

## Valorización energética de biomasa agroforestal mediante microgeneración: de residuo a recurso.

Yarima Torreiro, Leticia Pérez, Diana Blanco, Ángela Rodríguez-Abalde.

### 1. Introducción

Durante los últimos años el incremento en el precio de los combustibles fósiles y el impacto medioambiental asociado a ellos, especialmente en el sector energético, han promovido la búsqueda de nuevas fuentes de energía. Es por ello que el empleo de energías renovables ha ido adquiriendo cada vez más importancia, aportando aproximadamente un 33% del total de la energía demandada en España [1-2] y de un 42% de la demandada en Portugal en el año 2017 [3]. En base a la Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables con objeto de disminuir los efectos del cambio climático, el consumo final bruto de energía en la Unión Europea deberá proceder como mínimo en un 20% de energías renovables en el año 2020 (20% en el caso de España, 31% en el caso de Portugal) [4].

Entre las energías renovables destaca, por su potencial, la biomasa, debido fundamentalmente a su papel en la lucha contra el cambio climático, a su menor impacto medioambiental y a su contribución en la mejora de la competitividad, el empleo y el desarrollo regional [5]. Si a esto se le añade la gran cantidad de bosques abandonados y la existencia de tipologías de biomasa que en la actualidad no están siendo aprovechadas, el uso de biomasa residual como fuente de energía se perfila como fundamental para mejorar la calidad del medio ambiente y contribuir al desarrollo de una economía circular [5-9]. La contribución de la biomasa al mix energético ascendió en el último año en España a valores ligeramente inferiores a un 2% [1-2] [10] y a un 5,1% en Portugal [3].

En el caso de la Euroregión Galicia-Norte de Portugal, que comprende la zona situada entre la costa cantábrica y el río Duero en el noroeste de la Península Ibérica, ésta cuenta con un número importante de recursos forestales y agrícolas. La superficie dedicada a uso agrícola en la Euroregión es de 1.567.415 ha, lo que corresponde a aproximadamente el 30% de la superficie total. Galicia contribuye a esta cifra en 843.657 ha (cerca de un 28% de su superficie total) y la región Norte de Portugal con 723.758 ha (34% de su superficie total). Con respecto a la situación forestal, el conjunto de la Euroregión cuenta con un total de más de 2.706.000 ha, lo que corresponde a aproximadamente un 54% de su superficie, de las cuales Galicia dispone de 2.039.574 ha (aproximadamente un 60% de la superficie de esta Comunidad Autónoma) y el Norte de Portugal de 667.417 ha (31% de su superficie total) [11]. Estos valores ponen de manifiesto por qué los sectores agrícola y forestal adquieren la categoría de estratégicos en el futuro desarrollo económico y social de la Euroregión.

Entre las diferentes biomasa que pueden ser valorizadas, aquellas procedentes de las podas de viñedos y kiwi se perfilan como recursos con un gran potencial, tanto desde el punto de vista energético como económico [10], ya que no están siendo valorizadas y presentan una elevada disponibilidad. De hecho, Galicia cuenta con una superficie de más de 24.000 ha de viñedo [12] y de 800 ha de kiwi [13] y el Norte de Portugal dispone de 82.986 ha de viñedo y 1.841 ha de superficie de kiwi [14].

La selección del proceso de valorización energético idóneo de la biomasa depende fundamentalmente de las características del recurso disponible y del uso final [15]. La combustión de biomasa en calderas es, a día de hoy, la opción de valorización más

ampliamente utilizada para aplicaciones térmicas [16]. En este contexto, el uso de calderas de pellets supone la opción más simplificada para el empleo de biomasa como fuente energética en el sector residencial, en el sector comercial a pequeña escala y en edificios públicos y de servicios [17], permitiendo la obtención de agua caliente sanitaria (ACS) y calefacción de un modo relativamente sencillo. Sin embargo, también existen otras formas de valorización no tan ampliamente utilizadas como puede ser la cogeneración. Ésta ha demostrado ser una forma eficiente y limpia de producción simultánea de electricidad y de calor útil en el propio lugar de consumo, con el consecuente ahorro de energía primaria (hasta un 40%) y de emisiones a la atmósfera. De hecho, la cogeneración es considerada como la opción principal para la sustitución de los sistemas energéticos tradicionales [18]. Teniendo en cuenta esto, la microcogeneración, (referida a equipos de pequeña potencia, de menos de 50 kW), se perfila como una alternativa idónea en las aplicaciones a pequeña escala anteriormente mencionadas [19].

Tradicionalmente la generación de energía eléctrica a partir de la combustión de biomasa se basa en generar vapor a presiones elevadas, para luego en su descompresión poder generar trabajo en una turbina y con ello generar energía eléctrica. El vapor que sale de la turbina se introduce en un condensador, donde cambia a estado líquido. Una bomba se encarga de aumentar la presión de dicho líquido para introducirlo de nuevo en la caldera, cerrando de este modo el ciclo. El proceso termodinámico que se lleva a cabo es el ciclo de Rankine, en donde la mejora del rendimiento térmico del ciclo se consigue por medio de la máxima diferencia entre las temperaturas alcanzadas en el proceso (las denominadas condiciones de disipación). Esto obliga a tratar de conseguir vapor sobrecalentado, lo que resulta difícil mediante la combustión de biomasa, ya que es complicado alcanzar temperaturas superiores a 350°C [20].

Existe una alternativa al ciclo anteriormente descrito como es el ciclo de Rankine orgánico (ORC). Este ciclo es similar al ciclo básico de Rankine pero en vez de agua opera con un fluido o aceite orgánico, (generalmente un fluorocarbono), de elevado peso molecular cuyo punto de ebullición se encuentra por debajo de los 100°C, lo cual permite que se simplifique considerablemente el proceso tradicional en cuanto a complejidad y coste. Estas ventajas hacen que el uso de este ciclo sea especialmente atractivo para el aprovechamiento de calor de baja calidad como el procedente de la combustión de la biomasa, mejorándose así la eficiencia del proceso en aplicaciones de baja temperatura [21-22]

El funcionamiento de un ciclo de este tipo se basa fundamentalmente en lo siguiente: el fluido orgánico se evapora al captar la energía térmica, posteriormente éste se dirige a un expansor donde se genera trabajo mecánico al expandir el fluido refrigerante y donde se produce energía eléctrica mediante el acoplamiento del expansor a un generador. Una vez el fluido abandona el expansor, ya con una presión reducida, pasa a un condensador donde se produce el cambio de fase vapor-líquido, cediendo la energía al circuito de agua refrigerante. Por último el fluido refrigerante se presuriza mediante una bomba para comenzar de nuevo el ciclo. Adicionalmente puede emplearse un regenerador o precalentador donde el fluido es precalentado mediante el calor cedido cuando dicho fluido condensa, permitiéndose el incremento de la eficiencia del sistema [23-24].

Un ORC puede generar únicamente electricidad mediante la disipación del calor procedente del condensador o producir al mismo tiempo calor útil para proceso, permitiendo la consecución de un sistema globalmente más eficiente [21]. El uso de estos ciclos para la generación de energía eléctrica a partir de fuentes térmicas de baja calidad ha sido ampliamente constatado [25-26], pudiendo llegar a alcanzar una eficiencia global

superior al 90% [21]. A nivel mundial existen, en la actualidad, al menos cien plantas de biomasa acopladas a ORC para la producción de electricidad y calor a potencia intermedia (100-1.500 kW), estando la mayor parte de ellas situadas en Europa. Este número se está viendo rápidamente incrementado a medida que la tecnología va madurando y, con ello, disminuyendo sus costes de implantación [27].

Dentro del contexto presentado, y con el objetivo de optimizar el uso de biomasa agroforestal con alto potencial energético y económico en la Eurorregión Galicia-Norte de Portugal nace el proyecto de cooperación transfronteriza Biomasa AP, cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) a través del Programa Interreg V-A España-Portugal (POCTEP) 2014-2020 y liderado por el centro tecnológico EnergyLab. Este proyecto contempla, entre otras cosas, la selección y recogida de biomasa derivada de podas de kiwi y de vid, la obtención de biocombustibles sólidos derivados y el estudio de diferentes tecnologías de aprovechamiento energético como puede ser la microgeneración mediante ORC acoplado a una caldera de biomasa. Los objetivos fundamentales de la investigación aquí presentada se pueden resumir en:

- Demostrar la viabilidad del empleo de biomasa residuales (podas de kiwi y vid) como combustibles en procesos de valorización termoquímica.
- Verificar la idoneidad del uso de la microgeneración, (sistema ORC-caldera de combustión de 60 kW), como sistema de valorización energética de las biomasa presentadas, proporcionando así un método eficaz para la transformación de un residuo en un recurso.

## **2. Materiales y métodos.**

### *2.1. Materiales*

En este estudio se ha evaluado el potencial como combustible para su valorización energética de dos biomasa residuales: podas de kiwi y vid. Las biomasa fueron suministradas en forma de pellets cilíndricos con un diámetro de 6 mm y longitud < 40 mm (D06) por parte de otros socios del proyecto. Como combustible de referencia en todos los ensayos realizados se emplearon pellets de pino con certificación ENplus A1.

### *2.2. Métodos*

#### 2.2.1. Caracterización físico-química

Para analizar la potencialidad como combustible de los diferentes materiales empleados se llevó a cabo su caracterización físico-química. Para ello se determinó su análisis inmediato (humedad y cenizas) y su poder calorífico.

La humedad de las diferentes muestras se determinó usando una estufa VENTICELL modelo Eco Line, siguiendo la norma UNE-EN ISO 18134, consistente en calentar una cantidad de muestra conocida a 105°C y registrar la pérdida de masa hasta alcanzar un valor constante. Las cenizas se obtuvieron en un horno mufla Hobersal 12 PR/300 siguiendo el procedimiento descrito en la UNE-EN ISO18122, basado en calcinar la muestra a 550°C durante 3 horas. Por último, el poder calorífico se determinó siguiendo la norma UNE-EN ISO 18125 utilizando una bomba calorimétrica Parr 6200.

Los resultados obtenidos con las biomasa residuales estudiadas se compararon con los obtenidos con el combustible de referencia.

## 2.2.2. Ensayos de microgeneración

### **Planta de microgeneración**

Con el fin de demostrar la viabilidad del empleo de la microgeneración como sistema de valorización energética de las biomasas anteriormente presentadas se usó una planta de microgeneración con los siguientes elementos principales:

- Una **caldera** policombustible KWB de 60 kW térmicos (foco caliente), alimentada mediante un silo y encargada de generar la energía térmica necesaria para poder producir electricidad en el ORC en forma de agua caliente de hasta 90°C.
- Un **módulo ORC** (unidad comercial denominada HRU-4 [28]); máquina térmica basada en un ciclo Rankine orgánico con una potencia máxima de 4 kW eléctricos y diseñado para el aprovechamiento de calor a baja temperatura, (hasta 100°C en agua), mediante su conversión en electricidad.

A pesar de tratarse de una planta destinada a la cogeneración el sistema experimental cuenta con un aerorefrigerador para evacuar el calor del condensador mediante un circuito de agua. Dicho equipo es un intercambiador de calor aire/agua que impulsa aire mediante convección forzada para refrigerar el agua de entrada. El sistema cuenta asimismo con un disipador eléctrico en forma de resistencias para evitar la inyección de la electricidad generada a red. Finalmente la planta cuenta con un sistema de control y visualización de datos donde se visualizan y registran todos los parámetros relevantes para el funcionamiento de la misma.

Conviene destacar que el sistema cuenta con una válvula de tres vías que permite derivar el agua caliente de la caldera bien al evaporador del ORC (producción conjunta de calor y electricidad mediante el empleo de caldera y ORC) o bien al aerorefrigerador directamente desde la caldera (producción de calor usando únicamente la caldera) en función del ensayo que se desee realizar. Para la realización de los ensayos en los que únicamente se genera calor (sólo caldera), la planta cuenta con un depósito de inercia de agua caliente de 500 litros para el almacenamiento de la energía térmica producida y no consumida. En las



(a)

(b)

(c)

Figura 1 Figura 2 se muestran los principales componentes del sistema de microgeneración.



(b)

(b)

(c)

Figura 1. Componentes principales de la planta de microgeneración: (a) caldera, (b) ORC, (c) depósito de inercia.



Figura 2. Aerorefrigerador (izquierda) y silo de biomasa (derecha).

- **Módulo ORC**

El módulo ORC empleado presenta una configuración de ciclo regenerativa por la cual recupera además del calor producido en la fuente térmica, el calor residual disponible a la salida del expansor para precalentar el líquido presurizado. Su funcionamiento básico se refleja en la Figura 3.

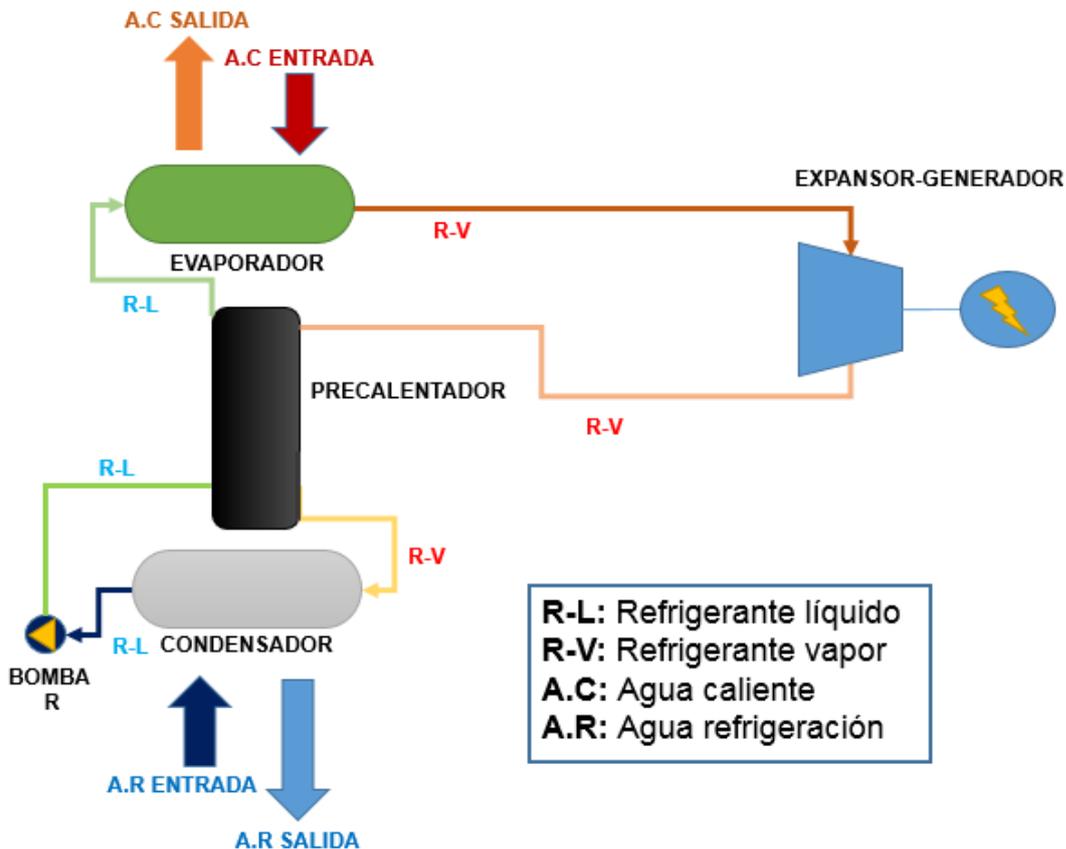


Figura 3. Esquema del módulo ORC empleado.

Tal y como se observa en dicha figura, una vez precalentado, el refrigerante líquido se conduce hacia el evaporador donde cambia de estado a fase vapor. A continuación es conducido a un expansor en cuyo eje se genera trabajo mecánico. Dicho expansor se acopla mediante una transmisión mecánica a un generador asíncrono, produciéndose así energía eléctrica. Una vez el fluido abandona el expansor, ya con una presión reducida, cede parte del calor en el regenerador o precalentador y pasa a continuación a un condensador donde se produce el cambio de fase vapor-líquido y poder así comenzar de nuevo el ciclo en la bomba de refrigerante.

En lo que respecta al módulo, éste fue diseñado para generar una potencia eléctrica máxima de 4,4 kW<sub>e</sub>, limitada por la potencia nominal del generador, alcanzando un rendimiento eléctrico ( $\eta_{el}$ , ecuación 1) mínimo del 7,5%, siempre y cuando la temperatura de entrada de agua al condensador sea de 15°C. Por otra parte, la potencia térmica que puede ser recuperada en el evaporador es de hasta 50 kW, con rendimientos térmicos ( $\eta_t$ , ecuación 2) de como mínimo un 83%.

$$\eta_{el} = \frac{\text{Potencia eléctrica en bornas del generador (kWe)}}{\text{Potencia térmica aportada en el evaporador (kWt)}} \quad \text{[Ecuación 1]}$$

$$\eta_t = \frac{\text{Calor cedido por el condensador (kWt)}}{\text{Calor captado en el evaporador (kWt)}} \quad \text{[Ecuación 2]}$$

El fluido de trabajo utilizado es el R245fa, comúnmente utilizado entre los sistemas ORC, ya que se trata de un fluido no inflamable, con baja toxicidad y moderadas propiedades medioambientales (bajos potencial de agotamiento de la capa de ozono y potencial de calentamiento global [29]).

En la Tabla 1 se resumen algunas de las características del módulo ORC estudiado.

Tabla 1. Características del ciclo de Rankine orgánico empleado.

Potencia eléctrica nominal/máxima (kW)	4/4,4
Generador	Asíncrono
Potencia térmica nominal de entrada (kW)	50
Fluido de trabajo	Hidrofluorocarbono R245fa
Configuración del ciclo	Regenerativa
Tipos de intercambiadores de calor	Placas soldadas
Temperatura entrada agua evaporador (°C)	100
Temperatura salida agua evaporador (°C)	70-92
Temperatura máxima entrada agua condensador (°C)	40

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1. Caracterización físico-química

La determinación de la humedad es imprescindible para la determinación del potencial energético de un combustible debido a que no solo disminuye el poder calorífico del material sino que afecta al transporte, almacenamiento y alimentación a la instalación en la que se llevará a cabo su valorización energética. Por un lado, cuanto mayor es la humedad mayor es la masa y el volumen del combustible incrementando los costes de manipulación y transporte y, por otro lado, un contenido elevado de humedad puede dar lugar a transformaciones indeseadas del combustible durante su almacenamiento además de dificultar su transporte por sistemas automáticos como los tornillos de alimentación de las instalaciones de valorización energética.

Tal y como se muestra en la Tabla 2, el contenido en humedad de las muestras analizadas es en torno a un 3% superior al mostrado por el material de referencia resultando, aun así, en un contenido moderadamente bajo.

Tabla 2. Análisis inmediato y poder calorífico inferior de las muestras estudiadas y el material de referencia.

	Pellets kiwi	Pellets vid	Pellets pino
Humedad (% en peso)	8,3	8,8	5,2
Cenizas (% en peso), (b.s)*	3,6	2,5	0,5
PCI (MJ/kg), (b.h)**	15,5	15,34	17,9

\*b.s: base seca; \*\*b.h: base húmeda.

Con respecto al contenido en cenizas, la determinación de las mismas permite seleccionar los equipos más adecuados para llevar a cabo su valorización termoquímica, evitando los problemas asociados a su acumulación. Como se puede observar en la Tabla 2, las muestras estudiadas presentan un contenido en cenizas considerablemente superior al presentado por los pellets de pino empleados como referencia, pero significativamente inferior al presentado, por ejemplo, por otros combustibles procedentes de residuos (como podrían ser los residuos sólidos urbanos, [30]). No obstante los valores obtenidos sugieren

la necesidad del estudio del riesgo de sinterización por fusión de dichas cenizas en atmósfera oxidante y de la posibilidad de instalación de un sistema de eliminación en continuo de las mismas.

Por último, la determinación del poder calorífico de una biomasa o residuo es de elevada importancia, ya que indica el contenido energético del mismo por unidad de masa, dato fundamental para determinar la viabilidad de su uso como combustible en procesos de valorización termoquímica. Tal y como se observa en Tabla 2, el poder calorífico de los materiales estudiados es moderadamente alto, presentando valores ligeramente inferiores al de los pelles de pino empleados habitualmente como combustible en calderas de biomasa.

Los resultados obtenidos tras la caracterización de las diferentes muestras estudiadas indican que todas ellas podrían producir un combustible aceptable en procesos de valorización energética.

### 3.2. *Ensayos de microgeneración*

Con el objetivo fundamental de evaluar la viabilidad del empleo del sistema de microgeneración (módulo ORC) para la valorización energética de las biomásas derivadas de poda de vid y poda de kiwi, se llevaron a cabo una serie de pruebas experimentales basadas fundamentalmente en variar las condiciones de disipación, (diferencia de temperatura entre los focos caliente y frío). Para ello se modificó la temperatura del foco caliente, esto es, la del agua caliente producida en la caldera, entre 82°C, (temperatura próxima a la mínima que requiere el ORC empleado para funcionar), y aproximadamente 98°C, (temperatura cerca de la cual se produce el paro automático de la caldera por riesgo de sobrecalentamiento). Durante el transcurso de los ensayos se mantuvieron prácticamente constantes la temperatura del foco frío, (dependerá de la temperatura del aire ambiente en el día del ensayo), y los caudales de agua caliente y fría y el del fluido orgánico. Los datos presentados en este apartado estarán referidos únicamente al combustible de referencia y a la poda de vid, pues la cantidad de pellet elaborado a partir de poda de kiwi era insuficiente en el momento de la realización de los ensayos.

En la Figura 4 se observa que, a mayor diferencia de temperatura entre los focos caliente y frío, mayor es la potencia eléctrica generada por el módulo estudiado. La potencia eléctrica máxima alcanzada es de 4,05 kW en el caso de emplear pellets de pino y de 3,63 kW cuando se utilizan pellets de poda de vid. En este caso la diferencia entre las potencias alcanzadas se debe a que la diferencia de temperatura entre focos fue mayor el día que se emplearon los pellets de pino (76°C), mientras que la diferencia alcanzada el día del ensayo con los pellets de poda de vid fue de 72°C.

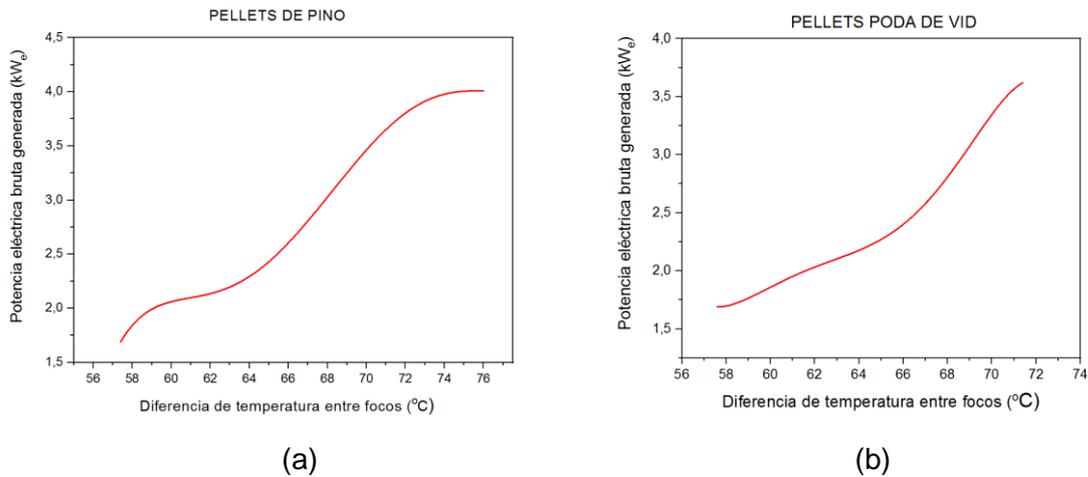


Figura 4. Potencia eléctrica bruta generada en el ORC en función de las condiciones de disipación empleando: (a) pellets de pino y (b) pellets de poda de vid.

En cuanto al rendimiento eléctrico alcanzado por ambos combustibles (véase Figura 5) se obtiene la misma tendencia que en el caso de la potencia, es decir, éste se incrementa cuanto mayor es la diferencia de temperaturas entre los focos caliente y frío, tal y como establece el Teorema de Carnot para cualquier máquina térmica. La eficiencia máxima obtenida se aproxima a un 10% en el caso de emplear pellets de pino y a un 8% cuando el combustible utilizado son pellets de poda de vid mientras que estos valores se ven reducidos hasta un 6% (pellets de pino) y un 5% (pellets de poda de vid) cuando la diferencia de temperatura entre focos es menor. Nuevamente la diferencia observada se debe a que la diferencia de temperatura entre focos fue mayor el día que se realizaron los ensayos con pellets de pino.

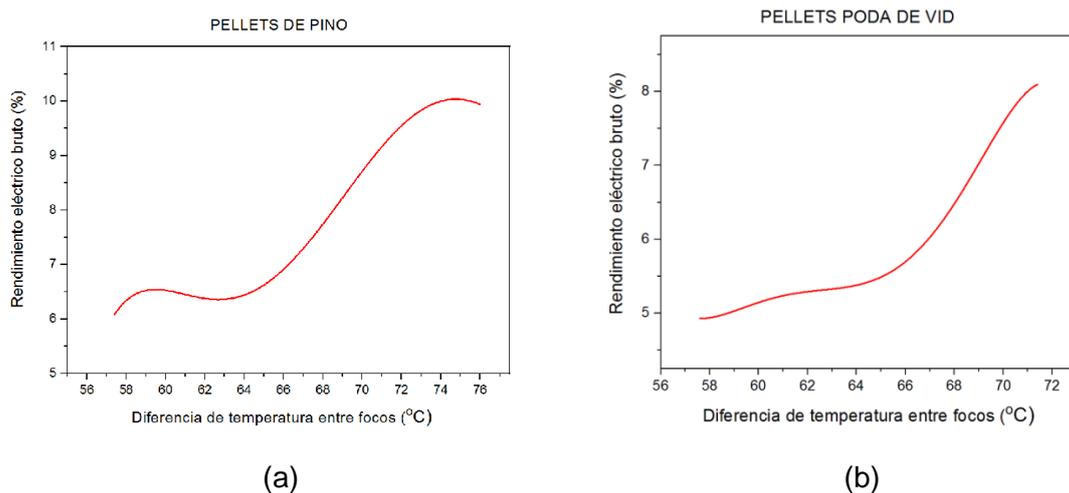


Figura 5. Rendimiento eléctrico bruto del ORC en función de las condiciones de disipación empleando pellets de pino (a) y pellets de poda de vid (b).

Conviene destacar que las pequeñas diferencias que se puedan observar tanto en los valores de potencia como en los de rendimiento obtenidos a la misma diferencia de temperaturas con los dos materiales empleados se debe a que, aunque la diferencia de

temperaturas en valor absoluto sea la misma, se obtendrán valores más prometedores cuando el ORC se aproxime más a las condiciones de diseño (esto es T foco caliente=100°C; T foco frío=15°C).

Por último y con objeto de caracterizar el módulo de cogeneración, en la Tabla 3 se muestran las características más relevantes del sistema en el punto de máximo rendimiento observado (T=98°C).

Tabla 3. Características del módulo ORC en el punto de máximo rendimiento observado.

T entrada agua evaporador (°C)	98
T entrada agua al condensador (°C)	22,2
Potencia eléctrica bruta (kW)	4,05
Potencia eléctrica neta (kW)	3,51
Potencia térmica captada (kW)	39,03
Calor útil producido (kW)	34,35
Eficiencia eléctrica bruta (%)	10,39
Eficiencia eléctrica neta (%)*	8,99
Eficiencia térmica (%)	88,03
Eficiencia cogeneración (%)	97,02

\*La eficiencia eléctrica neta es la eficiencia eléctrica bruta menos la potencia consumida por la bomba de refrigerante.

Tal y como se observa, empleando el módulo ORC empleado en la presente investigación se puede llegar a alcanzar eficiencias de cogeneración próximas a un 97%, demostrándose así la idoneidad del empleo del mismo para la valorización energética de las biomásas residuales estudiadas.

#### 4. Conclusiones

En este trabajo se ha estudiado por una parte el potencial como combustible de diversas biomásas no valorizadas de alto potencial en Galicia y Norte de Portugal (podas de vid y kiwi) y, por otra, la viabilidad del empleo de la microgeneración como sistema de valorización energética de las mismas.

De los resultados obtenidos en la etapa de caracterización físico-química de las diferentes biomásas residuales estudiadas se determina que tanto la poda de vid como la de kiwi podrían producir un combustible aceptable en procesos de valorización termoquímica. No obstante, los resultados del contenido en cenizas indican la necesidad de un control exhaustivo del proceso de transformación térmica de dichas biomásas destinado a evitar los problemas derivados de la sinterización de las mismas.

Atendiendo al estudio de la viabilidad del empleo de la microgeneración como sistema de valorización energética mediante el empleo de un sistema ORC-caldera, las pruebas realizadas permiten determinar, por una parte, que las diferencias de temperatura entre el foco caliente y el foco frío influyen de un modo significativo en los resultados obtenidos y, por otra que, en las condiciones empleadas en este trabajo, esto es, con temperaturas del foco caliente de hasta 98°C, se pueden obtener rendimientos de cogeneración próximos a un 97% (9% de rendimiento eléctrico neto y 88% de rendimiento térmico), perfilándose este método como idóneo para la valorización energética de las biomásas residuales seleccionadas, permitiendo el paso de un residuo a un recurso.

## 5. Agradecimientos

Los autores quieren mostrar su agradecimiento al Proyecto Biomasa-AP, cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) a través del Programa Interreg V-A España-Portugal (POCTEP) 2014-2020, a Enerbasque (fabricante del ORC) y a todos los socios del proyecto por su cooperación.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. Serrano, “Balance Energético 2017 y Perspectivas 2018”, Madrid, 2018.
- [2] Red Eléctrica de España, “El sistema eléctrico Español 2017”, Madrid, 2017.
- [3] Associação Portuguesa de Energias Renováveis, “Portugal precisa da nossa energia”, Lisboa.
- [4] Consejo de la Unión Europea, “Directiva 2009/28/CE del parlamento Europeo y del consejo de 23 de abril de 2009 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE”, 2009.
- [5] APPA, “Estudio del Impacto las Energías Renovables Macroeconómico de en España”, 2016.
- [6] L. Febrero, E. Granada, A. Regueiro y J. Míguez, “Influence of combustion parameters on fouling composition after wood pellet burning in a lab-scale low-power boiler”, *Energies*, vol. 8, pp. 9794–9816, 2015.
- [7] V. Verma, S. Bram, F. Delattin, P. Laha y I. Vandendael, “Agro-pellets for domestic heating boilers: Standard laboratory and real life performance”, *Appl. Energy*, vol. 90, pp. 17–23, 2012.
- [8] M. C. Fernandes, “Potential of biomass residues for energy production and utilization in a region of Portugal”, *Biomass and Bioenergy*, vol. 34(5), pp. 661–666, 2010.
- [9] P. Carneiro y P. Ferreira, “The economic, environmental and strategic value of biomass”, *Renew. Energy*, vol. 44, pp. 17–22, 2012.
- [10] U. por la Biomasa, “Balance socioeconómico de las biomásas en España 2017-2021”, 2018.
- [11] I. E. de G. (INEGA), “Análisis de la viabilidad del mercado de biomasa en Galicia y Norte de Portugal”, Santiago de Compostela, A Coruña.
- [12] Xunta de Galicia, “Superficies agrícolas en Galicia 2017”: [http://mediorural.xunta.gal/es/institucional/estadisticas/medio\\_rural/superficies\\_agricolas/](http://mediorural.xunta.gal/es/institucional/estadisticas/medio_rural/superficies_agricolas/)
- [13] R. R. Fernández, “Características y parámetros analíticos para la obtención de biocombustibles a partir de los residuos en la producción industrial de *Actinidia Chinensis*”, Universidad de Vigo, 2014.
- [14] Instituto Nacional de Estadísticas, “Estadísticas Agrícolas - 2017”, Lisboa, (Portugal), 2018.
- [15] IDAE, “Biomasa: Industria”, Madrid, 2008.

- [16] R. Saidur, E. A. Abdelaziz, A. Demirbas, M. S. Hossain y S. Mekhilef, "A review on biomass as a fuel for boilers", *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, n.º. 5, pp. 2262–2289, 2011.
- [17] J. Dias, M. Costa y J. L. T. Azevedo, "Test of a small domestic boiler using different pellets", *Biomass and Bioenergy*, vol. 27, pp. 531–539, 2004.
- [18] D. D'Accadia, M. Sasso, S. Sibilio y L. Vanoli, "Micro-combined heat and power in residential and light commercial applications", *Applied Therm. Eng.*, n.º. febrero 2003.
- [19] Fenercom, "Guía Básica de Microcogeneración", Madrid, 2012.
- [20] S. Vignote, "Procesos termoquímicos de la madera y en general de la biomasa", n.º. octubre 2016.
- [21] B. Peris, F. Navarro-Esbrí, Joaquín Molés, A. Mota-Babiloni, Á. Barragán-Cervera y R. Collado, "Mejora de un sistema de cogeneración mediante el ciclo Rankine orgánico (ORC)", *XIII Congr. Ibero-Americano Clim. y Refrig. (CIAR). Madrid (España).*, 2014.
- [22] P. R. Droguett, "Estudio de aplicación de sistemas ORC para la generación de Energía Eléctrica y su estado actual en el mercado nacional", Valparaíso (Chile), 2017.
- [23] F. Calise, A. Macaluso, P. Pelella y L. Vanoli, "A comparison of heat transfer correlations applied to an Organic Rankine Cycle", *Eng. Sci. Technol. an Int. J.*, Oct. 2018.
- [24] B.-S. Park, M. Usman, M. Imran y A. Pesyridis, "Review of Organic Rankine Cycle experimental data trends", *Energy Convers. Manag.*, vol. 173, pp. 679–691, Oct. 2018.
- [25] B. Peris, J. Navarro-Esbrí, F. Molés, R. Collado y A. Mota-Babiloni, "Performance evaluation of an Organic Rankine Cycle (ORC) for power applications from low grade heat sources", *Appl. Therm. Eng.*, vol. 75, pp. 763–769, 2015.
- [26] A. T. Hoang, "Waste heat recovery from diesel engines based on Organic Rankine Cycle", *Appl. Energy*, vol. 231, pp. 138–166, Dic. 2018.
- [27] B. Tchanche, G. Lambrinos, A. Frangoudakis y G. Papadakis, "Low-grade heat conversion into power using organic Rankine cycles—A review of various applications", *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, pp. 3963–3979, 2011.
- [28] "HRU-4": <http://enerbasque.com/>.
- [29] B. Peris, J. Navarro-Esbrí, F. Molés y A. Mota-Babiloni, "Optimización teórica del ciclo Rankine orgánico (ORC) para el aprovechamiento de fuentes térmicas de baja temperatura", 2015.
- [30] D. V. Jackson, "Advances in thermal treatment and RDF", *Resour. Conserv.*, vol. 14, pp. 1–14, Mar. 1987.