2025 | 16·20
GIJÓN | JUNIO

9º CONGRESO **FORESTAL** ESPAÑOL

9CFE-1604

Actas del Noveno Congreso Forestal Español
Edita: **Sociedad Española de Ciencias Forestales. 2025**.
ISBN: **978-84-941695-7-1**

Organiza

Sociedad Española de Ciencias Forestales
SECF

Ignición de capas de polvo de biomasa depositadas sobre una superficie caliente

VARELA, A. (1), GARCÍA-RAMOS, F.J. (2) y TASCÓN, A. (1)

(1) Dpto. Agricultura y Alimentación, Universidad de La Rioja.

(2) Dpto. Ciencias Agrarias y del Medio Natural, Universidad de Zaragoza.

Resumen

La utilización de biomasa como fuente de energía renovable es una opción muy interesante para reducir las emisiones de CO_2 y el consumo de gas fósil, al mismo tiempo que puede contribuir al aprovechamiento de residuos industriales, la reducción del riesgo de incendios o la gestión sostenible de los montes. Sin embargo, el almacenamiento y manejo de grandes cantidades de biomasa (en silos, tolvas y almacenes horizontales) tiene asociados ciertos riesgos. Entre ellos, destacan los incendios y explosiones, que se ven favorecidos por la acumulación del polvo generado durante el manejo de estos materiales a granel. En este estudio se ha determinado la temperatura de ignición de una capa de polvo en contacto con una placa metálica caliente. Los ensayos se han realizado para varias biomasas (pellets de madera de pino y serrín de madera de chopo) y para varios espesores de la capa de polvo. También se ha analizado el efecto de compactar o no la capa de polvo antes del ensayo. Los resultados obtenidos permiten entender mejor los procesos de ignición que pueden darse en almacenamientos y plantas industriales, así como establecer medidas para la prevención de igniciones y así disminuir el riesgo de accidentes .

Palabras clave

Incendio, riesgo, bioenergía, pellets, serrín.

1. Introducción

La biomasa es una fuente de energía que presenta importantes ventajas y cuyo uso, planificado para que sea un recurso renovable y sostenible, debería ser potenciado (AVEBIOM, 2023). Sin embargo, el almacenamiento y manejo de grandes cantidades de biomasa plantea ciertos riegos. En definitiva, se trata de materiales combustibles que pueden arder. Además, estos materiales pueden sufrir procesos de autocalentamiento y autoignición (ASHMAN et al., 2018). Por otro lado, el manejo de grandes cantidades a granel en forma de elementos de tamaño reducido (serrín, pellets, astillas, etc.) favorece la generación y acumulación de partículas de polvo debido al desgaste y rotura de las partículas más grandes. Estas acumulaciones de polvo implican un riesgo adicional, siendo fuente habitual de incendios y explosiones en la industria (CASTELLS et al., 2003).

2. Objetivos

En este estudio se ha determinado la temperatura de ignición de capas de polvo en contacto con una placa metálica caliente. Además, se ha analizado el efecto de varias variables en la temperatura de ignición: el tipo de biomasa, su granulometría, el espesor de la capa y la compactación de la misma.

El objetivo final era entender mejor los procesos de ignición que pueden darse en almacenamientos y plantas industriales para establecer medidas que contribuyan a disminuir el riesgo de accidentes.

3. Metodología

Se han ensayado dos tipos de biomasa. Por un lado, pellets de pino comerciales de calidad A1 fabricados a partir de serrín procedente de residuos de industria maderera. Por otro, residuos de chopo en forma de serrín, procedente de industria del tablero y con un tamaño de partícula <5 mm. De cada material se ensayaron distintas fracciones granulométricas para así conocer el efecto del tamaño de partícula. Las muestras de polvo se obtuvieron mediante molienda y tamizado. Se utilizó un molino de martillos GME-1100C de Garhé (Amorebieta, España) de 1.8 kW que lleva incorporada una criba de 2 mm. Para obtener fracciones más finas se utilizó una batidora de tamices eléctrica del fabricante Controls (Milán, Italia) con tamices circulares de acero con abertura 400 µm y 80 µm. El serrín de chopo no fue necesario molerlo porque se recibió ya en forma pulverulenta. Finalmente, las muestras ensayadas fueron las siguientes: por un lado, pellets de pino molidos (<2000 µm), fracción <400 µm y fracción <80 µm; por otro, serrín de chopo tal y como se recibió, sin ninguna modificación, y también la fracción <400 µm.

El equipo para el ensayo de ignición se corresponde con el diseño propuesto en la norma EN ISO/IEC 80079-20-2 (CEN, 2016). Consiste en una placa metálica horizontal calentada mediante resistencias eléctricas sobre la cual se dispone un anillo metálico de diámetro 100 mm. Se utilizaron anillos de altura 5 mm, 10 mm y 20 mm, según la altura de capa deseada. La temperatura de la placa y la temperatura de la muestra se controlaron mediante dos termopares; el sensor para medir la temperatura del material se situó dentro de la muestra a una distancia al menos 2 mm por encima de la placa. Los valores de temperatura se registraron cada 10 segundos mediante un *data-logger* y un ordenador.

Una vez que la placa alcanzó la temperatura deseada para el ensayo, se rellenó el anillo con la muestra de polvo a analizar hasta enrasarlo. Luego se mantuvo la muestra a temperatura constante durante un tiempo y se observó si se cumplía algunos de los siguientes tres criterios, que indicaban que se había producido ignición: presencia de llamas o incandescencia, temperatura 250 °C superior a la placa, o temperatura en la muestra ? 450 °C. El ensayo se detenía en el momento que se observara ignición; en caso contrario, se mantenía durante 30 minutos (para capas de 5 mm), 1 hora (para capas de 10 mm) o 2 horas (para capas de 20 mm). Si no se producía ignición durante ese tiempo, se repetía el ensayo para una temperatura 10 °C superior y, así sucesivamente, hasta un máximo de 400 °C. En el caso de que sí se observara ignición, se repetía el ensayo para una temperatura 10 °C inferior para verificar si había o no ignición. La temperatura de ignición se confirmó mediante 2 repeticiones. Cada ensayo se realizó con muestra nueva.

En el caso de los ensayos con compactación, después de rellenar el anillo con la muestra, se colocaba sobre ella una placa metálica con un peso de 1,4 kg durante 5 segundos. Posteriormente, se retiraba el peso y la placa, se añadía más material y se volvía a enrasar (para que el espesor de la capa fuera constante en todos los ensayos) y se continuaba el ensayo de la manera habitual.

La metodología de ensayo sigue lo indicado en la norma EN ISO/IEC 80079-20-2 (CEN, 2016). Sin embargo, los ensayos con espesores superiores a 5 mm y los ensayos con compactación se apartan de dicha norma, ya que ésta no considera expresamente como realizar los ensayos para dichas situaciones.

4. Resultados

Las temperaturas de ignición obtenidas para las distintas muestras y condiciones de ensayo se muestran a continuación. La Tabla 1 recoge los resultados para las muestras de pellets de pino, mientras que la Tabla 2 muestra los valores para serrín de chopo.

Tabla 1. Resultados correspondientes a las muestras de pellets de pino para capas de 5, 10 y 20 mm de espesor ("+c" indica compactación, "-" significa que no sé realizó ese ensayo)

Muestra	5 mm	5 mm +c	10 mm	10 mm +c	20 mm	20 mm +c
< 2000 µm	330	-	310	310	290	-
<400 µm	330	-	300	300	-	-
<80 µm	320	-	-	-	-	-

Tabla 2. Resultados correspondientes a las muestras de serrín de chopo para capas de 5, 10 y 20 mm de espesor ("+c" indica compactación, "-" significa que no sé realizó ese ensayo)

Muestra	5 mm	5 mm +c	10 mm	10 mm +c	20 mm	20 mm +c
<5000 µm	310	-	290	280	270	260
<400 µm	310	-	290	280	270	-

5. Discusión

Todas las muestras ensayadas presentaron ignición a temperaturas iguales o inferiores a 330 °C. A partir de los resultados obtenidos, es posible deducir el efecto de los distintos factores implicados en los ensayos. Como puede observarse, el serrín de chopo presentó temperaturas de ignición inferiores al pellet de pino. Por ejemplo, las muestras con granulometría <400 µm permiten comparar ambos materiales; para una capa de 5 mm hubo una diferencia de 20 °C.

Por otro lado, para un mismo tipo de biomasa, el efecto de la granulometría también se hizo patente. Este comportamiento quedó reflejado en los resultados para pellets de pino, en los que se puede observar que la muestra más fina (<80 µm) tuvo una temperatura de ignición 10 °C inferior a las otras dos muestras más gruesas. Sin embargo, la granulometría no modificó la ignición cuando se comparan las dos muestras más gruesas, tanto para pino como para chopo, para un espesor de 5 mm. Por el contrario, para el caso de 10 mm de espesor de pellets de pino, sí que se observó una reducción de temperatura al disminuir el tamaño de partícula de <2000 µm a <400 µm.

Los resultados también mostraron la compactación tuvo un efecto nulo para las muestras de pellets de pino, mientras que para serrín de chopo facilitó claramente la ignición. Esta diferencia puede explicarse por las diferencias físicas entre ambos materiales: el serrín de chopo era un material mucho más “esponjoso” que el polvo de pellets de pino, por lo que fue afectado por la compactación en mayor medida, lo cual se trasladó posteriormente a las temperaturas de ignición obtenidas. Para verificar este extremo se midió la densidad aparente de ambos materiales: 0,348 g/l para el polvo de pellets y 0.121 g/l para el serrín de chopo (en ambos casos, el dato corresponde a la fracción <400 µm). Es importante resaltar que el efecto de la compactación sobre el serrín de chopo fue justo el contrario al que se produce en carbones, en los que la compactación se utiliza para disminuir la probabilidad de ignición en almacenamientos (FIERRO et al., 1999). El efecto de la compactación coincide con lo indicado en un estudio previo (FERNANDEZ-ANEZ & GARCÍA-TORRENT, 2019) para capas de 50 mm de polvo de pellets y de polvo de astillas; sin embargo, el polvo de pellets torrefactados, el de paja de trigo y el de cáscara de almendra mantuvo constante su temperatura, mientras que en el caso de polvo de hueso de aceituna aumentó con la compactación, por lo que éste es un factor que todavía requiere más estudio.

La temperatura superficial de la maquinaria y equipos debe, por tanto, limitarse para evitar la ignición de acumulaciones de capas de polvo de biomasa en entornos industriales. Según la norma UNE-EN 60079-14 (AENOR, 2016), la temperatura superficial máxima ($T_{máx}$) debe cumplir la relación $T_{máx}$? T_{ensayo} -75 °C, siendo T_{ensayo} la temperatura de ignición obtenida en ensayo de placa caliente. Dado que la temperatura de ignición disminuye con el espesor de la capa, esto obliga también a limitar las acumulaciones de polvo en la industria para que no se supere el espesor tomado como referencia para fijar la temperatura superficial admisible de las instalaciones.

6. Conclusiones

En este estudio se ha determinado la temperatura de ignición de capas de polvo de

pellets de madera de pino y de serrín de chopo cuando se ven expuestas a una superficie caliente. Los resultados indican que la temperatura depende del material, de la granulometría, del espesor de la capa y de su grado de compactación. En general, la ignición se ve favorecida por tamaños más pequeños de partícula, mayores espesores de capa y por la compactación de las capas. Además, se ha comprobado que el serrín de chopo presenta ignición a temperaturas inferiores que el polvo de pellets. Esta información es de utilidad para la reducción de riesgos en la industria, ya que sirve para la determinación de la temperatura máxima admisible en equipos situados en lugares con posible acumulación de polvo.

7. Agradecimientos

Este trabajo es parte del proyecto PID2023-149732NB-I00 financiado por MCIU/AEI/10.13039/501100011033/FEDER,UE. También se agradece el contrato predoctoral para formación de personal investigador (Alejandro Varela del Águila) y la ayuda a la movilidad predoctoral para la realización de estancias breves, ambos financiados por la Universidad de La Rioja, Banco Santander y Comunidad Autónoma de La Rioja.

8. Bibliografía

AVEBIOM; 2023. Decálogo por el desarrollo y la consolidación del sector de la bioenergía en España. Asociación Española de la Biomasa. 11 págs. Valladolid.

ASHMAN, J.M.; JONES, J.M.; WILLIAMS, A.; 2018. Some characteristics of the self-heating of the large scale storage of biomass. *Fuel Process. Technol.* 174 1–8.

CASTELLS, B.; TASCÓN, A.; AMEZ, I.; FERNANDEZ-ANEZ, N.; 2023. Influence of particle size on the flammability and explosibility of biomass dusts: Is a new approach needed?. *Fire Technol.* 59 2989–3025.

CEN; 2016. European Standard ISO/IEC 80079-20-2:2016. Explosive atmospheres, Part 20-2: material characteristics - combustible dusts test methods. European committee for standardization. 109 págs. Bruselas.

FIERRO, V.; MIRANDA, J.L.; ROMERO, C.; ANDRÉS, J.M.; ARRIAGA, A.; SCHMAL, D.; VISSER, G.H.; 1999. Prevention of spontaneous combustion in coal stockpiles: Experimental results in coal storage yard. *Fuel Process. Technol.* 59 23–34.

FERNANDEZ-ANEZ, N.; GARCÍA-TORRENT, J.; 2019. Influence of particle size and density on the hot surface ignition of solid fuel layers. 55 175–191.

AENOR, 2016. Norma Española UNE-EN 60079-14. Atmósferas explosivas, Parte 14: Diseño, elección y realización de las instalaciones eléctricas. Asociación Española de Normalización y Certificación. 148 págs. Madrid.