

viene de pag. 19

Ale

Emisión de partículas por combustión de madera: Influencia del tipo de combustión sobre la generación de partículas y sus efectos

La biomasa forestal es un recurso renovable que puede ser producido y consumido localmente, reduciendo costes de transporte y garantizando puestos de trabajo local, pero presenta el problema de las emisiones causadas por su combustión. Entre ellos, las partículas y los compuestos orgánicos son los más problemáticos debido a sus efectos negativos sobre la salud. En este artículo se aborda la cuestión de las emisiones de partículas y su toxicidad.

Tipos de partículas e influencia de la combustión

La combustión de madera libera a la atmósfera partículas menores a 10 micras (PM10). En Suiza, donde se satisface un 4% de las necesidades totales de energía con madera, contribuye al 16% de las emisiones de PM10. Para identificar las medidas que deben tomarse, reducir la emisión de partículas y juzgar su toxicidad es necesario distinguir los diferentes tipos de partículas.

La combustión incompleta de la madera produce compuestos orgánicos volátiles y hollín.

El hollín son partículas carbonosas sólidas. La materia orgánica del hollín son compuestos orgánicos condensables que forman alquitrán. Los compuestos orgánicos volátiles, una vez en la atmósfera, contribuyen a la aparición de

aerosoles orgánicos secundarios que se producen por reacciones fotoquímicas.

Incluso cuando la combustión de la madera es completa, los gases de combustión resultantes contienen partículas finas de minerales, constituidas por sales como KCl, K₂SO₄, CaCO₃ y CaO, restituidas o formadas por las cenizas a alta temperatura.

Se pueden distinguir tres regímenes de combustión de la madera (Fig. 2):

A. Los compuestos orgánicos condensables (COC) se producen en grandes cantidades cuando la cámara de combustión está fría, por ejemplo debido a un exceso muy grande de aire o a un combustible demasiado húmedo. Por tanto, la puesta en marcha de las calderas es responsable en gran medida de las emisiones de COC



que se producen sobre todo en calderas manuales. Por el contrario, las emisiones de COC de calderas automáticas de astillas o pellets son muy bajas, especialmente si las calderas trabajan correctamente y garantizan una alta temperatura en la cámara de combustión.

B. Una combustión casi completa a alta temperatura y con suficiente oxígeno en la llama produce sobre todo partículas finas y salinas (cenizas). Por lo tanto, las calderas automáticas tienen emisiones de partículas salinas relativamente altas. Para reducir estas emisiones, se pueden utilizar separadores de polvo fino. Para las calderas automáticas de más

de 200 kW, se utilizan precipitadores electrostáticos y filtros de mangas (para combustibles secos) de rendimiento contrastado. Para calderas manuales o de menor potencia también existen separadores, pero su rendimiento no está probado y es prioritario asegurar una combustión completa.

C. Si existen áreas con falta de oxígeno en la llama a alta temperatura, los compuestos orgánicos pueden generar hollín. Por lo tanto, los gases de escape en cualquier tipo de combustión pueden contener hollín. Para reducir las emisiones se debe garantizar una combustión casi completa, para lo cual es necesario:

- alta temperatura (> 800°– 850°C)
- excedente de aire óptimo (según combustible; valor típico: 1,5)
- buena mezcla aire-gas combustible
- tiempo de permanencia suficiente en la cámara de combustión secundaria (> 0,3-0,5 s)

En calefacciones simples (insertables, estufas) se necesita una conducción óptima para adaptarse a estas condiciones. Por ejemplo, las emisiones en la fase de ignición se pueden reducir encendiendo la madera desde arriba en vez de desde abajo.

En calderas manuales y automáticas, una combustión en dos etapas -gasificación y oxidación en fase gaseosa con aire secundario- es esencial para asegurar una condiciones favorables.

Además, las cámaras de combustión pueden ser optimizadas y la combustión puede ajustarse. Por último, para garantizar que las instalaciones son adecuadas, se recomienda certificarse según el sistema

suizo de diseño de instalaciones QM Quality Management au bois®.

Efectos de las emisiones Pruebas en células (in vitro)

El profesor Nussbaumer y otros en 2005 llevaron a cabo en Suiza investigaciones sobre los efectos de las partículas emitidas durante la combustión de madera demostrando que los diferentes tipos de partículas presentan toxicidades completamente distintas.

Las cenizas formadas en una combustión casi completa, provenientes de una caldera de astillas de madera, presentan una toxicidad para las células pulmonares de los hámsteres baja o incluso nula. Por el contrario, el hollín proveniente de un motor diésel muestra una toxicidad significativa.

Las partículas generadas en una mala combustión con poco oxígeno contienen COC y compuestos aromáticos policíclicos (HAP), con una toxicidad 10 veces mayor que la del hollín.

Según Milijevic *et al.* 2010, el estrés oxidativo de las partículas emitidas por una estufa (partículas capaces de oxidar las proteínas del cuerpo) disminuye en función de la temperatura de combustión.

Otras investigaciones posteriores confirman la alta toxicidad potencial de las partículas de una combustión incompleta, como se describe en la investigación de Fong & Nussbaumer 2012.

Kelz *et al.* 2010 descubrió que las partículas de dos estufas manuales viejas presentaban una toxicidad 3 veces mayor que las de una caldera automática de astillas o de pellets. Las partículas emitidas por las calderas viejas muestran incluso efectos más acusados que

el hollín de un motor diésel. Tapanainen *et al.* 2011 mostró que la mortalidad celular y los efectos sobre los genes de las partículas de una estufa tradicional son mucho mayores que los de una caldera de pellets.

Jalava *et al.* 2011 mostró que los efectos causados en las células son mucho mayores en las partículas de una combustión sin llama (de rescoldos), que produce grandes cantidades de COC.

Ensayos in vivo (in vivo)

Los ensayos se efectúan exponiendo animales e incluso seres humanos a un aire con concentraciones determinadas de partículas procedentes de la combustión de madera.

Kou y Lai descubrieron en 1994 que las partículas de la combustión de madera tenían un efecto significativo sobre la respiración de las ratas.

Sällsten *et al.* 2006 no encontraron diferencias de respuesta en personas que fueron expuestas durante 30 minutos a una concentración de partículas de 400 µg/m³ procedentes de combustión de madera y otros que no lo fueron. Por el contrario, Baaregard *et al.* 2006 encontró una importante indicación de inflamación mostrada por Serum Amyloid A (SAA) antes y después de la exposición al aire y los humos de la madera.

Conclusiones Tipos de partículas

1. La combustión de madera origina tres tipos de partículas: sales (cenizas), hollín y alquitrán (COC, HAP), según tres regímenes de combustión:

- Los COC se forman a baja temperatura.
- Las partículas salinas se forman como cenizas a alta temperatura.
- El hollín se forma en zonas de alta temperatura sin oxígeno.

2. Las sales, el hollín y el alquitrán son aerosoles primarios que contribuyen a la aparición de PM10 o sobre todo de PM1 pero tienen propiedades químicas y físicas completamente

diferentes. 3. Lo más importante para la salud en términos de efectos sobre células y genes es que:

- Los COC acarrear los mayores secuelas sobre la salud.
- El hollín tiene un efecto importante.
- Las partículas salinas muestran un débil efecto tóxico, pero pueden ocasionar potencial inflamación.

Por lo tanto, las partículas minerales son menos tóxicas que el hollín, que a su vez es menos tóxico que los compuestos orgánicos condensables (COC).

4. Además, los compuestos orgánicos volátiles (COV) producen aerosoles orgánicos secundarios que son también muy perjudiciales para la salud.

5. Si el combustible contiene otros contaminantes, las emisiones pueden causar altas toxicidades adicionales

- Metales pesados (Pb, Zn, Cd, Cu ...)
- Cloro: dioxinas y furanos (PCDD / F), etc.

Consecuencias

1. Una combustión incompleta de la madera causa unas emisiones mucho más altas (2 a > 10) y tóxicas (2 a > 10) que una combustión casi completa.

2. Evitar la formación de hollín y COC no es incompatible, pero las medidas a tomar son diferentes:

- Hollín: evitar zonas sin oxígeno en la cámara de combustión.
- COC: evitar temperaturas bajas en la zona primaria (se necesita un buen encendido!).

3. Ni los límites de concentración de masa, ni las limitaciones por el tamaño de partícula permiten caracterizar la composición química de las partículas (alquitrán altamente tóxicos o sales no tóxicas) y por lo tanto su influencia en la salud.

4. Los efectos de los equipos manuales están muy relacion-

nados con su manejo y tienen emisiones altas y tóxicas (COC y hollín).

5. Por el contrario, en las calderas automáticas de astillas influye menos el manejo y tienen emisiones bajas y muy bajas si se disponen separadores de partículas, y emisiones mucho menos tóxicas (partículas salinas).

6. Las calderas de pellets tienen emisiones muy bajas, pero toxicidad media debido a que las partículas contienen sales y por lo general también cantidades de hollín.

Conociendo los efectos de las partículas procedentes de la combustión de la madera podemos concluir que, por supuesto, se debe alentar el buen uso de la energía obtenida de ella y evitar el de las tecnologías antiguas o desfavorables con mala conducción no solo por sus efectos sobre la salud, sino también por la mala imagen que dan de la energía de la biomasa leñosa que, salvo esta cuestión, aporta enormes ventajas.



Prof. Dr. Thomas Nussbaumer Verenum www.verenum.ch Université de Sciences Appliquées de Lucerne www.bslu.chn

Texto completo con referencias bibliográficas en www.bioenergie-promotion.fr

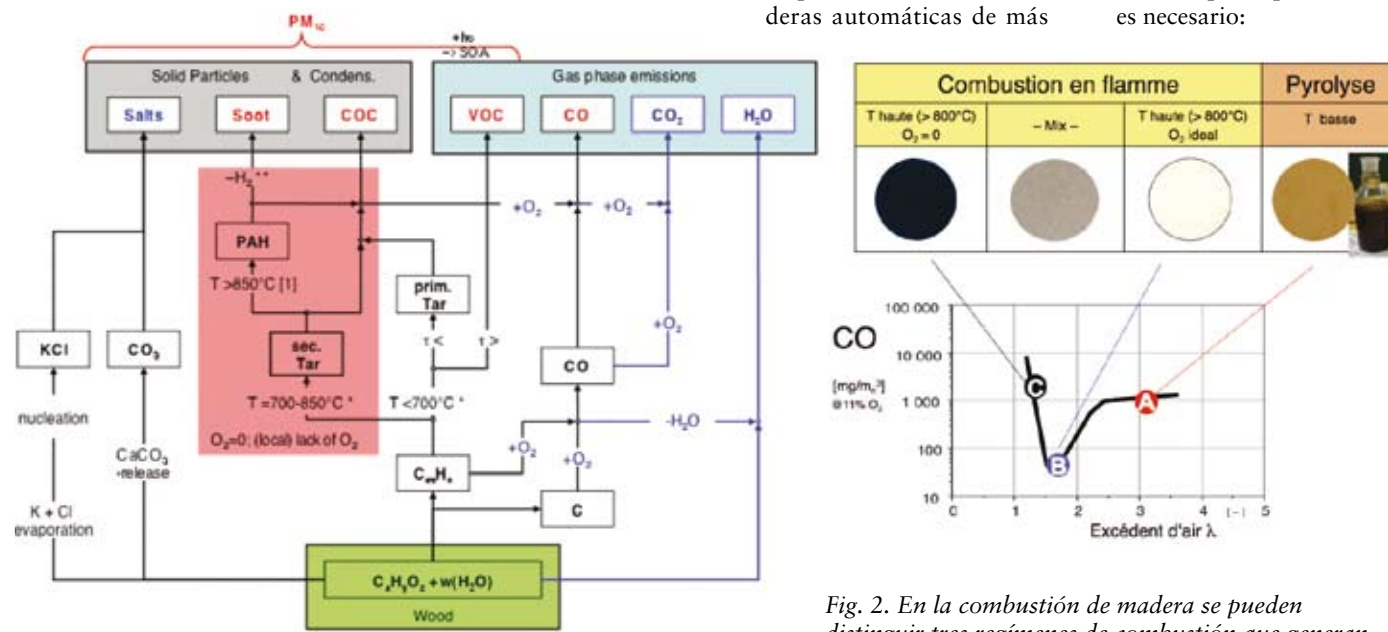


Fig. 2. En la combustión de madera se pueden distinguir tres regímenes de combustión que generan diferentes tipos de partículas, y que vienen indicados por el exceso de aire.



cont. col. 19