

Interreg
España - Portugal

Fondo Europeo de Desarrollo Regional
Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional



UNIÓN EUROPEA
UNIÃO EUROPEIA



“Funcionamiento y conclusiones de los sistemas de combustión e intercambio térmico en BNVAP en estufas de briquetas” y “Resultados del análisis del gas de síntesis y de la fusibilidad de las cenizas”

Resumen

1. Introducción

El objetivo de este informe es recopilar todos los datos obtenidos en relación a la densificación de las especies de biomasa estudiadas en este proyecto (tojo, vid y kiwi) así como los datos obtenidos en relación a la combustión y gasificación de estas mismas especies.

El papel de INEGI en este proyecto fue trabajar en la optimización de los sistemas de densificación y adición de aditivos de los nuevos biocombustibles, así como en la validación de su uso como combustible en sistemas de combustión y gasificación de biomasa.

2. Ensayos de densificación

La densificación es un proceso de compactación de la materia prima que consiste en aplicar presión a una masa de partículas con o sin añadido de aglomerantes o tratamiento térmico. Esta materia prima puede ser serrín, residuos forestales o agrícolas. La densificación de la biomasa es determinante para obtener un material adecuado, en forma de pellets o briquetas, con el fin de obtener el mejor resultado posible en términos de higiene de la combustión.



Figura 1- Comparación entre un pellet y una briqueta

Las especies de biomasa estudiadas en este proyecto (vid, kiwi y tojo) se densificaron en forma de briquetas para proceder posteriormente a su combustión. La mayor parte de las briquetas utilizadas se produjeron en el INEGI mediante una máquina de

briquetas modelo 70N de Comafer (véase la figura siguiente), garantizando así el control y la uniformidad dimensional de los biocombustibles, así como la brevedad de su fabricación. Con el fin de establecer una comparación con las briquetas aquí producidas, en términos de combustión y composición, se adquirieron briquetas comerciales.



Figura 2 – Máquina de briquetas

Leyenda:

- 1-Base/Tanque de aceite
- 3- Medidor nivel
- 5- Planta prensado
- 7- Panel de control eléctrico

- 2- Depósito de alimentación
- 4- Planta de compresión

En la siguiente tabla se describen las características técnicas de la máquina de briquetas utilizada.

Tabla 1- Características técnicas de Comafer 70N

Característica	Valor
Producción	30 a 60 kg/hr
Diámetro de las briquetas producidas	55 mm
Longitud máxima de las briquetas	400 mm
Potencia del motor	5 kW
Tensión	400 V
Diámetro del cilindro	120 mm
Número de cilindros	3
Valor máximo de presión del sistema hidráulico	250 bar
Valor máximo de presión en el cilindro de compactación	160 bar
Diámetro del depósito	1000 mm
Altura del depósito	930 mm
Volumen del depósito	0,7 m ³
Masa de materia admisible en el depósito	100 kg

A través del citado equipo se pudo realizar la densificación de las especies de biomasa deseadas (vid, kiwi y tojo) para su posterior combustión.



Figura 3 - Briquetas de vid (izquierda), kiwi (centro) y tojo (derecha)

De los ensayos de densificación de las especies de biomasa (poda de vid, kiwi y tojo), se constató que la biomasa de poda de tojo presentaba mejores características en términos de densificación que la poda de vid. No obstante, la poda de kiwi fue la que dio los peores resultados. Debido a ello, se estudió el efecto de la adición de aditivos

(almidón, caolín y corteza de moluscos) a esta especie de biomasa para mejorar sus características de compactación, lo que repercutió en el aumento sustancial de estas mismas características para esta especie de biomasa. Una vez producidas las briquetas de cada una de las especies, se efectuó su caracterización en términos de composición inmediata, elemental y sus poderes caloríficos superiores e inferiores.

Tabla 2- Composición inmediata y elemental de briquetas comerciales, vid, kiwi y tojo

Parámetro	Comercial	Poda de Vid	Poda de Kiwi	Poda de Tojo
Contenido de cenizas a 550 °C [%]	1,2	3,2	3,5	2,6
Material volátil a 900°C [%]	72,8	69,5	66,7	78,9
Carbono fijo [%]	15,4	17,0	19,9	18,5
Contenido de humedad [%]	10,6	10,3	9,9	12,3
Carbono total (b.s) [%]	55,6	47,0	46,1	52,0
Hidrógeno (b.s) [%]	6,4	6,2	6,6	6,3
Oxígeno (b.s) [%]	34,6	46,1	45,8	40,4
Nitrógeno (b.s) [%]	3,3	0,6	1,2	1,2
Azufre (b.s) [%]	0,09	0,05	0,27	0,11
PCS (b.s) [MJ/kg]	19,20	19,03	19,07	19,18
PCI (b.s) [MJ/kg]	17,80	17,03	17,75	17,81

Como se indica en el cuadro anterior, todas las especies estudiadas presentaron contenidos de cenizas superiores a la briqueta comercial, lo que posiblemente tendrá una gran influencia en la estabilidad de las instalaciones de combustión, especialmente en la formación de suciedad en las superficies de transferencia de calor, lo que afectará negativamente a la eficiencia térmica de estos equipos. En cuanto al contenido de humedad, los valores son muy similares a los de la briqueta comercial, excepto el tojo, que presenta valores superiores. En términos de poder calorífico superior e inferior, se constata que los valores obtenidos son muy similares entre sí y en relación con la briqueta comercial.

3. Ensayos de combustión

Los ensayos de combustión tuvieron como principal objetivo el estudio de la viabilidad energética de los residuos procedentes de la agricultura y la silvicultura. En esta fase se realizaron pruebas para la poda de vid, la poda de kiwi y el tojo.

Para que este estudio fuera viable, se analizó en primer lugar el rendimiento térmico de la estufa utilizada en función del biocombustible utilizado anteriormente y se comprobó también la influencia de las diferentes temperaturas de entrada del caudal de agua en el rendimiento de la estufa.

La estufa doméstica utilizada para los ensayos de combustión de briquetas es de la marca Solzaima, modelo Caldera de Leña SMZ IW, con una potencia de 24kW, destinada al calentamiento de agua para uso en instalaciones de calefacción central y para uso doméstico.



Figura 4 – Estufa doméstica utilizada

La estructura de la estufa pesa 383kg y admite un volumen de agua de 73 litros, con un valor de masa total de 456kg, tiene una capacidad máxima de carga igual a 30kg, con una longitud máxima de briquetas de 475mm.

Los ensayos se llevaron a cabo en la estufa presentada anteriormente y todos se realizaron en condiciones similares, tanto en el caudal másico de agua, como en la cantidad de briquetas para la alimentación de la estufa entre los mismos intervalos de tiempo (cada 15 minutos), con excepción del último ensayo de tojo, en el que se redujo la alimentación en un 25 %.

A continuación se indican las condiciones de funcionamiento de la estufa como el caudal másico medio de agua en el circuito interior de la estufa $\dot{m}_{ag}$, las temperaturas medias de entrada y salida del agua T_{ent} y $T_{saí}$, y la diferencia entre ellas, para todos los ensayos realizados. También se indica el caudal másico medio de combustible

durante cada ensayo $\dot{m}_{\text{comb}}$, así como el contenido de cenizas t_{cinzas} . En el ensayo, el número después de la letra representa la temperatura del agua.

<i>Ensaio</i>	$\dot{m}_{\text{comb}}$ [kg/h]	$\dot{m}_{\text{ag}}$ [kg/min]	T_{ent} [°C]	T_{sal} [°C]	ΔT [°C]	t_{cinzas} [%]
<i>V30₁</i>	4,01	11,33	29,18	43,36	14,18	7,14
<i>V30₂</i>	4,02	11,18	31,19	46,09	14,90	5,69
<i>V40₁</i>	4,06	11,05	36,99	52,26	15,27	5,82
<i>V40₂</i>	4,04	11,12	36,57	49,75	13,18	5,50
<i>K30₁</i>	4,02	11,40	29,11	42,36	13,25	4,39
<i>K30₂</i>	4,00	10,59	33,01	47,71	14,70	6,69
<i>K40₁</i>	4,03	11,62	35,36	48,01	12,65	4,88
<i>K40₂</i>	4,07	10,04	37,32	49,88	12,56	6,32
<i>K40₃</i>	4,06	11,26	36,13	49,74	13,61	5,41
<i>Tamb₁</i>	4,02	11,46	14,99	31,76	16,77	2,83
<i>Tamb₂</i>	4,03	11,47	15,78	33,47	17,69	3,55
<i>T30₁</i>	4,01	11,29	30,36	45,74	15,38	3,41
<i>T30₂</i>	4,00	10,98	29,56	47,76	18,20	3,20
<i>T40₁</i>	4,04	10,71	37,17	54,85	17,68	2,54
<i>T40₂</i>	4,03	10,78	36,59	55,85	19,26	3,53
<i>T40₃</i>	3,01	11,31	36,26	49,57	13,31	2,21

Figura 5 – Condiciones de funcionamiento de la estufa

Cabe señalar que, aunque se trata de una evaluación simplista, los valores del contenido de cenizas cuando se utilizan briquetas de vid para el funcionamiento de la estufa son, por término medio, más altos que utilizando otra especie de briquetas, con un valor máximo del 7,14 %.

El rendimiento térmico de la estufa consistió en un análisis de todos los ensayos para una base temporal de 75 minutos. Este análisis se realizó por separado para cada tipo de biomasa.

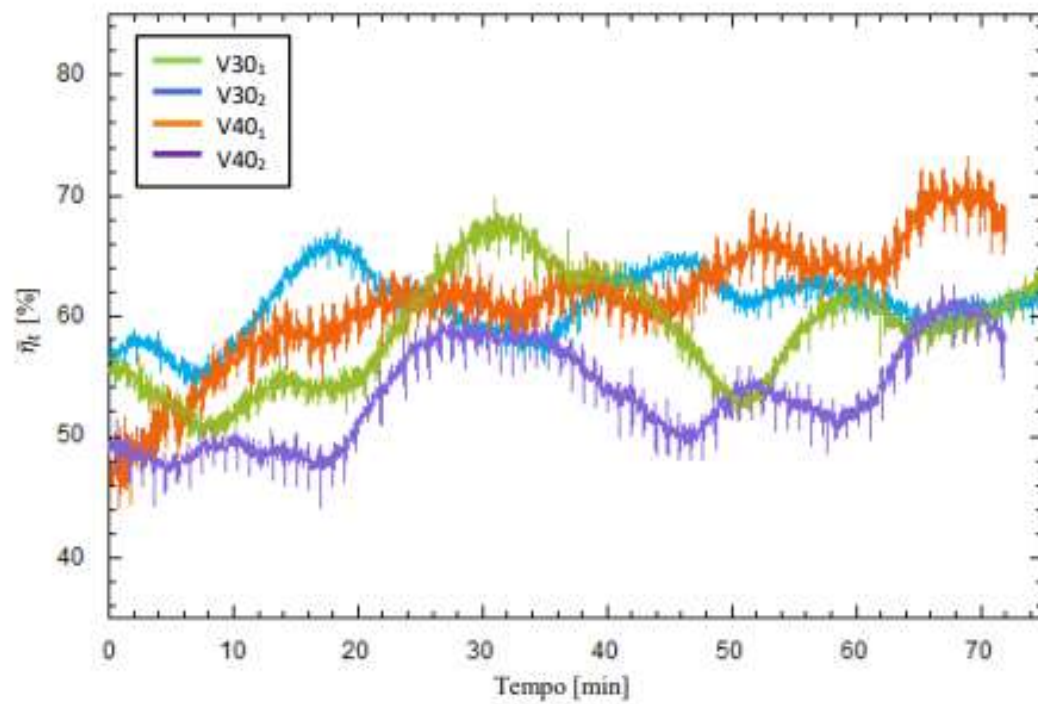


Figura 6 – Evolución del rendimiento térmico de la estufa utilizando briquetas de poda de vid

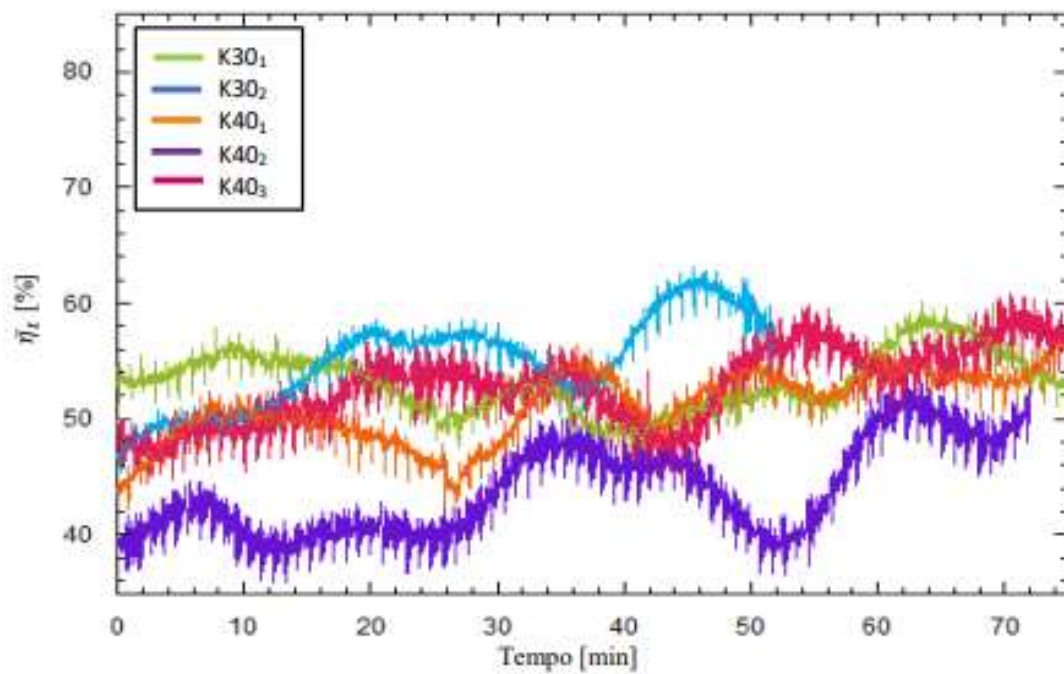


Figura 7 - Evolución del rendimiento térmico de la estufa utilizando briquetas de poda de kiwi

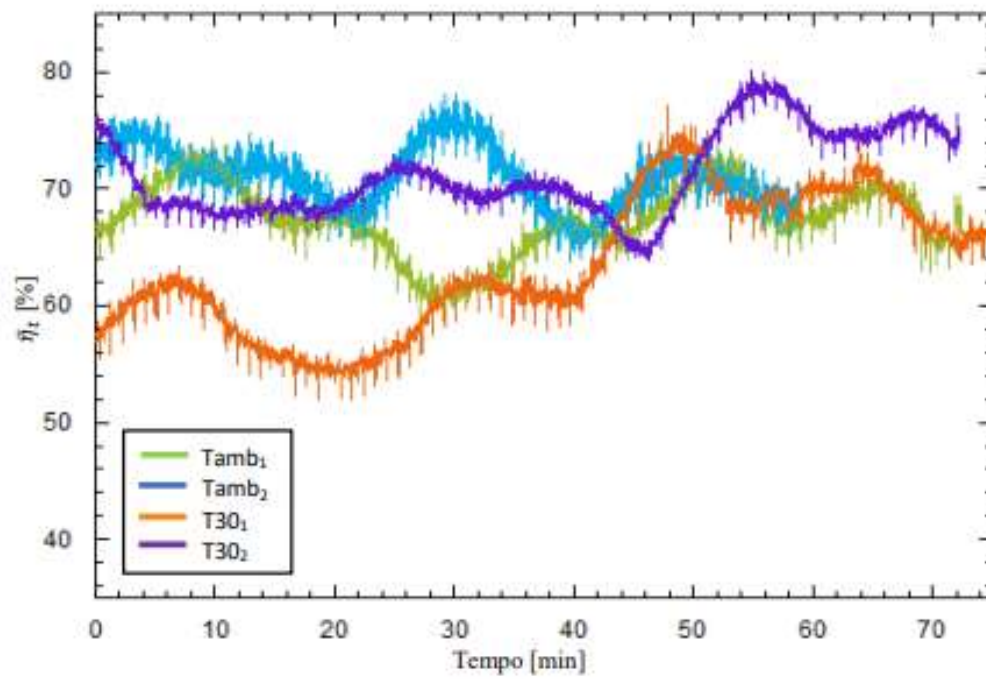


Figura 8 - Evolución del rendimiento térmico de la estufa utilizando briquetas de tojo

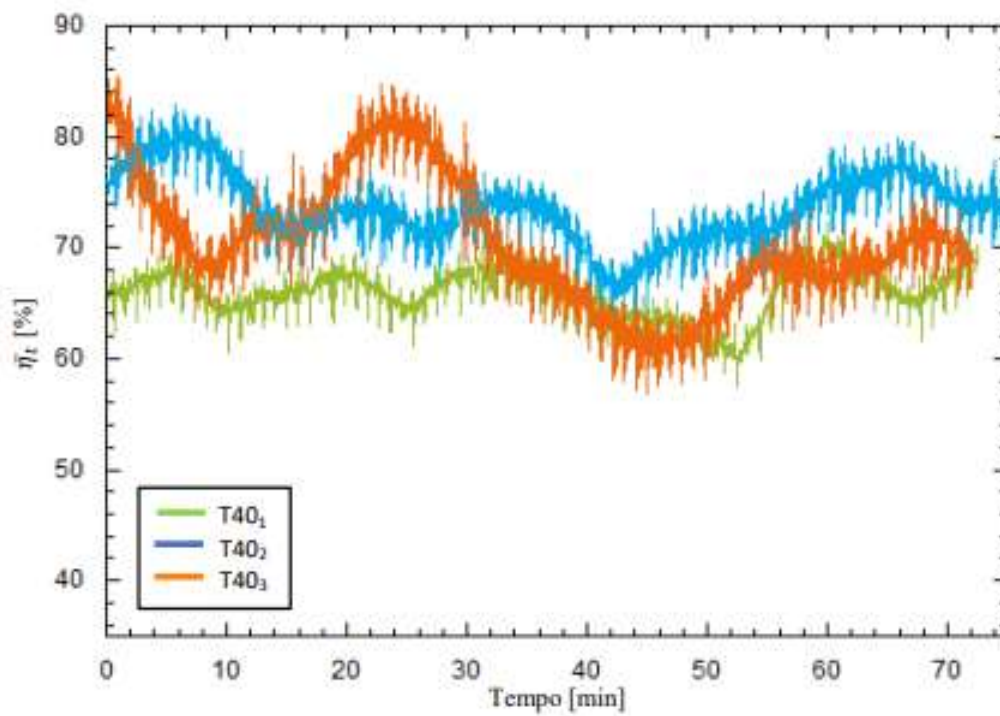


Figura 9 - Evolución del rendimiento térmico de la estufa utilizando briquetas de tojo

Como puede comprobarse mediante la observación de las figuras anteriores, el rendimiento térmico durante cada ensayo presenta diversas fluctuaciones, raramente un comportamiento constante, y las podas de kiwi presentan el peor rendimiento y el tojo a 40°C presenta el mejor rendimiento. Durante cada ensayo, la estufa se alimentó manualmente a intervalos de 15 minutos, por lo que las fluctuaciones se explican por la apertura y el cierre de la puerta de la estufa, lo que afecta a las condiciones de combustión, impidiendo el mantenimiento del régimen permanente en términos estrictos.

El segundo análisis que se ha realizado se refiere a la higiene de la combustión en función del tipo de combustible. Es importante señalar que los análisis, en relación con la temperatura y la composición media de los gases de escape, se calcularon mediante la media aritmética de los valores registrados en cada segundo, excluyendo los momentos de apertura de la puerta de la estufa para la alimentación. Los datos presentados corresponden a los ensayos de tojo a 40°C y a los ensayos de podas de vid.

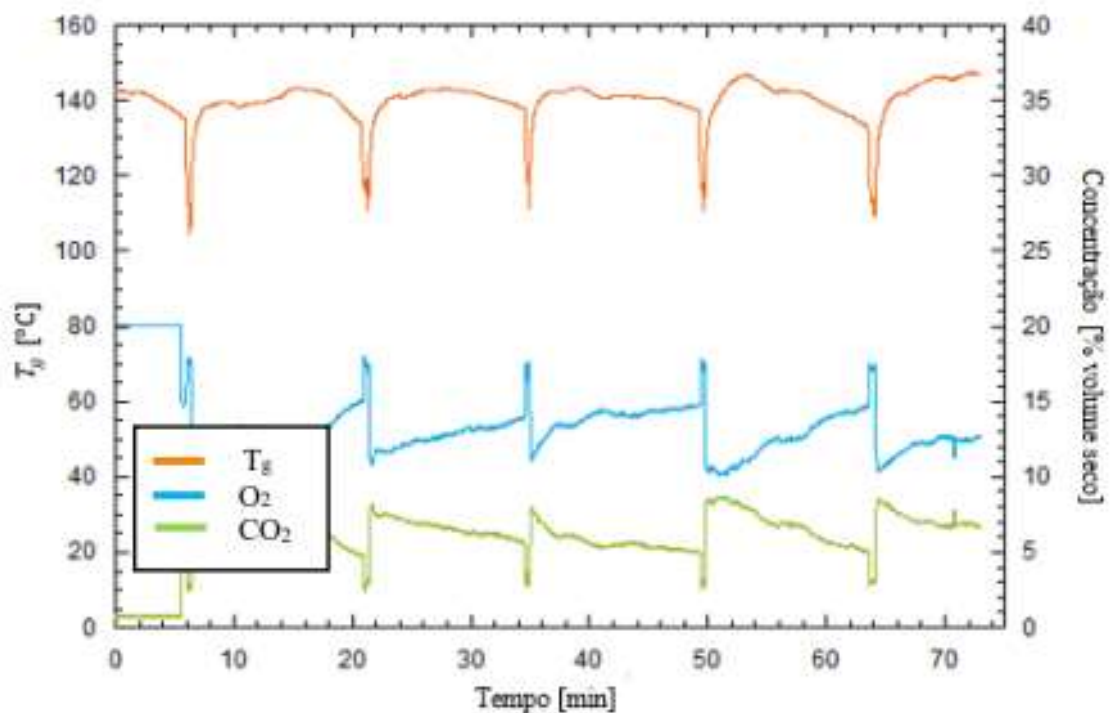


Figura 10 – Evolución de la temperatura de los gases de escape y concentración de oxígeno y dióxido de carbono para el ensayo T40i

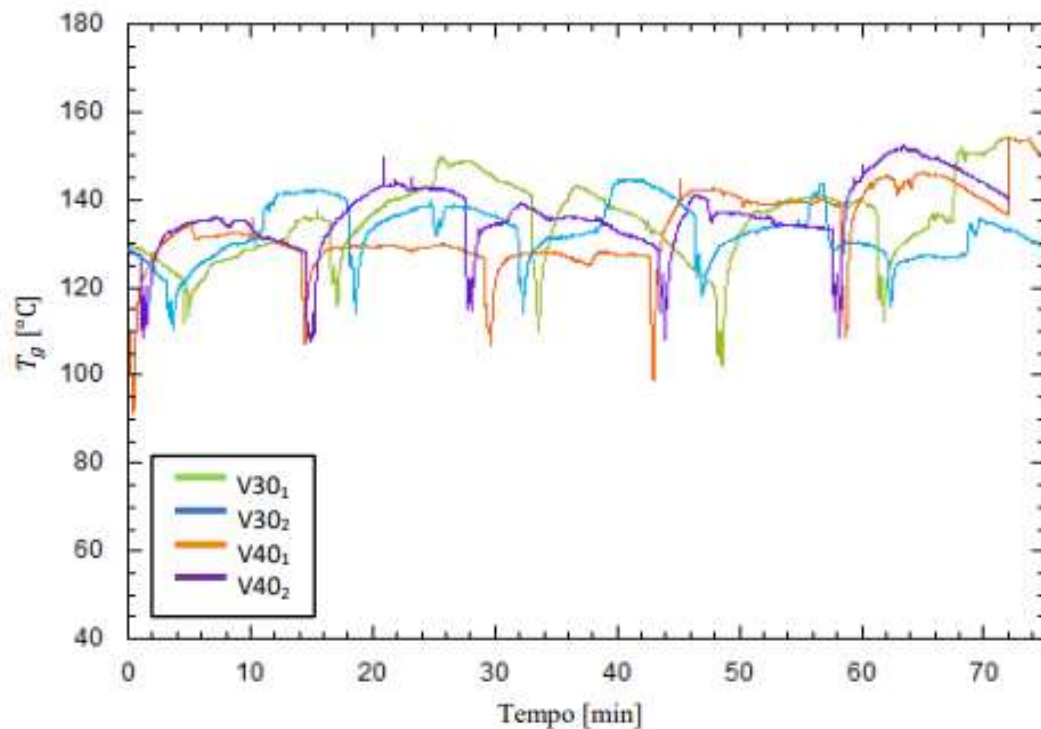


Figura 21 – Evolución de la temperatura de los gases de escape en los ensayos con briquetas de vid

Por lo que se refiere a las emisiones de contaminantes, se constató que el tipo de combustible tiene un efecto bastante significativo en las emisiones de monóxido de carbono y que, cuando se utilizan briquetas de tojo son, por término medio, más bajas.

4. Ensayos de gasificación

Para la realización de los ensayos de gasificación de las especies de biomásas en estudio, se montó un banco de pruebas a tal efecto en las instalaciones del INEGI. Este se encuentra provisto de toda la instrumentación de monitorización y control, tales como válvulas, rotámetros, sensores de temperatura, sistema de análisis de gases, etc.

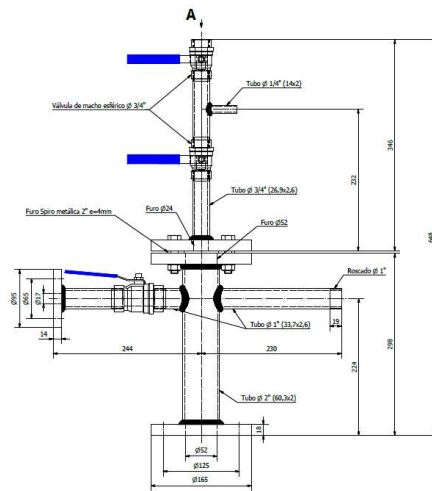


Figura 12 - Imagen a) de la instalación global, b) del sistema de alimentación y c) del analizador de gas de síntesis

En este banco se realizaron varios ensayos para estudiar la influencia de los distintos parámetros que influyen en la gasificación, esto es, la masa de muestra, el caudal de aire y la temperatura de gasificación. Este estudio tenía como objetivo identificar las condiciones operativas que producen un gas de síntesis (gas producido de la gasificación) con mejores características energéticas y de composición.

En la siguiente imagen se muestran algunos resultados de estos ensayos, en los que se explica la composición del gas de síntesis en función de la masa de la muestra de las diferentes especies de biomasa analizadas.

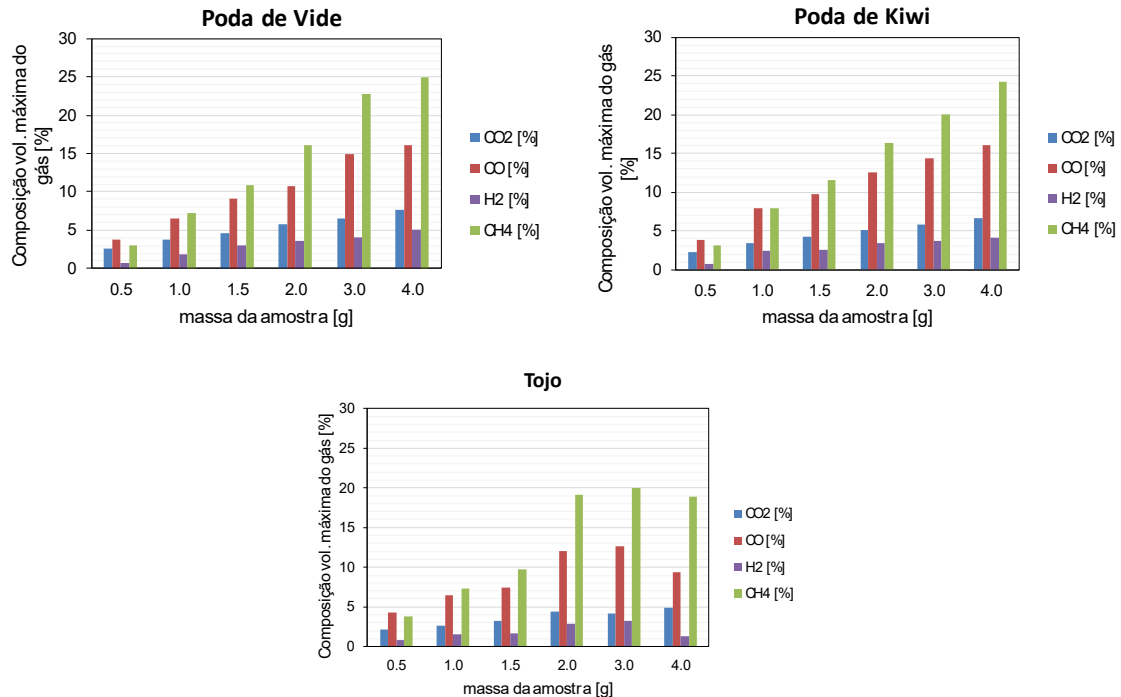


Figura 13 - Composición máxima del gas de síntesis en función de la masa de la muestra para las diferentes especies

Como se observa, las podas de vid y kiwi son las especies que presentan el mayor porcentaje de los compuestos que poseen mayor poder calorífico ($\leq 2,0 \text{ kWh/m}^3$), monóxido de carbono (CO), metano (CH_4) e hidrógeno (H_2). El tojo es el que presenta contenidos inferiores de estos compuestos, lo que se traduce en que el gas de síntesis producido posee menor poder calorífico ($< 2,0 \text{ kWh/m}^3$).

Otro parámetro de evaluación de la gasificación es la eficiencia de conversión del carbono, que representa la tasa de conversión del carbono existente inicialmente en la muestra en compuestos de carbono presentes en el gas de síntesis (monóxido de carbono (CO), metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2)).

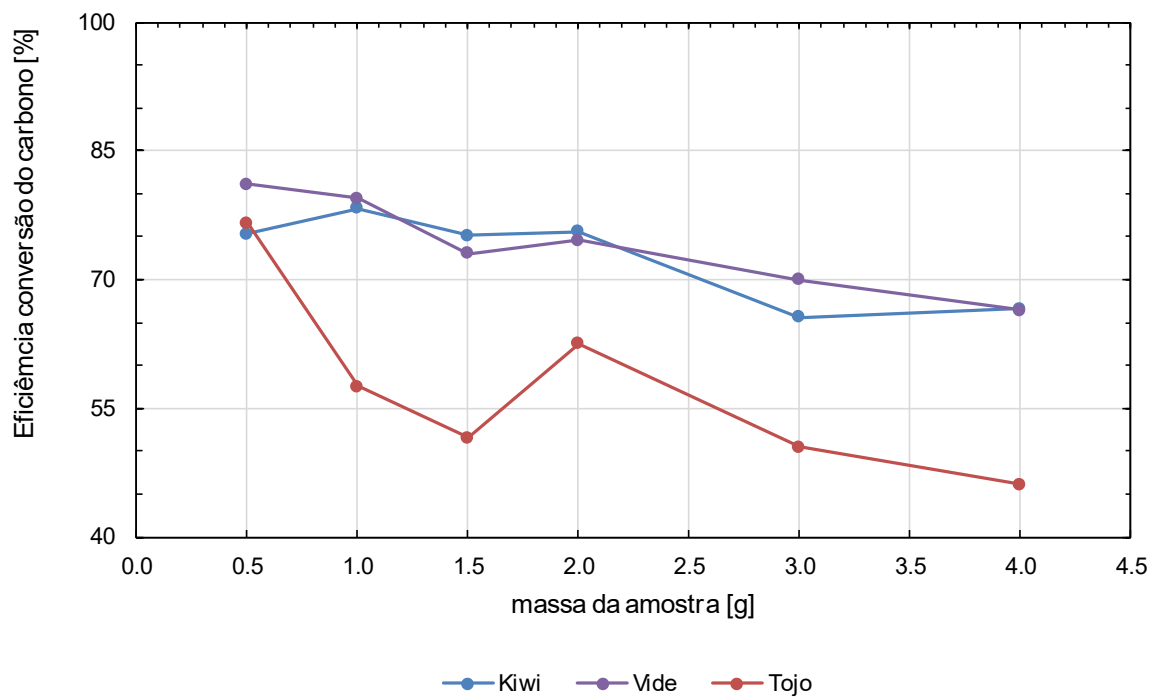
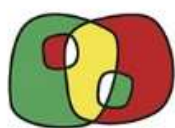


Figura 14 - Eficiencia conversión del carbono en función de la masa de la muestra para las diferentes especies

Teniendo en cuenta las características del gas de síntesis producido por cada especie de biomasa sometida a ensayo, se realizaron estudios de viabilidad técnico-económica de posibles aplicaciones de esta corriente.



Interreg

España - Portugal

Fondo Europeo de Desarrollo Regional
Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional



UNIÓN EUROPEA
UNIÃO EUROPEIA



info@biomasa-ap.com

www.biomasa-ap.com