

Aspectes imprescindibles en el disseny d'instal·lacions de biomassa.

8 de maig de 2018



JOAN OLIVER CASANELLAS
Enginyer Industrial
SUNO Enginyeria de Serveis Energètics SCCLP
E-mail: joan@suno.cat

CRITERIS DE DISSENY.

1. Dades de partida
2. Elecció del Combustible.
3. Disseny de sitges.
4. Elecció de les calderes
5. Instal·lació hidràulica.
6. Normativa a tenir present.
7. Conclusions

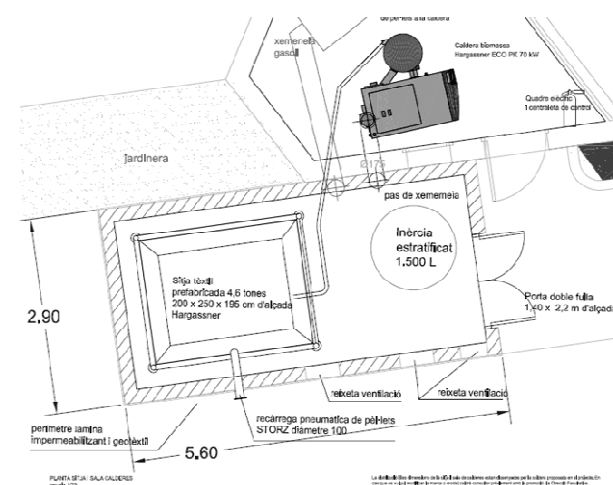
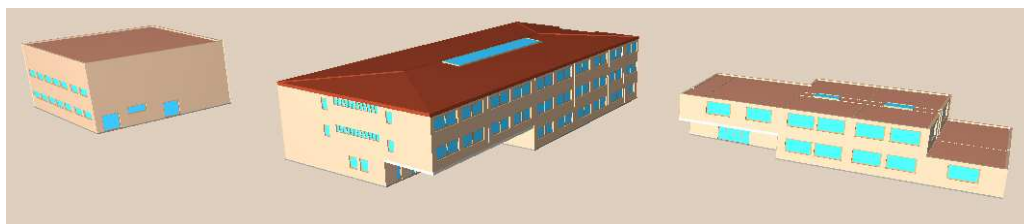


OBJECTIU:

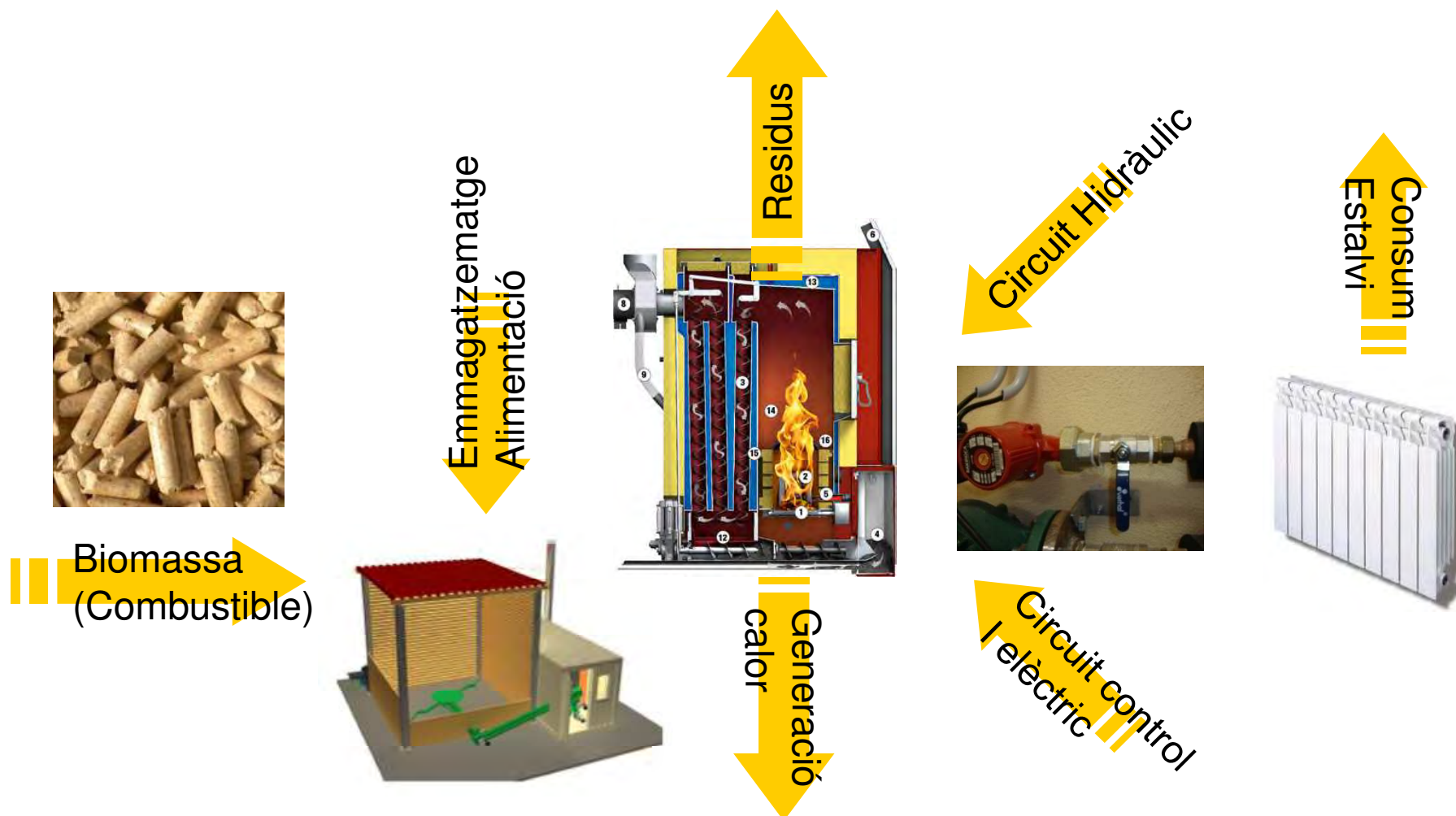
Donar a conèixer i compartir aspectes a tenir presents en el disseny i execució de projectes de biomassa

1.- Dades de partida.

Càlcul tèrmic, consums i emplaçaments disponibles.



Cal pensar i dissenyar la instal·lació des del combustible al consum final.



1.- Dades de partida.

1.1.- Potència tèrmica

En instal·lacions de biomassa és important **partir del càlcul tèrmic o bé dels consums quarthoraris** de l'edifici o elements a calefactar i ajustar la potència a l'edifici i ús.

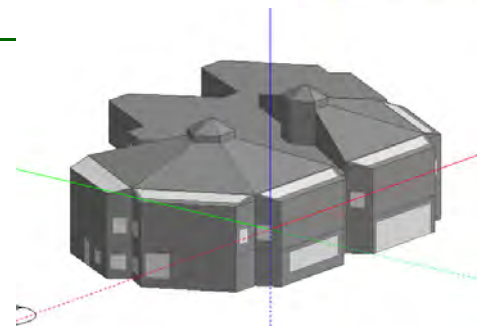
En instal·lacions de biomassa no és recomanable sobredimensionar per dos motius:

1.- **Per règim de funcionament**, si fem treballar la caldera per sota del seu mínim de modularitat generarem brutícia, incrementats, ineficiència. En calderes poc modulants o no modulants encara més.

2.- **Per cost**. A vegades si saltem de gamma de calderes, el cost es pot incrementar molt.

1.2.- Consum anual d'energia i combustible a substituir

Ens servirà per calcular **la rentabilitat i capacitat de la inversió, dimensions emmagatzematge, les hores de funcionament**.



1.3.- Tipus de combustible

Una altra dada de partida, serà el **tipus de combustible de la biomassa a emprar**.



Triarem el combustible en base a:

1.- La forma i ús. La llenya i briquetes s'emprarà per petites potències ja que requereix càrrega manual, el pèl·let i estella per instal·lacions petites a terciàries, la estella industrial per a grans instal·lacions. Els subproductes agraris aniran lligats a la proximitat.

2.- El consum anual d'energia.

Aquest consum anual serà un dels criteris per definir la **capacitat d'inversió**

Consum anual (€)	Combustible habitual
Fins a 10.000€	Pèl·let o Llenya
10.000-20.000€	Estella pneumàtica /pèl·let
> 20.000€	Estella pneumàtica o per gravetat

3.- Aspectes polítics i de proximitat.

4.- diferents emplaçaments disponibles . Aquest aspecte va lligat a la capacitat d'emmagatzematge, al tipus de descàrrega i com poder integrar l'actuació amb l'edifici existent o projectat.

1.4.- Espais i emplaçaments disponibles

Aquest aspecte també és important alhora d'escollir el tipus de combustible.

1.000 litres gasoil ~ 3m3 pèl·let ~ 12m3 estella

En edificis a on hi hagi **poc espai disponible**, haurem de tendir cap al **pèl·let** que té més densitat energètica, en edificis amb **espais lliures es podrà anar cap a l'estella**.

Alhora de mirar es espais disponibles, a més de la capacitat d'emmagatzematge, caldrà tenir present **el tipus de descàrrega** i **com poder integrar l'actuació** amb l'edifici existent o projectat.

Quan es disposa de poc espai en el propi edifici per a integrar el conjunt de sitja i sala de calderes, a vegades **s'opta per emplaçar el conjunt en un edifici a part** (ja sigui en contenidors o construït per a tal efecte) **o vinculat a una xarxa o microxarxa**.

2.- Elecció del combustible.

Tipus de Biomassa i la seva capacitat d'aprofitament.



És important conèixer les característiques de la biomassa a emprar i que aquestes es corresponguin amb el sistema de descàrrega, d'emmagatzematge i amb la caldera a emprar. **Sinó tindrem malfuncionaments.**

Alhora d'escollir o comparar biomasses ens interessarà saber:

- **Tipus de Biomassa** i d'on prové (Subproducte forestal, industrial, etc)
- **Forma/dimensions** (estella, pèl·let, etc). -> **tipus caldera**
- **Humitat**. -> **energia, emmagatzematge**
- **Poder Calorífic Inferior** (PCI) / Poder Calorífic Superior (PCS)
energia que podem obtenir per unitat de pes o volum. -> **quantitat**
- **Densitat** (Kg/m³). -> **espai**.
- **Preu** (€/kg) -> **rendibilitat**
- **Altres** (additius, etc) -> **productes combustió**

2.1.- Origen de la biomassa

- **Biomassa subproductes forestals:**

Subproductes forestals provinents del manteniment, tallades, aclarides dels boscos de diferents espècies locals



- **Biomassa subproductes agrícoles:**

Subproductes generats en els cultius agrícoles.

- Cultius herbacis, exemple: l'ordi, el blat, el gira-sol i el blat de moro.
- Cultius llenyosos, exemple: la vinya, els fruiters de fruita dolça i els fruiters de fruit sec



- **Biomassa residual d'indústria de la fusta:**

Residus generats en la transformació de la fusta (ex: serradures, estelles)

- Residus procedents de la primera transformació.
- Residus procedents de la segona transformació.



2.1.- Origen de la biomassa

- **Biomassa residual d'indústries agrícoles i agroalimentàries:**
Inclou biomassa diversa: closques de fruits secs, llegums, hortalisses, marro de cafè.
- **Altres biomasses residuals:**
Restes llenyoses de poda i jardineria (biomassa Urbana)
- **Cultius energètics:**
Biomassa procedent d'espècies cultivades segons principis de màxima rendibilitat



2.2.- Forma/dimensions de la biomassa



2.3.- Humitat (Base Seca i Base Humida)

El sector forestal ha utilitzat tradicionalment el valor d'humitat calculat sobre base seca (hbs), i **el sector energètic (bioenergia) utilitza els valors de la humitat en base humida (hbh).**



Figura 1. Diferència de la base de càlcul de la humitat en base seca i en base humida

Font: AFIB-CTFC

Font esquema: Taules d'equivalències
Àrea aprofitaments Fusters i Biomassa
Centre tecnològic Forestal de Catalunya

2.3.- Humitat (Base Seca i Base Humida)

Taula 1. Equivalències entre els dos conceptes d'humitat

Equivalències entre valors d'humitat en base seca i base humida

%HBH	%HBS	%HBS	%HBH
0	0,0	0	0,0
5	5,3	5	4,8
10	11,1	10	9,1
15	17,6	15	13,0
20	25,0	20	16,7
25	33,3	25	20,0
30	42,9	30	23,1
35	53,8	40	28,6
40	66,7	50	33,3
45	81,8	60	37,5
50	100,0	70	41,2
55	122,2	80	44,4
60	150,0	90	47,4
65	185,7	100	50,0

Font: AFIB-CTFC

Font esquema: Taules d'equivalències
Àrea aprofitaments Fusters i Biomassa
Centre tecnològic Forestal de Catalunya

2.3.- Humitat (Base Seca i Base Humida)



Mesurador humitat absoluta
DampMaster



Mesurador humitat absoluta (fins 60%)
HUMIMETER BLL



Mesurador humitat absoluta (fins 60%)
HUMIMETER BM2



Mesurador humitat absoluta (fins 20%)
HUMIMETER HM-BP1

Estufa o forn d'assecat i diferència de pes

2.4.- Poder calorífic inferior i superior

PCI. Poder Calorífic Inferior

-Quantitat total de calor després de la combustió completa d'1kg de combustible sense tenir en compte la calor de condensació del vapor d'aigua.

PCS. Poder Calorífic Superior

-Quantitat total de calor després de la combustió completa d'1kg de combustible tenint en compte la calor després de la condensació del vapor d'aigua.

*El gas natural s'acostuma a mesurar en PCS.
En calderes de condensació té sentit parlar de PCS; si parlem de PCI el
rendiment supera el 100%.*

Unitats kcal/kg; kWh/kg; kJ/kg

VARIACIÓ PODER CALORÍFIC INFERIOR AMB LA HUMITAT I ESPÈCIE

Taula 4. Poders calorífics (en kWh/t) a diferents humitats

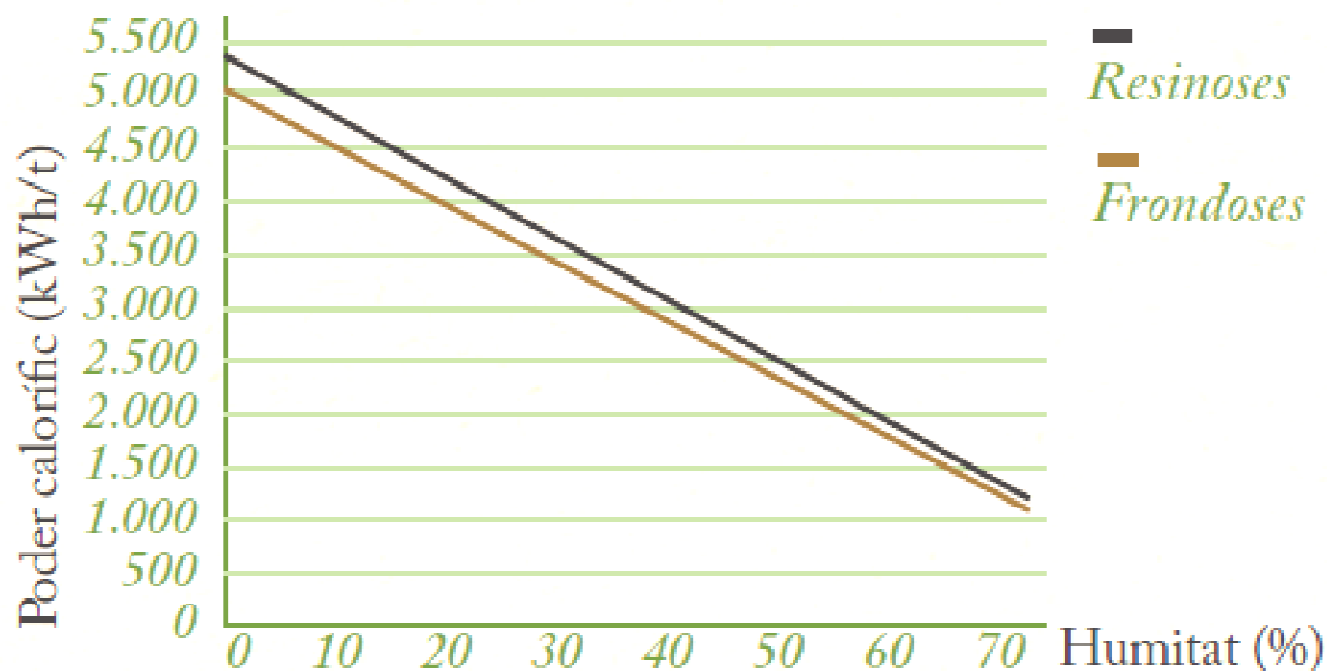
Espècie	Humitat bh						
	0	20	30	35	40	45	50
Alzina	5.307	4.110	3.512	3.212	2.913	2.614	2.314
Roures	4.975	3.844	3.279	2.996	2.714	2.431	2.148
Pi roig	5.338	4.135	3.533	3.232	2.931	2.631	2.330
Pinassa	5.296	4.101	3.504	3.205	2.906	2.607	2.309
Pi blanc	5.082	3.930	3.354	3.066	2.778	2.490	2.202
Pi pinyer	5.374	4.164	3.558	3.256	2.953	2.651	2.348
Pollancre	4.815	3.716	3.167	2.892	2.618	2.343	2.068
Castanyer	5.184	4.012	3.425	3.132	2.839	2.546	2.253
Faig	4.951	3.825	3.262	2.981	2.699	2.418	2.136
Coníferes	5.272	4.082	3.487	3.190	2.892	2.595	2.297
Planifolis	5.078	3.927	3.351	3.063	2.775	2.488	2.200

Font: AFIB-CTFC a partir de Biocalor-Hargassner, ETA Heiztechnik GmbH, Energuia, CREAM-CTFC (2001), Projecte Biosouth i Technologie-und Förderzentrum

Font esquema: Taules d'equivalències
Àrea aprofitaments Fusters i Biomassa
Centre tecnològic Forestal de Catalunya

VARIACIÓ PODER CALORÍFIC INFERIOR AMB LA HUMITAT

Variació del PCI teòric en funció de la humitat en base humida



Font: Bois Énergie 66.

2.5.- Densitat del combustible i densitat aparent

$$\text{Densitat} = \frac{\text{Massa}}{\text{Volum}}$$

Unitats: $1.000 \text{ kg/m}^3 = 1 \text{ kg/litre} = 1.000 \text{ g/cm}^3 = 1 \text{ Tona/m}^3$

Densitat aparent: densitat del element tenint en compte els espais buits d'aire i el seu apilat.



Taula 2. Equivalències entre densitats de la fusta a diferents humitats

Espècie	Bàsica (t_0/m^3)	Densitat 50%hbh (t_{50}/m^3)	30%hbh (t_{30}/m^3)
Avet	0,51	0,87	0,62
Pi negre	0,50	0,86	0,61
Pi roig	0,48	0,81	0,58
Pinassa	0,51	0,88	0,63
Pi blanc	0,55	0,93	0,66
Pi pinyer	0,51	0,87	0,62
Pinastre	0,44	0,74	0,53
Pi insigne	0,46	0,78	0,56
Faig	0,69	1,16	0,83
Bedoll	0,60	1,03	0,73
Alzina	0,87	1,47	1,05
Roures	0,73	1,24	0,88
Castanyer	0,59	1,00	0,71
Freixe	0,67	1,13	0,81
Pollancre	0,43	0,74	0,53
Plataner	0,65	1,11	0,79
Coníferes	0,51	0,87	0,62
Planifolis	0,67	1,14	0,82

Font: Taules d'equivalències
Àrea aprofitaments Fusters i Biomassa
Centre tecnològic Forestal de Catalunya

La densitat bàsica s'ha considerat com una mitjana ponderada entre la densitat de l'escorça i la densitat de la fusta; i el punt de saturació de les fibres (PSF) s'ha considerat al 30%hbs.

Font: AFIB-CTFC a partir de SIBosC (CREAF-DMAH, 2011) i CPF (2004)

1.- PÈL·LET

El pèl·let de fusta és un biocombustible sòlid estandarditzat, en forma de petits cilindres procedents de la compactació de serradures assecades.

El pèl·let, pel seu procés, es pot fer a partir de serradures de qualsevol tipus i per aquest motiu sempre cal demanar-ne el seu origen (forestal, industrial, productes agrícoles, residus, etc).

En el procés de pel·letització no s'utilitzen productes químics, únicament pressió i calor.

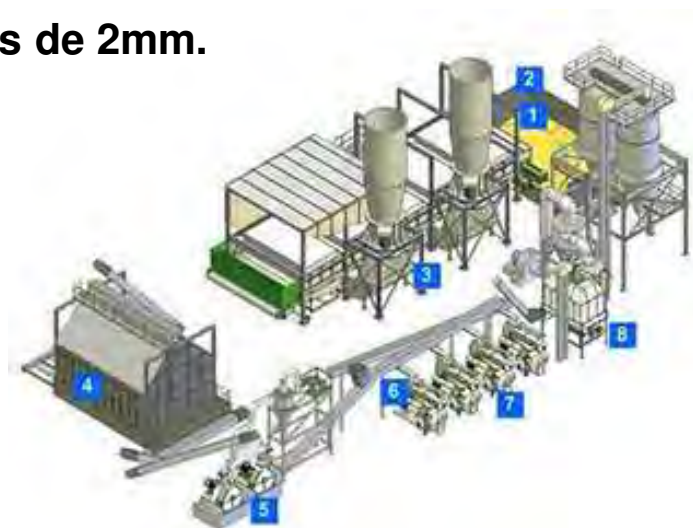
Poden tenir additius naturals per a millorar característiques mecàniques però sempre inferiors al 2% (farina de blat o patata)



1.- PÈL·LET

El procés de fabricació del pèl·let consta de:

- 1.- Recepció i classificació (segons humitats).**
- 2.- Pretractament: extracció escorces, estellat (fi) i garbellat.**
- 3.- Assecament forçat (mitjançant pas per tròmel o cinta perforada) homogeneïtzar i obtenir humitat baixa.**
- 4.- Emmagatzematge (evitar aturades)**
- 5.- Procés de moldre per a obtenir partícules de menys de 2mm.**
- 6.- Compactació (pel·letització).**
- 7.- Refredament lent i tamissat (extreure fins).**
- 8.- emmagatzemament, ensacat i ensitjat.**



Font imatge: Pellets San Gregorio

1.- PÈL·LET

Característiques d'un pèl·let correcte i efectes sobre la instal·lació de biomassa

- 1.- Dimensions: - diàmetre 6mm (8mm en consums industrials)
- longitud < 40mm

- Pèl·lets llargs poden generar obstruccions a l'alimentació.
- Impropis poden generar obstruccions.



- 2.- Humitat inferior al 10%.

- Humitats superiors poden generar problemes d'obstruccions a l'alimentació i ineficiències (escalfar aigua i menor PCI).
- El pèl·let en contacte amb aigua es desfà i forma pasta (obstrucció total).

- 3.- durabilitat mecànica superior al 97,5%

- baixa durabilitat mecànica fa que amb el transport, descàrrega i alimentació, s'engrunin i generin molts fins.

1.- PÈL·LET

Característiques d'un pèl·let correcte i efectes sobre la instal·lació de biomassa

4.- Contingut de fins inferior al 1-2%

-Els fins per una banda donen problemes alimentació (desgast sense fins), poden apagar el foc (no permeten correcte pas aire), generen ambients explosius degut a la seva combustibilitat i alta superfície contacte. A més faciliten possibles retorns de flama i incrementen l'emissió de partícules.



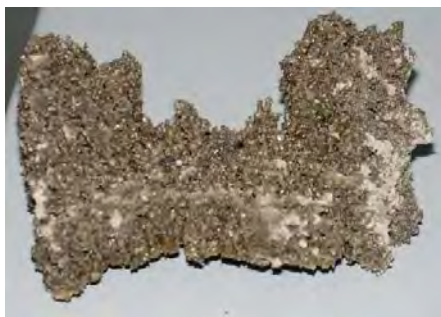
1.- PÈL·LET

Característiques d'un pèl·let correcte i efectes sobre la instal·lació de biomassa

5.- contingut de cendres inferior al 1%

- contingut de cendres indica la quantitat de cendres que es generaran amb la combustió. Com més alt sigui més neteja caldrà realitzar per a mantenir l'eficiència.

6.- Alta temperatura de fusió (superior a 1050°C).



-Per altra banda la temperatura de fusió de les cendres fa referència a quina temperatura el combustible es converteix en minerals que s'incrusten al cremador (donant problemes de rendiment, alimentació, pas d'aire de combustió i corrosió).

Font imatge : Guia ICAEN

1.- PÈL·LET

Característiques d'un pèl·let correcte i efectes sobre la instal·lació de biomassa

7.- Poder Calorífic Inferior al voltant de 5kWh/Kg.

- Com menor sigui el poder calorífic, menys energia per kg obtindrem i més cara sortirà l'energia.

8.- contingut d'additius inferior al 2% i d'origen natural.

- l'ús d'additius químics podria generar residus a tractar de manera especialitzada.

9.- Densitat aparent superior a 600kg/m³

- Si la densitat és inferior es requerirà major volum per a poder emmagatzemar la mateixa energia.

10.- Contingut de Clor i sofre menor al 3%.

- el clor amb la combustió esdevé àcid clorhídric (HCL) i amb el sofre SO₂ i SO₃ (el qual acaba esdevenint àcid sulfúric). Com més contingut hi hagi, més emissions a l'atmosfera i més corrosions.

1.- PÈL·LET

Es poden trobar pèl·lets de moltes qualitats i orígens diferents. Normalment es pot demanar al fabricant un certificat de qualitat i característiques del mateix ([veure assaig](#)).

Existeixen diferents normatives de certificació d'àmbits nacionals (Önorm M 7135 a Àustria, la SS 18 71 20 a Suècia, DIN plus a Alemanya o la CTI.R 04/5 a Itàlia).

Existeix la certificació europea EN Plus (basada en la norma UNE-EN ISO 17225-2:2014 *Biocombustibles solidos – Especificaciones y clases de combustible – Parte 2: Pellets de madera para usos no industriales*).

Enplus-A1 — forestal i residus sense tractament químic (alta qualitat)

Enplus-A2 - forestal i residus sense tractament químic (mitjana qualitat)

EN B — fustes tractades químicament amb restriccions



1.- PÈL·LET

Propiedad	Unidades	ENplus-A1	ENplus-A2	B	Metodología de análisis
Clase de diámetro (D)	mm.	6 (+1) o 8 (+1) ²			EN 16127
Longitud (L)	mm.	3.15 ≤ L ≤ 40 ³			EN 16127
Humedad (M)	a.r., Peso-% b.h. ¹	≤ 10			EN 14774-1 o 2
Ceniza (A)	Peso-% b.s. ¹	≤ 0.7	≤ 1.5	≤ 3.0	EN 14775 (550 °C)
Durabilidad mecánica (DU)	Peso-% a.r. ¹	≥ 97.5 ⁴		≥ 96,5 ⁴	EN 15210-1
Finos, F (< 3.15 mm)	Peso-% a.r. ¹	<1			EN 15210-1
Aditivos	Peso-% b.s. ¹	≤ 2 peso-% tipo y cantidad pendientes de fijar			ver 9.1 del manual
Poder calorífico neto (Q)	MJ/kg a.r. ¹	16.5 ≤ Q ≤ 19 ⁵	16.3 ≤ Q ≤ 19 ⁵	16.0 ≤ Q ≤ 19 ⁵	EN 14918
Densidad (BD)	kg/m ³	≥ 600			EN 15103
Nitrógeno (N)	Peso-% b.s. ¹	≤ 0.3	≤ 0.5	≤ 1.0	EN 15104
Azufre (S)	Peso-% b.s. ¹	≤ 0.03		≤ 0.04	EN 15289
Cloro (Cl)	Peso-% b.s. ¹	≤ 0.02		≤ 0.03	EN 15289



1.- PÈL·LET

Arsénico (As)	Peso-% b.s. ¹	≤ 1		EN 15297
Cadmio (Cd)	Peso-% b. s. ¹	$\leq 0,5$		EN 15297
Cromo (Cr)	Peso-% b.s. ¹	≤ 10		EN 15297
Cobre (Cu)	mg/kg ¹⁾	≤ 10		EN 15297
Plomo (Pb)	mg/kg ¹⁾	≤ 10		EN 15297
Mercurio (Hg)	mg/kg ¹⁾	$\leq 0,1$		EN 15297
Níquel (Ni)	mg/kg ¹⁾	≤ 10		EN 15297
Zinc (Zn)	mg/kg ¹⁾	≤ 100		EN 15297
Temperatura de fusión de las cenizas (DT) ⁴	°C	$\geq 1\ 200$	$\geq 1\ 100$	EN 15370
¹ a.r.= <i>as received</i> (tal y como es recibido el material), b.h.: en base húmeda (determinaciones del combustible húmedo [max. 10 w-%]), b.s : en base seca (análisis del combustible sin humedad).				
² Clase de diámetro (D06 o D08) debe ser indicado.				
³ Máximo 1% de los pellets más largos de 40 mm., máxima Longitud 45 mm.				
⁴ La temperatura de fusión de las cenizas es informativa (voluntaria) en la norma EN 14961-2. Para la certificación ENplus, el límite para la temperatura debe ser observado y detectado. Para este propósito, la ceniza debe ser producida a 815 °C				
⁵ Los pellets torrefactados no están incluidos en ENplus ni en EN 14961-2. Esto es limitado poniendo el límite al poder calorífico neto <i>as received</i> en 19 MJ/kg como máximo.				



1.- PÈL·LET

Processos bàsics d'identificació.

Existeixen procediments de control de qualitat descrits a les normes, però algunes indicacions pràctiques per veure de manera estimativa si un pèl·let és de qualitat:

- **Veure** si presenta algun cos estrany o punts de color diferent (homogeneïtat).
- **Olor:** el pèl·let ha de fer olor de fusta acabada de tallar (si és d'origen forestal).
- Provar de **cremar-lo per la punta**. El pèl·let ha de cremar fàcilment i ha de fer olor a fusta cremada.
- Si es posa una peça en un got d'aigua, aquesta **s'ha d'enfonsar** (si és de qualitat la densitat serà superior a 1000kg/m^3 . Si sura és un pèl·let pot densificat.
- En qüestió de pocs minuts ha d'inflar-se i **desfer-se en serradures** (si es posa sobre un fons blanc, es pot veure si hi ha cossos estranys a les serradures).
- agafem un grapat de pèl·lets a la mà i sense xafar-los, sacsegem fort. **La producció de fins ha d'ésser escassa** o nul·la.

2.- ESTELLA FORESTAL

És el resultat de la trituració de material procedent del bosc o be de subproductes de l'activitat de les serradores.

Està normalitzat tot i que és un combustible molt més variable que el pèl·let.

També pot ser autoproduït a partir de residus de poda i de neteges, tot i que la qualitat i la homogeneïtat serà molt inferior.



2.- ESTELLA FORESTAL

El procés de fabricació de l'estella consta de:

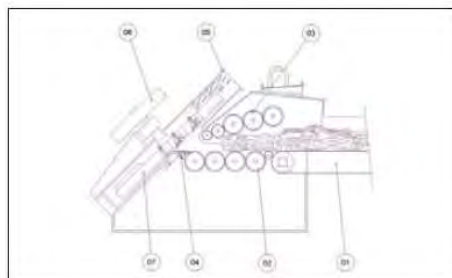
- 1.- Recepció i classificació de la fusta (segons humitats, verda acabada de tallar pot tenir entorn a un 55% humitatbh).**
- 2.- Assecat: assecat natural del tronc fins a obtenir humitats inferiors a al 30% (entre 1 i 2 anys).**
- 3.- Estellat mitjançant estelladores de tambor o de disc (amb separació o no amb tròmel).**
- 4.- Emmagatzematge sota cobert (s'acaba d'obtenir la humitat desitjada).**
- 5.- càrrega, transport i subministrament.**



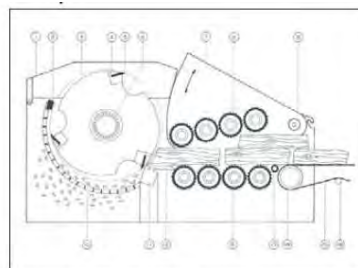
Font imatge : MATFOR – Matèries Forestals S.L.



2.- ESTELLA FORESTAL



Font: www.demuth.com.br.



Font: www.demuth.com.br.



Les grans poden produir entorn a 20T/h

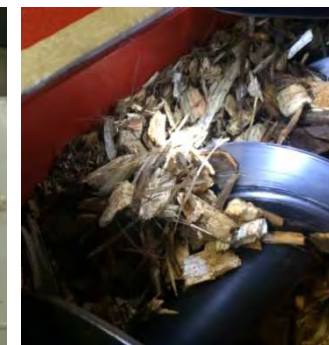


2.- ESTELLA FORESTAL

Característiques d'una estella habitual en calderes domèstiques i terciari i efectes sobre la instal·lació De biomassa:

1.- Dimensions: - longitud entre 5 i 100mm
- secció d'uns 3cm²

- Les estelles llargues poden encallar i aturar les alimentacions de les calderes.
- La granulometria i secció afecta al tipus de combustió.
- Estelles allargassades i fibroses poden afectar a l'alimentació.
- Estelles molt petites poden saturar els canals d'alimentació i excés material a la cambra de combustió.
- Els impropis poden generar obstruccions a l'alimentació o a l'extracció de cendres



2.- ESTELLA FORESTAL

Característiques d'una estella habitual en calderes domèstiques i terciari i efectes sobre la instal·lació de biomassa:

2.- Humitat inferior al 30% (calderes industrials poden arribar al 50%).

- Humitats superiors poden generar problemes de condensats i corrosions (a més d'ineficiència i increment costos).
- Podem no entregar la potència que necessitem.
- Problemes d'encesa i temperatura de fums.
- Saturació de la cambra de combustió.
- Problemes d'alimentació si hi ha fins



2.- ESTELLA FORESTAL

Característiques d'una estella habitual en calderes domèstiques i terciari i efectes sobre la instal·lació de biomassa:

3.- densitat aparent entorn a 250kg/m³

- Si la densitat és inferior es requerirà major volum per a poder emmagatzemar la mateixa energia.
- Si la densitat és molt superior podem tenir molta humitat o molts fins.
- Si l'alta densitat és deguda a estella molt densa, caldrà reajustar caldera.

4.- Poder Calorífic Inferior (PCI) superior a 3,5kWh/Kg.

- Com menor sigui el poder calorífic, menys energia per kg obtindrem i més cara sortirà l'energia.

5.- Contingut de Clor i sofre menor al 7%.

- el clor amb la combustió esdevé àcid clorhídric (HCL) i amb el sofre SO₂ i SO₃ (el qual acaba esdevenint àcid sulfúric). Com més contingut hi hagi, més emissions a l'atmosfera i més corrosions.

2.- ESTELLA FORESTAL

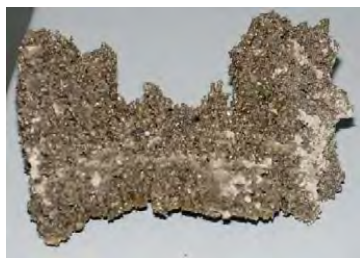
Característiques d'una estella habitual en calderes domèstiques i terciari i efectes sobre la instal·lació de biomassa:



6.- contingut de cendres inferior al 3%

- contingut de cendres indica la quantitat de cendres que es generaran amb la combustió. Com més alt sigui més neteja caldrà realitzar per a mantenir l'eficiència.

7.- Alta temperatura de fusió (superior a 1050°C).



- Per altra banda la temperatura de fusió de les cendres fa referència a quina temperatura el combustible es converteix en minerals que s'incrusten al cremador (donant problemes de rendiment, alimentació, pas d'aire de combustió i corrosió).

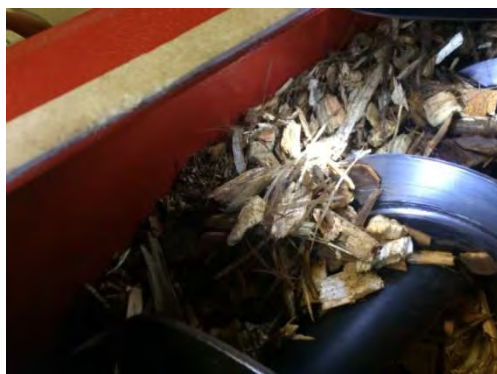
Font imatge : Guia ICAEN

2.- ESTELLA FORESTAL

Característiques d'una estella habitual en calderes domèstiques i terciari i efectes sobre la instal·lació de biomassa:

8.- Baix contingut en fins.

- Els fins per una banda donen problemes alimentació (desgast sense fins), poden apagar el foc (no permeten correcte pas aire) i generen ambients explosius degut a la seva combustibilitat i alta superfície contacte, propicien retorn de flama i, a més, incrementen l'emissió de partícules.
- Els fins sumats a la humitat faciliten les coves dificultant el buidat de sitges



2.- ESTELLA FORESTAL

Es poden trobar estelles de moltes qualitats i orígens diferents. Es pot demanar al fabricant un certificat de qualitat i característiques del mateix tot i que en alguns casos, per la variabilitat de l'origen, poden ser poc acotats.

Existeixen diferents normatives de certificació d'àmbits nacionals com la Önorm M 7133 a Austria, que classifica l'estella segons:

ÖNORM 7133						
Classe estella	Rangs permesos de granulometria				Valors extrems permesos	
	Fracció grollera ≤20%	Fracció principal >60%	Fracció fina ≤20%	Fracció molt fina ≤4%	Secció màxima	Longitud màxima
G30	>18 mm	18 - 2,8 mm	2,8 - 1 mm	<1 mm	3 cm ²	8,5 cm
G50	>31,5 mm	31,5 - 5,6 mm	5,6 - 1 mm	<1 mm	5 cm ²	12 cm
G100	>63 mm	63 - 11,2 mm	11,2 - 1 mm	<1 mm	10 cm ²	25 cm

Font imatge : Centre Tecnològic Forestal

Existeix la norma europea **UNE-EN ISO 17225-4:2014** *Biocombustibles sòlids – Especificacions i classes de combustible* Part 4: Classes d'Estella de Fusta

2.- ESTELLA FORESTAL

UNE-EN ISO 17225-4:2014 *Biocombustibles sòlids – Especificacions i classes de combustible* Part 4: Classes d'Estella de Fusta

Distribució de la mida de partícula per a estella segons la Norma ISO 17225

ISO 17225-1:2014 i ISO 17225-4:2014					
	Rangs permesos de granulometria		Valors extrems permesos		
Classe estella	Fins (F)*	Fracció principal ≥60%	Elements gruixuts	Secció màxima	Longitud màxima**
P16S	F15	3,15 – 16 mm	≤6% >31,5 mm	≤2cm ²	≤ 45 cm
P16		3,15 – 16 mm	≤6% >31,5 mm		≤ 150 cm
P31S	F10	3,15 – 31,5 mm	≤6% >45 mm	≤4cm ²	≤ 150 cm
P31		3,15 – 31,5 mm	≤6% >45 mm		≤ 200 cm
P45S	F10	3,15 – 45 mm	≤10% >63 mm	≤6cm ²	≤ 200 cm
P45		3,15 – 45 mm	≤10% >63 mm		≤ 350 cm
P63		3,15 – 63 mm	≤10% >100 mm		≤ 350 cm
P100		3,15 – 100 mm	≤10% >150 mm		≤ 350 cm
P200		3,15 – 200 mm	≤10% >250 mm		≤ 400 cm
P300		3,15 – 300 mm	No especificat		No especificat

*Fins (F) ho són les partícules inferiors als 3,15 mm.

**Només dues partícules dintre els elements gruixuts d'una mostra de 10 litres poden sobresortir de la longitud màxima si la seva secció és inferior als 0,5cm²

Font imatge : Centre Tecnològic Forestal

2.- ESTELLA FORESTAL

UNE-CEN/TS 14961 EX *Biocombustibles solidos – Especificaciones y clases de combustible*”.

Normativo	Cenizas (% en peso en base seca)	
	A0.7	< 0,7%
	A1.5	< 1,5%
	A3.0	< 3,0%
	A6.0	< 6,0%
	A10.0	< 10%
	Nitrógeno (% en peso en base seca)	
	N0.5	< 0,5%
	N1.0	< 1%
	N3.0	< 3,0%
	N3.0+	> 3,0%
Informativo	Poder calorífico inferior (MJ/kg) o densidad de energía (kWh/m³ suelto)	Se recomienda que se estipule al nivel de venta
	Densidad aparente como recibida (kg/m³ suelto)	Se recomienda que se estipule en categorías (BD200, BD300, BD450) si se comercia en volumen
	Cloro (% en peso en base seca)	Categorías recomendadas: Cl 0.03, Cl 0.07, Cl 0.10 y Cl 0.10+

* Los valores numéricos de la dimensión se refieren al tamaño de las partículas que pasan a través del tamiz del agujero redondo del tamaño mencionado (3,15 mm, 16 mm, 45 mm, 63 mm y 100 mm). Las dimensiones reales pueden diferir de esos valores, especialmente la longitud de la partícula

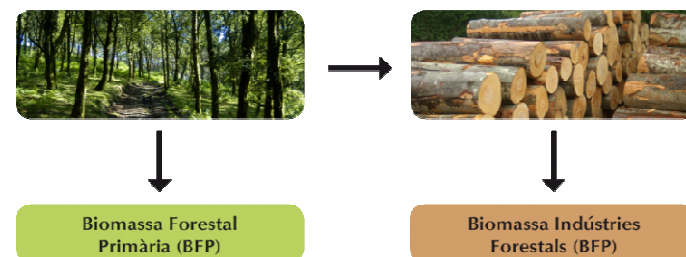
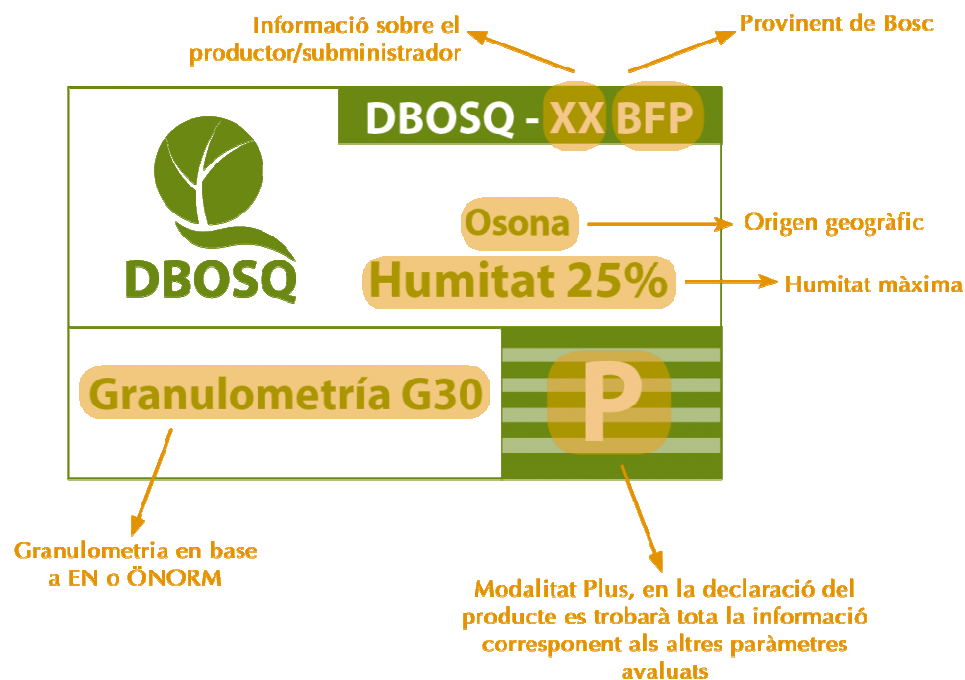
** A partir del 40% de humedad existe riesgo de reacción química y degradación de las astillas

2.- ESTELLA FORESTAL

Marca/etiqueta de qualitat i traçabilitat de l'estella.

Permet conèixer l'origen (i per tant la proximitat i si es tracta d'estella forestal o d'indústria de primera transformació).

Permet conèixer la qualitat (humitat, granulometria i impureses en la DBOSQ bàsic; humitat, granulometria, impropis, cendres i contingut energètic amb la DBOSQ Plus).



Font : Centre Tecnològic
Forestal de Catalunya

2.- ESTELLA FORESTAL

Marca/etiqueta de sostenibilitat i origen de productes forestals.

permetre a prescriptors, consumidors i la societat en general, identificar els productes forestals dels boscos de Catalunya en el mercat, amb **garantia de sostenibilitat** (gestió forestal sostenible), **proximitat** (Origen català-Boscos de Catalunya) i **qualitat** (estàndards de qualitat).



Per a tenir aquest segell s'han de complir els següents requisits:

- Proximitat** (boscos de catalunya)
- **Qualitat** (segell **DBOSQ** o complir en quant a granulometria :ÖNORM M7133: G30, G50 i G100, Norma EN ISO 17225-4:2010: P16S, P31S, P45S i en quant a Humitat: indicar si la humitat en base humida (Hbh) és: <10%, <25% i <35%)
- Sostenibilitat** (disposar de segell PEFC o FSC)

PÈL·LET

Avantatges ús pèl·let.

- És un combustible que, si s'usa normalitzat, és molt homogeni (fàcil regulació caldera) i es pot canviar fàcilment de proveïdor.
- Té densitat elevada i PCI elevat → menys necessitat espai.
- Té baix contingut en cendres (menors tasques de manteniment i d'operació)
- Per la seva forma permet descàrrega i transport pressuritzat.
- Fàcil manipulació i varietat de sistemes d'emmagatzematge (sitges tèxtils o d'obra, sitges pinso, sacs).
- Absència d'olors (sempre que sigui forestal).
- calderes d'alta eficiència per la seva capacitat de regulació.

Limitacions/inconvenients.

- És necessari el consum d'energia per a la seva producció (triturar, moldre, assecar i premsar)
- Es deteriora amb la humitat (tenir-ho present emmagatzematge).
- Cost de producció elevat degut a l'assecatge.
- Produccions centralitzades incrementen a vegades costos de transport.
- Preu final relativament més elevat.

ESTELLA FORESTAL

Avantatges ús estella forestal.

- És un combustible abundant en el mercat local català (menys cost transport).
- És un producte poc processat (menys cost energètic associat).
- Absència d'olors (sempre que sigui forestal).
- calderes d'alta eficiència, en el cas de normalitzats, per la seva capacitat de regulació.
- És molt més barat que la resta de combustibles de la biomassa.
- Pot aprofitar brancassa i residus forestals que no servien comercialment per a llenya o mobles.

Limitacions/inconvenients.

- És molt heterogeni. Falta un subministrament certificat.
- És poc dens, i el PCI és més baix, i requereix molt volum emmagatzematge.
- Per la seva composició fibrosa requereix sistema de barreja.
- Per la seva composició, no es pot transportar pneumàticament i la sitja sovint ha de ser soterrada.
- Acostuma a tenir més humitat (menor rendiment)

3.- LLENYA

La llenya és el combustible que l'home ha utilitzat tradicionalment en la combustió directa.

Prové de la trituració en peces mitjanes o grans dels arbres (d'uns 20cm a 1m).

És el menys processat dels combustibles descrits i es pot adquirir arreu.

Quan es talla la llenya pot tenir fins a un 55% d'humitat i podem reduir-ne la seva humitat fins a un 25% assecant-la apilada a l'exterior en 1-2 anys (segons el diàmetre).

Per la seva forma i dimensions no acostuma a ser automatitzada l'alimentació.



3.- LLENYA

Característiques d'una llenya correcta i efectes sobre la instal·lació de biomassa:

- 1.- Dimensions: - longitud menors a 30cm, 50cm i 100cm
- diàmetres menors a 15cm, menors a 35cm
- cada tipus de caldera té unes dimensions màximes de tronc acceptades.
- 2.- Humitat inferior al 30%.
- Humitats superiors poden generar problemes de condensats i corrosions (a més d'ineficiència).
- Per a llars de foc o calderes no automatitzades, si s'usa amb més humitat es pot barrejar amb llenya seca.
- 3.- densitat aparent entorn a 500kg/m³
- Si la densitat és inferior es requerirà major volum per a poder emmagatzemar la mateixa energia.
- Llenyes poc denses (pi) requereixen més càrregues que llenyes denses (alzina)

3.- LLENYA

Característiques d'una llenya correcta i efectes sobre la instal·lació de biomassa:

4.- Poder Calorífic Inferior (PCI) superior a 3,5kWh/Kg.

- Com menor sigui el poder calorífic, menys energia per kg obtindrem i més cara sortirà l'energia.

5.- Cendres inferiors al 2%

- el subministrador difícilment ens ho podrà dir però va lligat a si hi ha molta escorça o no.

6.- Qualitat visual.

- que no es vegi fluridura ni que estigui iniciant la descomposició o molt corcada (es pot detectar si la densitat es massa baixa).
- Pot estar esqueixada o sencera (en funció del diàmetre).



3.- LLENYA

Avantatges ús de la llenya.

- És un combustible molt abundant i proper en el mercat local català (menys cost transport).
- És un producte poc processat (menys cost energètic associat).
- Pot ser autoproduït amb relativa facilitat.
- Absència d'olors (sempre que sigui forestal).
- Hi ha calderes que poden funcionar amb llenya i pèl·let (esdevenint així totalment automàtiques).
- Es pot consumir en llars de foc, estufes i calderes.

Limitacions/inconvenients.

- És molt heterogeni. Falta un subministrament certificat.
- Per la seva forma, està pensat per a calderes de baixa potència i amb alimentació manual (semiautomàtiques).
- Calen dispositius de seguretat per a evitar sobretemperatures tipus vasos d'expansió oberts i dipòsits d'inèrcia de volums importants.

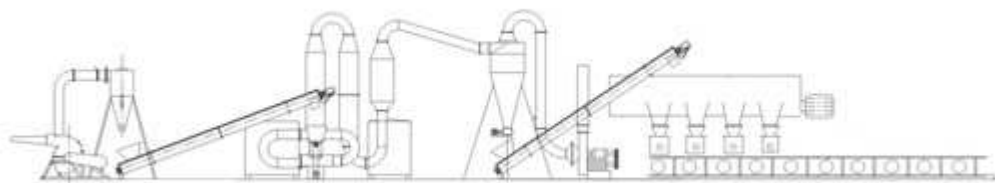
-

4.- BRIQUETES

Les briquetes són cilindres de fusta compactada (com en el cas del pèl·let) però amb dimensions més grans (similars a les de la llenya).

Poden ser de fusta, cereals, residus agraris, etc.

El procés comporta trituració, secat, premsat i embalatge.



Font esquema procés: Anyang Gemco Energy Machinery



4.- BRIQUETES



[Veure video briquetadora industrial](#)



Font imatges: Municipio de Mealhada

4.- BRIQUETES

Característiques d'una briqueta correcta i efectes sobre la instal·lació de biomassa:

- 1.- Dimensions: - longitud menors a 50cm (normalment menor 30cm).
- diàmetres de l'ordre de 9cm (també quadrades).

- cada tipus de caldera té unes dimensions màximes de tronc acceptades. Compte amb la capacitat energètica de la caldera degut a la densitat energètica superior al tronc
- 2.- Humitat inferior al 10%.
- Humitats superiors poden generar problemes de condensats i corrosions (a més d'ineficiència). Igual que el pèl·let la humitat les malmetrà.
- 3.- densitat aparent entorn a 700kg/m³
- Si la densitat és inferior es requerirà major volum per a poder emmagatzemar la mateixa energia.
- 4.- Poder Calorífic Inferior (PCI) superior a 4,8kWh/Kg.
- Com menor sigui el poder calorífic, menys energia per kg obtindrem i més cara sortirà l'energia.
- 5.- Cendres inferiors al 2%

Menys neteges i millor combustió.

4.- BRIQUETES

Avantatges ús de les briquetes.

- Tenen un alt poder calorífic i són molt densos (molta energia en poc espai)
- Es pot obtenir a partir de residus de la fusta o agraris (clova ametlla, etc).
- Té característiques, en quant a dimensions i usos, similars a la llenya
- Es pot consumir en llars de foc, estufes i calderes.
- Està normalitzat i s'acostuma a subministrar amb full de característiques.
- Té baix contingut en humitat i cendres.

Limitacions/inconvenients.

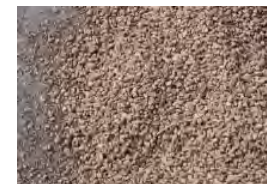
- No hi ha grans produccions properes.
- L'alimentació acostumarà a ser manual.
- Cal un processat i transport.
- El preu és elevat (respecte a la llenya)

5. SUBPRODUCTES AGROINDUSTRIALS

Existeixen multitud de subproductes agraris que fins fa un temps eren un rebuig al que no es donava valor i que mica en mica s'han anat valoritzant energèticament.

Hi ha molta variabilitat i poden tenir diferents formes o presentacions que condicionaran en el tipus de caldera.

- **GRANULATS** (pinyolada d'oliva, closques fruits secs, granet raïm...)
- **CEREALS** (civada, myscanthus, ...)
- **FIBROSOS** (canyís, palla...)
- **SERRADURES** (molturats de diferents productes agraris, marro café,...)



5. SUBPRODUCTES AGROINDUSTRIALS

Sovint són combustibles que poden ser barats (degut a ser un residu) però estacionaris (no n'hi ha tot l'any en la mateixa quantitat).

Cal vigilar la composició dels mateixos (a vegades poden ser molt corrosius els productes de la combustió i les calderes han d'estar preparades).

L'alimentació (segons la seva presentació) també farà que les calderes siguin diferents (a excepció dels granulars).

No acostumen a estar normalitzats.

Alguns fan olor quan es cremen.

Sovint passen per processos d'asseccament i refinament per a millorar les seves prestacions).

5. SUBPRODUCTES AGROINDUSTRIALS

Pinyol d'oliva

Format per la part llenyosa de l'oliva un cop s'ha extret l'oli, assecat i netejat.

Granulometria: **de 0,1 a 0,8cm**

PCI: **de 4,6 a 4,9 kWh/kg**

Humitat: **del 8 al 10%**

Densitat aparent: **600kg/m³**

Cendres: **2-3%**



Té alts continguts en clor (afecta corrosió interna), fusibilitat baixa de les cendres (pot generar incrustacions) i segons el procés pot portar restes d'olis.

És un molt bon combustible si és de qualitat.

5. SUBPRODUCTES AGROINDUSTRIALS

Pinyolada d'oliva

Format per residu de la pinyola d'oliva (pinyol, restes de pell i polpa oliva).

Granulometria: **de 0,1 a 0,8cm**

PCI: **de 4,2 a 4,5 kWh/kg**

Humitat: **del 8 al 12%**

Densitat aparent: **600kg/m³**

Cendres: **4-5%**



Té alts continguts en clor (afecta corrosió interna), fusibilitat baixa de les cendres (pot generar incrustacions) i segons el procés pot portar restes d'olis. Cal netejar sovint bescanviadors.

És un molt bon combustible si és de qualitat.

5. SUBPRODUCTES AGROINDUSTRIALS

Closca ametlla

Format per residu de closques d'ametlles triturades

Granulometria: **de 1 a 3,5cm**

PCI: **de 4 a 4,5 kWh/kg**

Humitat: **de l'ordre del 5-10%**

Densitat aparent: **350kg/m³**

Cendres: **2-3%**



Té fusibilitat baixa de les cendres (pot generar incrustacions).

Té humitats baixes (temperatures elevades a la cambra de combustió)

És un molt bon combustible si és de qualitat.

SERRADURES I FLOCS

Acostumen a ser subproductes de les serradores i indústries de transformació de la fusta.

Sempre que la fusta no hagi estat tractada poden ser un bon combustible.

Tot i tenir densitats baixes, per la seva composició no faciliten el pas d'aire en la combustió , i poden apagar el foc (a més els fins són explosius).

Poden usar-se per a la fabricació de pèl·lets o briquetes o poden combustionar-se directament en calderes adaptades.



Cal emprar el combustible per al qual han estat dissenyats els equips de generació de calor ja que sinó té efectes en les emissions

Resultados de pruebas de combustión

	EN-PLUS, A1 pellets	Olive stones	Chopped pine cone	Almond shells	Pine nut shells
O ₂ (%) d.b.	7,5	9,4	9,2	7,2	7,9
CO (mg/Nm ³) d.b. ⁽¹⁾	393	994	496	3077	57
TOC (mg/Nm ³) d.b. ⁽¹⁾⁽³⁾	1,6	7,7	1,1	32	0.12
NO _x (mg/Nm ³) d.b. ⁽¹⁾⁽²⁾	128	263	286	258	329
SO ₂ (mg/Nm ³) d.b. ⁽¹⁾	11	20	17	23	9,3
HCl (mg/Nm ³) d.b. ⁽¹⁾	0,32	0,49	0,29	0,38	0,25
Particles (mg/Nm ³) d.b. ⁽¹⁾⁽⁴⁾	32	131	221	393	45
Combustion air excess (%) ⁽⁵⁾	55	80	77	52	60

d.b.: dry basis.

⁽¹⁾: referred to 10% v. O₂.

⁽²⁾: NO + NO₂ shown as NO_x.

⁽³⁾: shown as C.

⁽⁴⁾: mean value of the 4 filters gathered during the stationary period.

⁽⁵⁾: with regard to stoichiometric combustion air.

European standard EN 303-5 (class 3):

CO: 3000 mg/Nm³ (O_{2,reference}: 10% v.).

TOC: 100 mg/ Nm³ (O_{2,reference}: 10% v.).

Particles: 150 mg/ Nm³ (O_{2,reference}: 10% v.).

Fuente: CEDER-CIEMAT

MOLTES GRÀCIES PER LA VOSTRA ATENCIÓ

8 de maig de 2018



JOAN OLIVER CASANELLAS

Enginyer Industrial

SUNO Enginyeria de Serveis Energètics SCCLP

E-mail: joan@suno.cat