



Congreso Nacional del Medio Ambiente
Cumbre del Desarrollo Sostenible

COMUNICACIÓN TÉCNICA

Implicaciones medioambientales de combustibles de origen biomásico utilizados con fines energéticos

Autor: Manuel Martín Espigares

Institución: CIEMAT

E-mail: manuel.espigares@ciemat.es



RESUMEN:

El uso de la biomasa como recurso energético, en combinación con otras fuentes de energía renovables, ofrece indudables ventajas respecto a las fuentes convencionales, siendo los residuos de origen biomásico, adecuadamente valorizados, materiales combustibles susceptibles de aprovechamiento energético y por tanto, una alternativa viable para sustituir a otros combustibles de origen fósil, y reducir con ello nuestro abastecimiento energético. En menor grado que los combustibles fósiles, el uso de la biomasa en procesos térmicos también emite contaminantes, estando supeditada su utilización, en función de la potencia de las instalaciones y tipo de residuos, a las principales Directivas que afectan a las actividades de las instalaciones de combustión de carbón y residuos respectivamente. Aunque existen tecnologías de control para tratamiento de las emisiones generadas por combustión, ya implantadas y operativas con el uso de los combustibles fósiles, sin embargo, aún no son las más favorables en instalaciones que utilizan biomasa, siendo por tanto, un área de interés creciente en I+D. A lo largo de la última década el Ciemat ha venido investigando en la valorización energética de residuos de biomasa, como combustibles alternativos o complementarios, utilizando sistemas avanzados de combustión en lecho fluidizado a diversas escalas, y más recientemente con tecnología de gasificación. Paralelamente, en el área de la caracterización de las emisiones, ha sido preceptivo mantener una actividad de desarrollo aplicado a la validación de diversas tecnologías de control de partículas y gases en las emisiones. La investigación, y estudios complementarios se han llevado a cabo en el marco de varios proyectos nacionales e internacionales, en algunos casos optimizando la valorización energética del combustible y los ejercicios de validación de sistemas de control de emisiones. El objeto de esta comunicación es dar a conocer las implicaciones medioambientales para las distintas biomásas estudiadas, considerando en cada caso: las propiedades del combustible, su comportamiento en el proceso, las emisiones y subproductos. Se presentarán también los ejercicios de validación de las tecnologías de control de partículas y gases en las emisiones.



INTRODUCCIÓN

El uso de la biomasa, como recurso energético, ofrece múltiples ventajas respecto a las fuentes de energías convencionales, siendo ésta una de las principales alternativas para reducir Europa su dependencia de los combustibles fósiles en generación eléctrica y en procesos industriales que requieren aporte térmico. Las principales razones son: su bajo coste, suficiente poder calorífico, y aceptable comportamiento como combustible, por otra parte, la combustión de biomasa no contribuye a la producción neta de CO₂. El plan de acción de la biomasa, impulsado desde la propia Unión Europea establece medidas para fomentar e incrementar el uso de la biomasa para electricidad, calefacción y transporte.

Sin embargo, la utilización de biomasa presenta ciertas dificultades e inconvenientes relacionados con el suministro, transporte, almacenamiento y su preparación como combustible, además de la problemática añadida por su variada composición con influencia en el propio proceso, y por su efecto en las emisiones y cenizas. Así, se pueden encontrar biomásas con humedades comprendidas entre 10 y 50%, contenido en cenizas desde el 1 al 20%, nitrógeno desde 0.1 al 2% ó azufre desde el 0 al 0.5%. Además, pueden presentar elevados contenidos en sílice, potasio o cloro con los problemas que ello puede originar. Obviamente, los procesos de combustión de la biomasa están supeditados, en función de la potencia de la instalación y tipo de residuo, a las principales Directivas que afectan a las actividades de combustión de carbón y combustión de residuos: Prevención y control integrados de la contaminación (Directiva IPPC), Directiva de las grandes instalaciones de combustión, y la Directiva de incineración de residuos.

Aunque existen ya tecnologías de control, implantadas y operativas para tratamiento de las emisiones generadas con los combustibles fósiles, sin embargo, no están disponibles, o no son aún las más favorables para el tamaño u objeto con el que se diseñan las plantas que utilizan biomasa o residuos, para producción de energía, en procesos de combustión.

Entre las tecnologías de combustión con aplicación industrial, la de combustión en lecho fluidizado, en sus distintas variantes, ha demostrado su viabilidad para afrontar una generación de energía más eficaz y limpia de los combustibles fósiles y posteriormente, por exigencias tecnológicas y medioambientales, ha continuado en uso creciente, a través de procesos de combustión y co-combustión, para los residuos energéticamente valorizables. Estos estudios de combustión en lecho fluidizado, realizados en plantas a escala piloto y a escala de demostración, han permitido verificar como es posible durante el propio proceso de combustión, lograr una reducción de gases contaminantes, fundamentalmente de los compuestos de azufre y de los compuestos de nitrógeno.

En lo que se refiere al control de las emisiones en el propio proceso, antes de su salida a la atmósfera, se ha confirmado como a través de la caracterización de las emisiones, tanto de partículas como de los gases, por lo general en tiempo real, ha permitido contribuir a la validación y optimización de algunos de los nuevos desarrollos de sistemas de retención y control de contaminantes asociados a estos combustibles valorizables.

El objeto de este trabajo es poner de manifiesto la experiencia adquirida por el Ciemat, tanto en lo relativo al proceso de combustión y co-combustión, para los distintos combustibles estudiados, como en la caracterización de las emisiones generadas (materia particulada, gases contaminantes, compuestos orgánicos y metales). Los



estudios de combustión y co-combustión, se han llevado a cabo en varios programas de experimentación, de forma conjunta con estudios específicos para desarrollo y validación de sistemas de control de emisiones, simulando condiciones reales a diversas escalas. Se presentarán también los ejercicios de validación de las tecnologías de control de partículas y gases en las emisiones.

VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE LA BIOMASA, EXPERIENCIA DEL CIEMAT

A lo largo de la última década el Ciemat ha venido investigando en la utilización de la biomasa, como combustible alternativo o complementario, en el área de la conversión termo-química para generación de energía. Los estudios realizados, tanto en el área de la eficiencia de combustión como en la de las emisiones y su control, estuvieron siempre enmarcados, con participación en proyectos a nivel nacional e internacional, en el esfuerzo por lograr una utilización más eficaz y limpia de los combustibles fósiles, especialmente del carbón, y de los residuos energéticamente valorizables, entre ellos diferentes residuos de origen biomásico. Han sido objeto de estudio los siguientes: cascarilla de arroz, madera, residuos agro-industriales (orujillo), residuos de piel de la industria del curtido, residuos industriales biomásicos (papel, cartón).

Para determinar la posibilidad del aprovechamiento energético de la biomasa es indispensable evaluar la cantidad y calidad de los recursos de biomasa o biomasa residual disponible. En un proceso de generación energética y/o cogeneración, utilizando biomasa, la oferta de calor de una planta industrial vendrá condicionada por el tipo de tecnología utilizada, calidad del combustible y su rendimiento. En este sentido, es fundamental conocer la calidad de la biomasa o de sus residuos, a través de su valorización energética, todo ello, aportará la información necesaria para determinar la cantidad de combustible o mezclas a utilizar para el calor demandado.

El contenido energético de la biomasa se establece a través de su poder calorífico, el interés por la misma, en parte, radica en su aceptable poder calorífico; para algunas de las biomásas utilizadas con fines energéticos o en aplicaciones térmicas se presenta el poder calorífico inferior (*PCI*) en kcal/kg, entre estas se mencionan las siguientes: cascarilla de arroz: 3.370 cáscara de almendra: 3.940; papel, cartón: 3.780; madera: (coníferas 3.650, frondosas 3.370); residuos de la industria aceitera: orujillo: 3.780, hueso: 3.860. Estos valores están considerados con contenidos de humedad entre 10-20%. Con fines comparativos se presenta también el *PCI* de uno de los combustibles fósiles de uso generalizado como es el gasóleo: 9.700 kcal/kg,

El trabajo que se presenta se enmarca en torno al desarrollo de tecnologías en procesos de combustión y gasificación avanzados, dirigidos a una generación energética más eficaz y limpia, utilizando diversos combustibles y residuos industriales. De la amplia gama de sistemas para la combustión de biomasa en calderas industriales, nos hemos centrado en la modalidad de Combustión en Lecho Fluidizado (CLF), como tecnología de combustión limpia, cada vez más usada para eliminación de residuos, de la más variada procedencia, con aplicación energética, y con buena respuesta a las emisiones y al cumplimiento de límites de contaminantes al medio ambiente. La validación de sistemas de tratamiento y depuración de gases, ha sido igualmente un tema motivo de estudio asociado a la valorización energética de residuos biomásicos.

En lo que se refiere a la actividad del Ciemat en combustión de biomásas o residuos merecen ser destacados los trabajos llevados a cabo con los residuos de piel curtida, cascarilla de arroz o diferentes residuos agroindustriales del sector de la industria aceitera, tales como: el alpeorujo y el orujillo. (Armesto 2002; Armesto 2003; Bahillo 2004; Sanz 2004; Armesto 2005). La Tabla 1 recoge el análisis químico de algunos de los combustibles biomásicos estudiados.

Tabla 1. Análisis de diferentes biomásas y residuos

Parámetro	Alpeorujo	Orujillo	Corteza pino	Cascarilladearroz
Análisis inmediato				
Humedad	66.4	6.8	10.7	9.4
Materia Volátil, %, b.s.	74.60	74.8	72.9	74.0
Cenizas, %, b.s.	5.82	8.3	2.6	12.8
Carbón fijo, %, b.s.	19.58	16.9	24.5	13.2
Análisis elemental				
Carbono, %	52.26	49.3	52.9	42.3
Hidrógeno, %	6.73	5.7	6.3	6.1
Nitrógeno	1.10	1.5	0.49	1.1
Azufre, %	0.12	0.01	0.05	0.04
Cloro, %	0.2	0.2	0.02	0.2
Oxígeno, %	33.77	35	37.66	37.5
Poder calorífico				
PCS, MJ/kg, b.s.	21.3	19.6	20.2	16.3
PCI, MJ/kg, b.s.	19.8	18.3	18.8	15.0
Metales				
SiO ₂	18.23	47.8	17.1	87.7
Al ₂ O ₃	2.54	1.4	5.1	
CaO	11.93	10.5	34.2	1.3
Fe ₂ O ₃	2.31	1.5	2.3	0.1
MgO	7.25	3.4	4.2	0.8
MnO	0.06	0.4	1.2	
P ₂ O ₅	4.71	3.2	4.0	3.7
TiO ₂		0.3	0.2	
K ₂ O	36.56	30.3	6.7	5.4
Na ₂ O	0.4	1.1	2.3	0.2

INSTALACIONES

Un esquema de la instalación de lecho fluidizado burbujeante de 100 kWt en la que se ha llevado a cabo la mayor parte de la experimentación a escala de planta piloto se presenta en la Fig.1. Más detalles sobre la misma aparecen en las referencias anteriormente citadas.

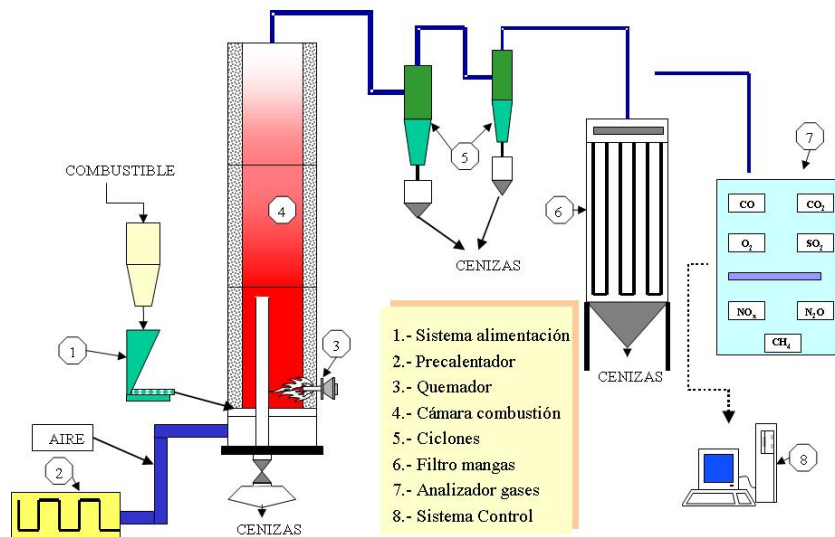


Figura 1. Instalación piloto de lecho fluidizado burbujeante de 100 kWt

El escalado es un factor a tener en cuenta a la hora de comparar los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio y a pequeña escala, teniendo en cuenta que la experimentación a mayor escala facilita la simulación de condiciones en el proceso, que se asemejan a las plantas reales, y por otra parte, permite disponer de datos para abordar el diseño de sistemas y componentes para plantas de uso industrial. Actualmente el Ciemat dispone en el centro del CEDER (Soria) de varias instalaciones de mayor tamaño donde poder extrapolar los resultados obtenidos a escala de planta piloto. En los últimos estudios una parte importante de la experimentación se ha llevado a cabo para varios proyectos en la planta de demostración (Dorronsoro, 2003; Sanz, 2004; Bahillo, 2005). En la Figura 2 se muestra la planta de combustión en lecho fluidizado de 3.5 MWt a escala de demostración

RESULTADOS EXPERIMENTALES

Los estudios realizados con los objetivos específicos para los que fueron diseñados, combustibles ensayados en cada caso, así como el tipo de instalación o plantas de combustión utilizadas a diversas escalas, se muestran en la Tabla 2. Igualmente, se presentan los resultados obtenidos para los contaminantes más significativos caracterizados en los distintos estudios.



Figura 2. Planta de combustión en lecho fluidizado burbujeante de 3.5 MWt

Tabla 2. Experiencias de combustión y co-combustión de varias biomásas, emisiones analizadas

Biomasa/ Combustor	Objeto del estudio	Contaminantes en las emisiones
Partículas /gases		
Cascara de Arroz BFB, 30 kWth	Viabilidad de combustión para este residuo	Cp:1500 mg/Nm ³ (*); dp<2µm CO,CO ₂ ,O ₂ ,NO _x , SO ₂ . (ol) Composición cenizas y filtro
Madera de Chopo BFB, 1MWth	Determinación, distribución PAHs en función dp.	Cp: 0.12-0.35 g/Ncm ³ ; dp 0.2-0.3µm CO,CO ₂ ,O ₂ ,NO _x , SO ₂ . (ol) Composición cenizas y filtro
Residuos Biomásicos Caldera de Parrilla	Viabilidad de sistema combinado de filtración	Cp: 30-2mgNm ³ (pirólisis- comb). dp: 0.05-0.15 µm; HCl,SO ₂ ,NO _x
Carbón /Orujillo Cocombustión BFB 30 kWth	Viabilidad cocombustión, eficiencia en función tipo carbón y porcentaje	Evolución de NO _x ,SO ₂ y partículas
B1/Residuos de Piel BFB, 100 kWth	Ensayos previos Caracterización emisiones, para validación filtro combinado	B1/ Cp:1g/Nm ³ , 90% p >1 µm 95% p dp<1 µm,monomodal B2/ bimodal dp: 0.8µm; 2.0 µm
B2/Carbón / Orujillo Cocombustión BFB,3.5 MWth		O ₂ ,CO,CO ₂ ,NO _x , SO ₂ ,H ₂ O,NH ₃ ,ClH. Constituyentes en cenizas y filtro

Cp: concentración partículas; dp: diámetro; (ol): on-line ; (*) después del ciclón



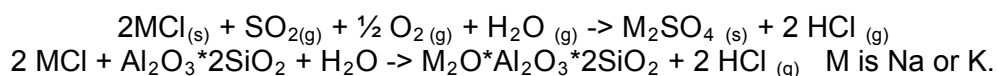
Se presentan algunas de las principales enseñanzas conseguidas, a lo largo de estos programas de experimentación, tanto en lo que se refiere al proceso de combustión de biomásas, como la respuesta en cada caso de las emisiones, dependientes del tipo de combustible utilizado.

En el proceso de co-combustión, las emisiones de SO₂ disminuyen invariablemente con la proporción de biomasa usada ya que contienen menos azufre que los carbones

El porcentaje de materia volátil es determinante para lograr bajas emisiones de CO y por lo tanto elevado grado de eficiencia de combustión por lo que las características químicas del carbón elegido es fundamental

Las emisiones de NO_x son difíciles de predecir ya que pueden aumentar o disminuir en función del tipo de biomasa y de las condiciones de operación

La mayor presencia de compuestos alcalinos en la biomasa puede llevar a problemas de formación de escorias mientras que la presencia de cloro da lugar a fenómenos de corrosión. La presencia de azufre y de silicatos de aluminio en el carbón, en los estudios de co-combustión con biomasa, hace que estos compuestos reaccionen con los cloruros de álcalis, liberando HCl a la atmósfera y evitando que se deposite sobre los tubos de intercambio de calor.



VALIDACIÓN DE SISTEMAS DE CONTROL DE EMISIONES. EXPERIENCIA DEL CIEMAT

El Ciemat en su misión de contribuir a un mejor desarrollo sostenible de la industria, ya sea promoviendo nuevos procesos de generación energética más eficientes, o bien como soporte a la implantación de tecnologías y metodologías más eficaces para evaluar, controlar y reducir los efectos de la contaminación sobre el medio ambiente, ha mantenido con continuidad, a lo largo de los últimos quince años, una línea de investigación en torno al estudio de tecnologías de filtración y retención de partículas en flujos de gases (lo que denominamos, aerosoles de combustión), simulando el tratamiento de gases en procesos de generación de energía. Objeto específico de estos estudios fue la validación, con distintas emisiones de co-combustión, de algunas de las tecnologías de filtración de uso industrial, en ocasiones sometidas a mejora de eficacia; o bien algunas otras, como tecnologías de vanguardia en fase de desarrollo, todas ellas actuando como últimas barreras tecnológicas para limitar la emisión de partículas al medio ambiente.

El inicio de estas actividades sobre validación tuvo su origen en la participación del Ciemat en diversos programas de I+D, orientados a estudios analíticos y experimentales sobre el comportamiento de aerosoles en vías sumergidas, simulando situaciones de accidente grave en plantas nucleares. Los estudios experimentales se orientaron a la tecnología de filtración en lechos acuosos "scrubber", de probada eficacia en la retención de aerosoles de bajo tamaño.



La experiencia conseguida, en las diversas áreas : generación, transporte y caracterización de los aerosoles, así como de los estudio analíticos y experimentales entorno al proceso hidrodinámico de retención y captura de partículas, plasmado en una amplia metodología bien verificada , fue transferida para su aplicación al área de la retención de partículas en emisiones de combustión, adaptada específicamente a los ejercicios de validación y mejora de los sistemas de filtración disponibles en la industria convencional de generación termoeléctrica, y de otros procesos.

Experiencia destacada se ha conseguido a través de diversos proyectos de validación para aumentar la eficacia de un filtro electrostático, una de las tecnologías más representativas de aplicación industrial en los sectores de generación de energía.

El sistema electrostático estudiado fue primero validado individualmente, y después de forma acoplada a configuraciones, en forma de cámaras, de filtros acústicos a distintas escalas, desarrollados con el objeto de favorecer por ultrasonido la aglomeración de micropartículas, y en consecuencia favorecer una mejor captación y aumento de eficacia de los filtros electrostáticos. Las ensayos se realizaron en distintas fases, primeramente con emisiones de combustión de carbón, en una planta de combustión en lecho fluidizado a escala piloto, y posteriormente con gases de combustión de fuel en un motor diesel de generación de electricidad. (*Gallego-Juarez, J.A., et al., 1999*),

Una actividad continuada, en el área de la caracterización de los aerosoles de combustión, llevada a cabo en paralelo con los diferentes ejercicios de validación de sistemas de filtración, ha sido la puesta a punto de metodologías de toma de muestra y medida de partículas, en ocasiones desarrolladas específicamente, para facilitar las operaciones de toma de muestra y la caracterización de las emisiones cuando fue posible, “on line y en tiempo real (*Gomez, et al., 2003*), (*Dorronsoro et al., 2003*),, 2003, (*Sáez, et al., 2003*), (*Rodríguez, 2003*).

Las tendencias más recientes de control de contaminantes ha impulsado el estudio de sistemas combinados de filtración de gases a alta temperatura, por la incorporación de los nuevos desarrollos de candelas cerámicas con tratamientos catalíticos, potenciado así el desarrollo de tecnologías de alta eficacia, a las que se le está dedicado especial atención por su aplicación en sectores industriales que precisan de un mayor control de sus emisiones al medio ambiente. En este sentido, importante ha sido la experiencia conseguida con motivo de la participación del Ciemat, en varios proyectos de la UE En el primero de ellos, N^o, JOR3-CT98-0250 ,COMFIL, se abordó el desarrollo de un sistema combinado de filtración en vía seca para la eliminación de gases contaminantes y partículas a escala piloto, utilizando las emisiones de un proceso de pirólisis e incineración de biomasa (RDF) (*Gómez, F.J. et al, 2003*).

En el segundo, ccontinuidad del anterior, y en el marco del proyecto C.N^o, ENK5-CT 2001-00523 BioWaRre se ha llevado acabo un amplio programa experimental a escala de demostración cuyo objetivo ha sido el diseño y validación de un sistema combinado de filtración en vía seca para la reducción en una sola etapa de las emisiones de gases ácidos y partículas a escala de demostración. (*Bahillo, A. et al. 2005*).

En la Tabla 3 se presentan los distintos ejercicios de validación realizados con sistemas de filtración o de retención de partículas en aerosoles de combustión, se incluyen las diferentes tecnologías de retención estudiadas, características de los aerosoles y fuente de generación en cada caso. Objetivo específico en este trabajo es presentar la

metodología desarrollada, las técnicas complementarias, para hacer posible una caracterización de las partículas en todo el rango de tamaños en que fueron generadas.

Para llevar a cabo las diversas experiencias de validación de estos sistemas de retención en planta, fue necesario realizar primero estudios de simulación numérica, para abordar algunas modificaciones y mejoras al diseño de las instalaciones de filtración, y para su acoplamiento a las plantas de combustión. Igualmente, fue necesario realizar tediosos ejercicios de caracterización de partículas en los diferentes aerosoles estudiados, haciendo una aproximación a la caracterización de partículas en tiempo real, por lo general en todo el rango de tamaños producidos en las respectivas fuentes de generación., siendo necesario para ello el uso de dotaciones duplicadas con equipos e instrumentación de diversos fundamentos y capacidad, concebidos habitualmente en su diseño como instrumentos de uso en laboratorio, generalmente con fines científicos, que complementados con otros sistemas y equipo auxiliares conformaron estaciones para toma de muestra y medida específicamente diseñadas como interfases entre los conductos de las plantas de combustión y los instrumentos de medida de los contaminantes en las emisiones.

Con la experiencia conseguida en el uso de diversas estaciones manuales, (Rodríguez-Maroto, J.J. *et al.* 1995), fue diseñada una estación automática modular, soportando su diseño con estudios de simulación numérica para evitar la deposición de partículas en las conducciones, tras ser construida e instrumentada fue evaluada en laboratorio, siendo posteriormente utilizada en la validación de proyectos para filtración combinada a alta temperatura (Gómez, F.J. *et al.*, 2003), (Bahillo, A. *et al.* 2005).

Tabla 3. Experimentos de validación de diversos sistemas de retención de partículas en aerosoles de combustión

Proceso / Sistema	Tipo de aerosol/generación	Tamaño, micra	Efecto validado
(*) Retención de Aerosoles en Lechos Acuáticos* *“scrubber” (Escala piloto)	Csl (soluble) Vaporización/condensación Ni (insoluble) Generación (dispersión)	0.3-2.0 3.0	Modelos de retención aerosoles
Precipitador electrostático/ Filtro acústico (Escala piloto)(Escala real)	Emisiones de combustión de carbón G. (Lecho Fluidizado C.) Central Diesel generación	2.0-10.0 0.14-0.74	Aglomeración acústica /retención electrostática
Filtración combinada Elementos cerámicos-Absorbentes/T.catalítico (Escala: laboratorio y piloto)	Emisiones pirólisis/incineración de biomasa(RDF) Incinerador de parrilla, EP (E.piloto)	0.05-0.15	Eliminación en vía seca de gases contaminantes y partículas
Filtro combinado: Elementos cerámicos-Absorbentes/Tratamiento catalítico (E. demostración)	Emisiones de combustión Residuos: piel curtida, carbón / orujillo Planta Lecho Fluidizado, 3.5 MW (E.demostración)	0.8-2.0	Eliminación en vía seca de gases contaminantes y partículas



().Experiencia de referencia que proporcionó las bases y la metodología para la caracterización, transporte y retención de partículas en ejercicios de validación de sistemas de filtración*

CONCLUSIONES

Se ha verificado la idoneidad de la tecnología de combustión en lecho fluidizado, a distintas escalas, para la valorización energética de residuos de biomasa y atenuación de los efectos contaminantes en las emisiones. Se ha desarrollado y validado en diferentes programas de ensayos, la metodología de toma de muestra y su adecuación específica para la caracterización de partículas en el proceso, desde la fuente de generación hasta la chimenea. Se ha abordado el proceso de validación de varios sistemas de control de materia particulada, a distintas escalas, especialmente, los sistemas combinados de filtración seca a alta temperatura. Se ha experimentado en la reducción del contenido de contaminantes en las emisiones por inyección de adsorbentes en la corriente de gases, simultáneamente con el proceso de filtración. Se ha verificado la capacidad de seguimiento, en tiempo real, de las partículas en todo su rango de tamaños.

Se analiza para cada ejercicio de validación, las dificultades técnicas encontradas en relación con las características de los respectivos aerosoles estudiados: su generación, transporte en el proceso, acondicionamiento para su caracterización. Algunos progresos incorporados al diseño de las últimas instalaciones construidas, tuvieron su origen en determinados estudios de efectos, separados, soportados generalmente por cálculos numéricos previos incorporables al diseño, logrando de esta forma evitar posibles alteraciones en las propiedades y el comportamiento de los flujos particulados en las conducciones entre las plantas de combustión y las instalaciones de filtración y estaciones de medida de contaminantes.

REFERENCIAS

IDAIE, (2008), Energía de la Biomasa, "Biomasa Industrial", ISB: 978-84-96680-31-9

Armesto L., Bahillo A., Veijonen K., Cabanillas A., Otero J., (2002). Combustion Behaviour of Rice Husk in a Bubbling Fluidised Bed, Biomass and Bioenergy, 23,(171-179).

Armesto L., Bahillo A., Cabanillas A., Veijonen, K., Otero J., Plumed A., Salvador L., (2003). Co-combustion of coal and olive oil industry residues in fluidised bed, Fuel 82, 993-1000.

Armesto, L. Bahillo, A. et al., (2005). Co-Firing of Coal and Olive Oil Bagasse, in Proc. 8th Int. Conf. on Energy for a Clean Environment, Lisbon (Portugal)

Bahillo A., Armesto L., Cabanillas A., Otero J., (2004). Thermal valorization of footwear leather wastes in bubbling fluidized bed combustion, Waste Management 24, 935-944.

Bahillo, A. and Armesto, L. (2005). Co-combustion of coal and olive cake in a BFB Demonstration Plant: Characterisation of flue gas and fly ashes, 14th European Biomass Conference and Exhibition

Dorronsoró J.L., Rodríguez-Maroto, J.J., Armesto, L., Sanz D., and Martín Espigares M., (2003) Emission Particles From Combustion of Leather Waste in BFB. Congreso: Abstracts of the European Aerosol Conference 2003. Madrid.

Gómez-Moreno, F.J., Sanz-Rivera, D., Martín-Espigares, M., Papameletiou, D., De Santi, G., Kasper, G. (2003). Characterization of Particulate Emissions During Pyrolysis and Incineration of Refuse Derived Fuel, J. Aerosol Science, 34, (1267-1275).



Sáez F, Cabañas A, González A, Murillo J.M, Martínez J.M, Rodríguez J.J, Dorronsoro J.L. (2003) Cascade Impactor Sampling to measure Polycyclic Aromatic Hydrocarbons from Biomass Combustion Processes Biosystems Engineering. 86, pp103-111.

Sanz, D. M. Martín-Espigares, J.J. Rodríguez-Maroto, J.L. Dorronsoro, L. Armesto, A. Bahillo, R. Ramos, E. Coz, E. Rojas et al. (2004). Previous Characterization of Fly Ashes from Leather Wastes Combustion in BFB (3.5 MWth), in Proc.European Aerosol Conference,Budapest.

Gallego-Juarez,J.A., et al., 1999),Application of the acoustic particle agglomeration to reduce emissions in coal combustion plants.EnvironmentalScience and Technology,33,3843-3848 .

Gómez–Moreno,F.J. et al,2003,Characterization of particulate emissions during pyrolysis and incinerationof refuse derived fuel,J.Aerosol Science 34,1267-1275.

Rodríguez-Maroto,J.J . et al. (1995). Design and testing of a sampling stationfor measurement of particulate emissions from combustion sources,J. Aerosol Science 26, S685-S686

AGRADECIMIENTOS

A todas las personas que han participado haciendo posible el desarrollo de estos proyectos