estándar (entre paréntesis) y clasificación de la astilla producida

Material astillado	% de finos (<1mm)	% de gruesos >63mm	Percentil* (mm)			Clasificación CEN/TS 14961
			5%	50%	95%	
Astilla de fuste y árbol apilados (13 muestras)	1,12 (0,58)	0,5 (0,87)	3,26 (1,12)	11,81 (1,64)	27,8 (2,31)	P45
Astilla árbol entero verde (3 muestras)	2,4 (0,7)	0 (0)	1,51 (0,23)	9,96 (1,56)	34,76 (9,66)	P45

\* Se muestra la luz de malla del tamiz teórico que es atravesado por el porcentaje de astillas referido en el percentil

## RESULTADOS

Las humedades de las muestras tomadas antes del proceso de astillado resultan heterogéneas, ocurriendo en menor medida con las muestras del material recién astillado (tabla 2).

La humedad sufrió un descenso apreciable solamente en la pila cubierta con textil (figura 6), y menos acusado en las partes media y baja de la pila cubierta con el papel. En la parte superior de la pila cubierta con el papel la humedad fue en

general en aumento, observándose este aumento más acusado después de episodios de precipitación.

En relación a las temperaturas, se muestra cierta relación entre la evolución de esta variable en la pila y los indicadores ambientales de temperatura y precipitación exteriores (figura 7). Las temperaturas medidas en el interior son siempre, salvo excepciones, superiores a la temperatura exterior.

Tabla 2: Humedad del material

Material	Porcentaje medio de humedad en base húmeda	Desvío estándar	Nº de datos
Material entero antes de astillar (26/10/2006)	30,81	14,73	2
Material recién astillado (9/11/2006)	32,19	4,45	13
Humedad final pila textil	24,31	2,04	3
Humedad final pila papel	42,63	14,68	3

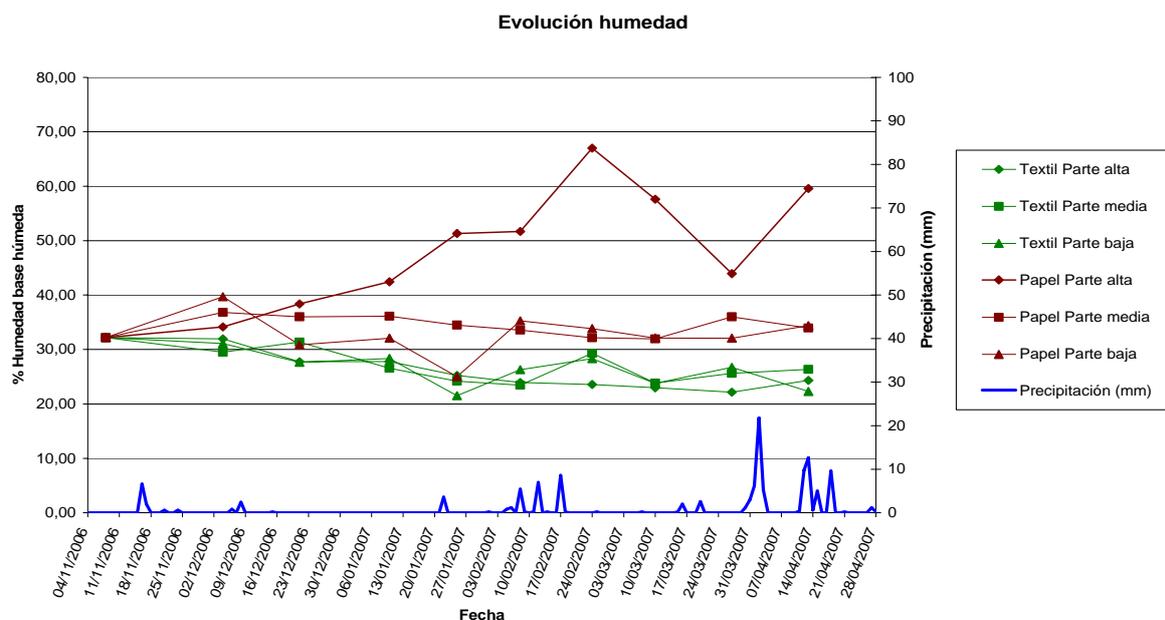


Figura 6: Evolución de la humedad de las pilas de astilla entre diciembre de 2006 y abril de 2007

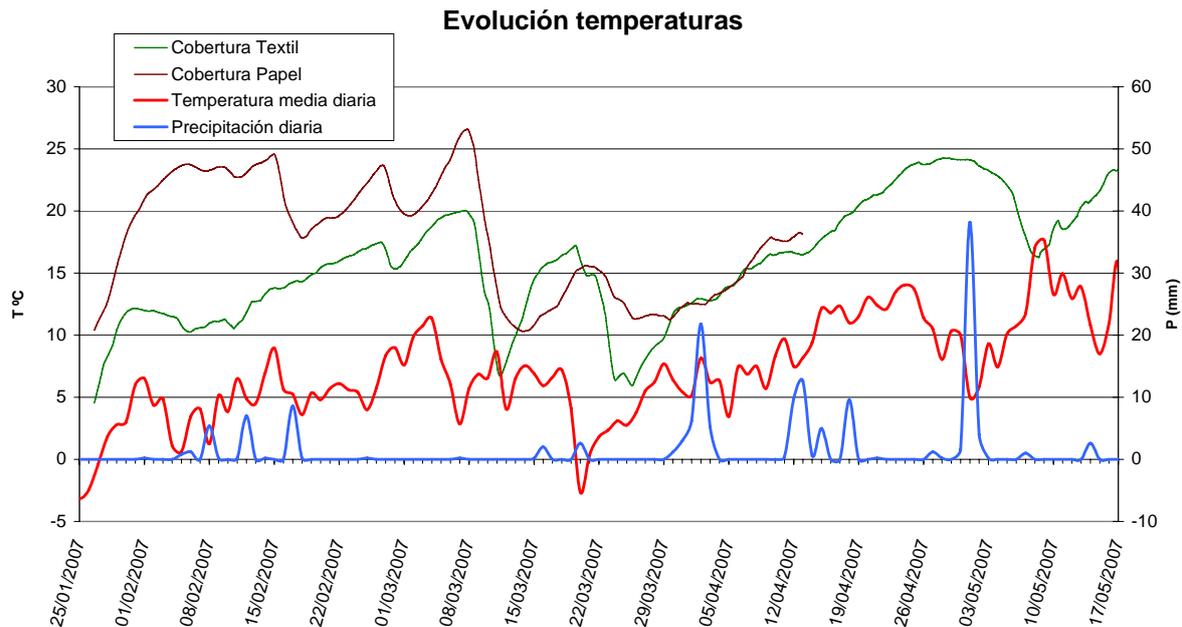


Figura 7: Evolución de la temperatura media diaria del interior de las pilas, junto con las variables temperatura y precipitación diarias de la estación meteorológica automática (EMA) de Das (Girona)

## DISCUSIÓN

### Humedad

La humedad inicial fue de un 32% en base húmeda (tabla 2). El promedio de la humedad final según los puntos de muestreo a 20 centímetros de profundidad, fue de un 24,3 % para la pila cubierta con el textil y de un 42,6 % para la pila cubierta con el papel. Por lo tanto, la pila cubierta con textil sufrió un proceso de secado, en cierto grado dependiente de las condiciones meteorológicas. La pila cubierta con el papel protector no se secó en un grado similar. La escasez de precipitaciones en el período de medición también pudo haber facilitado el secado de la pila cubierta con textil, frente a la cobertura de papel, de características más impermeables.

El aumento general de la humedad en la parte alta de la pila cubierta con papel puede ser explicado debido a que la circulación del aire cargado de humedad tiende hacia la coronación de las pilas. El efecto se favorece por la actividad fúngica y microbiana que aumenta la temperatura del

interior de la pila y origina circulación de aire por convección. La impermeabilidad de la cobertura de papel, con una capa de polietileno, pudo causar la acumulación y condensación del agua en la coronación de esta pila. Paralelamente, el aumento de la humedad tras los períodos de lluvia puede ser explicado por la aportación de agua al suelo y la parte basal de las pilas, que posteriormente puede haber recirculado en forma de vapor hacia la parte alta de la pila.

Se considera necesario desarrollar un muestreo de mayor profundidad para obtener unos resultados de mayor fiabilidad y menos sometidos a las variaciones meteorológicas (Nurmi, comunicación personal 2007). La construcción de sondas capaces de insertarse en pilas de astilla, o el seccionado de éstas para la extracción directa de muestras son métodos utilizados por otros autores (Jirjis, 2005, Ortiz, comunicación personal 2007).

Muy a menudo se constata que la humedad de la totalidad de la pila apenas sufre cambios con el tiempo, pudiendo incluso

llegar a incrementarse (Nurmi, 1999). La elección de un lugar bien ventilado y abierto es fundamental para conseguir un buen secado de la astilla, condiciones que se cumplen en el caso de Alp.

### **Temperatura**

La pila cubierta con el papel protector presenta una temperatura visiblemente superior. La mayor acumulación de agua en forma de vapor y líquida en algunos lugares de la pila ha creado las condiciones idóneas para la proliferación de hongos y fermentación bacteriana, incrementando notablemente la temperatura del material. Por debajo del 30 % de humedad (base húmeda) la actividad microbiana está muy impedida (Kofman, 2006; Burger y Weißenböck, 2006), lo que también explica la menor temperatura de la pila bajo textil, cuya humedad en los puntos de muestreo se encontró desde enero por debajo de este 30%.

Entre los factores que afectan al calentamiento de pilas de astilla, se cita la compactación de la pila (Jirjis, 2005; Nurmi, 1999). Una pila compacta impide la circulación de aire y tiene dos efectos contrapuestos. El primero, falta de evacuación de calor por convección, que lleva a un calentamiento (Jirjis 2005). El segundo, disminución de la actividad biológica, debido a la falta de aire y, por lo tanto, disminución de la temperatura (Nurmi, 1999). Un efecto parecido a la compactación se puede encontrar en la cobertura de papel. En este caso se constata una temperatura mayor, tomando como referencia la pila cubierta con textil.

La temperatura de ambas pilas se ha observado dependiente de las condiciones externas como en otros estudios para pilas pequeñas, de 3 m de altura con material grueso (Jirjis, 2005). Bajadas bruscas de las temperaturas registradas en marzo han

tenido su respuesta dentro de las pilas aproximadamente una semana después.

La medición de temperaturas en el interior de las pilas se inició más de dos meses después del astillado. Diversos autores constatan que la actividad biológica en el interior de las pilas comienza tener efectos sobre la temperatura y la humedad a los pocos días tras un apilado con una altura de seis metros en muchos puntos de la pila (Jirjis, 2005), o en la parte exterior de las pilas (Nurmi, 1999), alcanzando en ambos casos 60°C. En otras experiencias de los años 90, la temperatura medida en pilas de siete metros con ventilación forzada por el interior, llegó a los 75°C en pocos días (Jirjis, 1995). Dichas temperaturas se pueden mantener durante semanas o meses (Thörnqvist, 1984). Después de este período, la temperatura se estabiliza entre 10 y 50°C en función de muchos factores (temperatura exterior, grado de compactación de la pila, tipo de material astillado, etc.). En el caso de Alp, por lo tanto, las mediciones de temperatura tuvieron comienzo después del período de, supuestamente, mayor temperatura. No obstante, el bajo contenido en humedad inicial estimado, del 32% en base húmeda, puede haber condicionado el desarrollo de microorganismos cuya actividad genera calor. Las humedades iniciales de los estudios de otros autores se encontraron entre el 40 y 60 % en base húmeda.

### **Consideraciones sobre la granulometría**

Astillas con una distribución granulométrica con abundancia de elementos finos, proporcionan una mayor superficie de contacto para el desarrollo de hongos, con las consecuencias que tiene su proliferación sobre la calidad de las astillas. Asimismo, una granulometría fina tiene un efecto de compactado (Jirjis, 2005) que dificulta la circulación de aire y cuyos efectos se han reseñado previamente.



Figura 8: Elementos gruesos y esbeltos

La astilla producida se clasifica como P45. La proporción de elementos gruesos de más de 63 mm fue casi nula, aunque se encontraron elementos esbeltos de más de 10 cm que atravesaron el tamiz 63. La proporción de dichos elementos tiene importancia en lo que se refiere a la tendencia al abovedamiento de las astillas en los silos de combustible, influyendo también la propia humedad de las astillas y su acumulación en el silo (Jensen *et al.*, 2004, Mattsson *et al.*, 2003). Los elementos esbeltos y robustos (figura 8) también pueden llegar a colapsar los sistemas de alimentación de las calderas. No obstante, la presencia de dichos elementos en pilas de astilla favorece la circulación de aire y la evacuación de calor (Jirjis, 2005). Un buen ajuste de los parámetros del astillado así como la elección del astillado seco o húmedo pueden tener su trascendencia en la evolución posterior de las pilas de astilla.

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo no hubiera sido posible sin la participación de Francisco Cano, dinamizador del proyecto e ingeniero de montes responsable de la comarca de la Cerdanya, Cosme Ruaix, regidor del ayuntamiento de Alp, Yolanda Carvajal, técnica del CTFC a cargo de análisis de laboratorio, Timo Tahvanainen y Juha Nurmi, investigadores del Parque Científico de Joensuu y del Instituto Finandés de Investigación Forestal (METLA), Lluís Coll y Juan Martínez de Aragón, investigadores del CTFC, y Judit Rodríguez, responsable del GAFIB-CTFC.

El estudio se ha realizado en el marco del proyecto 5Eures en que ha participado el Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.**

- Alakangas, E. 2005. Properties of wood fuels used in Finland, Technical Research Centre of Finland, VTT Processes, Project Report PRO2/P2030/05 (Project C5SU00800).
- Burger, F.; Weißenböck, J. 2006 Hackschnitzeltrocknung mit Kompostiervieles. Energie Pflanzen 1/2006
- Cullis, I.F., Saddler, J.N., Mansfield, S.D. 2003 Effect of Initial Moisture Content and Chip Size on the Bioconversion Efficiency of Softwood Lignocellulosics. Biotechnology and Bioengineering 85 (4) 413-421
- Jensen, P.D., Mattsson, J.E., Kofman, P.D., Klausner, A. 2004 Tendency of wood fuels from whole trees, logging residues and roundwood to bridge over openings. Biomass and Bioenergy 26, 107-113.
- Jirjis, R. 1995. Storage and drying of wood fuel. Biomass and Bioenergy, Vol 9, Nos 1-5, pp 181-190
- Jirjis, R. 2005. Effects of particle size and pile height on storage and fuel quality of comminuted *Salix viminalis*. Biomass and Bioenergy 28, 193-201
- Kofman, P.D. 2006. Quality wood chip fuel. Coford Connects. Harvesting / Transportation No. 6
- Mattsson, J.E., Kofman, P.D. 2003. Influence of particle size and moisture content on tendency to bridge in biofuels made from willow shorts. Biomass and Bioenergy 24, 429-435
- Nurmi, J. 1999. The storage of logging residue for fuel. Biomass and Bioenergy 17, 41-47
- Thörnqvist T. 1984. Drying and Storage of Forest Residues for Energy Production. Biomass 7, 125-134