



UIMP

Encuentro

Bases científico tecnológicas para mejorar la calidad del aire en España
Santander 20-21 de Julio de 2015

Mejoras en la reducción de emisiones atmosféricas del uso de biomasa industrial y doméstica.

Juan E. Carrasco
Jefe de la Unidad de Biomasa
CEDER-CIEMAT
juan.carrasco@ciemat.es

▪



Contenido

- Utilización de la biomasa en la producción térmica.
- Factores que intervienen en una combustión limpia y eficiente de la biomasa.
- Medidas de reducción y control de las emisiones.
- Tecnologías y equipos de combustión de biomasa.
- Estado tecnológico actual y retos para la reducción de las emisiones de los equipos de biomasa.

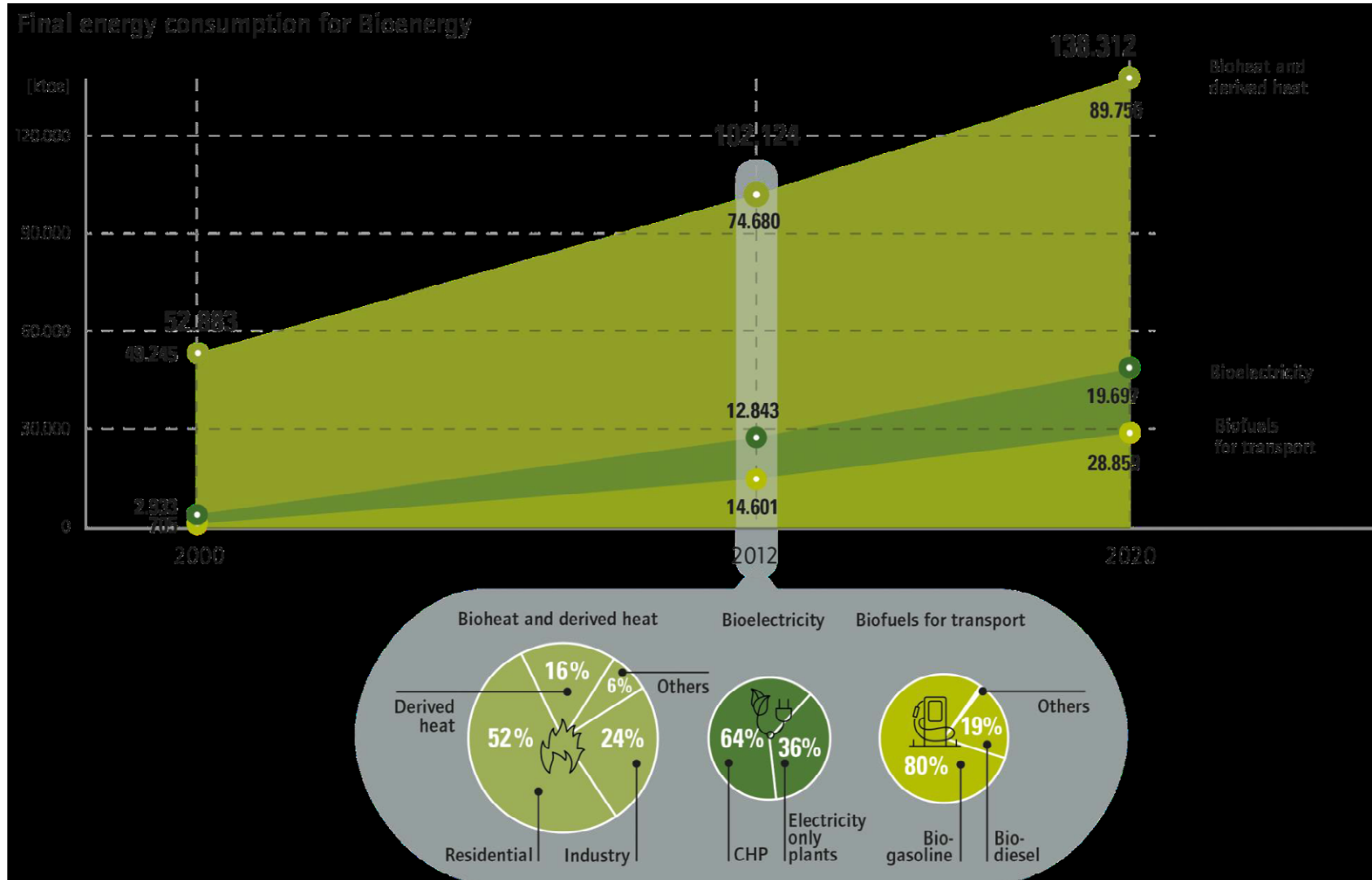
LA BIOMASA COMO RECURSO ENERGÉTICO

- La biomasa aporta más de un 70% de la energía producida con recursos renovables (78.1% en 2012) y aunque está prevista una reducción considerable de su aportación en un futuro continuará siendo la principal energía renovable en las próximas décadas.
- El consumo de biomasa ha crecido en el periodo 2000-2011 a un ritmo en torno al 3% anual, similar al crecimiento de la demanda energética en ese periodo. En la UE-28 su consumo, en torno a 4EJ en 2012, se ha casi duplicado en dicho periodo.
- La biomasa para usos térmicos supone en torno a un 85% de la energía producida con biomasa si bien tan sólo en torno a un 40% se utiliza de forma sostenible y sólo unos 10 EJ se utilizan dentro de canales comerciales.

Evolución del consumo mundial de biomasa en sus distintas aplicaciones (en EJ)

Año	E. primaria	Biomasa eléctrica	Biocarburantes	Biomasa térmica
2000	43.2	2.35	0.43	40.5
2005	47.2	3.22	0.86	43.1
2009	52.0	4.49	2.34	45.2
2010	54.2	5.37	2.64	46.2
2011	54.9	5.84	2.76	46.3
2050 (previsto por la IEA)	100-300 (energía primaria mundial en 2050: aprox 800EJ)			

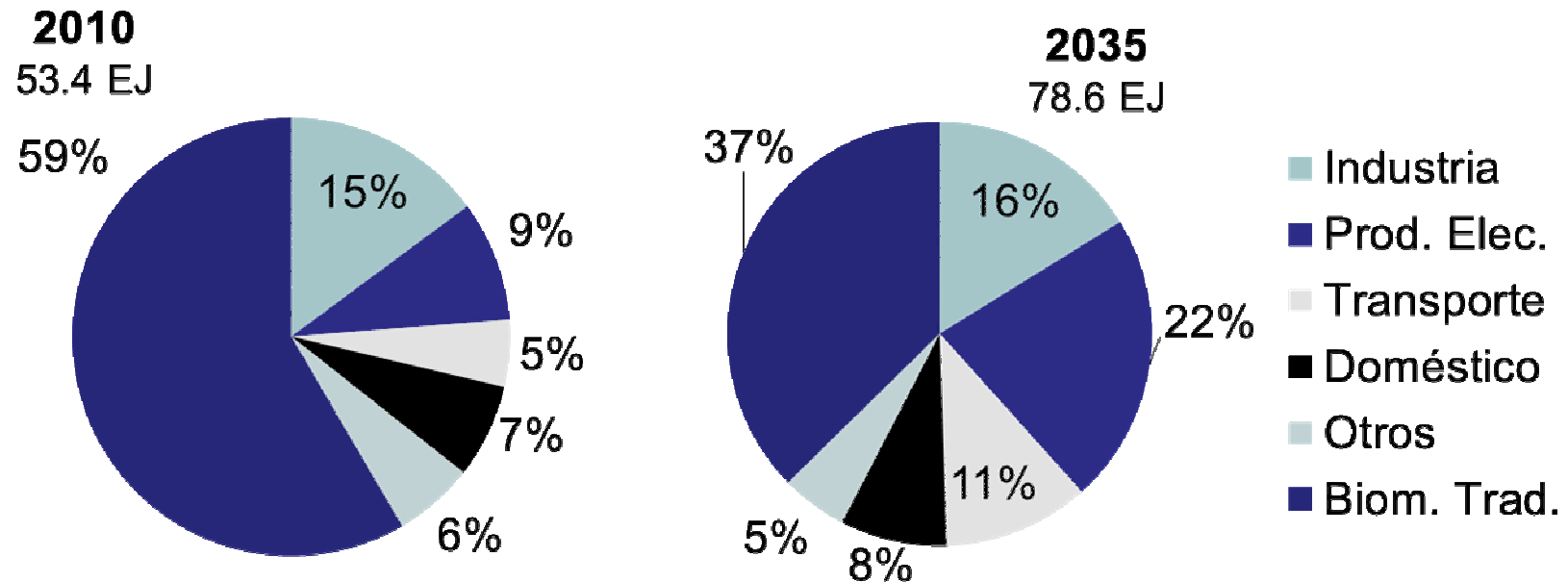
En la UE la biomasa aportó en 2012 el 13.9 % de la demanda térmica en la UE (74.7Mtep) y el 88.9% de la producida con recursos renovables



Fuente: European Bioenergy Outlook, 2014. AEBIOM.

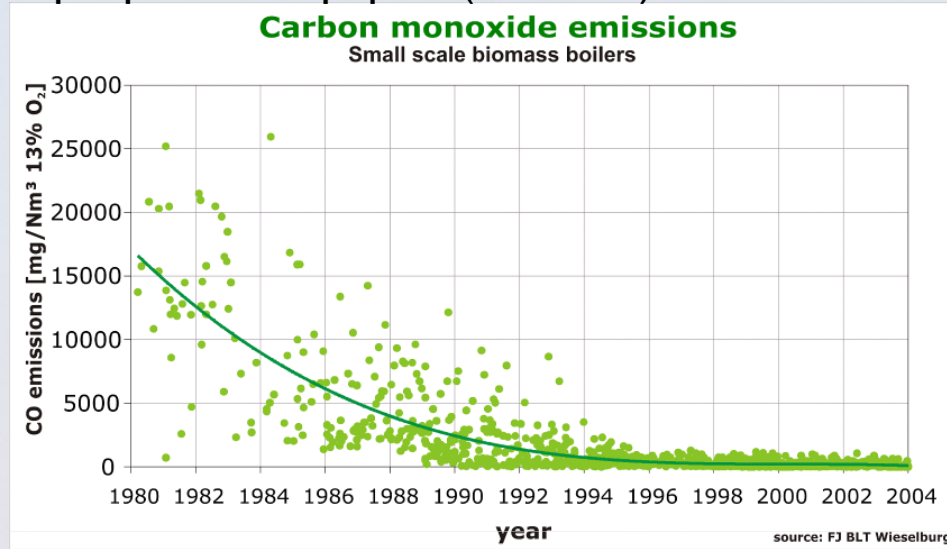
El incremento previsto de utilización de la biomasa sólida descansa en el desarrollo de tecnologías y alternativas sostenibles de producción, suministro y conversión energética

Producción de energía con biomasa por aplicaciones en 2010 y previsiones para 2035)



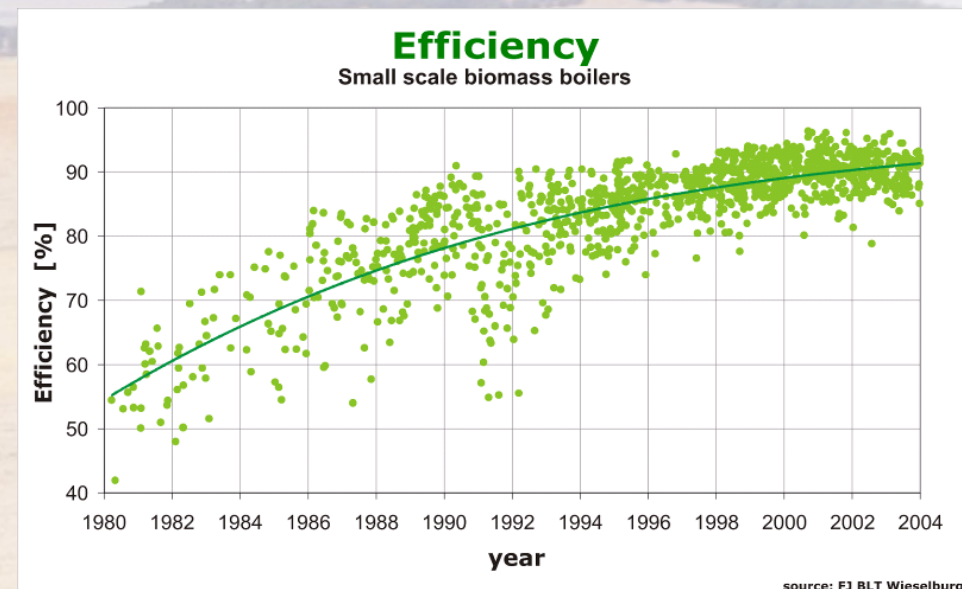
Fuente: IEA Road Map (2012)

Evolución de las emisiones y eficiencia de los pequeños equipos (<15kWt) de combustión de biomasa

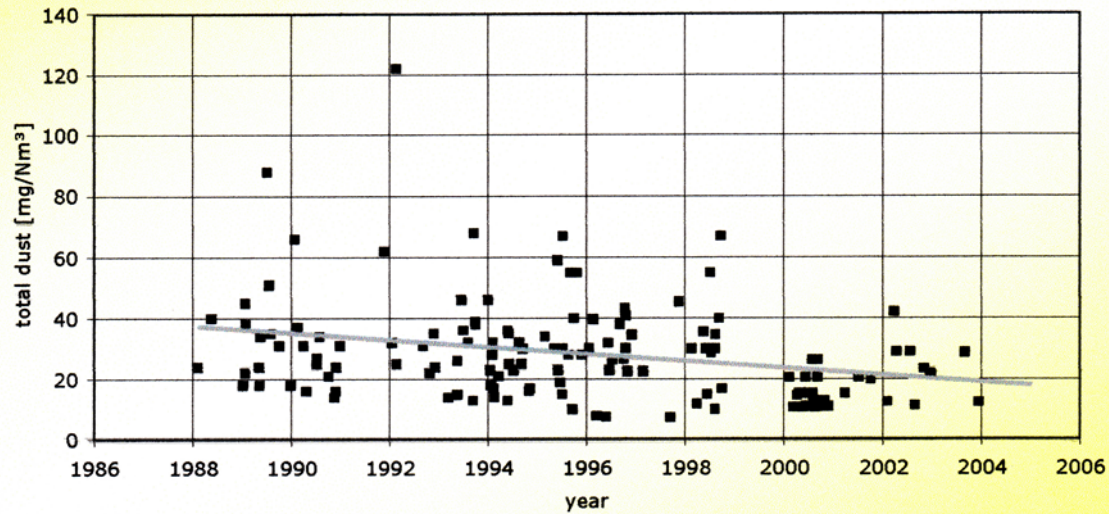


Full load and part load efficiency of small wood boilers (log wood, wood chips and wood pellets) .

CO emissions of small wood boilers (log wood, wood chips and wood pellets) .

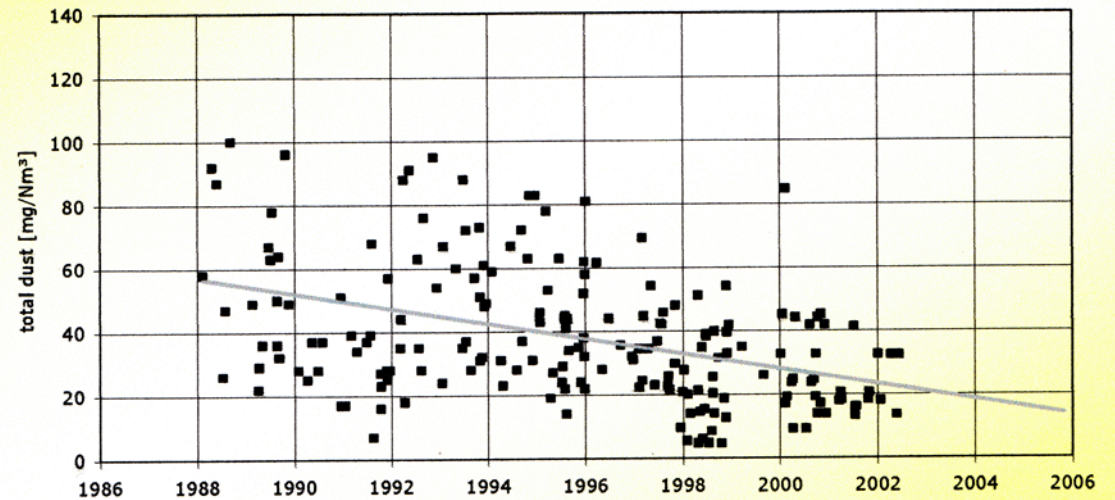


Total dust emissions of log wood boilers – test stand measurements (type tests) between 1988 and 2005



Explanations: concentrations in mg/Nm³ related to dry flue gas and 13% O₂
Sources: [Wörgetter et al., 2005]

Total dust emissions of wood chips boilers – test stand measurements (type tests) between 1988 and 2005



Explanations: concentrations in mg/Nm³ related to dry flue gas and 13% O₂
Sources: [Wörgetter et al., 2005]



NOMBRE PROGRAMA / Nombre profesor

Antiguos y nuevos equipos de combustión de biomasa



Chimenea abierta (fondo) y cerrada (insert)



Caldera con depósito para pélets

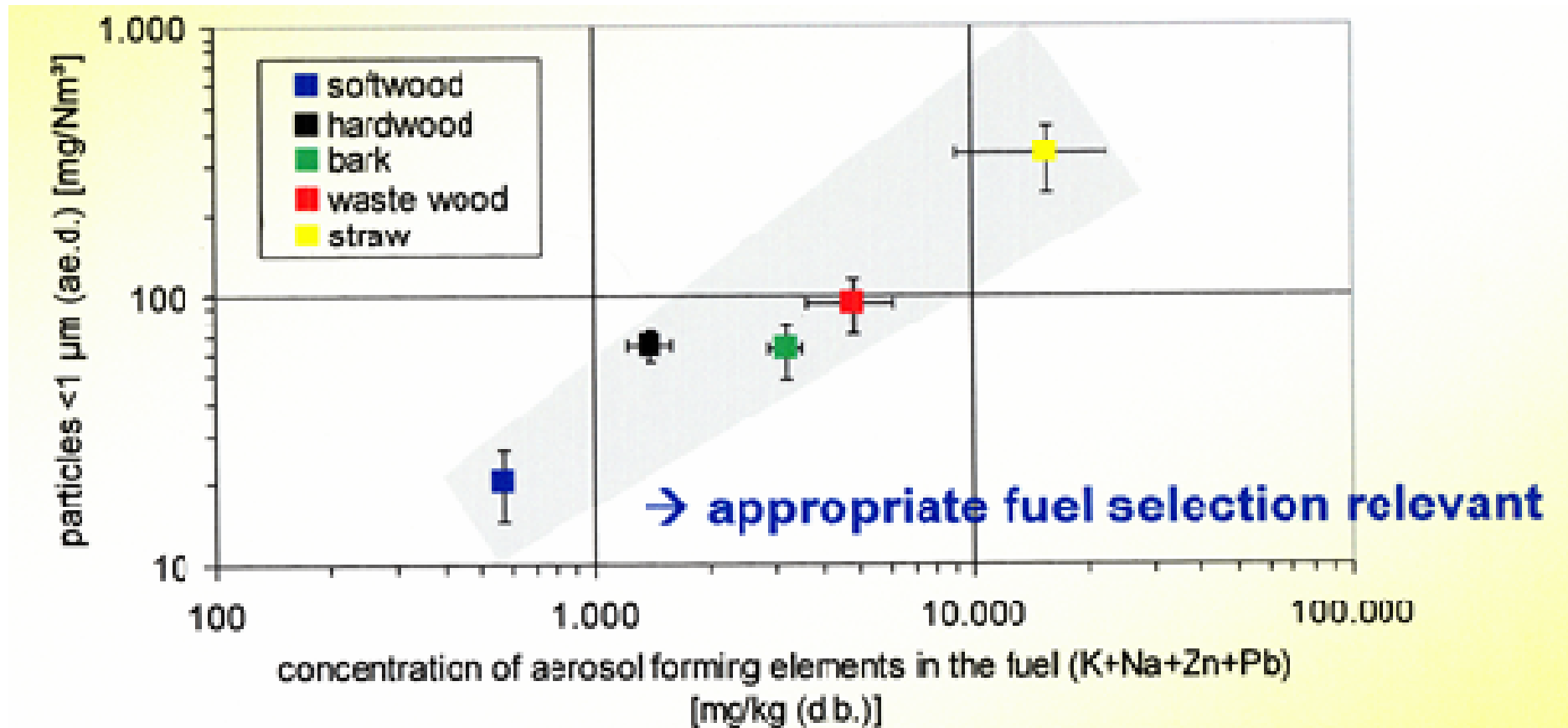


Estufa semiautomática de pélets



Factores que intervienen en la combustión eficiente y de bajas emisiones de la biomasa

1. Utilización de biocombustibles de calidad definida y controlada, según normas.
2. Utilización de equipos de tecnología certificada según especificaciones normativas, o al menos garantizada por el fabricante para los biocombustibles empleados.
3. Control eficaz de las condiciones operativas y del mantenimiento de los equipos de combustión.



- Emissions at boiler outlet
- Particle emissions related to dry flue gas and 13 vol% O₂

Fuente: Obernberger (2008)



Normativa analítica de calidad aplicable a biocombustibles sólidos: normas EN, UNE, ISO

EN 14961 (Partes 1 a 7) (2010). De ella deriva la UNE-EN-14961 (Partes 1 a 5) (2012)

Contempla dentro de su ámbito biomásas leñosas (origen agrícola y forestal e industrial), herbáceas y sus mezclas, así como madera tratada, pero sin compuestos orgánicos halogenados ni metales pesados añadidos.

Define las especificaciones de pélets y briquetas (materiales leñosos y herbáceos), astillas y leños para uso no industrial (sectores doméstico y terciario).

ISO 17225 (Parte 1 a 7) (en elaboración). Sustituye a la anterior

Contempla las mismas biomásas y biocombustibles que la anterior, pero, además, de usos no industriales añade cuadros de especificaciones para biocombustibles (pélets, briquetas, astillas) de uso industrial.

UNE 164-2. Determina clases y características de diferentes cáscaras de frutos secos

UNE 164-3. Determina clases y características del hueso de aceituna

Los sellos de calidad incluyen un sistema de aseguramiento de la calidad de los biocombustibles sólidos que incluyen.



Sello de calidad EN+ de la UE para pélets



SELLO DE CALIDAD

Biocombustibles sólidos para uso doméstico

confianza para el consumidor

productores y distribuidores de biocombustibles de Francia · España · Portugal



En España:
pablorodero@avebiom.org
aliciamira@avebiom.org
T: 983 113 760

luis.esteban@ciemat.es
T: 975 281013 (ext 315)

biomasud.eu



Sello de calidad Biomassud para biocombustibles sólidos de uso térmico de la región SUDOE de la UE



MINISTERIO
DE ECONOMÍA
Y COMPETITIVIDAD

Ciemat
Centro de Investigaciones
Energéticas, Medioambientales
y Tecnológicas

Junto con los métodos analíticos y las normas de calidad de los biocombustibles se han desarrollado los métodos europeos de certificación de los equipos de combustión de biomasa

Algunos métodos de certificación de equipos de combustión de biomasa:

- **EN303-5** (última versión de 2012). Para calderas de biomasa.
- **EN 13240**. Para equipos de calefacción de interior (estufas).



Medidas para la reducción de las emisiones de CO y compuestos orgánicos asociados.

-Ajustar de forma precisa el aire a valor lambda

- Empleo de acumuladores (equipos de astillas y leños)

-Regla 3T:

1. Tiempo de residencia suficiente (volumen y diseño adecuado de la cámara de combustión)

2. Alta temperatura en la cámara de combustión (empleo de refractario)

3. Alta turbulencia en cámara de combustión (cuando la tendencia a la sinterización de la biomasa utilizada es pequeña)



Medidas para la reducción de las emisiones de partículas

Medidas primarias.

- Las mismas que para la reducción de CO

Medidas secundarias: empleo de sistemas de limpieza de gases (instalaciones medianas y grandes)

Sistema de limpieza	Tamaño mínimo de partículas (milimicras)	Máxima Eficiencia (%)
Ciclones	>50	<50
Multiciclones	>5	<80
Precipitadores electrostáticos	<1	>99
Filtros de mangas	<1	>99
Scrubbers húmedos spray	>10	<80
Scrubbers venturi	>0.5	<99
Condensación de gases		

Sistemas comerciales de limpieza de gases para pequeños equipos de biomasa

Sistemas de limpieza de partículas	^[1] Capacidad kW	Eficiencia %	Vida media años	Salida mercado	Sistemas vendidos (2010)	Precio \$ US
Scrubber/Condensacion						
Hydrocube	15 - 1000	≤ 70	15 - 20	2007	250	5000
Power Condenser	≤ 25	75 ¹⁾	20	2008	20	1700
	≤ 50					2500
Carbonizer	20 - 500	≤ 86	> 20	2003	500	1450²⁾
						2750³⁾
Profitherm	15 - 150	50	> 20	-	-	2300⁴⁾
Precipitador electrostático						
Zumik®on	≤ 35	60 - 90	15 - 20	2006	> 140	1100
Trion	≤ 35	90	15-20	2005	300 - 400	1000 - 2000⁵⁾
	≤ 50					
	≤ 3500					
OekoTube	≤ 70	90	15	2008	0	1370
Airbox	≤ 15	> 60	-	2008	10	1400
Filtros						
Keramik-filter	> 200	99	15 - 20	-	-	-
Koeb Winkel	200 - 600	< 10 mg/m ³	-	-	-	-
1) 50 sin scrubber 2) 20 kW 3) 100 kW				4) 20 kW 5) Depende del modelo		



Medidas para la reducción de NOx

Medidas primarias:

- Recirculación gases de combustión. Poco eficaz pues actúa sobre NOx térmico. Reducción 10-20%
- Separación clara de zona de aire primario y secundario con creación de zona intermedia de reducción en la que se produce la reducción del NO). Reducción 30-60%
- Separación combustión biomasa en dos zonas bien diferenciadas (creación de zona de reducción en la que se produce la reducción del NO). Reducción 50-70%.

Medidas secundarias:

- Empleo de amoníaco o urea que se inyectan en los gases calientes de salida. Reducción 60-70%. Se emite urea o amoníaco debido a que hay que emplearlos en exceso.
- Empleo de catalizadores metálicos para producir y acelerar la reducción del NO (Pt, Va, Ti..). Reducción 80-95%.

Esquema de estufa de leña con pregasificación

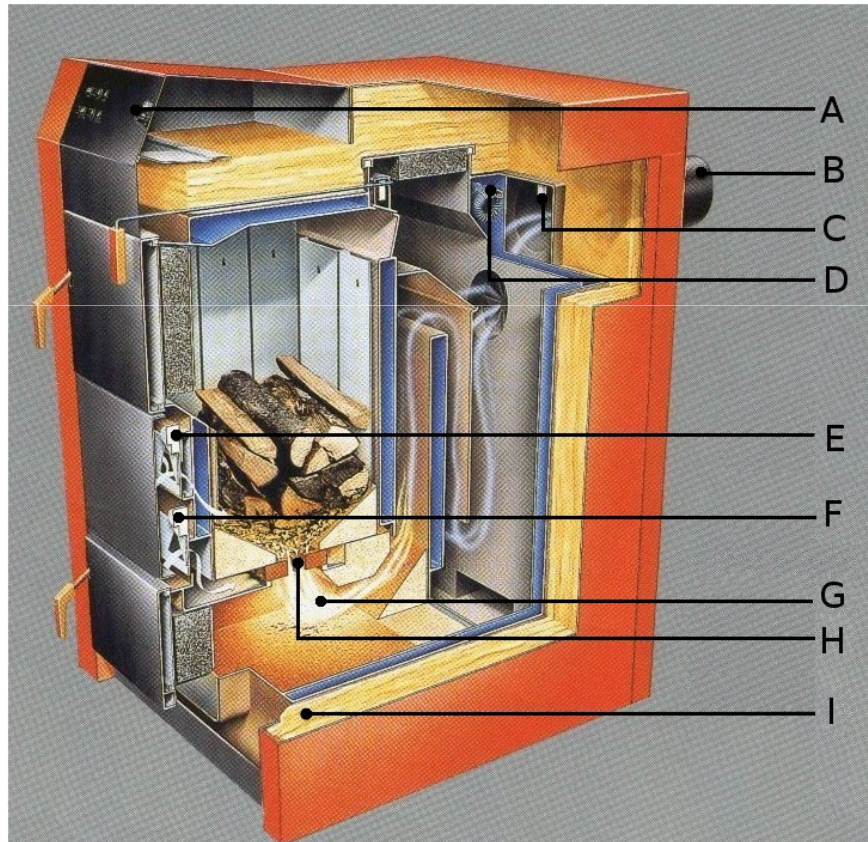
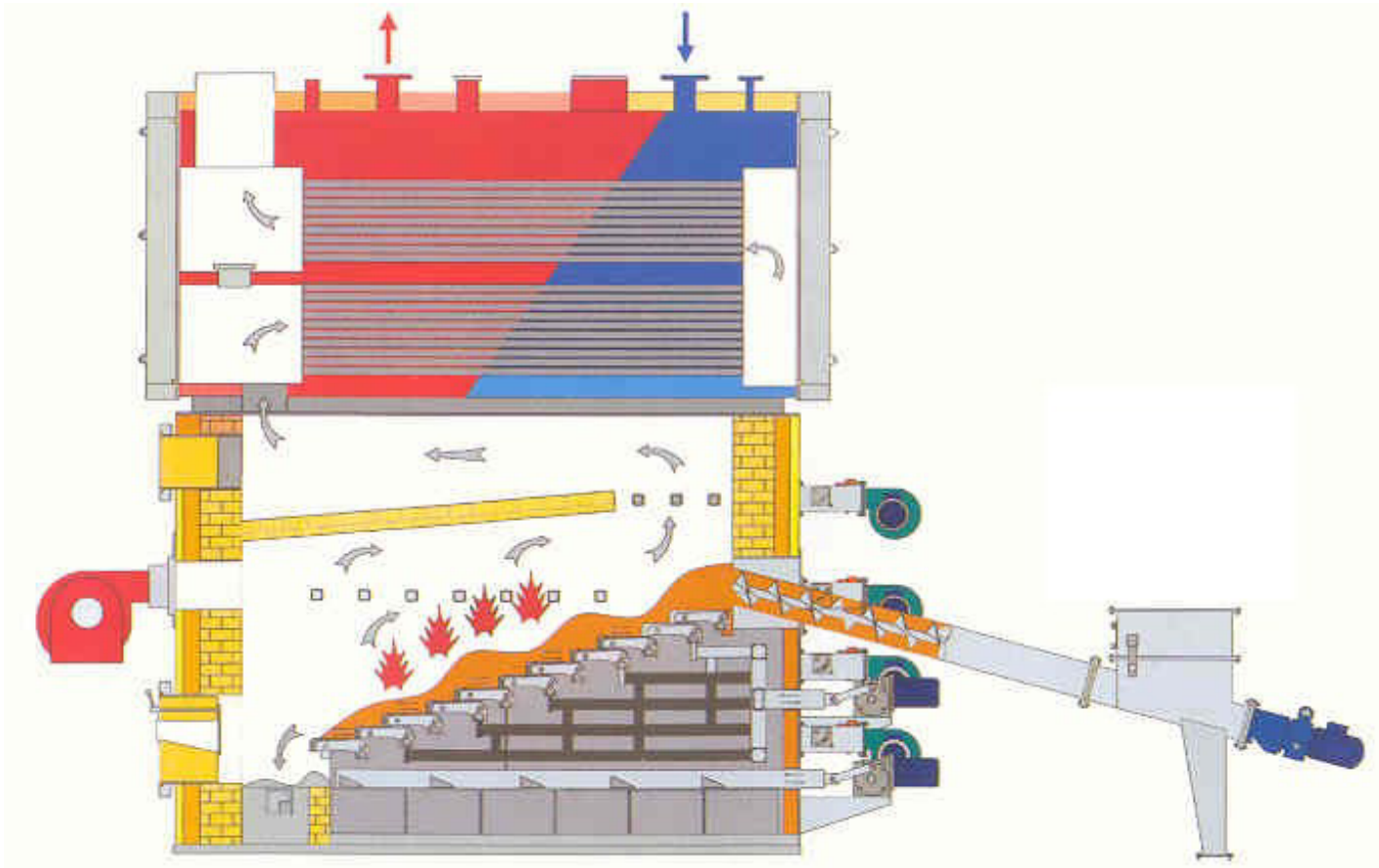


Figure: Cutaway of two staged air gasifying wood stove: A stove digital regulation – B collector of exhaust gasses – C lambda sensor – D thermal safety sensor – E primary air motorized register – F secondary air motorized register – G secondary combustion – H gas expulsion from the primary room – I – thermal isolation

Tecnologías de combustión de biomasa mas empleadas actualmente en instalaciones de centrales de distrito e instalaciones industriales

Tecnología	Alimentación	Biomasa leñosa	Cap. Nominal (GJ/h)	Cont. humedad biomasa (% b.h.)
Parrilla alimentación inferior	Mecánica	Pélets y astillas (ceniza <1%)	0,035-9	5-40
Parrillas móviles (varios tipos)	Mecánica	Flexible (ceniza hasta 50%)	0,51-170	5-60
BFB	Mecánica	Flexible Tamaño de partícula < 5cm	20-120	5-60

TECNOLOGÍAS DE CALDERA EMPLEADAS CON BIOMASA: CALDERAS DE PARRILLA MÓVIL

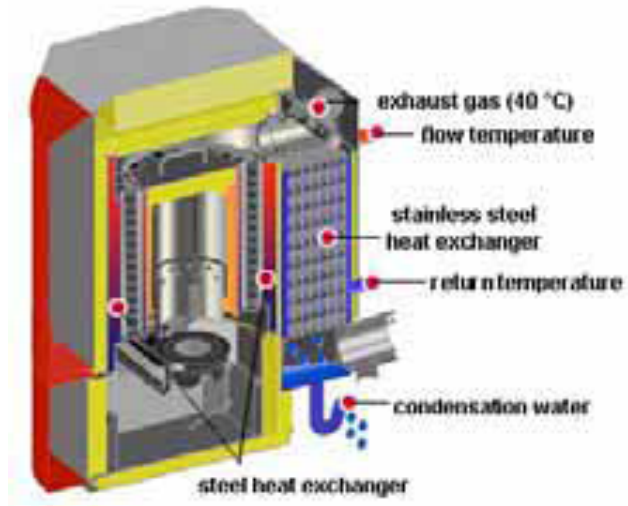


Caldera de biomasa con parrilla
móvil y alimentación lateral

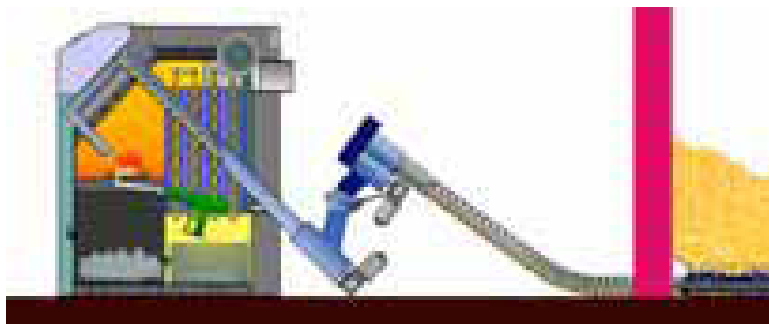
Esquemas de diferentes tecnologías modernas de pequeños equipos de combustión de biomasa (Fuente: Birgit Musil-Schläffer et al (2010))



Caldera de leños de tiro inducido con quemador inferior



Caldera de pélets de condensación con quemador inferior



Caldera de pélets con quemador de alimentación superior

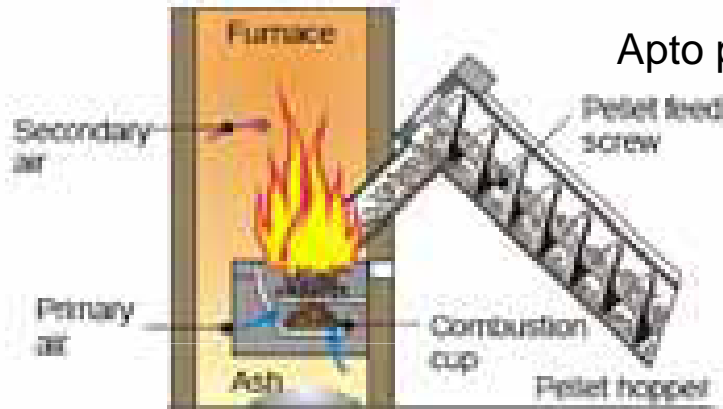


Caldera para pélets y astillas con quemador de alimentación inferior

SISTEMAS DE COMBUSTIÓN DE BIOMASA: QUEMADORES

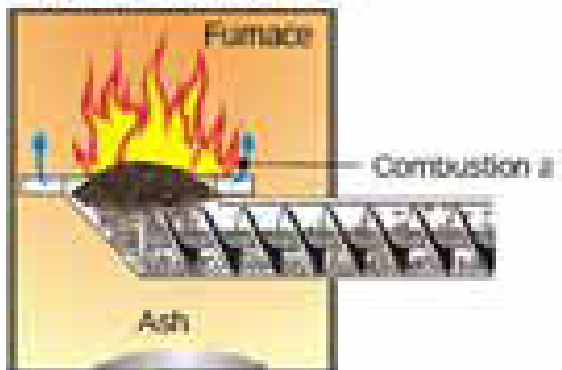
Tipos de quemadores

TOP FEED BURNER WITH DROPPING CUP



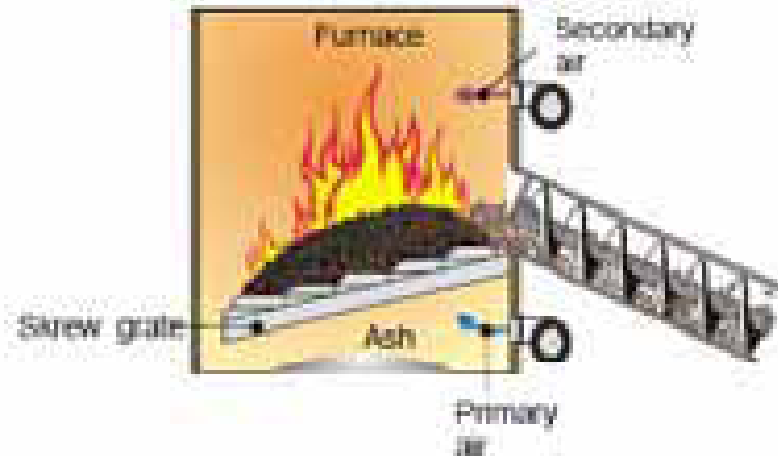
Apto para pélets exclusivamente

UNDERFEED BURNER



Apto para pélets y astillas (bajo contenido en cenizas)

SCREW GRATE WITH HORIZONTAL FEED



Apto para pélets, astillas y, con parrillas específicas, para biomasa con alto contenido de humedad y de cenizas

Tipo	MJ/h	Principio combustión	Características
Equipos de calefacción de habitación			
Chimeneas (inserts)	≤ 15	Combustión transversal o superior	Inapropiado como sistema permanente de calefacción
Estufas de pélets	10-35	Quemador con alimentación superior	Operación automática, con o sin producción de agua caliente
Estufas de leña	10-40	Combustión transversal o superior.	No producción de agua caliente A veces incorporan una parrilla removible de hierro fundido y un cenicero. Generalmente suministro de aire primario y secundario por separado, con control manual o automático.
Chimeneas con refractario (tiled stoves)	30-60	Combustión transversal o superior Combustión sin parrilla.	Con o sin agua caliente asociada Alimentación manual (leños, briquetas) o automática (pélets) Sistemas combinados leña/pélets. Trabajan mediante cargas que calientan el refractario y éste libera el calor lentamente. Evacuación manual de cenizas.



Tipo	MJ/h	Principio combustión	Características
Calderas			
Calderas de pélets	30-1100	Quemador alimentación superior, horizontal o inferior	Completamente automatizadas. Sistema de control (alimentación y control combustión) por microprocesador. Alimentación automática con protección antifuego y sistema automático eliminación ceniza. Disposición manual de ceniza 1-2 veces al año. Separación de zonas de combustión y alimentación aire primario y secundario (“air staging”). Disponibles equipos de condensación.
Calderas de leños	50-250	Combustión superior (over-fire) o inferior (downdraft)	Alimentación manual. Tiro natural o forzado. Los de combustión superior presentan altas emisiones de hidrocarburos, especialmente a cargas parciales. Tienden a desaparecer del mercado Los de tipo downdraft suelen utilizar “air staging”
Calderas de astillas	50-1800	Quemador horizontal/quemador a floración.	Completamente automatizadas. Sistema de control (alimentación y control combustión) por microprocesador. Alimentación automática con protección antifuego y sistema automático eliminación ceniza. “Air staging”.

EFICIENCIA Y EMISIONES DE PEQUEÑAS CALDERAS DE ÚLTIMA GENERACIÓN (2010). Fuente: Bioenergy2020+

Tecnología	Biomasa	Capacidad (kWt)	Datos a capacidad nominal			
			η (%)	CO (mg/m ³ (12%O ₂))	PM (mg/m ³ (12%O ₂))	NO _x (mg/m ³ (12%O ₂))
Caldera	Pélets	<16	94	43	17	140
		16-30	93	39	21	136
		30-50	94	38	19	132
		50-100	93	24	29	154
		>100	93	17	25	133
	Leña	<25	92	133	29	138
		25-35	92	168	32	126
		35-50	92	13	47	116
		>50	92	73	25	119
	Astillas	<60	76	60	38	157
		30-60	79	39	24	134
		60-100	78	30	32	138
		100-200	80	22	36	125
		>200	78	34	81	131
	EN-303-5 (2012). CI 5 Ali. automat.	Biomasa	<=1800	89 (>360MJ/h)	409	33

EFICIENCIA Y EMISIONES DE ESTUFAS DE ÚLTIMA GENERACIÓN (2010). Fuente: Bioenergy2020+

Equipo	Biocombustible	Capacidad (kWt)	Datos a capacidad nominal			
			η (%)	CO (mg/m ³ (12%O ₂))	PM (mg/m ³ (12%O ₂))	NO _x (mg/m ³ (12%O ₂))
Estufa caldera	Pélets	7-15	85	117	33	143
Estufa	pélets	<= 8	88	164	31	110
	leña	<= 8	87	180	41	126
EN13240						
EN14785 (pélets)						

Las nuevas Directivas para plantas de pequeño y mediano tamaño de biomasa y el etiquetado de eficiencia energética de los equipos de combustión aportan nuevos retos para el desarrollo de la combustión limpia y eficiente de la biomasa

- Exigen medidas de eficiencia y emisiones mas ajustadas a la operación real de los equipos
- Exigen mas reducciones en las emisiones, sobre todo de partículas
- Determinan nuevos retos en el desarrollo de los equipos para lograr la mas alta certificación energética

Objetivos

En condiciones reales de operación:

- 100% Eficiencia
- 0% de gasto de energía fósil
- Emisiones cercanas a 0
- Certificado energético: Triple A++
- Incremento de la fiabilidad
- Inclusión de nuevas biomasa.
- Precios competitivos

El proyecto BioMaxEff (2011-2014)

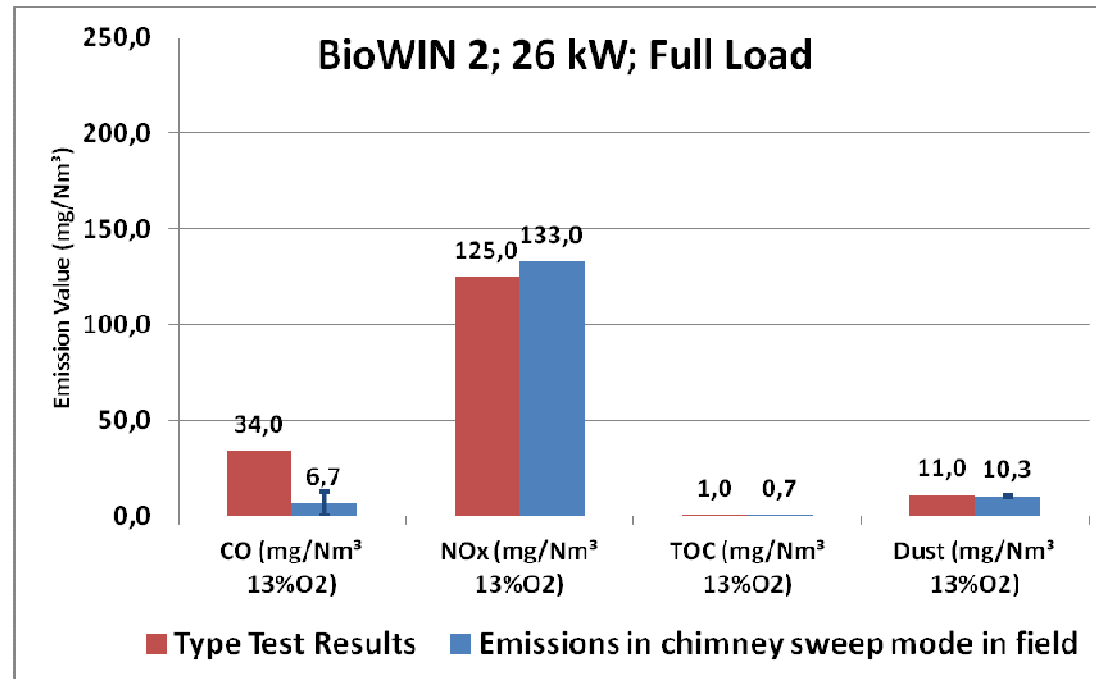
Objetivo: desarrollar una caldera de pélets fiable, de alta eficiencia y muy reducidos niveles de partículas en condiciones reales de operación



Fuente: Windhager

Se combinó un extenso trabajo de simulación CFD con campañas de ensayos en condiciones reales y simuladas de operación en condiciones climáticas diferentes . El resultado ha sido la caldera Biowin 2 comercializada desde el inicio de 2015

Emissiones de la caldera Biowin 2



Monitorización en condiciones reales de la caldera Biowin 2

Emission measurements during **full load** reference test of BioWIN2 (chimney sweep mode) (referred to 13% O₂)

Test no.	CO [mg/m ³]	NO _x [mg/m ³]	OGC [mg/m ³]	TSP [mg/m ³]	O ₂ [v%]	CO ₂ [v%]
AT5-1	13	-	< 1	10	8,6	11,4
AT5-2	< 1	133	-	11	7,9	12,4



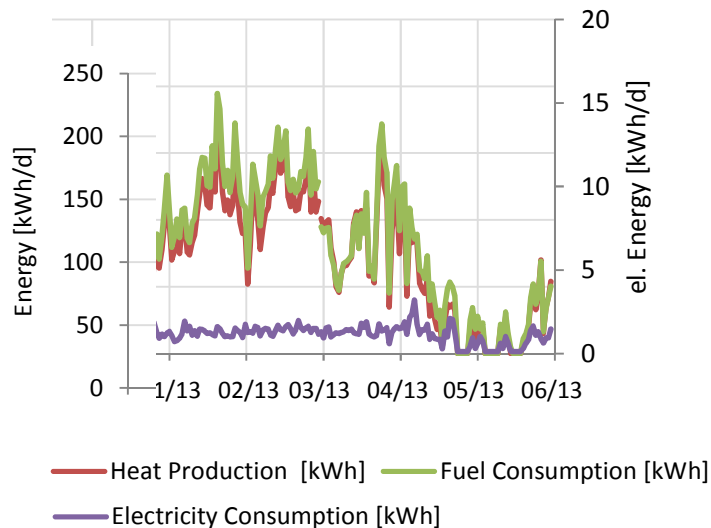
Monitoring site in Berndorf bei Salzburg

Emissions during **full day** of operation of BioWIN2

Test no.	CO [mg/m ³]	NO _x [mg/m ³]	OGC [mg/m ³]	TSP [mg/m ³]
AT5-1	276	202	< 1	15
AT5-2	597	112	-	14

Monthly energy balance for the heating season 2012/13 for AT5 Berndorf

Date	Heat supplied [kWh]	Fuel demand [kWh]	Efficiency (fuel base) [%]	Electricity demand [kWh]	Efficiency (overall) [%]
12/2012	971	1072	90,6	14	89,4
01/2013	3263	3792	86,0	39	85,2
02/2013	3184	3591	88,7	39	87,7
03/2013	2725	2872	94,9	41	93,6
04/2013	1237	1515	81,6	36	79,7
05/2013	556	607	91,7	19	88,9
Total	11936	13449	88,8	188	87,5



Daily energy balance of BioWIN2 boiler at site Berndorf



MINISTERIO
DE ECONOMÍA
Y COMPETITIVIDAD

Ciemat
Centro de Investigaciones
Energéticas, Medioambientales
y Tecnológicas

Desarrollo de una nueva tecnología disruptiva para los pequeños equipos de biomasa

El proyecto Flexifuel

Objetivo: desarrollo de una caldera de pélets apta para biomasas no leñosas, con la máxima calificación de eficiencia energética (A++) y emisiones de partículas por debajo de 10mg/Nm³ al 10% de O₂.

El objetivo final es el desarrollo de un equipo competitivo con el gas natural.



Conclusiones

- Las tecnologías de combustión de biomasa y en particular las de los pequeños equipos han mejorado en las dos últimas décadas de forma dramática en cuanto a incremento de eficiencia y reducción de emisiones de CO, COT y partículas.
- El desarrollo de los equipos de combustión debe ir aparejado al de la estandarización de los biocombustibles.
- Existen aún importantes posibilidades de mejora en los sistemas de control de proceso y en las condiciones de operación a carga parcial a fin de disminuir las emisiones de los equipos.
- Son posibles importantes reducciones en las emisiones de NOx y PM1
 - Estrategias de air staging
 - Adaptación de las tecnologías a los biocombustibles
- Los equipos de condensación ofrecen un potencial importante para lograr eficiencias por encima del 100% (en relación al poder calorífico neto de la biomasa) en comparación al entorno del 90% que ofrecen los de tecnología convencionales, a la vez que reducir los niveles de emisiones de partículas.
- Para biomásas no leñosas no existen aún equipos con unos niveles de emisiones satisfactorios.
- Existen posibilidades de desarrollo de nuevos procesos disruptivos para la mejora de la eficiencia y reducción de las emisiones de los pequeños equipos de combustión de biomasa.
- La simulación mediante CFD ofrece un alto potencial como herramienta para la mejora del diseño de los equipos con miras a una reducción de emisiones.
- Es preciso realizar estudios de impacto sobre la calidad del aire de los equipos más avanzados



! MUCHAS GRACIAS POR SU ATENCIÓN!