



CENTRO DE INNOVACIÓN E SERVIZOS  
TECNOLOXICOS DA MADEIRA DE GALICIA

Parque Tecnolóxico de Galicia  
Avda. de Galicia n.º 5  
San Cibrao das Viñas  
E - 32901 OURENSE  
Tel.: + 34 988 36 81 52  
Fax: + 34 988 36 81 53  
Correo - e: info@clismadera.com

## INFORME DE CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA DE PELLET DE MADERA, SOLICITADO POR LA EMPRESA SARMAN, S.A.

### 1. OBJETO DEL INFORME

A petición de la empresa Sarman, S.A., a través de D. Raúl Puelles, se solicita un informe destinado a caracterizar un pellet de madera, contemplando los siguientes aspectos:

- Densidad en bruto o aparente del producto.
- Contenido de humedad.
- Contenido de cenizas.
- Poder calorífico.

A tal efecto, el día 15 de julio de 2010 un técnico del CIS-Madeira se desplaza a la planta de producción de pellet de madera que la empresa tiene en el Polígono Industrial del Espíritu Santo en el ayuntamiento de Cambre (A Coruña), procediendo a la recogida de 8 sacos de pellet de 15 kg, de diferentes días de fabricación. Todos los sacos aparecían identificado con la marca comercial PELLCAM® y fueron identificados como:

Identificación Laboratorio	Fecha de fabricación (según identificación recogida en el pallet)
PT-1 07/10	13/06/10
PT-2 07/10	25/06/10
PT-3 07/10	23/06/10
PT-4 07/10	09/06/10
PT-5 07/10	14/06/10
PT-6 07/10	02/07/10
PT-7 07/10	09/07/10
PT-8 07/10	12/07/10

Los pellets de madera tenían formato cilíndrico con un diámetro de 6 mm, lo que se corresponde con una categoría HP5 según la clasificación recogida en la norma DIN 51731:1996 "Testing of solid fuels. Compressed untreated wood. Requirements and testing".

### 2. PROCEDIMIENTO OPERATORIO

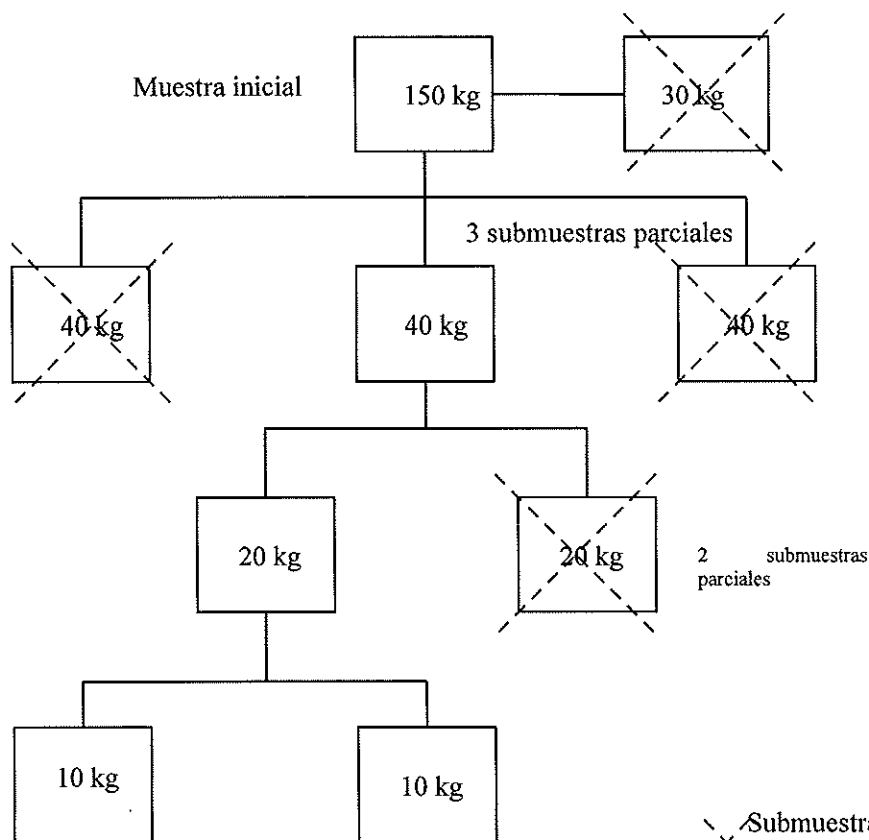
#### 2.1. Obtención de las muestras de ensayo.

Según lo recogido en la norma DIN 51731 la muestra recogida en la empresa se mezcló en el laboratorio del CIS-Madeira convenientemente y se separaron en tres muestras iguales de 40 kg cada uno. De estas muestras se selecciona una y las otras dos se desechan. La muestra seleccionada se divide en dos submuestras de 20 kg, de la que se selecciona una. Finalmente esa



muestra se divide en dos submuestras de 10 kg cada una, la primera para la realización de los ensayos de laboratorio y la segunda se archiva en el laboratorio del CIS-Madeira.

### ESQUEMA DE SELECCIÓN DE LAS MUESTRAS



MUESTRAS PARA ENSAYO EN LABORATORIO

Submuestras  
descartadas

## 2.2. Determinación de la densidad aparente.

La determinación de la densidad aparente del material se realizó basándose en la norma UNE-CEN/TS 15103 EX "Biocombustibles sólidos. Métodos para la determinación de la densidad aparente de pila".

Para la determinación se utilizó un recipiente pequeño de volumen conocido y pesando el material con balanza analítica (precisión: 0,01 g).



### 2.3. Determinación del contenido de humedad.

El contenido de humedad se determinó de acuerdo con la norma UNE-CEN/TS 14774-1 EX "Biocombustibles sólidos. Métodos para la determinación del contenido de humedad. Método de secado en estufa. Parte 1: Humedad total. Método de referencia". Las muestras obtenidas de los elementos a analizar, fueron pesadas con una aproximación de 0,01 g e introducidas en estufa a  $105 \pm 2$  °C hasta alcanzar un peso constante que coincide con el peso anhidro.

### 2.4. Determinación del poder calorífico.

La determinación del poder calorífico del material se realizó según la norma española UNE 164001 EX:2005 "Biocombustibles sólidos. Método para la determinación del poder calorífico", mediante el empleo de una bomba calorimétrica calibrada por combustión de ácido benzoico.

Para determinar el poder calorífico superior (PCS) a volumen constante, se utilizó directamente el material recogido en fábrica, sin secar previamente la muestra. Simultáneamente, se realizó la medición del contenido de humedad para realizar las correcciones posteriores.

### 2.5. Determinación del contenido de cenizas.

La determinación del contenido en cenizas se realizó expresando, como porcentaje, la cantidad residual existente al someter a oxidación seca una muestra de material, hasta lograr la eliminación total de materia carbonosa. Este ensayo fue realizado conforme a la norma UNE-CEN/TS 14775 EX "Biocombustibles sólidos. Método para la determinación del contenido en cenizas".

Las muestras, de al menos 1g de peso, fueron alojadas en crisoles de porcelana limpios y secos, que previamente fueron calentados en el horno durante una hora a  $(550 \pm 10)$ ° C. Posteriormente estas muestras fueron introducidas en un horno mufla ajustado según ajustado a un programa de trabajo donde durante los primeros 50 minutos se eleva la temperatura a un ratio de 5 °C/min hasta llegar a los 250°C, manteniendo esta temperatura durante 60 minutos para permitir evaporar los volátiles antes de la ignición. Se sigue elevando la temperatura de forma uniforme hasta alcanzar  $(550 \pm 10)$ ° C en unos 60 minutos, y finalmente se mantiene esa temperatura durante al menos 120 minutos.

Tras realizar la retirada de los crisoles del horno, éstos fueron enfriados a temperatura ambiente en un desecador cerrado, con el fin de evitar alteraciones de peso debidas a la captación de humedad.

El peso de las submuestras, registrado antes y después del proceso, fue obtenido mediante balanza analítica (precisión: 0,1 mg).

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Determinación de la densidad aparente del producto.

La densidad aparente del producto según se recibe se obtiene aplicando la ecuación:

$$D_{ar} = \frac{P}{V}$$

La densidad aparente en materia seca se obtiene aplicando la siguiente ecuación:

$$D_{dm} = D_{ar} \times \frac{(100 - M_{ar})}{100}$$

Donde:

$D_{ar}$ : densidad aparente del material según se recibe en  $\text{g/dm}^3$  o  $\text{kg/m}^3$ .

$D_{dm}$ : densidad aparente en materia seca en  $\text{g/dm}^3$  o  $\text{kg/m}^3$ .

$M_{ar}$ : contenido de humedad en % de la muestra recibida (base húmeda).

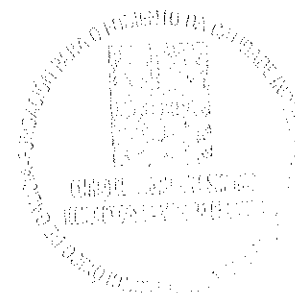
P: Peso del material en gramos.

V: Volumen del depósito contenedor en  $\text{dm}^3$ .

El resultado de los ensayos realizados, con tres repeticiones, fue:

La densidad aparente media del material fue de  $627 \text{ kg/m}^3$ .

La densidad aparente media sobre materia seca del material fue de  $565 \text{ kg/m}^3$ .



#### 3.2. Determinación del contenido de humedad de recepción.

El contenido de humedad en base húmeda se calculó aplicando la siguiente fórmula:

$$M_{ar} (\%) = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100$$

Donde  $P_1$  es el peso inicial de la muestra (peso húmedo) y  $P_2$  el peso de la muestra después de la desecación (peso anhidro).

En la siguiente tabla se muestran los resultados de humedad de cada una de los ensayos:

Ensayo	Contenido de humedad de recepción en Base Húmeda (%)
1	9,9
2	10,0
3	9,9
<b>Promedio</b>	<b>9,9</b>

### 3.3. Determinación del poder calorífico.

En la siguiente tabla se recogen los datos, correspondientes a los ensayos de determinación del poder calorífico superior (PCS) a volumen constante.

Ensayo	Poder calorífico superior (PCSh)	
	kcal/kg	kJ/kg
1	4.332,94	18.129,02
2	4.334,06	18.133,71
3	4.372,33	18.293,83
<b>Promedio</b>	<b>4.346,44</b>	<b>18.185,52</b>

La determinación del contenido de humedad del material dio un resultado de 9,9 %, coincidente con la humedad media comercial del producto. Con estos datos, y considerando una concentración de hidrógeno media en la madera del 6%, se calcula el Poder Calorífico Inferior (PCI) del material.

Ensayo	Poder calorífico infer (PCIh)	
	kcal/kg	kJ/kg
1	4.012,11	16.786,67
2	4.013,31	16.791,35
3	4.051,50	16.951,47
<b>Promedio</b>	<b>4.032,36</b>	<b>16.871,41</b>

En la norma ÖNORM M 7135 se recoge el poder calorífico neto referido a la materia seca. En el caso de este material el Poder Calorífico Neto (sobre masa seca) es de **18.735,51 kJ/kg** (4.477,89 kcal/kg).

En la norma DIN 51731 se recoge el poder calorífico neto referido a la materia seca y libre de cenizas. En el caso de este material el Poder Calorífico Neto (sobre masa seca y sin cenizas) es de **18.775,72 kJ/kg** (4.487,50 kcal/kg).

### 3.4. Determinación del contenido de cenizas.

El contenido en cenizas ( $A_d$ ) se obtuvo aplicando la siguiente ecuación:

$$A_d(\%) = \frac{(m_3 - m_1)}{(m_2 - m_1)} \times 100 \times \frac{100}{100 - M_{ad}}$$

Donde:

$m_1$ : es la masa, en gramos, del crisol vacío.

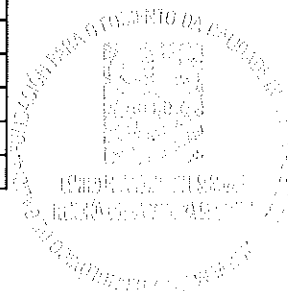
$m_2$ : es la masa, en gramos, del crisol y la muestra.

$m_3$ : es la masa, en gramos, del crisol y la ceniza.

$M_{ad}$ : es el contenido de humedad de la muestra usada para la determinación (en %).

La siguiente tabla muestra los resultados de cada uno de los ensayos realizados a 550°C.

Ensayo	Contenido de Cenizas (%) 550°C
1	0,2
2	0,3
3	0,2
4	0,2
<b>Promedio</b>	<b>0,2</b>



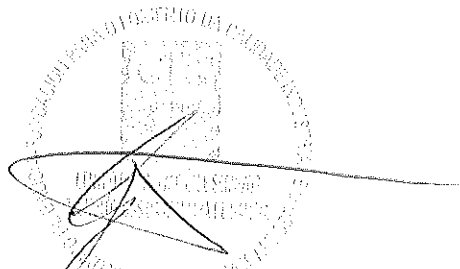
#### 4. RESUMEN

A continuación se recoge un resumen de los resultados obtenidos, así como los requerimientos establecidos para este tipo de biocombustible en la norma alemana DIN 51731:1996 "Testing of solid fuels. Compressed untreated wood. Requirements and testing" y la norma austríaca ÖNORM M7135.

Los pellets de madera ensayados tienen formato cilíndrico con un diámetro de 6 mm, lo que se corresponde con una categoría HP5 según la clasificación recogida en la norma DIN 51731:1996.

Ensayo	Resultado	Requerimiento DIN 51731	Requerimiento ÖNORM 7315
Densidad aparente	616 kg/m <sup>3</sup>		
Densidad aparente (sobre materia seca)	555 kg/m <sup>3</sup>		
Contenido de humedad ( <i>water content</i> )	9,90%	< 12 %	≤ 10 %
Contenido de cenizas 550° C ( <i>ash content wf</i> )	0,20%	≤ 1,5 %	
Poder calorífico inferior (PCIh)	16.871,41 kJ/kg 4.032,36 kcal/kg		
Poder calorífico inferior neto (sobre masa seca) ( <i>net calorific value wf</i> )	18.735,51 kJ/kg 4.477,89 kcal/kg		≥ 18.000 kJ/kg
Poder calorífico inferior neto (sobre masa seca y libre de cenizas) ( <i>net calorific value waf</i> )	18.775,72 kJ/kg 4.487,50 kcal/kg	17.500-19.500 kJ/kg	

Este informe consta de 7 páginas y un anexo fotográfico.



Fdo.: Gonzalo Pifeiro Veiras  
Responsable de Unidad de Tecnología

Ourense, 05 de agosto de 2010

## Anexo Fotográfico







Fotografía 1. Almacén de producto de la empresa donde se recogieron las muestras.



Fotografía 2. Identificación comercial del producto en los sacos recogidos.

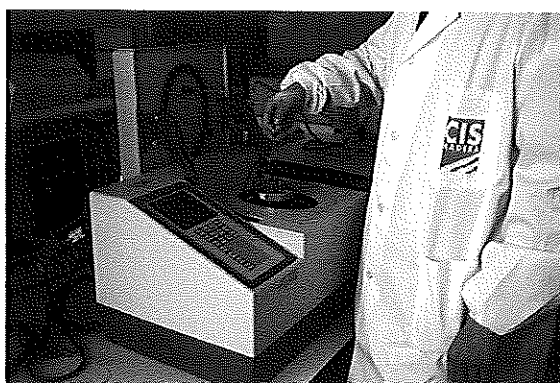
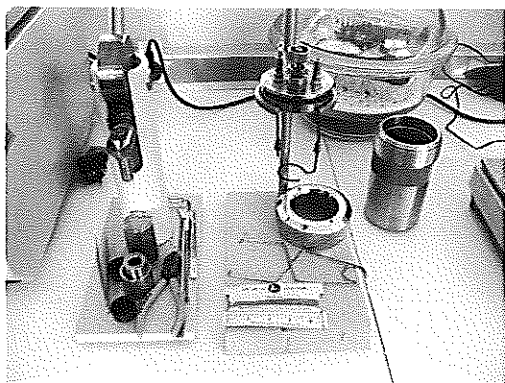


**Fotografía 3. Muestras recogidas en fábrica (total 8 sacos de 15kg cada uno).**

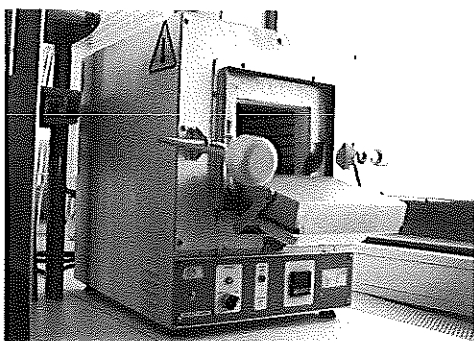


**Fotografía 4. Homogeneización, mezclado y preparación de las muestras de ensayo.**





**Fotografías 5 y 6. Ensayo de Poder Calorífico con bomba calorimétrica según UNE 164001 EX.**



**Fotografías 7 y 8. Ensayo para la determinación del contenido en cenizas con horno Muflla según UNE-CEN/TS 14775 EX.**

