

CALIDAD DE BIOCOMBUSTIBLES Y EQUIPOS: CONDICIONES NECESARIAS PARA MANTENER EL AIRE LIMPIO

Dr. Luis Saúl Esteban Pascual

CEDER-CIEMAT.

luis.esteban@ciemat.es

XV JORNADA TÉCNICA DE BIOMASA EN CUELLAR

Biomasa y el Plan Nacional de Calidad del Aire

Cuéllar 9 de mayo de 2014

Dos conceptos:

Biomasa: material de origen biológico excluido el contenido en formaciones geológicas y transformado en fósil

Biocombustible sólido: combustible sólido obtenido de forma directa o indirecta de la biomasa

Fuentes:

- UBET. Unified Bioenergy Terminology. 2004. FAO Forestry Department. Wood Energy Programme
- CEN. European Committee for Standarization.2003, Solid Biofuels-Terminology, definitions and descriptions. EN 14588.

Obtención de BBSS:

MATERIA PRIMA

Residuos agrícolas
Residuos forestales
Residuos industriales
Cultivos energéticos

BIOMASA

Físicas:

- **Secado**
- **Reducción granulométrica**
- **Densificación**

TRANSFORMACIONES

Termoquímicas:

- **Pirólisis**

PRODUCTO REFINADO

Hueso

Cáscaras

Astillas

Pelets

Briquetas

Carbón vegetal o torrefactados



BIOCOMBUSTIBLES SÓLIDOS REFINADOS

Pélets de madera



BIOCOMBUSTIBLES SÓLIDOS REFINADOS

Astillas de madera



BIOCOMBUSTIBLES SÓLIDOS REFINADOS

Hueso de aceituna



BIOCOMBUSTIBLES SÓLIDOS REFINADOS

Cáscara de almendra



BIOCOMBUSTIBLES SÓLIDOS REFINADOS

Cáscara de piña



BIOCOMBUSTIBLES SÓLIDOS REFINADOS

Cáscara de piñón



BIOCOMBUSTIBLES SÓLIDOS REFINADOS

Cáscara de avellana



POTENCIAL Y PROCEDENCIA Y CONSUMO DE BIOCOMBUSTIBLES SÓLIDOS EN EL SECTOR DOMÉSTICO EN ESPAÑA



Biocombustible sólido	Potencial (capacidad instalada) 2012 (t/año)	Producido 2012 (t/año)	Consumo doméstico 2012 (t/año)
Pélets de madera	900.000	250,000	75.000
Astillas (húmedas)	500.000	200.000	20.000
Hueso de aceituna	500.000	300.000	150.000
Cáscaras de frutos secos	230.000	170.000	30.000



FUENTE: BIOMASUD, CIEMAT , AVEBIOM



¿POR QUÉ ESTABLECER REQUISITOS DE CALIDAD Y SOSTENIBILIDAD?

- Para mantener la calidad del aire en condiciones aceptables fijadas por la legislación¹
- Para preservar el medio ambiente mediante la óptima utilización de los recursos naturales, la eficiencia energética y la reducción de Gases de Efecto Invernadero GEI
- Para poder establecer un funcionamiento **normalizado**² de los equipos de combustión

1 Directiva 2001/81/CE, sobre techos nacionales de emisión.

Ley 34/2007, 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera

Directiva 2010/75/UE, sobre las emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación)

Real Decreto 102/2011, relativo a la mejora de la calidad del aire

Plan Aire 2013-2016

2 EN 303-5 “Calderas especiales para combustibles sólidos de carga manual y automática y potencia útil nominal hasta 500 kW”

EN 15270. “Quemadores de pélets para calderas de calefacción pequeñas.”

EN 14785 “Aparatos de calefacción doméstica alimentados con pélets de madera”

Biocombustibles sólidos: proceso de creación de normas 2000 - 2013

ISO

International standards
(≈60 under preparation)
European standards will be superseded by ISO standards
other countries make their own national decisions

EN

European standards EN (36 published)
National standards withdrawn

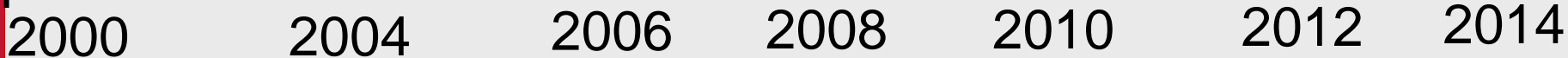
1 vote each country
2 years preparation time
3 years in force
Prepared 2009-2015

CEN/TS

weighed votes
3 years in force
Prepared during 2000-2006

Technical specifications
(27 published)
National standards in force

weighed votes
5 years in force
Prepared 2007-2012



PELETS PARA USO NO INDUSTRIAL

norma EN-14961-2. en 2014 se anula y entra en vigor la ISO 17225-2

PROPIEDAD	Unidad	ENplus-A1	ENplus-A2	EN-B	Norma analítica
Diámetro (D)	mm	6 (± 1) or 8 (± 1)			EN 16127
Longitud (L)	mm	3.15 ≤ L ≤ 40 Menos de 1% mayor de 40 mm Todos < 45 mm			EN 16127 prEN 16127
Densidad a granel (BD)	kg/m ³	≥ 600 no se da límite superior			EN 15103
PCI (Q)	MJ/kg (b.h.)	16.5 ≤ Q ≤ 19 (sin límite superior)	16.3 (16.5) ≤ Q ≤ 19 (sin límite superior)	16.0 (16.5) ≤ Q ≤ 19 (sin límite superior)	EN 14918
Humedad (M)	% (b.h.)	≤ 10			EN 14774-1
Finos (F)	% (b.h.)	≤ 1			EN 15210-1
Durabilidad (DU)	% (b.h.)	≥ 97.5		≥ 96.5	EN 15210-1
Ceniza (A)	% (b.s.)	≤ 0.7	≤ 1.5 (≤ 1.2)	≤ 3.0 (≤ 2.0)	EN 14775
Fusibilidad ceniza	(DT)°C	≥ 1200	≥ 1100		EN 15370-1
Cloro Cl	% (b.s.)	≤ 0.2	≤ 0.3 (≤ 0.2)	≤ 0.03	EN 15289
Azufre, S	% (b.s.)	≤ 0.05 (≤ 0.04)	≤ 0.05		EN 15289
Nitrogeno, N	% (b.s.)	≤ 0.3	≤ 0.5	≤ 1.0	EN 15104
Cobre, Cu	mg/kg. (b.s.)	≤ 10			EN 15297
Cromo, Cr	mg/kg. (b.s.)	≤ 10			EN 15297
Arsenico, As	mg/kg. (b.s.)	≤ 1			EN 15297
Cadmio, Cd	mg/kg. (b.s.)	≤ 0.5			EN 15297
Mercurio, Hg	mg/kg. (b.s.)	≤ 0.1			EN 15297
Plomo, Pb	mg/kg. (b.s.)	≤ 10			EN 15297
Niquel, Ni	mg/kg. (b.s.)	≤ 10			EN 15297
Zinc, Zn	mg/kg. (b.s.)	≤ 100			EN 15297

PROCESO DE ESTABLECIMIENTO DE LÍMITES DE CALIDAD EN BIOMASUD



- ✓ Muestreo de biocombustibles en el mercado
- ✓ Definición de parámetros de calidad
- ✓ Resultados analíticos. Análisis estadístico de valores
- ✓ Consulta con los usuarios (fabricantes de calderas)
- ✓ Pruebas de combustión
- ✓ Comparación con valores límite establecidos en Normas EN para pélets y astillas
- ✓ Definición de límites en hueso y cáscaras para el establecimiento piloto del sello BIOMASUD
- **Próximo paso: transferencia de resultados al CTN-164 (Biocombustibles sólidos) para desarrollo de norma UNE sobre especificaciones y clases de hueso y cáscaras.**



BIOMASUD

MUESTRAS TOMADAS EN EL MERCADO SUDOE en 2011 y 2012

	PAÍS			
	Portugal	Francia	España	TOTAL
Pélets de Madera	9	3	20	32
Astillas de madera	4	10	3	17
Hueso de aceituna	2	0	10	12
Cáscara de almendra	1	0	11	12
Cáscara de piñón	3	0	6	9
Cáscara de piña	3	0	5	8
Cáscara de avellana	0	1	1	2
Mezcla cascara piña/piñón	0	0	4	4
TOTAL	22	14	60	96

Fuente: CEDER. Proyecto BIOMASUD

BIOMASUD

ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS : Valores medios obtenidos

		BIOCOMBUSTIBLE							
		Pélets de madera	Astillas de madera	Hueso de aceituna	Cáscara de almendra	Cáscara de piña	Cáscara de piñón	Cáscara de avellana	Mezcla cáscaras piña/piñón
Muestras	(nº)	32	17	10	12	8	9	2	4
M (humedad)	(% b.h.)	5,2	20,1	10,7	8,9	10,4	10,5	9,3	19,8
Contenido en grasa	(% b.s.)	nd	nd	0,52	0,52	nd	nd	nd	nd
A (Ceniza)	(% b.s.)	0,8	0,8	0,7	1,1	0,9	1,3	1,2	1,5
N (Nitrógeno)	(% b.s.)	0,3	0,1	0,2	0,4	0,2	0,3	0,3	0,4
S (Azufre)	(% b.s.)	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Cl(Cloro)	(% b.s.)	0,02	0,01	0,03	0,01	0,05	0,02	0,01	0,03
Q (PCI b.h.)	(MJ/kg b.h.)	17,5	14,2	16,9	16,2	16,5	16,8	17,1	14,8
DT (Tª inicial def.)	(°C)	1305	1373	841	851	1219	854	1105	1098
HT (Tª hemiesfera)	(°C)	1317	1396	1037	907	1301	1136	1400	1130
FT (Tª fusión)	(°C)	1346	1399	1392	1382	1378	1260	1400	1283
BD (Densidad a granel)	(kg/m3)	692	243	749	379	410	530	370	398
As (Arsénico)	(mg/Kg b.s.)	0,2	0,3	0,2	0,1	0,3	0,2	0,1	0,1
Cd (Cadmio)	(mg/Kg b.s.)	0,21	0,26	1,32	0,85	0,57	0,82	0,17	0,62
Cr (Cromo)	(mg/Kg b.s.)	4,0	4,4	2,6	2,1	1,1	1,4	3,3	0,9
Cu (Cobre)	(mg/Kg b.s.)	6,6	4,2	5,5	5,6	4,2	11,1	7,7	5,8
Pb (Plomo)	(mg/Kg b.s.)	3,6	0,6	1,0	1,1	0,6	1,6	0,8	0,7
Hg (Mercurio)	(mg/Kg b.s.)	0,0044	0,0038	0,0017	0,0018	0,0039	0,0036	0,0015	0,0010
Ni (Níquel)	(mg/Kg b.s.)	5,3	3,0	2,6	4,4	2,5	4,7	2,3	2,4
Zn (Cinc)	(mg/Kg b.s.)	15,3	11,2	4,1	3,3	7,8	6,0	6,1	10,2
Finos < 3,15	(%)	1,1	na	na	na	na	na	na	na
Finos < 1	(mm)	na	na	1,1	0,8	0,1	0,1	0,7	0,04
Finos < 2	(mm)	na	na	12,3	1,4	0,1	0,4	0,9	0,07
Du (Durabilidad de pélets)	(%)	97,6	na	na	na	na	na	na	na

nd (no determinado)

na (no aplicable)

Fuente: CEDER. Proyecto BIOMASUD

LÍMITES PARA EL ESTABLECIMIENTO PILOTO DEL SELLO BIOMASUD

Ejemplo: Hueso de Aceituna. Límites preliminares

Propiedad /Método de análisis		Unidad	A	B	
Normativa	Origen y fuente EN 14961-1		3.1.2.3 Huesos / cáscaras (no tratados químicamente) 3.2.2.2 Huesos / cáscaras (tratados químicamente)	3.1.2.3 Huesos / cáscaras (no tratados químicamente) 3.2.2.2 Huesos / cáscaras (tratados químicamente)	
	Contenido de aceite, por método Soxhlet	%	≤ 1,0	≤ 2,0	
	Humedad, M, EN 14774-1, EN 14774-2	b.h., p-%	M12 ≤ 12	M16 ≤ 16	
	Cenizas, A, EN14775	p-% b.s.	A1.3 ≤ 1,3	A2.6 ≤ 2,6	
	Poder calorífico neto, Q EN 14918	b.h., MJ/kg o kWh/kg	Q16.0, Q ≥ 16,0 o Q ≥ 4,4	Q15.1, Q ≥ 15,1 o Q ≥ 4,2	
	Densidad aparente, BD, EN 15103	kg/m ³	BD650 ≥ 650	BD600 ≥ 600	
	Nitrógeno, N, prEN 15104	p-% b.s.	N0.4 ≤ 0,4	N0.8 ≤ 0,8	
	Azufre, S, prEN 15289	p-% b.s.	S0.03 ≤ 0,03	S0.06 ≤ 0,06	
	Cloro, Cl, prEN 15289	p-% b.s.	Cl0.04 ≤ 0,04	Cl0.08 ≤ 0,08	
	Arsénico, As, prEN 15297	mg/kg b.s.	≤ 0,5	≤ 1	
	Cadmio, Cd, prEN 15297	mg/kg b.s.	≤ 1,5	≤ 3	
	Cromo, Cr, prEN 15297	mg/kg b.s.	≤ 10	≤ 20	
	Cobre, Cu, prEN 15297	mg/kg b.s.	≤ 10	≤ 20	
	Plomo, Pb, prEN 15297	mg/kg b.s.	≤ 5	≤ 10	
	Mercurio, Hg, prEN 15297	mg/kg b.s.	≤ 0,01	≤ 0,02	
	Níquel, Ni, prEN 15297	mg/kg b.s.	≤ 10	≤ 20	
	Zinc, Zn, prEN 15297	mg/kg b.s.	≤ 10	≤ 20	
Inf.	Fusibilidad de las cenizas ^d , prEN15370	°C	DT ≥ 750	DT ≥ 750	
			FT ≥ 1375	FT ≥ 1300	
Norm.	Tamaño de partícula, EN 15149-1	Finos < 1 mm.	%	< 3	< 6
		Finos < 2 mm.	%	< 30	< 50
		Tamaño máximo	mm.	Todas < 16 mm.	Todas < 16 mm.

^a La fusibilidad de las cenizas es informativa pero es obligatorio un análisis de DT y FT. El límite DT es recomendable

Fuente: CEDER. Proyecto BIOMASUD



Norma UNE-EN 303-5 (en vigor desde junio 2012) Calderas de calefacción hasta 500 kW:

Table 6 — Emission limits

Stoking	Fuel	Nominal heat output kW	Emission limits									
			CO			OGC			Dust			
			mg/m ³ at 10% O ₂ ^a									
			class 3	class 4	class 5	class 3	class 4	class 5	class 3 ^b	class 4	Class 5	
manual	biogenic	≤ 50	5 000	1200	700	150	50	30	150	75	60	
		> 50 ≤ 150	2 500			100			150			
		> 150 ≤ 500	1 200			100			150			
	fossil	≤ 50	5 000			150			125			
		> 50 ≤ 150	2 500			100			125			
		> 150 ≤ 500	1 200			100			125			
	automatic	biogenic	≤ 50	3 000	1000	500	100	30	20	150	60	40
			> 50 ≤ 150	2 500			80			150		
			> 150 ≤ 500	1 200			80			150		
fossil		≤ 50	3 000			100			125			
		> 50 ≤ 150	2 500			80			125			
		> 150 ≤ 500	1 200			80			125			

Para combustibles tipo E
Puede llegar hasta 200 mg/m³

1.2.1 Biogenic fuels

Biomass in a natural state, in the form of:

- A** log wood with moisture content $w \leq 25\%$, according to EN 14961-5;
- B1** chipped wood (wood chipped by machine, usually up to a maximum length of 15 cm) with moisture content from $w 15\%$ to $w 35\%$, according to EN 14961-4;
- B2** chipped wood as under B1, except with moisture content $w > 35\%$;
- C1** compressed wood (e.g. pellets without additives, made of wood and/or bark particles; natural binding agents such as molasses, vegetable paraffins and starch are permitted), pellets according to EN 14961-2;

- C2** compressed wood (e.g. briquettes without additives, made of wood and/or bark particles; natural binding agents such as molasses, vegetable paraffins and starch are permitted), briquettes according to EN 14961-3;
- D** sawdust with moisture content $w \leq 50\%$;
- E** non-woody biomass, such as straw, miscanthus, reeds, **kernels and grains**

NORMAS APARATOS DE COMBUSTIÓN

EN 14785; UNE-EN 14785:2007 “Aparatos de calefacción doméstica alimentados con pélets de madera”

Aparatos de potencia ≤ 50 kW

Límite de emisión de CO: 500 mg/Nm³ al 13% de exceso de O₂ (687,5 mg/Nm³ al 10% de oxígeno)

EN 15270:2007; UNE-EN 15270:2009 :Quemadores de pélets para calderas de calefacción pequeñas. Definiciones, requisitos, ensayos y marcado:

Aparatos de potencia ≤ 70 kW

Tabla 2 – Clases de emisión

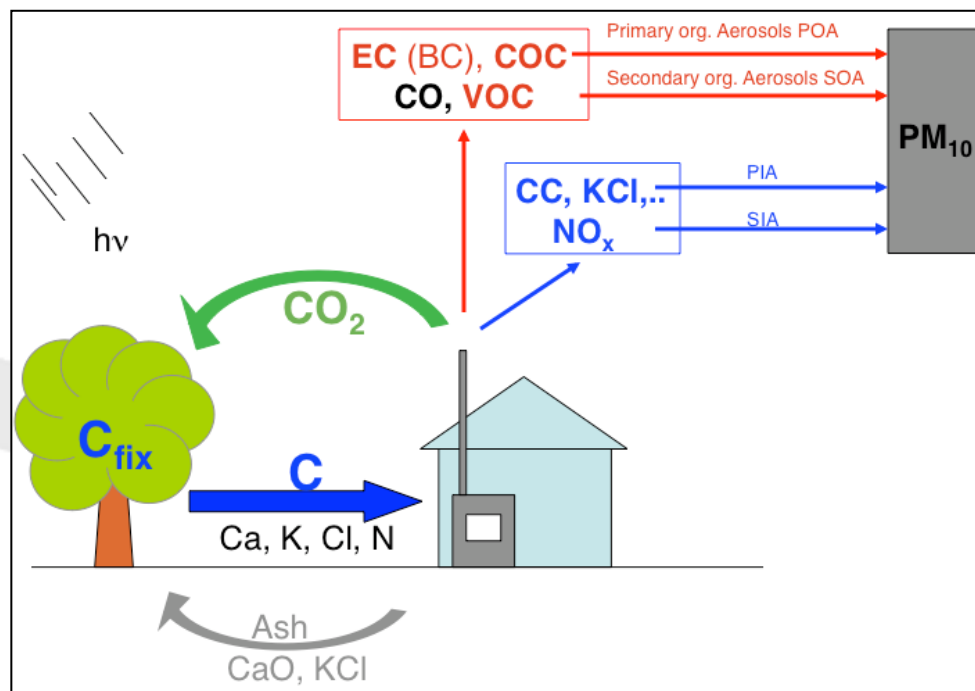
Clase de emisión	Límites de emisión mg/m ³ at 10% O ₂ *		
	CO	COG	Polvo o partículas
1	15 000	1 750	200
2	5 000	200	180
3	3 000	100	150
4	1 000	75	75
5	500	50	30

* Referidos a humos secos a 0 °C y 1,013 bar.

No existe una norma para el testeo de estufas y quemadores pequeños con hueso de aceituna, o cáscaras.

EMISIONES DE LA COMBUSTIÓN DE BIOMASA PERJUDICIALES PARA LA CALIDAD DEL AIRE

- Monóxido de carbono (CO)
- Compuestos orgánicos volátiles (VOC).
- Materia particulada inhalable inferior a 10 micras (PM10), compuesta de:
 - **hollín**: también llamado negro de humo (black carbon BC) en las inmisiones atmosféricas.
 - Compuestos (COC) (**alquitranes**), conocidos como “brown carbon” en las inmisiones atmosféricas
 - Aerosol orgánicos secundarios SOA formados a partir de “non-methane VOC” (NMVOC),
 - Partículas inorgánicas (sales inorgánicas)
- Hidrocarburos aromáticos policíclicos “Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) (**Se encuentran en parte en la materia particulada**).
- Óxidos de nitrógeno (NO_x).
- Dioxinas y furanos. “Polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins and furans” (PCDD/F) (en combustibles contaminados con Cl orgánico).



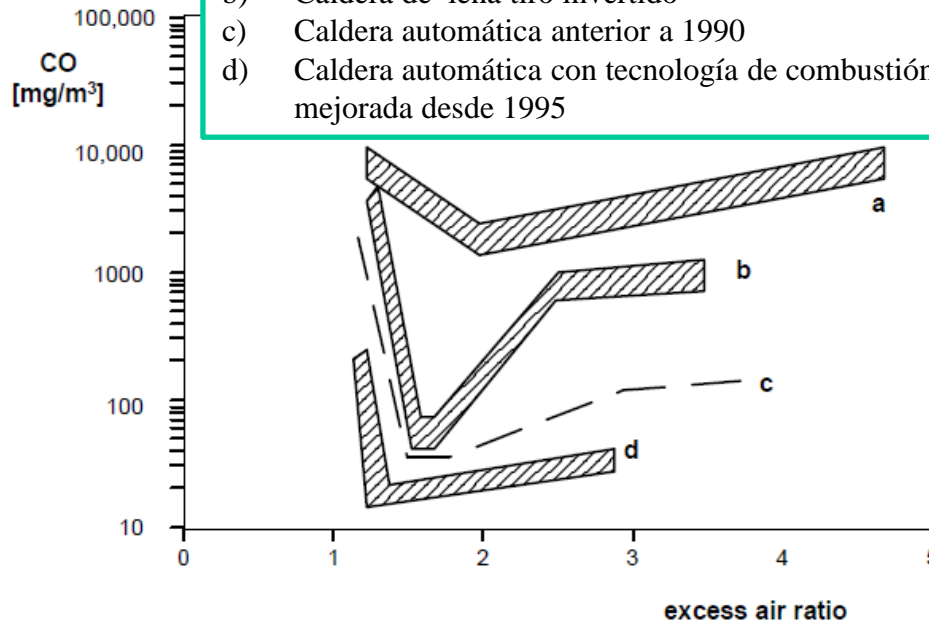
Partículas carbonosas (carbono total, TC): son una fracción importante de las $PM_{2,5}$ y se clasifican en las fracciones de carbono elemental (EC) y carbono orgánico (OC)

$$OC = TC - (EC + IC) \quad (IC, \text{carbono inorgánico})$$

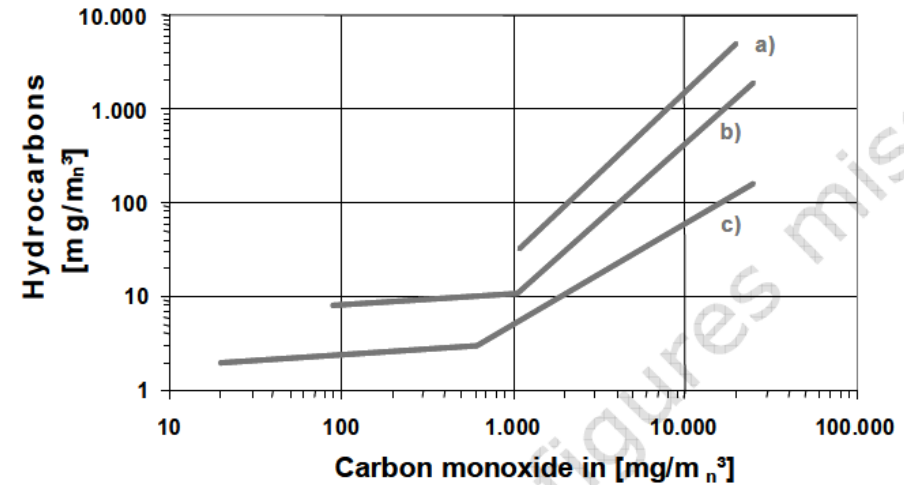
Fuente *Nussbaumer, 2010*

EMISIONES EN LA COMBUSTIÓN DE BIOMASA: CO y VOC

- a) Caldera de leña simple de alimentación manual
- b) Caldera de leña tiro invertido
- c) Caldera automática anterior a 1990
- d) Caldera automática con tecnología de combustión mejorada desde 1995



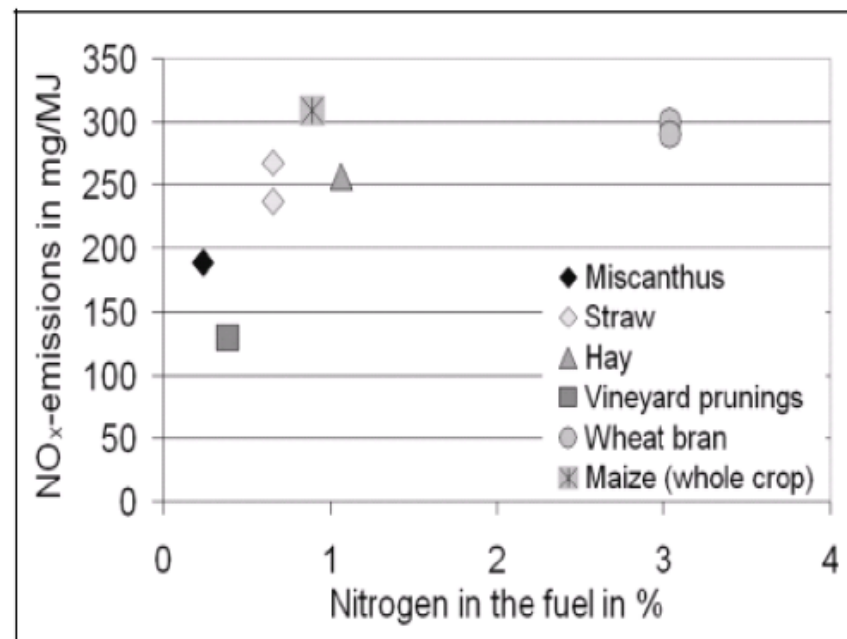
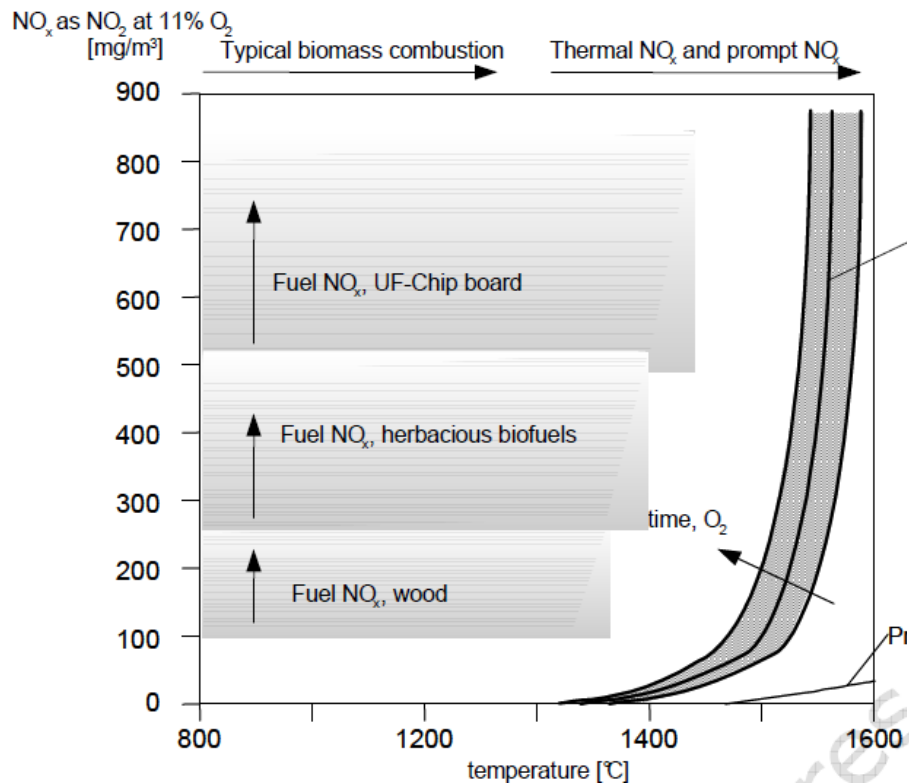
- a) Estufa de pélets
- b) Caldera de leña de tiro inferior
- c) Caldera de astillas de alimentación horizontal



Fuente Nussbaumer, 1989

CAUSAS DE ELEVADAS EMISIONES DE CO	SOLUCIONES
Mala mezcla aire-combustible	Aplicar la regla T3 (Tiempo, Temperatura y Turbulencia)
Falta de oxígeno disponible	Exceso de aire adecuado (Sonda lambda)
Tª de combustión demasiado baja	
Tiempo de residencia demasiado bajo	

EMISIONES EN LA COMBUSTIÓN DE BIOMASA: NOx



Fuente Wopienka, 2007

Fuente Nussbaumer, 1989

CAUSAS

Contenido elevado en N
T^a de combustión demasiado alta
Mala dosificación de aire

SOLUCIONES: Medidas primarias

Utilizar combustibles con bajo contenido en N
Fraccionamiento del aire de combustión en primario y secundario "air staging"
Recirculación de gases de escape a la zona de combustión primaria (reducción de T^a)

SOLUCIONES: Medidas secundarias (en grandes equipos de combustión)

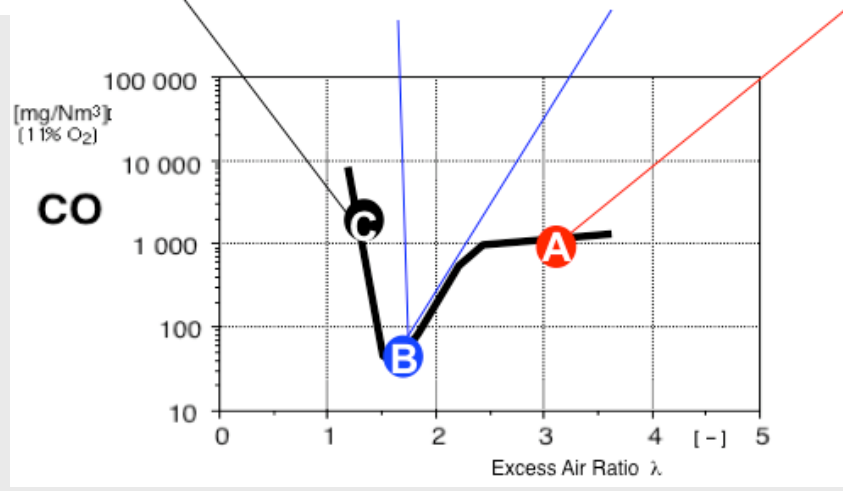
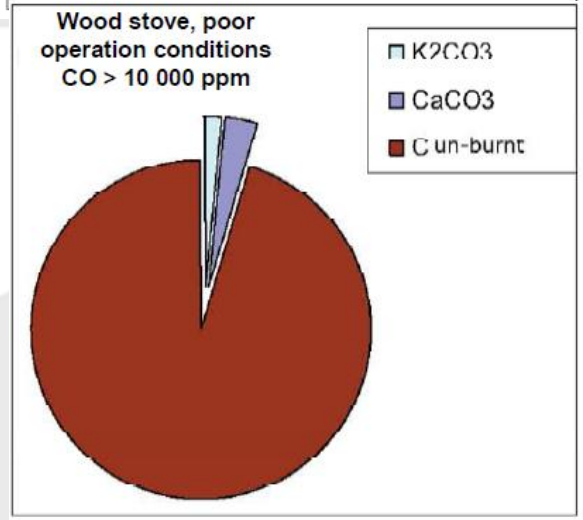
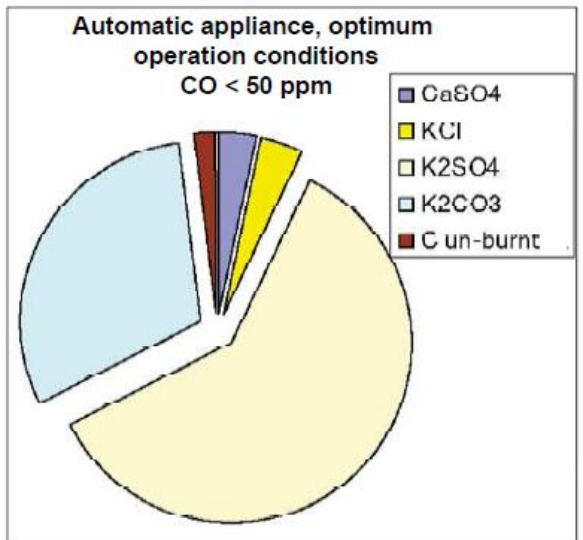
SNCR: selective non catalytic reduction
SCR: selective catalytic reduction

EMISIONES EN LA COMBUSTIÓN DE BIOMASA: PARTÍCULAS

CAUSAS	SOLUCIONES: Medidas primarias				
Contenido en finos elevado en el combustible	Bajo contenido en finos en el combustible				
Humedad elevada del combustible	Baja humedad en el combustible				
Exceso o defecto de aire	Exceso de aire bajo en el lecho de brasas (0,2 - 0,4)				
Mal diseño de la cámara de combustión	Exceso global de aire bajo (1,3 -1,6)				
	Buena separación de aire primario y secundario				
	Dimensión de la cámara de combustión adecuada a la dimensión del quemador				
	Temperatura suficientemente alta en la zona de combustión primaria				
		Tamaño partícula (µm)	Eficacia (%)	Ventajas	Inconvenientes
	SOLUCIONES: Medidas secundarias				
	Cámaras de expansión decantación	>50	<50	bajo coste	poca eficacia
	Ciclones	>5	<80	bajo coste	poca eficacia
	Multiciclones	>5	<90	medio coste	eficacia media
	Precipitadores electrostáticos (ESPs)	<1	>95	medio coste, poca pérdida de carga	problemas con partículas orgánicas
	Filtros de mangas	<1	>99	alta eficacia	elvada pérdida de carga, alto coste, sensibles a T ^a , coste elevado
	Scrubbers	>3	<80	separación de ácidos (HCl, SO ₂)	Eficacia media, coste elevado
	Condensación de gases	>4	<81	mejor aprovechamiento térmico	eficacia baja

EMISIONES EN LA COMBUSTIÓN DE BIOMASA: PARTICULAS

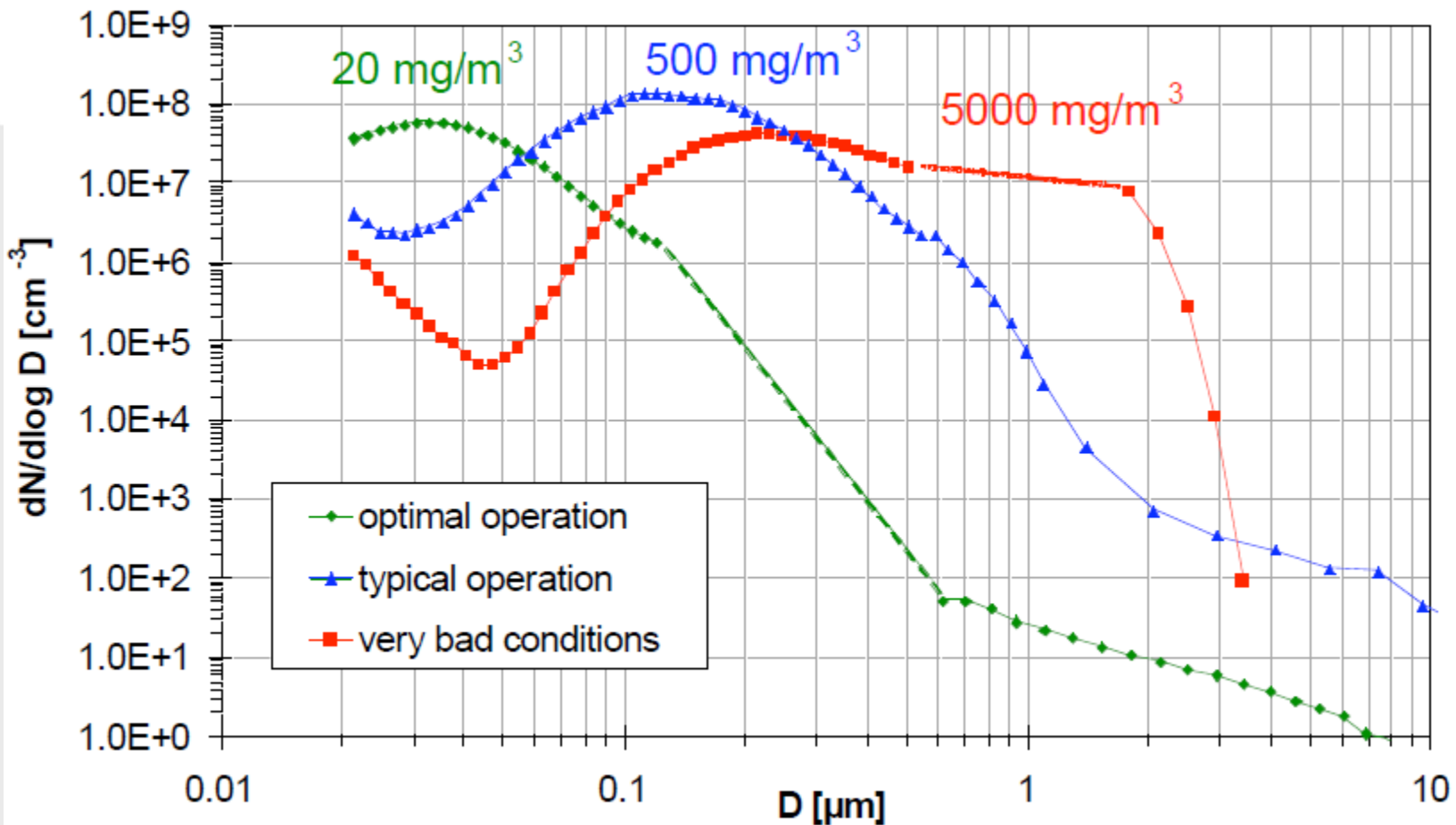
Aerosols from	Flaming Combustion			Pyrolysis
	high temperature and lack of O ₂ in the flame	- Mix -	T and O ₂ good	low temperature due to pyrolysis conditions or very high excess air
View				
PM	Soot	Salts + Soot	Salts	COC
Composition	EC / BC chemical / optical C/H > 6...8	↔	CC + Minerals carbonate C + inorg. M	OC = TC-EC-CC C/H < 2
Colour	black	grey	white	brown none
Health effect	toxicity carcinogenity inflammatory	↔	low toxicity low carcinogenity inflammatory	high toxicity high carcinogenity inflammatory
Climate: Direct	↑ absorbs light and heats atmosphere	↔	↓ scatters light and cools earth surface	→ weakly absorbs and scatters
Climate: Indirect	↑ snow albedo ↓	↓	↓	↓
All particles act as CCN and lead to indirect cooling due to cloud albedo and cloud lifetime effect				



Fuente Nussbaumer, 2010

Fuente Klippel, 2007

EMISIONES EN LA COMBUSTIÓN DE BIOMASA: PARTÍCULAS



Number size distribution of particles from wood stoves under different operation conditions monitored in the size range from 20 nm to 10 μm by Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS) and Optical Particle Counter (OPC). Mass concentrations measured with gravimetric method according to VDI and indicating only solid particles without condensables at 13 Vol.-% O₂ [Klippel & Nussbaumer 2007 b].



PARÁMETROS DEL COMBUSTIBLE RESPONSABLES DE LAS EMISIONES CONTAMINANTES

- **Humedad**
- **Durabilidad:** (pélets)
- **Densidad**
- **Contenido en finos**
- **Contenido en grasa:** (hueso, cáscaras)
- **Cloro**
- **Nitrógeno**
- **Azufre**
- **Cenizas:** cantidad, composición y fusibilidad (elementos alcalinos, sílice etc)

Trazas de metales pesados:

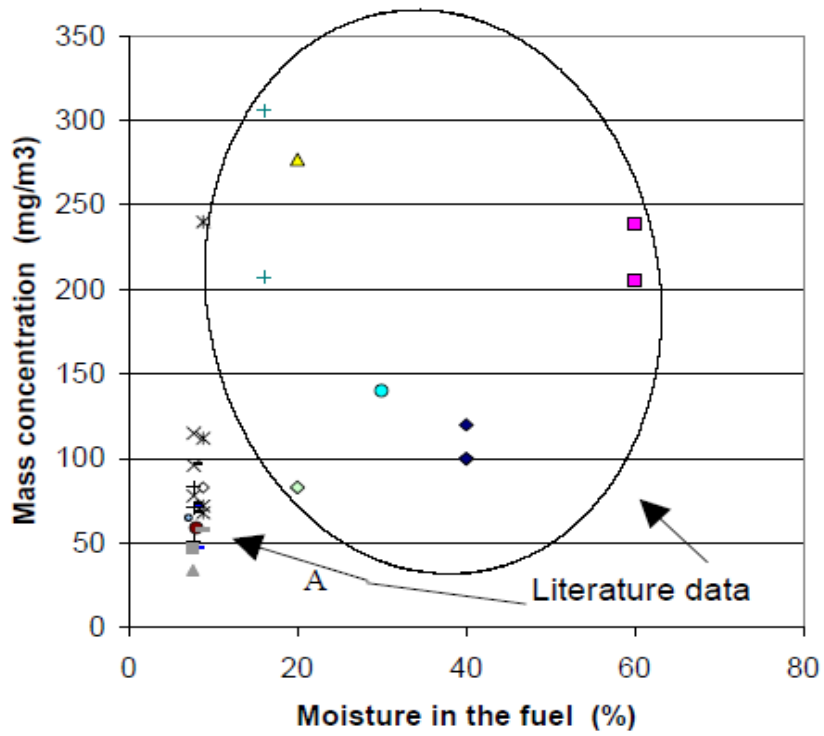
As (Arsénico), Cd (Cadmio), Cr (Cromo), Cu (Cobre), Pb (Plomo), Hg (Mercurio), Ni (Níquel), Zn (Cinc)



HUMEDAD

Emisiones de partículas en función de la humedad

Experimentos de combustión de biomasa forestal. Fuente:Linda Johansson, 2002



- ◆ Wood chip burner (Oser et. al., 2001)
- Wood chip burner (Wieser and Gaegauf, 2000)
- ▲ Wood chip burner, dry fuel (Gaegauf et al., 2001)
- Wood chip burner (Gaegauf et al., 2001)
- ◇ Boilers, wood logs (Gaegauf et al., 2001)
- Wood pellet boilers (Gaegauf et al., 2001)
- + Heat acc. Soapstone stove, dilution tunnel (Wieser and Gaegauf, 2000)
- Pellet burner, dilution tunnel (Wieser and Gaegauf, 2000)
- + Sandared boiler, 100% load
- Sandared biler, 50% load
- × Sandared boiler, 20% load
- × Fristad boiler, 100% load
- Fristad boiler, 50% load
- ◇ Fristad boiler, 20% load
- Pellet burner, maintenance fire, 100% load
- ▲ Pellet burner, electric ignition, 100% load
- Pellet stove, 100% load

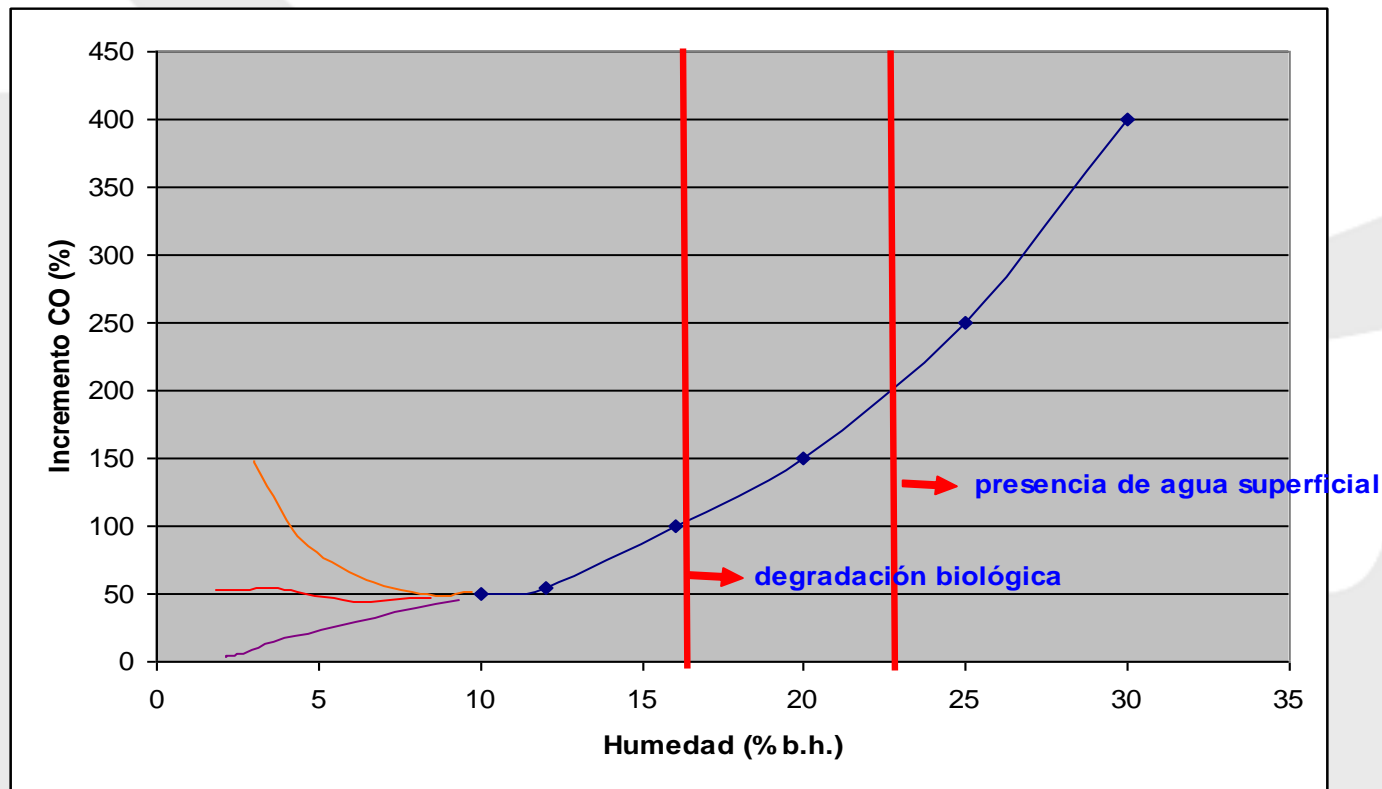
HUMEDAD

Hueso de aceituna:

Combustión en estufa de pélets de alimentación superior

Incremento porcentual de las emisiones de CO con respecto a pélets ENplus con un 10% de humedad

Hueso con un 0,1% de grasa



Fuente: CEDER. Proyecto BIOMASUD

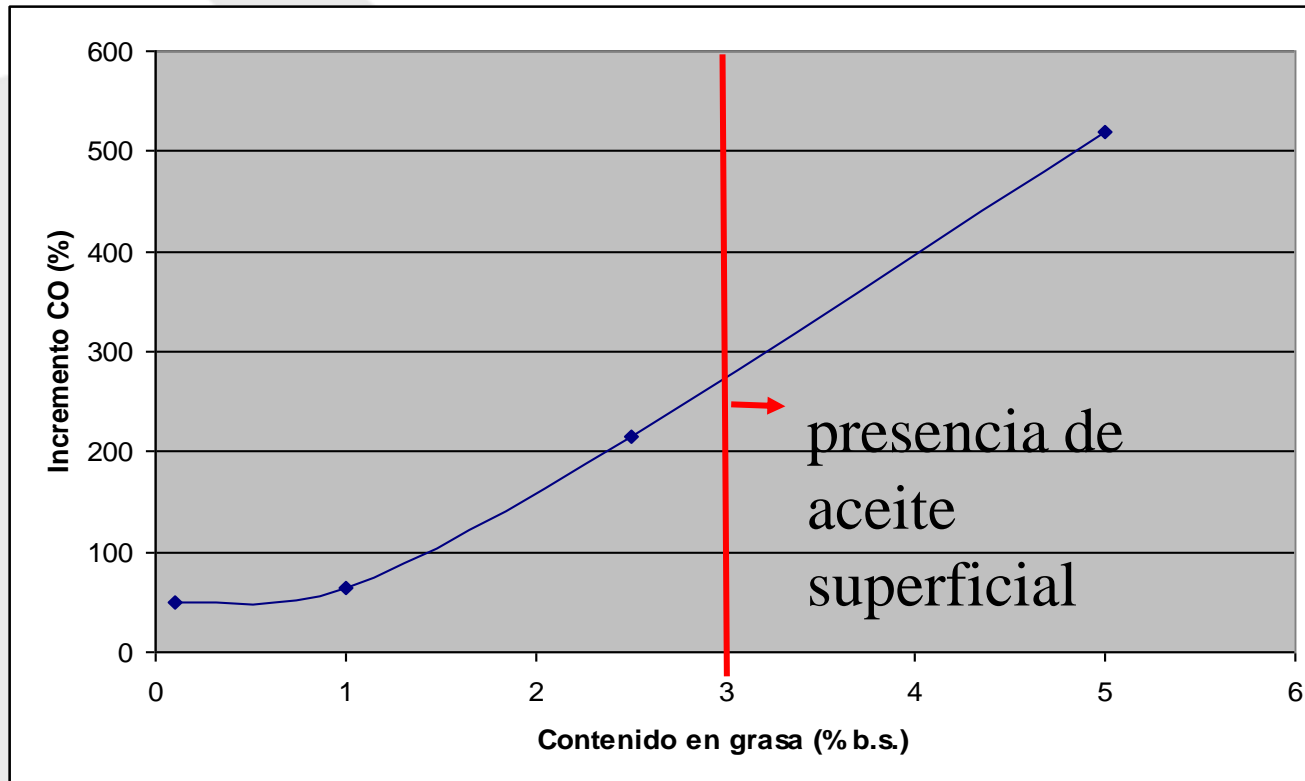
CONTENIDO EN GRASA

Hueso de aceituna:

Combustión en estufa de pélets de alimentación superior

Incremento porcentual de las emisiones de CO con respecto a pélets ENplus con un 10% de humedad

Hueso con un 15% b.h. de humedad



Rendimiento y emisiones medias indicativas de calderas de biomasa del sector doméstico de tecnologías mas avanzadas en comparación con las de gasóleo y gas natural.

(Elaboración propia. Gasóleo y gas natural datos de EPA).

Combustible	Rendimiento % (1)	CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS					GEI (2)
		CO mg/MJ	PM total mg/MJ	NOx mg/MJ	SO2 mg/MJ	SO3 mg/MJ	CO ₂ -eq g/MJ
Pélets de madera	95	60	12	90	4	4	0
Astillas de madera	92	70	24	100	4	4	0
Gasóleo C	92	100	6	75	50	50	74 (3)
Gas natural	95	40	1	60	6	6	56 (3)

(1) respecto a PCI

(2) No incluye producción ni transporte.

(3) Inventario nacional de emisiones. Factores de emisión (Anexo 8)

Límites de emisión en la legislación

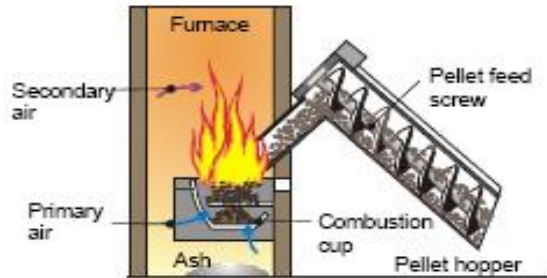


Norma	Combustible	Rango (MW)	Partículas (mg/Nm3)			CO (mg/Nm3)			NOx (mg/Nm3)		SO ₂ (mg/Nm3)		Sustancias orgánicas (TOC) (mg/Nm3)	
			O ₂ 6%	O ₂ 11%	O ₂ 13%	O ₂ 6%	O ₂ 11%	O ₂ 13%	O ₂ 6%	O ₂ 11%	O ₂ 6%	O ₂ 11%	O ₂ 6%	O ₂ 11%
TA LUFT(1) Alemania		< 50												
En vigor	madera no tratada	< 2,5		100			150 (3)			250 (5)		n.a.		10 (7)
En vigor	general	< 5		50			150			400		1000 (6)		50 (8)
En vigor	general	> 5		20			150			150		1000 (6)		50 (8)
En vigor	general	< 10								500		1000 (6)		50 (8)
En vigor	general	> 10								400		1000 (6)		50 (8)
(1. BImSchV) Alemania (9)		≥ 0,004												
A partir del 1/ene/2015	Carbón, madera no tratada	≥ 0,004		25	20			400						
A partir del 1/ene/2015	Madera tratada	≥ 0,030 ≤ 0,5		25	20			400						
A partir del 1/ene/2015		> 0,5		25	20			300						
A partir del 1/ene/2015	Biomasa agrícola	≥ 0,004 < 0, 1		25	20			400						
FUTURA DIRECTIVA(10)		≥1<50												
Plantas nuevas	Biomasa sólida	≥ 1<5	25	16,7		(4)			650	429	200	132	(4)	
Plantas nuevas	Biomasa sólida	≥ 5<50	20	13,3		(4)			650	429	200	132	(4)	
Plantas existentes	Biomasa sólida	≥ 1<5	45	30,0		(4)			300	198	200	132	(4)	
Plantas existentes	Biomasa sólida	≥ 5<50	30	20,0		(4)			300	198	200	132	(4)	
Todas las plantas (13)	Biomasa sólida	≥ 1<5	10	6,7		(4)			200	132	(4)			
Todas las plantas (13)	Biomasa sólida	≥ 5<50	5	3,3		(4)			145	95,7	(4)			
DIRECTIVA 2010/75(11)														
En vigor(12) plantas existentes	Biomasa	≥ 50<100	30						300		200			
En vigor(12) plantas existentes	Biomasa	≥ 100<300	20						250		200			
En vigor(12) plantas existentes	Biomasa	≥ 300	20						200		200			
DIRECTIVA 2010/75(11)														
En vigor(12) plantas a partir 2016	Biomasa	≥ 50<100	20						250		200			
En vigor(12) plantas a partir 2016	Biomasa	≥ 100<300	20						200		200			
En vigor(12) plantas a partir 2016	Biomasa	≥ 300	20						150		150			

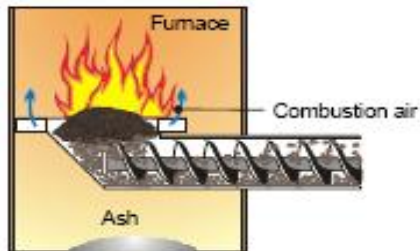
n.a no aplicable; (1) Instrucciones técnicas para el control de la calidad del aire. (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft, 2002); (2) en rojo valores recalculados; (3) mismo límite para todos los combustibles. En < 2,5 MW y madera no tratada, se aplica sólo a a carga nominal; (4) no se da límite en el borrador de Directiva; (5) con madera no tratada, para cualquier potencia; (6) para madera no tratada, no aplicable. Para lechos fluidizados, 350 mg/m3. Para hard coal 1300 mg/m3; (7) para madera no tratada y cualquier potencia; (8) límites de 10 y 20 mg, dependiendo de la peligrosidad de las sustancias; (9) Reglamento sobre instalaciones de combustión pequeñas y medianas. Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen; 2010 (1. BImSchV); (10) Directiva sobre la limitación de las emisiones a la atmósfera de determinados agentes contaminantes procedentes de las instalaciones de combustión medianas (propuesta COM(2013) 919 final); (11) DIRECTIVA 2010/75/UE sobre las emisiones industriales (PCIC); (12) En España no se ha transpuesto aún la directiva. Los límites indicados estarán vigentes a partir del 1 de enero de 2016. Hasta esa fecha serán de cumplimiento los establecidos en el RD 430/202; (13) En las zonas donde no se cumplan los valores límite de calidad del aire de la UE establecidos en la Directiva 2008/50/CE

Tecnología de combustión

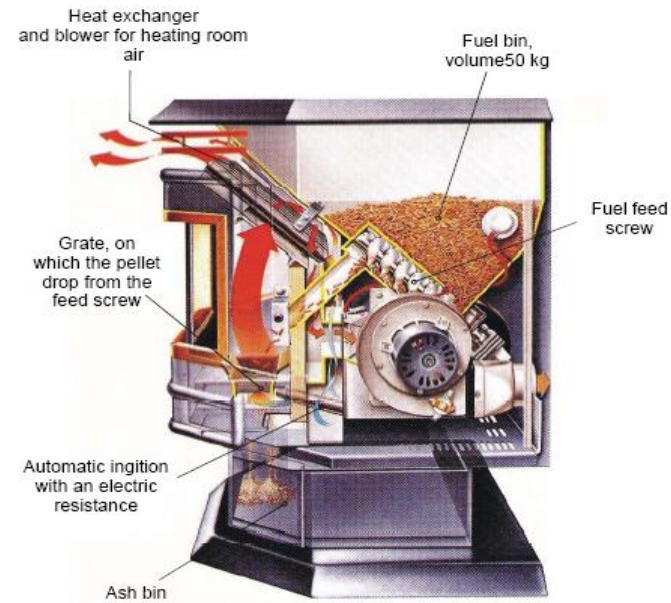
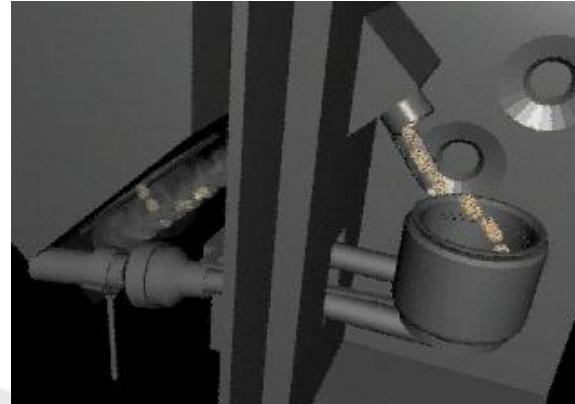
TOP FEED BURNER WITH DROPPING CUP



UNDERFEED BURNER

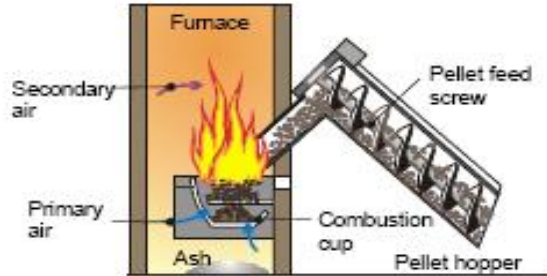


SCREW GRATE WITH HORIZONTAL FEED

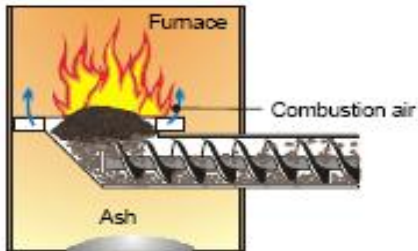


Tecnología de combustión

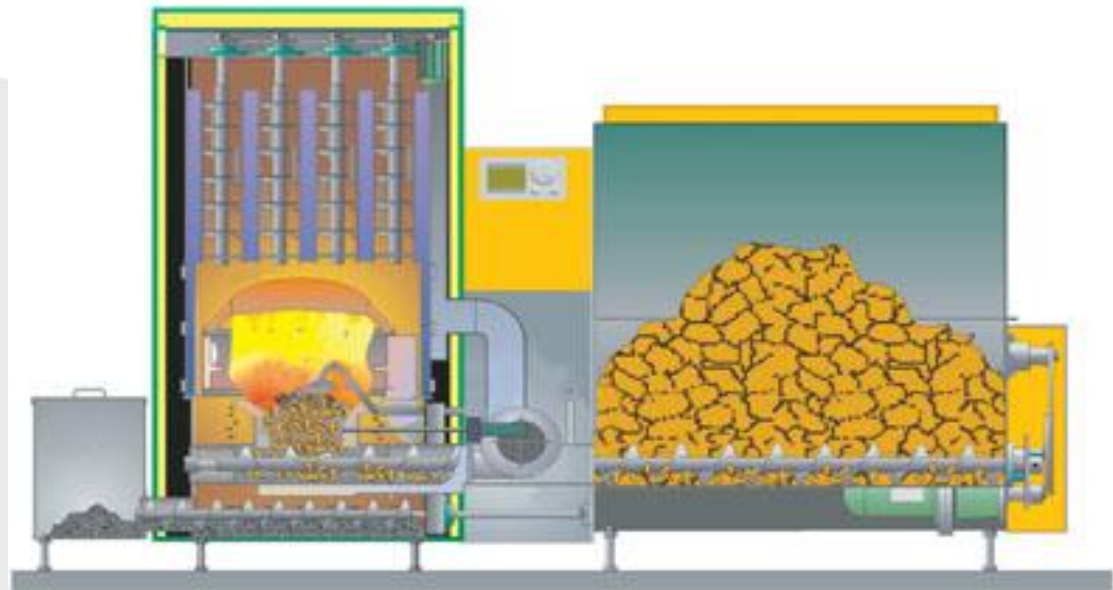
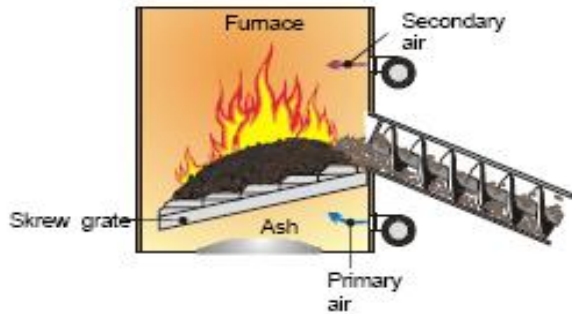
TOP FEED BURNER WITH DROPPING CUP



UNDERFEED BURNER

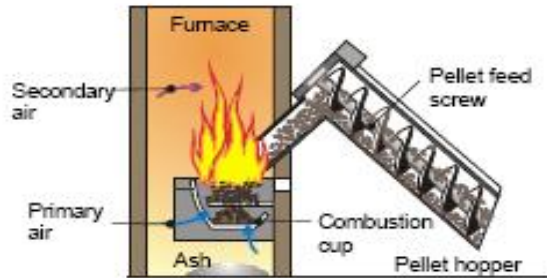


SCREW GRATE WITH HORIZONTAL FEED

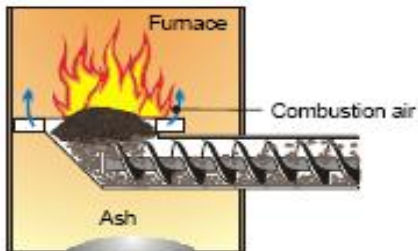


Tecnología de combustión

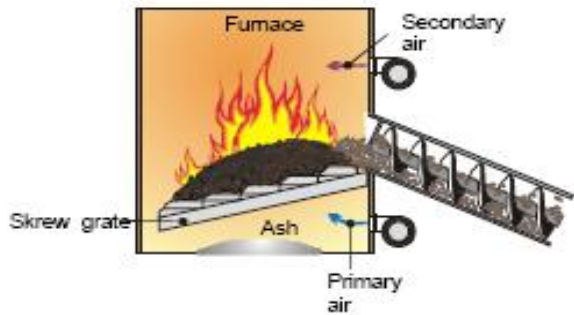
TOP FEED BURNER WITH DROPPING CUP



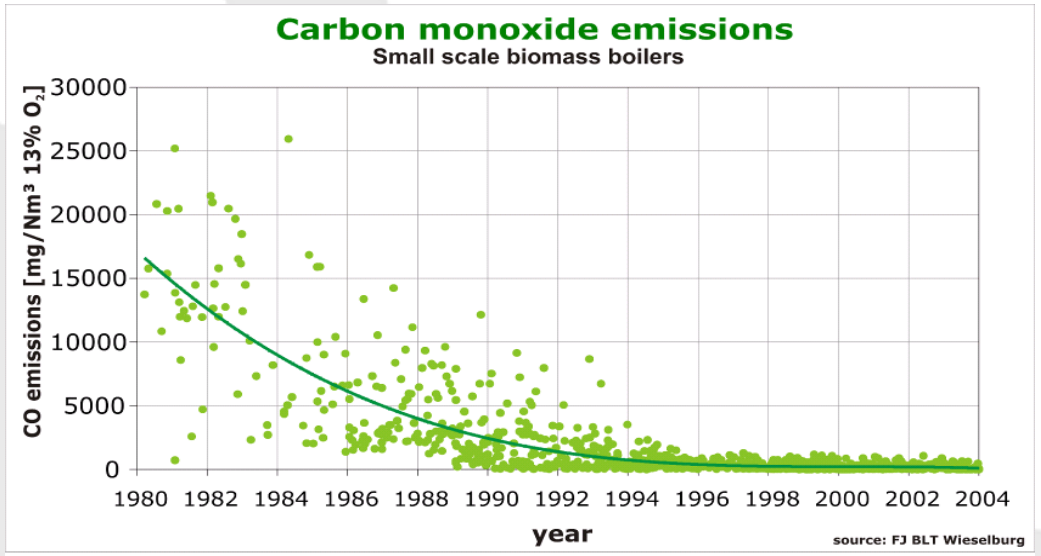
UNDERFEED BURNER



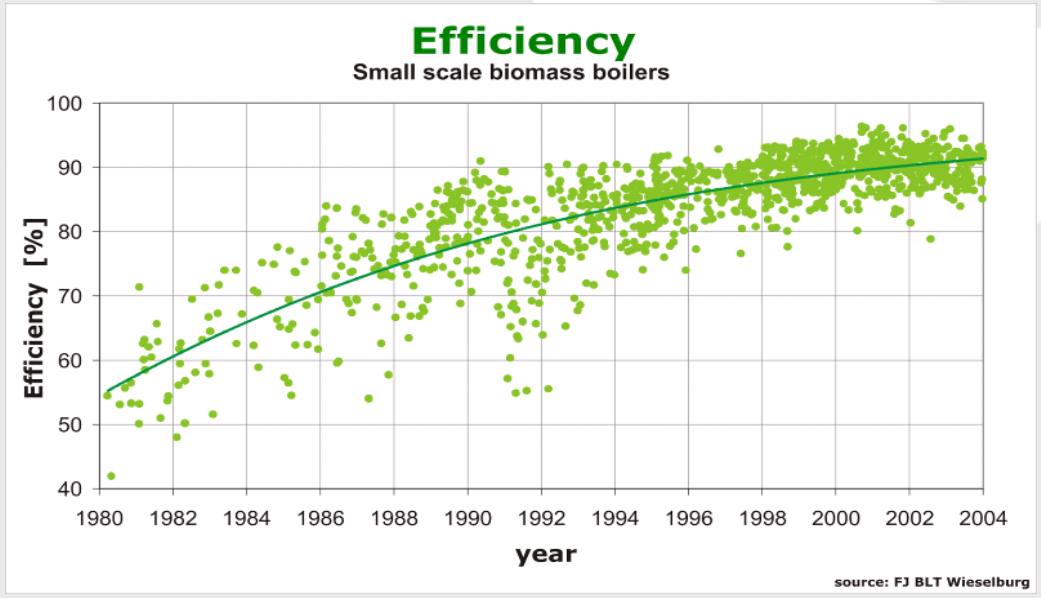
SCREW GRATE WITH HORIZONTAL FEED



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



Emisiones de CO de calderas (troncos, astillas y pélets)
Ensayos según EN 303-5.



Eficiencia de calderas (troncos, astillas y pélets)
Ensayos según EN 303-5.

¡GRACIAS POR SU ATENCIÓN!

Dr.Luis Saúl Esteban Pascual,

CEDER-CIEMAT.

luis.esteban@ciemat.es

