

II Encuentro Internacional RIMSGES

“Lecciones Aprendidas en Innovación para Sistemas de Gestión de Energía Sostenible”

LIBRO DE COMUNICACIONES



Badajoz, 16 y 17 de noviembre de 2023



Octaedro
Editorial 

CYTED

PROGRAMA IBEROAMERICANO DE
CIENCIA Y TECNOLOGÍA PARA EL
DESARROLLO



II Encuentro Internacional RIMSGES

“Lecciones Aprendidas en Innovación para Sistemas de Gestión de Energía Sostenible”



Badajoz, 16 y 17 de noviembre de 2023

Octaedro
Editorial




CYTED

PROGRAMA IBEROAMERICANO DE
CIENCIA Y TECNOLOGÍA PARA EL
DESARROLLO



II Encuentro Internacional RIMSGES. Libro de comunicaciones. “Lecciones Aprendidas en Innovación para Sistemas de Gestión de Energía Sostenible”

Editores: Silvia Román Suero, Beatriz Ledesma Cano y Diego Carmona Fernández

Registrado en Diciembre, 2023

Información de contacto: redrimsges@gmail.com

Primera edición: julio de 2024

© Silvia Román Suero, Beatriz Ledesma Cano y Diego Carmona Fernández (eds.)

© De esta edición:

Ediciones OCTAEDRO, S.L.
C/ Bailén, 5 – 08010 Barcelona
Tel.: 93 246 40 02
octaedro@octaedro.com
www.octaedro.com

Esta publicación está sujeta a la Licencia Internacional Pública de Atribución/Reconocimiento-NoComercial 4.0 de Creative Commons. Puede consultar las condiciones de esta licencia si accede a:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

ISBN: 978-84-10054-65-3

Producción: Octaedro Editorial

Publicación en acceso abierto - *Open Access*

Comité Organizador

Silvia Román Suero

Beatriz Ledesma Cano

María Alonso Sánchez

José Manuel Díaz Rasero

Miguel Ángel Jaramillo

Juan Antonio Álvarez Moreno

Comité Científico

Silvia Román Suero

Beatriz Ledesma Cano

María Alonso Sánchez

José Manuel Díaz Rasero

Los modelos energéticos sostenibles: perspectivas acordes al II Encuentro de la Red Iberoamericana de Modelos de Sistemas de Gestión Sostenibles

Silvia Román Suero^a, Sergio Nogales Delgado^a, Beatriz Ledesma^a, Judit Lisone^b

^(a) Departamento de Física Aplicada, Escuela de Ingenierías Industriales, Universidad de Extremadura, Avda. de Elvas, s/n, 06006, Badajoz, España. ^(b) Instituto de Ciencias Físicas y Matemáticas, Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile, Independencia 631, Valdivia, Chile.

Los modelos energéticos sostenibles tratan de producir, gestionar, distribuir y consumir energía (e incluso algunos productos, en muchos casos) de una manera eficiente y respetuosa con el medio ambiente, así como con la sociedad en general. De esta forma, se trata de evitar el impacto ambiental de la actividad humana e industrial en general, minimizando a su vez los efectos negativos que todo ello supone para el mismo ser humano y la sociedad en su conjunto.

Es evidente que el papel de tales modelos es vital en los tiempos que corren, donde se ha puesto de manifiesto el acuciamiento de los efectos negativos de las prácticas industriales tradicionales, muchas de las cuales han implicado un impacto ambiental durante décadas, manifestándose en un aumento de la temperatura global del planeta, en cambios meteorológicos drásticos o la aceleración de fenómenos de desertización, entre otros muchos factores.

Todo ello no es ajeno a nuestra sociedad, la cual es en gran parte causa y a la vez solución de este problema, que puede llegar a ser irreversible o tener una solución cada vez más difícil, ya que se deben tener en cuenta soluciones a nivel global. A modo de ejemplo, las NNUU presentan los Objetivos de Desarrollo Sostenibles, los cuales abarcan una serie de medidas específicas para llevar a cabo lo antes posible,

manteniendo un horizonte (más o menos realista) para cumplirlos. Así, se trata de intentar mejorar económicamente las condiciones de ciertas regiones en vías de desarrollo, evitando desigualdades, de modo que el medio ambiente se vea lo menos perjudicado posible. En ese sentido, los modelos energéticos y de producción sostenibles parecen ser perfectamente indicados para acometer tal reto, ya que su implementación supondría una mejora significativa de dichos objetivos.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, el objetivo de este encuentro fue dar visibilidad a diferentes trabajos de investigación, de carácter científico-técnico, donde el papel de dichos modelos sea primordial. Si bien es cierto que los modelos energéticos sostenibles mostrados en este libro, fruto del II Encuentro de la Red Iberoamericana de Modelos de Sistemas de Gestión de Energías Sostenibles, pueden parecer a primera vista inconexos unos de otros, a medida que profundicemos en los fundamentos y especificaciones de los mismos nos daremos cuenta de que tienen mucha relación entre sí, ofreciendo un gran potencial de aplicación conjunta de muchos principios, técnicas o recursos contenidos en los mismos.

A modo de resumen, se puede afirmar que la mayoría de las publicaciones incluidas en esta obra tienen muchos puntos en común, como los siguientes:

- ✓ Muchos trabajos están dedicados al aprovechamiento de recursos naturales que, por su propia naturaleza, tienen un menor impacto ambiental en comparación, por ejemplo, con otras industrias basadas en procesos contaminantes como el aprovechamiento del petróleo. En este sentido, cabe destacar la capacidad de reutilización de ciertos residuos tales como la torta obtenida del prensado del aceite de cártamo (para llevar a cabo procesos de hidrocarbonización termal) o el aceite de fritura (para producir biolubricantes a través de una doble

transesterificación), lo cual los revaloriza desde un punto de vista industrial y medioambiental.

- ✓ Por otra parte, se intenta en todo momento reducir el impacto ambiental de tales procesos, evitando en la medida de lo posible las emisiones al medio ambiente. De esta forma, términos tales como eficiencia atómica toman un especial significado en este libro, ya que es un indicativo interesante para valorar el posible impacto ambiental de una tecnología determinada.
- ✓ Aparte de ello, la eficiencia energética del proceso condiciona que se pueda competir realmente con las tecnologías tradicionales (que si siguen vigentes a nivel industrial es, principalmente, por no encontrar una alternativa viable en lo económico). Así, múltiples trabajos presentan resultados prácticos a este respecto, ofreciendo pruebas de la viabilidad de dichos estudios a mayor escala.
- ✓ La implementación de gemelos digitales para el sistema de generación de energía eléctrica mediante fotovoltaica implementado en la Escuela de Ingenierías Industriales de Badajoz puede en un medio plazo abrir opciones de aprovechamiento de reproducción de este en otras ubicaciones.

Todos estos trabajos, como se acaba de ver, ofrecen una serie de ventajas tanto a nivel medioambiental como económico, si bien hay que recordar otros aspectos igualmente importantes, como el desarrollo (evidentemente sostenible) de ciertas regiones o países que pueden estar rezagados con respecto a otras potencias mundiales como Estados Unidos, países europeos o asiáticos.

Así, no se puede evitar dar una mirada cercana a continentes como África, cuyo desarrollo sostenible es esencial para el resto del mundo, ya que si su desarrollo se diese cometiéndose los errores ya conocidos con anterioridad muchos de los problemas medioambientales ya conocidos se podrían acuciar. Pero, por otro lado, y continuando con la filosofía de este II Encuentro de la Red Iberoamericana de Modelos de Sistemas de Gestión de Energías Sostenibles, el potencial de estos modelos energéticos sostenibles en Latinoamérica es grandísimo, ya que por un lado presentan unos centros tecnológicos y un capital humano de un talento inimaginable, que pueden contribuir a un desarrollo completo y real de las industrias de diferentes países como los participantes en esta red de colaboración. Así, el intercambio de pareceres entre Latinoamérica y Europa (representada por España y Portugal) es una experiencia enriquecedora, repercutiendo en colaboraciones estrechas y resultados perfectamente aplicables a la industria sostenible en un futuro no muy lejano.

Para terminar, simplemente agradecer a todos los miembros de la red su trabajo incondicional y la capacidad de colaboración ofrecida a la hora de redactar este libro, el cual estamos seguros de que será el comienzo de una serie de resultados y hallazgos que contribuirán al desarrollo sostenible y real de muchos sistemas energéticos.

Agradecimientos

A la Red Iberoamericana de Modelos de Sistemas de Gestión de Energías Sostenibles (RIMSGES) del Programa CYTED, organizadora del evento, y al programa CYTED en general, que permite año tras año que personal científico e investigador pueda tender puentes para crecer de forma colaborativa desde diversos países. No son los bienes materiales, si no los que no se ven, los que ayudarán a luchar contra la pobreza.



PROGRAMA DETALLADO

II Encuentro en MODELOS DE SISTEMAS DE GESTIÓN DE ENERGÍA SOSTENIBLES 2023

Fechas: 16 y 17 de noviembre de 2023

Lugar: Escuela de Ingenierías Industriales, Universidad de Extremadura, Badajoz, España

Evento híbrido gratuito: presencial- virtual

El evento podrá ser seguido por transmisión online en directo por todos aquellos que se hayan registrado para participar en esta modalidad mediante la plataforma Zoom. Para los asistentes presenciales, en el programa se aclaran aquellas actividades que contarán con participaciones virtuales y presenciales.

PRIMER DÍA, 16 de noviembre

| HORA | ACTIVIDAD | MODALIDAD | LINK |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| 10:00 | Conferencia: Red de Investigación en Modelos de Sistemas de Gestión de Energía Sostenibles Dña. Silvia Román. Coordinadora red RIMSGES. | PRESENCIAL/ VIRTUAL Salón de Actos (1ª Planta) | Unirse a la reunión Zoom |
| 10:30 | <p>Exposición de presentaciones orales:</p> <ul style="list-style-type: none"> 10:30 → Estudio de la eficiencia y el ahorro energético debido al acoplamiento de reactores de HTC para el procesado de cártamo en una planta de cogeneración de ciclo principal de Rankine_José Manuel Díaz Rasero, María Alonso Sánchez, Beatriz Ledesma Cano 10:45 → Hacia la mejora del rendimiento global de procesos de producción de energía: Biodigestión acoplada con HTC_María Alonso Sánchez, Beatriz Ledesma Cano, Almudena González González, Eva María Cayero Cidre, Fran Cuadros Salcedo, Silvia Román Suero 11:00 → Selección de la mejor tarifa eléctrica. Diego Carmona Fernández, Alejandro Román Galeano, Celia Tena Pintado y Dorotea Dimitrova Angelova. 11:15 → Proyecto de diseño y construcción de sistema de microgeneración alimentado con biocombustibles_Alejandro Martínez Martín, Juan Félix González González, Alfonso Carlos Marcos Romero, Pedro Muñoz Acebedo | PRESENCIAL/ VIRTUAL Salón de Actos (1ª Planta) | Unirse a la reunión Zoom |
| 11:30 | COFFE BREAK | | |
| 12:30 | Reunión de la Red | PRESENCIAL/ VIRTUAL Sala de Juntas Dirección | |

| | | |
|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Acto de bienvenida | | |
| 15:45 | D. José Sánchez González. Director de la Escuela de Ingenierías Industriales | |
| 16:00-21:00 | Conferencia: D. Francisco Peinado. SAINT GOBAIN | PRESENCIAL Hiperaula |
| Exposición de pósteres y presentaciones orales: | | |
| <u>Posters: 16:00h</u> | | |
| 16:00-18:00 | <ul style="list-style-type: none"> • Modelos de comunidades energéticas a través de las asociaciones público-privadas_Magdalena Ramirez-Peña, Manuel Otero-Mateo, Nieves Saborido Barba, Albero Cerezo-Narvéz y Andrés Pastor-Fernández. • Mejora de la calificación energética de una instalación eléctrica de una vivienda unifamiliar por implantación de un Sistema de Gestión de Energía_Diego Carmona Fernández, Juan Enrique Riballo Cabanillas, Dorotea Dimitrova Angelova y Sara Carmona Gallardo • Análisis de modelo digital de instalaciones fotovoltaicas_Dorotea Dimitrova Angelova, Sara Carmona Gallardo, Diego Carmona Fernández, Miguel Ángel Jaramillo Morán, Juan Félix González González | <p>PRESENCIAL/ VIRTUAL Salón de Actos (1ª Planta)</p> |
| <u>Orales: 16:15h</u> | | |
| | <ul style="list-style-type: none"> • 16:15 → Diseño innovador de Rastreadores Solares para el Mejoramiento de la Eficiencia en Plantas de Energía Renovable_Alfonso Gunsha-Morales, Juan Carlos Pisco, Jorge Murillo Oviedo, Johana Barriga Fray • 16:30 → Modelo de Electrolinera para Carga de Vehículos Eléctricos a partir de una Microgrid Aislada Sostenible alimentada por Energías Renovables_ Kevin Alexander • 16:45 → Hydrothermal Carbonization for Enhanced Biomass Valorization: Activated Carbon from Residual Biomass_Fidel Vallejo, Diana Yáñez-Sevilla, Luis Díaz-Robles, Tamara Romero | <p>Unirse a la reunión Zoom</p> |



- 17:00 → Plan de mejora del sistema de gestión de energía para la central de biomasa de 49,9 MW de Logrosán_Juan Gabriel Barquilla Hermosa, Coral Escarmena Bernardo, Carmen María Álvarez Medina
- 17:15 → Estudio del empleo de aerocondensador para una planta de biomasa de 49,9 MWe_Francisco Romero Galán y Katterine Cárdenas Cancinos
- 17:30 → Análisis del comportamiento físico-químico del electrolito en el cátodo de las baterías metal-aire_Oscar Churio Silvera
- 17:45 → Producción de biolubricantes y reformado de biogás como modelos energéticos sostenibles_Sergio Nogales Delgado

| | | | |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| 18:00 | <p>Conferencia: Oportunidades de financiación europea para la colaboración en el marco de la RED. Movilidad investigadora de carácter PRE y POSTDOCTORAL</p> <p>Dña. Cristina Gallardo Rey. FUNDECYT.</p> | <p>PRESENCIAL/ VIRTUAL Salón de Actos (1ª Planta)</p> | <p>Unirse a la reunión Zoom</p> |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|

SEGUNDO DÍA, 17 de noviembre

| HORA | ACTIVIDAD | MODALIDAD | LINK |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| 10:30 | <p>Conferencia: Programa €4^º: Energía para todos</p> <p>D. Diego Carmona Rodríguez</p> | <p>PRESENCIAL/VIRTUAL Salón de Actos (1ª Planta)</p> | <p>Unirse a la reunión Zoom</p> |
| 11:30 | <p>Conferencia: El valor de los sistemas de gestión de energía como impulsores de la transición energética mundial.</p> <p>D. Juan Félix González González</p> | <p>PRESENCIAL/VIRTUAL Salón de Actos (1ª Planta)</p> | <p>Unirse a la reunión Zoom</p> |
| 12:30 | <p>Conferencia: Transición Energética y Energías Renovables.</p> <p>D. Rodrigo Ramírez Pisco</p> | <p>VIRTUAL Retransmisión Salón de Actos (1ª Planta)</p> | <p>Unirse a la reunión Zoom</p> |
| 13:00 | <p>Conferencia: La sostenibilidad más allá de factores técnicos.</p> <p>D. Isidro Núñez Rama.</p> | <p>VIRTUAL Retransmisión Salón de Actos (1ª Planta)</p> | <p>Unirse a la reunión Zoom</p> |
| 13:30 | <p>Acto de clausura</p> | <p>PRESENCIAL/VIRTUAL Salón de Actos (1ª Planta)</p> | <p>Unirse a la reunión Zoom</p> |

Índice

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Estudio de la eficiencia y el ahorro energético debido al acoplamiento de reactores de HTC para el procesado de cártamo en una planta de cogeneración de ciclo principal de Rankine..... | 1 |
| Hacia la mejora del rendimiento global de procesos de producción de energía: Biodigestión acoplada con HTC..... | 6 |
| Selección de la mejor tarifa eléctrica | 15 |
| Proyecto de diseño y construcción de sistema de microgeneración alimentado con biocombustibles | 23 |
| Modelos de comunidades energéticas a través de las asociaciones público-privadas..... | 25 |
| Mejora de la calificación energética de una instalación eléctrica de una vivienda unifamiliar por implantación de un Sistema de Gestión de Energía..... | 30 |
| Análisis de modelo digital de instalaciones fotovoltaicas | 34 |
| Diseño innovador de rastreadores solares para el mejoramiento de la eficiencia en plantas de energía renovable | 39 |
| Modelo de Electrolinera Residencial para Carga de Vehículos Eléctricos a partir de una Microgrid Aislada Sostenible alimentada por Energías Renovables..... | 45 |
| Hydrothermal carbonization for enhanced biomass valorization: activated carbon from residual biomass..... | 51 |
| Plan de mejora del sistema de gestión de energía para la central de biomasa de 49,9 MW de Logrosán..... | 56 |
| Estudio del empleo de aerocondensador para planta de biomasa de 49,9 MW | 62 |
| Producción de biolubricantes y reformado de biogás como modelos energéticos sostenibles | 67 |

Estudio de la eficiencia y el ahorro energético debido al acoplamiento de reactores de HTC para el procesado de cártamo en una planta de cogeneración de ciclo principal de Rankine

José Manuel Díaz Rasero, María Alonso Sánchez, Beatriz Ledesma Cano

Departamento de Física Aplicada, Universidad de Extremadura. Avda. de Elvas, s/n, 06006, Badajoz, España

Email de contacto: josedirra@gmail.com

Abstract

This work studies the possibilities of coupling two hydrocarbonization reactors (HTC) to a Rankine main cycle cogeneration plant. The main objective is to study the feasibility of taking advantage of the residual heat of the boiler fumes to perform a HTC reaction at a temperature of 200°C. This temperature is considered adequate to produce HTC reactions according to various studies. In addition, a second HTC reactor is incorporated, but in this case the residual heat of the liquid product of the reaction is used to preheat the supply water that the first reactor would need. With all that, a first energy saving would be already achieved. Subsequently, and once the previous thermal viability has been seen, we proceed to determine if the solid yield (SY) and the HHV of the carthamus hydrocarbons obtained would allow a substitution of the original fuel of the boiler (commercial biomass pellets) and thereby maintain the operating conditions that allow keep the HTC reactors working.

Keywords: residual heat, HTC, hydrochars, solid yield, HHV, saving.

Resumen

En el presente estudio se analiza las posibilidades de acoplar sendos reactores de hidrocarbonización (HTC) a una planta de cogeneración de ciclo principal de Rankine. El objetivo principal es estudiar la viabilidad de aprovechar el calor residual de los humos de salida de la caldera de la central para con ellos lograr una reacción de HTC a una temperatura de 200°C. Esta temperatura se considera adecuada para producir reacciones de HTC según diversos estudios. Además, se incorpora un segundo reactor de HTC, pero en este caso se aprovecha el calor residual del producto líquido de la reacción para precalentar el agua de suministro que

Estudio de la eficiencia y el ahorro energético debido al acoplamiento de reactores de HTC para el procesado de cártamo en una planta de cogeneración de ciclo principal de Rankine.

necesitaría el primer reactor. Con todo ello se conseguiría ya un primer ahorro de energía. Posteriormente, y una vez vista la viabilidad térmica anterior, se procede a determinar si el rendimiento sólido (SY) y el PCS de los hidrochars de cártamo obtenidos permitirían una sustitución del combustible original de la caldera (pellets de biomasa comerciales) y con ello mantener las condiciones operativas que permitan mantener en funcionamiento de los reactores de HTC.

Palabras clave: *calor residual, HTC, hidrocarbones, rendimiento sólido, PCS, ahorro.*

Introducción

La energía de la biomasa es una fuente de energía renovable que se encuentra en una posición destacada como posible fuente de energía alternativa a los combustibles fósiles. Posee diversas ventajas como pueden ser: bajas emisiones de gases de efecto invernadero, disponibilidad en gran cantidad y diversidad de territorios y un factor destacable, que promovería el desarrollo rural y de zonas más desfavorecidas económicamente.

Dentro del aprovechamiento de esta fuente de energía destacan varias técnicas como son la pirólisis, la gasificación, la digestión anaerobia o la combustión directa en forma de pellets o briquetas (Rincón Martínez y col., 2014). Sin embargo, la conversión termoquímica de biomasa mediante combustión directa o gasificación no es una opción satisfactoria debido a las propiedades de la biomasa, como un alto grado de humedad y contenido de oxígeno. Para ello, la biomasa requiere de pretratamientos para reducir su contenido de humedad para poder ser aprovechada posteriormente. Sin embargo, en los últimos años se ha ido desarrollando una técnica novedosa y con un gran potencial de uso de los distintos productos finales que se obtienen como es el proceso de carbonización hidrotermal.

La carbonización hidrotermal de biomasa (HTC) o hidrocarbonización es un método de tratamiento de biomasa con alto contenido de humedad muy prometedor con muchos beneficios. Este proceso consiste básicamente en calentar una mezcla de biomasa y agua en un reactor cerrado herméticamente cuya presión es autógena a temperaturas no muy altas (180-250 °C). Se obtienen fundamentalmente dos productos finales en dicho proceso, una fase líquida muy prometedora en cuanto a componentes químicos presentes en la misma y una fase sólida (Román y col., 2018). El material sólido resultante del proceso de HTC (hidrochar), es similar a un carbón comercial en cuanto al valor calorífico (PCS) que se consigue.

Estudio de la eficiencia y el ahorro energético debido al acoplamiento de reactores de HTC para el procesado de cártamo en una planta de cogeneración de ciclo principal de Rankine.

Con todo lo anterior expuesto, en el presente trabajo se pretende estudiar la viabilidad de acoplar reactores de HTC a una central de vapor que utiliza pellets de biomasa comercial como combustible. El objetivo fundamental es aprovechar los humos salientes de la caldera para lograr una temperatura de reacción de HTC de 200°C y con ello calcular el caudal de agua necesario para poder llevar a cabo dicha reacción con las condiciones técnicas de funcionamiento de la central original. Además, se realiza un cálculo sobre la posibilidad de sustituir los pellets originales de la caldera por los hidrochars producidos en dicha reacción de HTC, consiguiendo con ello aún más ahorro en el sistema.

Metodología

Se parte de una instalación de una central térmica de Rankine, la cual dispone de una caldera de potencia térmica de 8,9 MW (aunque el estudio propuesto permite cualquier otra potencia), cuyo rendimiento es del 80%. El vapor producido mueve una única turbina que acciona un alternador (rendimiento del 95%) para producir electricidad. El rendimiento de toda esta central es de un 33,44 %. Además, se dispone de la composición elemental de los pellets de biomasa que utiliza la caldera como combustible original.

Con todo ello, se realiza una serie de análisis sencillos a través de tablas de cálculo (Excel) elaboradas para este estudio. El objetivo es realizar un primer esbozo mediante un estudio básico e inicial para poder hacer del diseño de una planta de cogeneración de biomasa-HTC en un futuro.

Como primer paso se ha realizado un balance energético en el primer reactor para calcular la temperatura de agua de suministro necesaria para mantener una reacción de HTC de cártamo (caña y torta) en dicho reactor a 200°C. Para ello se estima una temperatura de humos de 250°C y de la biomasa a tratar de 25°C. Se calcula el caudal de humos a partir de la composición elemental de los pellets. A continuación, y una vez obtenido el resultado anterior, se realiza otro balance energético en el intercambiador de calor 1 con el objetivo esta vez de determinar el caudal de agua necesaria a la temperatura anterior calculada para suministrar al reactor de HTC. En este intercambiador de calor se utiliza los humos residuales mencionados. La temperatura del agua de entrada en el intercambiador anterior a su vez se podría precalentar a través del agua residual de otro proceso HTC en un segundo reactor acoplado al sistema. Esta temperatura se fija en 135°C. En este balance, las temperaturas de entrada/salida de los caudales (agua suministro/agua reactor) se fijan.

Una vez realizados estos análisis (en sus respectivas tablas de cálculo para tal fin) se realiza un estudio de la capacidad de utilizar los hidrochars producidos para sustituir el

combustible original de la caldera de la central. Para ellos se parte de los datos de rendimiento sólido (RS) y poder calorífico superior (PCS) obtenidos experimentalmente en laboratorio en las mismas condiciones de ejecución. Como datos adicionales se obtienen los precios hipotéticos de la electricidad producida en tales condiciones.

Resultados

Los principales resultados obtenidos se pueden enumerar como:

1. Se han elaborado hojas de cálculo sencillas que permiten realizar de manera sistemática el análisis para cualquier tipo de biomasa como dato de partida.
2. Para los datos de partida mencionados en la sección anterior, se obtiene una temperatura del agua necesaria en el primer reactor de 228,6°C.
3. Para la temperatura anterior, y mediante el balance energético en el intercambiador 1, se obtiene un caudal de agua necesario de 2,694 kg de agua por cada kg de combustible de la caldera. Este caudal de agua se precalienta en dicho intercambiador mediante los humos de salida, cuya temperatura de entrada y salida se toman de 250°C y 150°C respectivamente.
4. Esta agua se precalienta en un segundo intercambiador. Se fija una temperatura de salida del agua de 135°C. Se propone calentar esta agua mediante el agua de salida (producto líquido) de un segundo reactor de HTC.
5. Con los datos de RS y PCS de la caña y torta de cártamo, se determina el porcentaje de pellets originales a ser sustituidos por los hidrochars respectivos que se obtendrían (todo ello calculado según estudios experimentales previos). Así, para torta de cártamo (RS de 67,7% y PCS de 21,77 MJ/Kg) se podrían sustituir un 65% del combustible original y para la caña de cártamo (RS del 76,7% y PCS de 19,24 MJ/kg) se podría sustituir un 64%.
6. Los precios de los HCs producidos serían de 0,097 € para la torta y de 0,096 € para la caña de cártamo.

Conclusiones

Todo lo desarrollado en este trabajo es un estudio previo y básico con el objetivo de sentar las bases para un diseño más profundo posterior de una planta de cogeneración de vapor con reactores de HTC. Los resultados obtenidos muestran la viabilidad de proporcionar la energía necesaria para mantener reacciones de HTC a temperaturas de 200°C aprovechando los humos de salida de la caldera de la central. Las temperaturas y caudales

Estudio de la eficiencia y el ahorro energético debido al acoplamiento de reactores de HTC para el procesado de cártamo en una planta de cogeneración de ciclo principal de Rankine.

de agua necesario para tal fin muestran unos resultados totalmente aptos para ser alcanzados técnica y energéticamente dentro del funcionamiento general de la instalación. Además, suponiendo los HCs potenciales obtenidos (PCS y RS calculados experimentalmente), se observa que un gran porcentaje de los pellets originales que emplea la caldera como combustible pueden ser sustituidos tanto por hidrochars de torta como de caña de cártamo (65% y 64% respectivamente), fomentando con ello un ahorro adicional.

Referencias

Rincón Martínez J. M. y Silva Lora E. E., *Bioenergía: Fuentes, conversión y sustentabilidad*. Red Iberoamericana de Aprovechamiento de Residuos Orgánicos en Producción de Energía, 2014.

Roman S., Libra J., Berge N., Sabio E., Ro K., Li L., Ledesma B., Álvarez A. and Bae S. 2018. Hydrothermal Carbonization modeling, Final Properties Design and Applications: A Review. *Energies 11*, no. 1: 216. <https://doi.org/10.3390/en11010216>.

Agradecimientos:

A la Red Iberoamericana de Modelos de Sistemas de Gestión de Energías Sostenibles (RIMSGES) del Programa CYTED, organizadora del evento.

Hacia la mejora del rendimiento global de procesos de producción de energía: Biodigestión acoplada con HTC

María Alonso Sánchez^{(a,*),} Beatriz Ledesma Cano^(a), Almudena González González^(b), Eva María Cayero Cidre^(c), Francisco Cuadros Salcedo^(c), Silvia Román Suero^(a)

^(a)Departamento de Física Aplicada, Universidad de Extremadura. Avda. de Elvas, s/n, 06006, Badajoz, ^(b) Centro Ibérico de Investigación en Almacenamiento Energético (CIIAE), Escuela Politécnica, Avenida de la Universidad s/n, 1003, Cáceres, ^(c)Metanogenia, Avda.de Elvas, s/n, 06006, Badajoz. *malonsosan@unex.es

Abstract

Biodigestion is currently regarded as a process whose effectiveness in managing wet organic waste is undisputed, with the potential to produce methane at moderate concentration (50-80% by volume) depending on the feedstock and working conditions. Furthermore, a simple process of implementation that can operate in continue providing stable values.

While biodigestion has found an expanding role in today's energy landscape, the overall improvement of the process efficiency and proper management of the resulting waste (digestate) are aspects that scientific community is intensively studying to improve to enhance environmental impact and the global carbon footprint. Thus, in this context, coupling digestate hydrocarbonization serves the dual purpose: on one hand, converting it into a material suitable for combustion, on the other hand, obtaining NH₃ as hydrogen carrier, concluding with the extraction of nutrients such as N, P, and K, valuable for improving soil fertility.

This presented work aims to evaluate the improvements resulting from the modification of the simple biogas digestion process of slaughterhousewaste, by utilizing the digestate through HTC (Hydrothermal carbonization).

Keywords: *biodigestion, digestate, projects, hydrothermal carbonization, biogas, renewable energy.*

Resumen

La biodigestión se presenta hoy como un proceso cuya eficacia para gestionar residuos húmedos de naturaleza orgánica es indiscutible, con el potencial de producir metano en concentraciones moderadas (50-80% en vol./vol.) según el material de partida y condiciones de trabajo. Es, además, un proceso de sencilla implementación que puede operar en continuo proporcionando valores estables.

Si bien la biodigestión ha encontrado un espacio creciente en el contexto energético actual, la mejora global de la eficiencia del proceso y la adecuada gestión del residuo que deja (el digestato), son aspectos que la comunidad científica estudia intensamente para mejorar el impacto ambiental y la huella de carbono global. Así, en este contexto, el acoplamiento de la hidrocarbonización del digestato permite por una parte convertir este en un material apto para su uso en combustión, y por otro, la obtención de NH₃, como vector de hidrógeno, finalizando con la extracción de nutrientes como el N, P y K, útiles para mejorar la fertilidad de los suelos.

El trabajo que se presenta persigue hacer una evaluación de la mejora que implica la modificación del proceso de biodigestión simple del residuo de matadero, aprovechando mediante HTC el digestato.

Palabras clave: *biodigestión, digestato, proyectos, hidrocarbonización, biogás, energía renovable.*

Introducción

En el contexto de transición actual en el que la Unión Europea se ha marcado objetivos contundentes en cuanto a la sustitución de los recursos energéticos fósiles, y en el que el impulso de economía circular es imperativo, la búsqueda de modelos de gestión de materiales residuales que además puedan ser empleados en aplicaciones energéticas es una prioridad para la comunidad científica.

Existen una gran cantidad de residuos procedentes de materia orgánica que necesitan gestión a la hora de ser eliminados, la biodigestión o digestión anaerobia es un proceso biológico mediante el cual diversas especies microbianas descomponen materiales orgánicos en ausencia de oxígeno u otros componentes oxidantes, obteniendo como producto final un gas denominado biogás que está compuesto principalmente por metano y dióxido de carbono. Como subproducto se genera un residuo denominado digestato, que

dependiendo de la materia orgánica de partida puede ser valioso debido a su gran contenido humedad y nutrientes, como son el N, P o K, que pueden ser destinados a aplicaciones como fertilizantes agrícolas. Sin embargo, su aplicación directa al suelo puede estar limitada debido a la presencia de patógenos tóxicos contaminantes como metales pesados o N amoniacal. La investigación llevada a cabo por Cao y col. (2019) se enfocó en analizar los sólidos que se generan en la HTC utilizando el digestato como material de partida y reveló cambios notables en las propiedades de los sólidos, incluyendo una mejora con la severidad de la reacción debido a que aumenta el contenido en cenizas del sólido obtenido (Cao et al., 2019). Además de cambios en la fase sólida de la HTC, ha surgido un gran interés en la comunidad científica por el análisis de la composición de la fase líquida, particularmente en la valorización de nutrientes como el fósforo, nitrógeno, potasio y derivados, con beneficios potenciales para la agricultura.

Esta investigación se centra en el estudio de la valorización del digestato obtenido a partir de residuos de matadero, analizando la presencia de compuestos de interés en los productos líquidos y el potencial como combustible de los sólidos generados (el hidrochar o HC) mediante la técnica de carbonización hidrotermal (HTC).

Metodología

El material de partida en el presente estudio es el digestato procedente de la digestión anaerobia en continuo de residuos de matadero de cerdo; es interesante destacar que durante el proceso se produjeron corrientes gaseosas con riquezas de CH₄ en volumen de hasta el 60,4% en la fase de estado estacionario. Este estudio empleó en concreto una muestra de digestato tomada durante el periodo transitorio. La materia prima empleada en la digestión fue suministrada por un matadero de la zona de Extremadura y previo a los ensayos se separó en dos fracciones, una que contiene mezcla de agua y sangre y otra con agua sin sangre. El digestato empleado en el proceso de HTC aquí presentado corresponde al de agua sin sangre.

Se prepara la mezcla inicial de 200 g de digestato con 400 g de agua de red (más idónea para poder implementar en plantas industriales a mayor escala). La mezcla se introduce en una autoclave de acero inoxidable (Parr 1,2 L), equipado con un sistema de calentamiento autónomo, agitación magnética y válvulas que permiten la extracción de muestras líquidas durante todo el proceso de HTC. Las condiciones iniciales incluyen una temperatura de 220 °C y un tiempo de 1 hora. Se extraen 8 muestras líquidas para evaluar la cinética y composición de la mezcla a lo largo del tiempo a intervalos de 10-15 minutos desde 180 °C hasta alcanzar la temperatura de consigna.

Después, la mezcla se enfría a temperatura ambiente y se procede a la separación de productos sólidos y líquidos utilizando papel de filtro. Los HC se secan a 105°C durante 48 horas y se almacenan en bolsas para su caracterización y análisis. Por otro lado, los productos líquidos se someten a centrifugación, se diluyen (1:20 ml) y se almacenan congelados en botes de plástico PET, conservando así sus propiedades iniciales para futuros análisis.

El HC se caracteriza en cuanto a su poder calorífico superior (PCS, MJ/kg) mediante bomba calorimétrica Parr, y el líquido es analizado mediante análisis fotométrico (Hanna Instruments HI) respecto a su concentración en N (incluyendo N-total, N-NO₃⁻ y N-NH₃), P (P-total, P-PO₄⁻³ y P₂O₅) y K (K-total y K₂O).

Resultados

El rendimiento sólido (RS) ha sido tradicionalmente empleado como un parámetro fundamental directamente vinculado a la reactividad de los procesos de HTC. Debido a la importancia creciente de necesidad de conservación de recursos hídricos, un parámetro que cobra relevancia es el rendimiento de agua procesada (RL), que representa la masa de agua obtenida después de someterle el proceso de HTC en comparación con la cantidad inicialmente utilizada. El RS final se sitúa en 0,87 %, mientras que el Poder Calorífico Superior (PCS) es de 16,75 MJ/kg, un valor notoriamente bajo para que la fase sólida resultante se considere un combustible eficiente. Sin embargo, este resultado es coherente con investigaciones previas, pero en sintonía con otros estudios que también han registrado un PCS moderadamente bajo para este tipo de residuos, dado su elevado contenido mineral (Sarrion et al., 2023.). Por otro lado, el RL asciende al 123,53 %, lo que sugiere un enfoque particular en la fase líquida del proceso.

La caracterización inicial del digestato revela un contenido de humedad del 95,82 %, un pH de 7,78 y una densidad de 1111, 11 kg / m³. Además, los contenidos de macronutrientes son de 0,545 g de fósforo (P) por kilogramo y 0,92 g de potasio (K) por kilogramo. Después del proceso de HTC, el pH del líquido experimenta un aumento notable, alcanzando un rango entre 9 y 10.

Asimismo, inicialmente se registra un contenido de potasio es de 40,92 mg/L y de fósforo 24,24 mg/L. Tal como se ilustra en la figura 1, se observa un aumento en la generación de estos componentes, lo cual reviste un interés considerable en lo que respecta a su captura en dicha fase (68,5% y 33% de extracción, respectivamente).

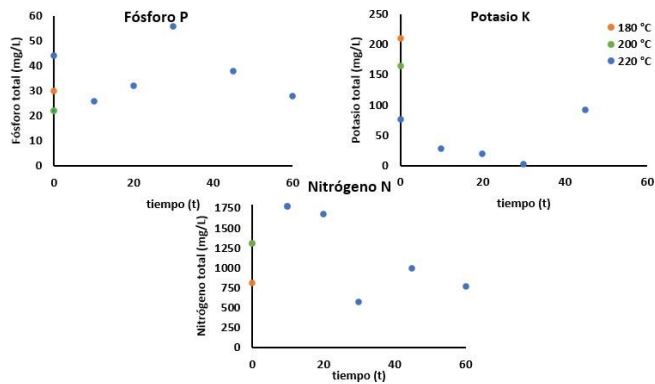


Figura 1. Cantidad de nutrientes N, P y K obtenidos en la HTC.

Conclusiones

La biodigestión es eficaz para gestionar residuos orgánicos húmedos y producir metano, una fuente prometedora de energía renovable. La gestión adecuada del digestato, un subproducto de la biodigestión, es crucial para reducir su impacto ambiental. La hidrocarbonización del digestato es efectiva para convertirlo en un material que puede extraer nutrientes valiosos como N, P, K y derivados, útiles como fertilizantes. Este estudio se enfocó en valorizar el digestato de residuos de matadero, mostrando cambios significativos en sus propiedades. Se necesitan más investigaciones para comprender completamente los resultados y seguir desarrollando este campo. Se sugiere investigar la utilización de residuos de HTC en la biodigestión, estableciendo un enfoque de ciclo reversible que evalúe la retroalimentación entre ambos procesos.

Referencias

- Cao, Z., Jung, D., Olszewski, M. P., Arauzo, P. J., & Kruse, A. (2019). Hydrothermal carbonization of biogas digestate: Effect of digestate origin and process conditions. *Waste Management*, *100*, 138–150. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.09.009>
- Sarrion, A., de la Rubia, M. A., Berge, N. D., Mohedano, A. F., & Diaz, E. (2023). Comparison of Nutrient-Release Strategies in Hydrothermally Treated Digested Sewage Sludge. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, *11*(17), 6498–6509. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.2c05870>

Agradecimientos

A la Red Iberoamericana de Modelos de Sistemas de Gestión de Energías Sostenibles (RIMSGES) del Programa CYTED, organizadora del evento.

Selección de la mejor tarifa eléctrica

V. Alejandro Román Galeano, Celia Tena Pintado, Diego Carmona Fernández, Dorotea Dimitrova Angelova

²Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Automática, Escuela de Ingenierías Industriales, Universidad de Extremadura, Avenida de Elvas s/n, 06006 Badajoz, España.

¹Departamento de Física Aplicada, Escuela de Ingenierías Industriales, Universidad de Extremadura, Avenida de Elvas s/n, 06006 Badajoz, España.

Email de contacto: ctenapintado@gmail.com

Abstract

This project is a response to the large amount of misleading advertising that leads consumers to make wrong choices based on their lack of knowledge about the tariff system.

The tool seeks a proactive approach to energy efficiency, based on an Energy Management System, and using the PHVE (Plan, Do, Check and Act) cycle.

The tool in question allows the client to analyse different scenarios, such as the possibility of a tariff change or the implementation of a photovoltaic installation, all based on the consumption of each user.

The proposed platform should focus not only on economic and energy criteria, but also on efficiency, which is essential to reduce energy consumption without losing performance and comfort, which leads to the ecological criterion, as this makes us more sustainable, reducing CO2 and greenhouse gas emissions into the atmosphere. This promotes the use of the Energy Management System model called "4e" (Economy, Energy, Ecology and Efficiency), as it aims to analyse various combinations of generation and consumption profiles in order to achieve both economic and energy savings, which has an impact on the field of efficiency and ecology.

It is the almost perfect tool in the world of uncertainty and change in which we are immersed. It is the means of reconciliation between companies and customers, bringing the sustainable and efficient closer to the average user.

Keywords: prices, Energy Management System, PHVE, "4e".

Resumen

El presente proyecto nace como respuesta a la gran cantidad de publicidad engañosa que se ofrece y que lleva a los consumidores a erróneas elecciones en base a su desconocimiento en cuanto al sistema tarifario.

La herramienta busca un enfoque proactivo en cuanto a eficiencia energética se refiere, basándose en un Sistema de Gestión de la Energía, y empleando el ciclo PHVE (Planear, Hacer, Verificar y Actuar).

La herramienta en cuestión permite al cliente analizar distintos escenarios, como son la posibilidad de un cambio de tarifa o la implementación de una instalación fotovoltaica; todo ello tomando como base el consumo de cada usuario.

La plataforma que se plantea se centra no solo en el criterio económico y energético, sino también en el de la eficiencia, imprescindible para conseguir reducir el consumo de energía sin que ello conlleve perder prestaciones y confort, lo que conduce al criterio ecológico, puesto que así se consigue ser más sostenibles, reduciendo las emisiones de CO₂ y de gases de efecto invernadero a la atmósfera. Se promueve así el uso del modelo de Sistema de Gestión de la Energía denominado “4e” (Economía, Energía, Ecología y Eficiencia), puesto que se pretenden analizar varias combinaciones de perfiles de generación y consumo para conseguir tanto ahorro económico como energético, lo que repercute en el ámbito de la eficiencia y la ecología.

Es la herramienta casi perfecta en el mundo de incertidumbre y cambio en el que estamos inmersos. Es el medio de reconciliación entre compañías y clientes, el acercamiento de lo sostenible y lo eficiente al usuario medio.

Keywords: Tarifas, Sistema de Gestión de Energía, PHVE, PVGIS, “4e”.

Introducción

La Asociación de Consumidores y Usuarios (OCU) y la Comisión Nacional de los Mercados y Competencia (CNMC), advierten de la gran cantidad de publicidad engañosa que se ofrece y que lleva a consumidores a erróneas elecciones en base a su desconocimiento en el ámbito del mercado de la electricidad y de las tarifas que se proponen.

Además, teniendo en cuenta las últimas encuestas realizadas en el segundo trimestre de 2022, el descontento con la electricidad aumentó, puesto que un 24,4% de los hogares se manifestó estar poco o nada satisfechos en comparación con el 15,3% en el mismo periodo de 2021.

A este descontento se suma el incremento de los precios de la energía en los últimos tiempos y la necesidad de buscar nuevas soluciones de cara a la eficiencia energética con un enfoque proactivo.

Como consecuencia de lo desarrollado anteriormente, queda de manifiesto la necesidad de implementar un Sistema de Gestión de Energía mediante la herramienta que permita recoger, analizar y comparar tanto a nivel energético como a nivel financiero, las tarifas disponibles en el mercado, facilitando así a cada uno de los usuarios la selección más conveniente en función de su consumo, y si fuese necesario, la generación de energía eléctrica a partir de la fotovoltaica, empleando así energía verde/renovable.

Es decir, la herramienta que se presenta se corresponde con un modelo SGen “4e”, donde la gestión y la eficiencia energética sean el núcleo o la base sobre el que gire el diseño e implementación; y para ello será necesario contar con un sistema de seguimiento y control idóneo como apoyo a una eficiente gestión.

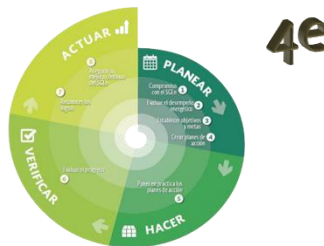


Figura 1. Fases para la implementación de un SGen

Fuente: Lázaro Flores Díaz, Natalia Escobosa Pineda, Lorena Espinosa Flores: 2ª Edición
“Manual para la implementación de un SGen”.

Justificación

El cambio es la constante de la vida ya que esta representa una constante transformación. Transformarse, mejorar, es consustancial a la vida. La riqueza de una sociedad en su conjunto se genera a través de un proceso por el que cubrimos nuestras necesidades cada vez con menos recursos (o con los mismos recursos logramos cubrir más necesidades)

El mundo contemporáneo constituye un mundo de cambios jamás vistos. A lo largo del tiempo, el modo de operar de las tarifas y de las comercializadoras eléctricas ha sufrido una gran cantidad de cambios que han dado como resultado lo vigente en la actualidad.

En la actualidad, en España, los consumidores tienen a su disposición dos tipos de contrato para potencias contratadas menores a 10 kW:

- Tarifas reguladas o PVPC: regularizado por el Ministerio de Industria donde el cliente contrata con una de las comercializadoras (CUR) la tarifa PVPC.
- Tarifas de mercado libre: diferentes para cada empresa comercializadora, regidas por sus criterios y condiciones. En estas, las alteraciones de precio de la energía no suelen alterar el importe fijado durante la vigencia del contrato.

Todos estas opciones y estos cambios nos conducen a necesidades que resuelvan las incertidumbres del usuario medio. Es por ello por lo que surge la idea de la creación de esta herramienta desarrollada en Microsoft Excel y programada en Visual Basic (VBA), capaz de implementar un sistema de gestión de energía para la gestión y el ahorro energético-económico.

Metodología

La herramienta se ha desarrollado en el software de Microsoft Excel. Se ha realizado un análisis detallado de los costes de distintas tarifas aplicadas sobre una instalación concreta del consumidor y se ha estudiado la posibilidad y viabilidad de una instalación solar fotovoltaica. El resultado obtenido posibilita una correcta toma de decisiones, teniendo además en cuenta las “4e”, *Economía, Energía, Ecología y Eficiencia*.

Esta plataforma es capaz de simular distintas tarifas (Precio único, discriminación horaria, tarifa por horas, PVPC, Tarifa por mayores consumos, etc.), a fin de ayudar al usuario a elegir la mejor tarifa eléctrica.

A continuación, se puede realizar una simulación para cada tarifa propuesta y analizar la viabilidad de introducir o modificar una instalación fotovoltaica; además de analizar

distintos perfiles que reflejen distintos escenarios costo-energéticos, tal y como muestra la siguiente figura.

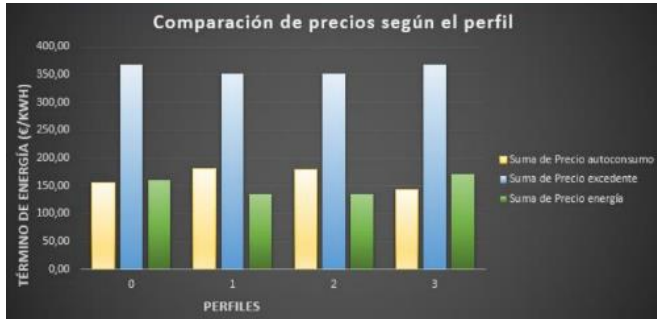


Figura 2. Comparación de precios según el perfil

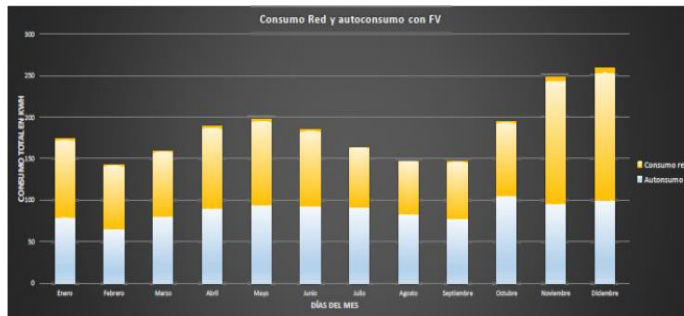


Figura 3. Consumo de red y autoconsumo de la instalación fotovoltaica

Resultados

Para poder entender los perfiles simulados, se ha estudiado una codificación energética.

Cada perfil sigue el modelo de nombramiento “P ABCD”:

- P: Perfil que se indica.
- A: Toma valores en función del consumo elegido (“0” es el consumo real; “1”, el consumo medio; “2”, variación del consumo en horas diurnas y nocturnas de forma porcentual).
- B: Variará entre los valores “0” y “1”, siendo “0” la tarifa inicial del cliente, y “1” si realiza un cambio de tarifa.
- C: Variará los valores entre “0”, si no se contempla fotovoltaica y “1”, en caso contrario.

- D: Tomará valores entre “0”, “1”, “2” y “3”, en función de si la generación es la real obtenida de PVGIS, de si es la generación media anual, la generación media mensual correspondiente a la obtenida en horas de sol y la última, que se corresponde con la generación de 2020, respectivamente.

Una vez se hayan definido los perfiles a considerar, se procede a comparar cada uno de ellos, tanto a nivel de costes como a nivel energético.

A nivel de costes se ilustra la comparación entre las distintas tarifas para los distintos o mismos precios en cada uno de los periodos. A nivel energético, se compara el consumo que tendría el usuario previamente, con el que tendría una vez instalada la fotovoltaica (Autoconsumo, consumo de red y excedente).

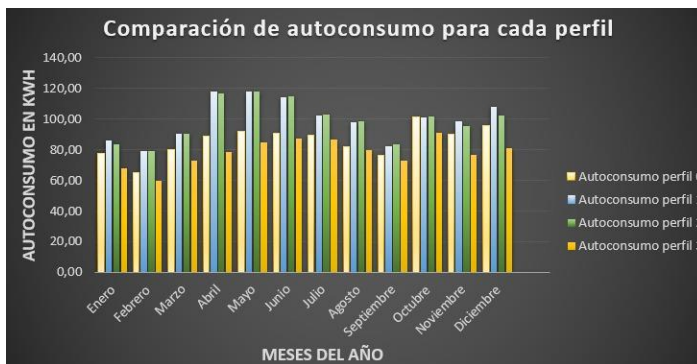


Figura 4. Comparación de autoconsumo para cada perfil simulado

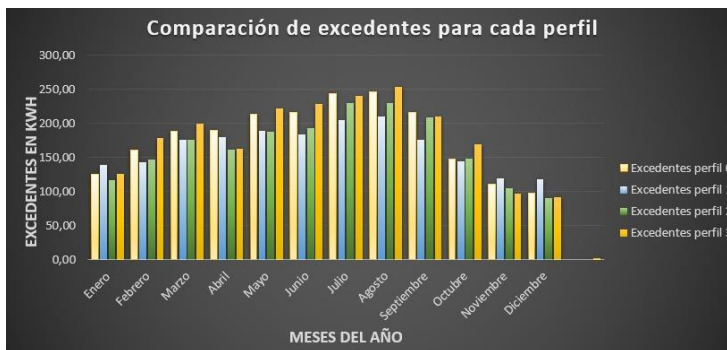


Figura 5. Comparación de excedentes para cada perfil simulado

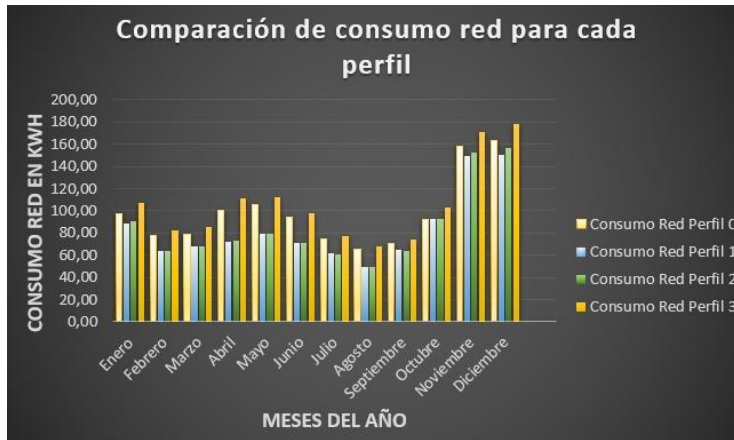


Figura 6. Comparación de consumo de red para cada perfil simulado

Conclusiones

El desarrollo de esta herramienta ha puesto de manifiesto el alto grado de desconocimiento de los usuarios sobre los términos de facturación, lo que provoca que se realice cada vez más a menudo una elección errónea de la tarifa más adecuada.

Dentro de este desconocimiento profundo, las “falsas gangas” ofertadas por las comercializadoras no hacen más que aturdir al consumidor final, que cae en el “engaño” de la oferta pensando que será mucho más económica y ventajosa. El modelo de sistema gestión implementado desarrolla el ciclo PHVA ayuda a los consumidores a aclarar los conceptos de facturación, permitiéndoles de una forma rápida y sencilla, comprobar qué tarifa de las simuladas se amolda más a sus datos de consumo. Asimismo, también les permite comprobar cuánto de beneficioso sería la instalación de una fotovoltaica de autoconsumo o una mejora de esta en caso de ya tenerla instalada.

“AHORRAR NO ES SOLO GUARDAR, SINO SABER GASTAR”

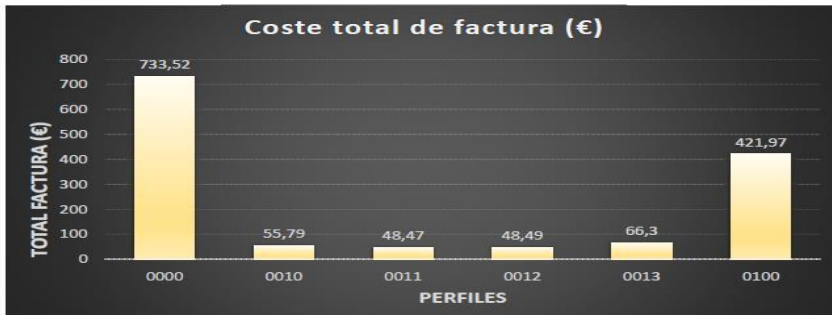


Figura 7. Comparación de perfiles con distintos costes de factura

Referencias

- [1] Boletín de indicadores eléctricos. Página Web CNMC. Recuperado en diciembre de 2024 de https://www.cnmc.es/listado/sucesos_energia_mercado_electrico_boletines_de_indicadores_electricos/block/250
- [2] Lázaro Flores Díaz, Natalia Escobosa Pineda, Lorena Espinosa Flores. A (2022). *2ª Edición Manual para la implementación de un SGEN*.
- [3] Javier Sevillano. A (2022). *Evolución de las tarifas eléctricas*. Recuperado en diciembre de 2024 de <https://javiersevillano.es/TarifasElectricasEvolucion.htm>
- [4] Software PVGIS. Photovoltaic Geographical Information System.
- [5] Portal Red Eléctrica de España. *Precio Voluntario para el Pequeño Consumidor*. Recuperado en diciembre de 2023 de <https://www.esios.ree.es/es?locale=es>
- [6] Portal Gobierno de España *Bono Social Eléctrico*. Recuperado en diciembre de 2023 de <https://www.bonosocial.gob.es/>
- [7] Lázaro Flores Díaz, Israel Jáuregui Nares. A (2020). *Guía de implementación e interpretación de requisitos del estándar ISO 50001:2018*.
- [8] J. de Quinto Romero. A (1996). *Análisis de las tarifas eléctricas*.
- [9] J. L. Sancha Gonzalo. A (2013). *El sistema eléctrico español: la TUR cumple cuatro años*.
- [10] Energía y sociedad. A (2013). *Precio voluntario al pequeño consumidor*.
- [11] CNE. A(2007). *Electra y el estado: La intervención pública en la industria eléctrica durante el franquismo*.
- [12] UNESA. A (2005). *El sector eléctrico a través de Unesa*.

Proyecto de diseño y construcción de sistema de microgeneración alimentado con biocombustibles

Alejandro Martínez Martín^(a), Alfonso Carlos Marcos Romero^(b), Pedro Muñoz Acebedo^(a), Juan Félix González González^(a)

^(a) Departamento de Física Aplicada, Escuela de Ingenierías Industriales, Universidad de Extremadura. Avda. de Elvas, s/n, 06006, Badajoz, España. ^(b) Departamento de Expresión Gráfica, Escuela de Ingenierías Industriales, Universidad de Extremadura. Avda. de Elvas, s/n, 06006, Badajoz, España.

Abstract

Microcogeneration technologies have many advantages in terms of versatility and efficiency, for this reason, the interest in this technology has increased in recent years. The present project aims to use different types of new-generation biofuels as an energy source in a small power microcogeneration system with microturbine technology. The system will be developed for use in domestic and tertiary sectors, allowing the simultaneous production of electricity and heat (production of domestic hot water and heating).

Keywords: *micro cogeneration, CHP, microturbine, Bryton cycle, biofuels, energy efficiency.*

Resumen

Las tecnologías de microgeneración presentan múltiples ventajas relativas a su versatilidad y eficiencia, por lo que el interés por esta tecnología ha aumentado en los últimos años. En el proyecto desarrollado, se persigue el diseño empleo de diversos tipos de biocombustibles de nueva generación como fuente energética en un sistema de microgeneración de pequeña potencia con microturbina. El sistema se desarrollará para su empleo en ámbito doméstico y terciario, permitiendo la producción simultánea de electricidad y calor (producción de agua caliente sanitaria y calefacción).

Palabras clave: *microgeneración, CHP, microturbina, ciclo Bryton, biocombustibles, eficiencia energética.*

Introducción y antecedentes

En los últimos años, ha aumentado el interés en el empleo de la microgeneración (Cadorin et al., 2011; Gillette, 2009; Wołowicz et al., 2021), gracias a la alta eficiencia de este sistema. Existen distintas tecnologías disponibles, principalmente: motores alternativos de combustión interna, microturbinas y motores Stirling. La principal ventaja del empleo de microturbinas es la versatilidad aportada en cuanto a temperaturas de gas de expulsión obtenidas, estando comprendidas en rangos de temperaturas por encima de los 100 °C, lo que permite la producción de vapor.

El empleo de biocombustibles en este tipo de sistemas permite además una reducción en las emisiones de gases contaminantes, por lo que múltiples investigaciones a nivel mundial se encuentran enfocadas en este ámbito (Cadorin et al., 2011; Fantozzi et al., 2009; Habib et al., 2010; Strenziok et al., 2008). El presente proyecto supone la continuación de otra serie de trabajos previos relacionados llevados a cabo por el grupo de investigación (González-González et al., 2022; González-González et al., 2014; Gutiérrez et al., 2018; Sabio et al., 2017), pudiendo destacar el trabajo realizado por D. Javier Gutiérrez Bravo (Gutiérrez et al. 2018; Gutiérrez 2019), en el que se emplearon bioaceites pirolíticos para alimentar una turbina de aviación a escala.

Objetivos

En el proyecto desarrollado, se persigue el empleo de biocombustibles como fuente energética en un sistema de microgeneración con microturbina destinado a una producción de baja potencia (3 kW eléctricos). Actualmente para la satisfacción de las necesidades caloríficas (ACS y calefacción) en ámbito doméstico y terciario se emplean comúnmente calderas de gas o gasoil. Mediante la aplicación de un sistema de cogeneración, se lograría obtener un mayor rendimiento por unidad de combustible empleado, al permitir la obtención de energía térmica y eléctrica. Adicionalmente, al emplearse biocombustibles, se sustituyen los combustibles fósiles empleados por fuentes energéticas sostenibles, reduciéndose la cantidad de emisiones.

En la primera parte del proyecto, se realizará un análisis y simulación fluidodinámica del interior de la cámara de combustión, buscando la optimización del rendimiento. Se emplearán diferentes tipos de biocombustibles líquidos y gaseosos, obtenidos por procesos de gasificación, pirólisis, reformado, Síntesis Fisher-Tropsch, digestión anaerobia, etc. Se partirá de un diseño inicial, para posteriormente adaptarlo a las características propias de cada combustible. Posteriormente, se procederá a la construcción y testeo de un prototipo de microturbina (ciclo Bryton), registrándose los rendimientos obtenidos. Mediante el

análisis de los resultados obtenidos, se tratarán de implementar medidas que mejoren la eficiencia del sistema.

Biocombustibles

En cuanto a las fuentes energéticas, en primer lugar, se emplearán combustibles comúnmente empleados en este tipo de tecnología (gas natural, gasóleo y queroseno) como punto de partida. Posteriormente se utilizarán diversos tipos de biocombustibles (líquidos y gaseosos), para de esta forma realizar una comparativa en el desempeño y rendimiento obtenido. Durante este proceso, será especialmente importante analizar la fiabilidad de los componentes mecánicos (inyectores, superficie de la cámara de combustión, álabes de la turbina), ya que los combustibles empleados presentan diferentes características de composición y propiedades con respecto al combustible original para el que fueron diseñados, lo que podría originar problemas en cuanto a la viabilidad de su uso (corrosión, problemas de atomización en inyectores debido a la diferente viscosidad del fluido, problemas en el equilibrado del eje de transmisión y otra serie de problemas que podrían surgir durante los ensayos).

Componentes del sistema

El sistema se encuentra constituido por un compresor, encargado de elevar la presión del comburente (aire) que pasa a la cámara de combustión, en donde se mezcla con el combustible. Para la inyección del combustible será necesario emplear un inyector para los combustibles líquidos y un conjunto de micro toberas para los gaseosos. Dentro de la cámara se produce la inflamación de la mezcla, aumentando la entalpía del gas. Estos gases de combustión salen de la cámara, accionando una etapa de turbinas, destinadas a accionar el compresor inicial y a la generación eléctrica (mediante un sistema de reducción). Finalmente, los gases de combustión pasan a través de un intercambiador, en donde se extrae su energía calorífica, antes de ser expulsados del sistema. En la Figura 1.1 se muestra un esquema con los distintos componentes indicados.

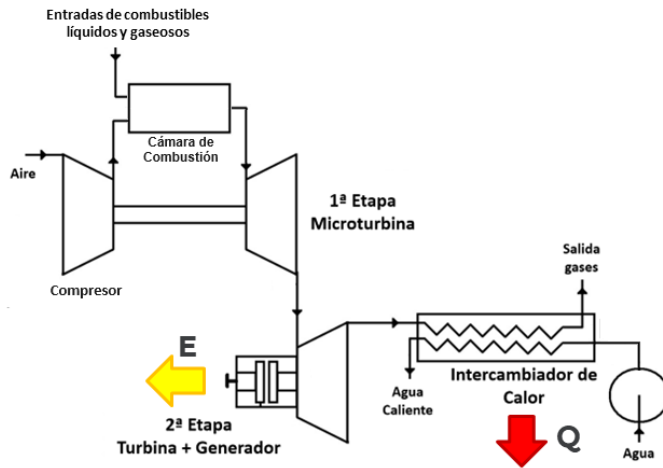


Figura 1.1 Componentes del sistema de microgeneración con microturbina.

Para el control de todo el sistema se empleará un controlador electrónico conectado con distintos sensores (presión, temperatura, caudal) y actuadores (sistema de ignición, sistema de inyección de combustible, sistema de recirculación del lubricante). Se empleará un turbocompresor de automoción como compresor y otro como turbina, ya que este elemento proporciona suficiente relación de compresión mediante una única etapa. Adicionalmente, permite una mayor libertad en la disposición de la cámara de combustión, que no deberá de encontrarse obligatoriamente en una posición contigua a estos elementos, lo que evita la exigencia térmica. Finalmente, este componente presenta un coste inferior al de una turbomáquina axial de similares características.

Referencias

- Cadorin, M., Pinelli, M., Vaccari, A., Calabria, R., Chiariello, F., Massoli, P., & Bianchi, E. (2011). Analysis of a Micro Gas Turbine Fed by Natural Gas and Synthesis Gas: Test Bench and Combustor CFD Analysis. In *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power* (Vol. 134). <https://doi.org/10.1115/GT2011-46090>
- Fantozzi, F., Laranci, P., Bianchi, M., Pascale, A., Pinelli, M., & Cadorin, M. (2009). CFD Simulation of a Microturbine Annular Combustion Chamber Fuelled With Methane and Biomass Pyrolysis Syngas: Preliminary Results. In *Proceedings of the ASME Turbo Expo* (Vol. 2). <https://doi.org/10.1115/GT2009-60030>
- Gillette, S. (2009). Comparison of Microturbines and Reciprocating Engine Generator Sets. *Proceedings of the ASME Turbo Expo, 1*, 861–866. <https://doi.org/10.1115/GT2008-51365>
- González-González, J. F., Parralejo, A. I., González, J., Álvarez, A., & Sabio, E. (2022). Optimization of the production and quality of biogas in the anaerobic digestion of different types of biomass in a

batch laboratory biodigester and pilot plant: Numerical modeling, kinetic study and hydrogen potential. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(93), 39386–39403. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.09.113>

González-González, J. F., Alkassir, A., San José, J., González, J., & Gómez-Landero, A. (2014). Study of combustion process of biodiesel/gasoil mixture in a domestic heating boiler of 26.7 kW. *Biomass and Bioenergy*, 60, 178–188. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.10.024>

Gutiérrez, J. (2019). *Aprovechamiento de bioaceite pirolítico en motores a reacción, motores diesel, calderas y bioexplosivos*. Universidad de León.

Gutiérrez, J., Galán, C. A., Suárez, R., Álvarez-Murillo, A., & González-González, J. F. (2018). Biofuels from cardoon pyrolysis: Extraction and application of biokerosene/kerosene mixtures in a self-manufactured jet engine. *Energy Conversion and Management*, 157, 246–256. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.12.006>

Habib, Z., Parthasarathy, R., & Gollahalli, S. (2010). Performance and emission characteristics of biofuel in a small-scale gas turbine engine. *Applied Energy*, 87, 1701–1709. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.10.024>

Sabio, E., Álvarez-Murillo, A., González, J. F., Ledesma, B., & Román, S. (2017). Modelling the composition of the gas obtained by steam reforming of glycerine. *Energy Conversion and Management*, 146, 147–157. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.03.068>

Strenziok, R., Hansen, U., & Künstner, H. (2008). *Combustion of Bio-Oil in a Gas Turbine* (pp. 1452–1458). <https://doi.org/10.1002/9780470694954.ch119>

Wołowicz, M., Kolasiński, P., & Badyda, K. (2021). Modern Small and Microgeneration Systems—A Review. *Energies*, 14(3). <https://doi.org/10.3390/en14030785>

Agradecimientos:

A la Red Iberoamericana de Modelos de Sistemas de Gestión de Energías Sostenibles (RIMSGES) del Programa CYTED, organizadora del evento.

Modelos de comunidades energéticas a través de las asociaciones público-privadas

Magdalena Ramirez-Peña^(a), Manuel Otero-Mateo^(a), Nieves Saborido Barba^(a), Albero Cerezo-Narváez^(a) y Andrés Pastor-Fernández^(a)

^(a)Escuela Superior de Ingeniería, Universidad de Cádiz. Avda. de la Universidad, 10, 11519, Puerto Real (Cádiz) España.

Abstract

Public-private partnerships (PPP or P3) foster collaboration between public and private sectors, facilitating the funding, construction, and operation of traditionally public projects. This inclusive approach capitalizes on the private sector's efficiency, innovation, and capital for top-tier public service delivery. This article investigates PPP models tailored for energy community projects, outlining partner roles, financing mechanisms, governance, and environmental considerations. Emphasizing adaptability to legal, economic, and social contexts, the study underscores long-term viability amidst evolving energy policies and technology landscapes. The resilient framework ensures mutual benefits, creating a robust partnership model for the dynamic energy sector.

Keywords: *Public-private partnerships, Energy infrastructure, PPP, P3.*

Resumen

Las asociaciones público-privadas (PPP o P3) colaboran para financiar y operar proyectos públicos como escuelas y hospitales, aprovechando la eficiencia privada. Este artículo explora modelos de PPP para comunidades energéticas, definiendo roles, financiamiento, gobernanza, acuerdos de energía y sostenibilidad. Destaca la adaptabilidad a contextos legales y económicos, considerando viabilidad y cambios en políticas y tecnologías.

Palabras clave: *Asociaciones público-privada, Infraestructura energética, PPP, P3.*

Introducción

La creciente demanda de infraestructura energética sostenible y la necesidad de abordar el cambio climático impulsan innovaciones en comunidades energéticas (Valle et al., 2022). Las asociaciones público-privadas (PPP o P3) se destacan como eficaces para enfrentar desafíos de infraestructura, al colaborar entre sectores. Este artículo examina la viabilidad de modelos de PPP en comunidades energéticas, definiendo roles, financiamiento, gobernanza, distribución de energía y beneficios económicos. Considera la protección ambiental, sostenibilidad y condiciones operativas para el éxito a largo plazo. La complejidad de factores, desde regulaciones hasta dinámicas socioeconómicas, influye en la implementación de PPP, requiriendo evaluaciones exhaustivas y adaptabilidad frente a cambios tecnológicos y políticos.

Metodología

El artículo empleará la metodología Design Science Research (DSR), centrada en desarrollar conocimientos para diseñar soluciones al problema, priorizando soluciones alternativas en lugar de analizar existentes. Inicia con una etapa descriptiva para comprender a fondo el problema y evoluciona hacia la etapa prescriptiva mediante análisis y diseño, facilitando la colaboración sistemática e iterativa entre investigadores y profesionales (Moutinho et al., 2024). El objetivo es seleccionar modelos de PPP para proyectos de comunidades energéticas, definiendo roles, mecanismos financieros, gobernanza, distribución de energía, beneficios económicos, medidas ambientales y sostenibilidad. La adaptabilidad de la metodología permite abordar de manera integral las complejidades del problema.

Resultados

Se localizan seis tipos de posibles modelos de PPP adaptables a proyectos de comunidades energéticas:

1. Modelo de Iniciativa de Financiación Privada (PFI):

Las Iniciativas de Financiamiento Privado (PFI) posibilitan la financiación de proyectos del sector público con el respaldo del sector privado. Este contrato a largo plazo entre una entidad gubernamental y una parte privada implica la provisión de un activo o servicio público, donde la parte privada asume riesgos y responsabilidades de gestión vinculadas al rendimiento (Delmon, 2018).

Aunque aceleran la ejecución de proyectos públicos, las PFI involucran plazos de reembolso con transferencia de costos a futuros contribuyentes y desafíos en la rescisión anticipada del contrato.

2. Concesiones:

En el modelo de concesión, la Administración otorga a particulares o empresas privadas el derecho para la realización o explotación de un bien o servicio público durante un tiempo limitado y condiciones económicas específicas. Esta colaboración facilita la inversión privada y conocimientos técnicos sin aumentar la deuda pública. Utilizado en Europa para infraestructuras viales, ferroviarias, portuarias, aeroportuarias, gestión de residuos urbanos y energía, difiere de un contrato público al autorizar la explotación con recaudación económica, asumiendo riesgos y proporcionando a la administración un bien sin costos ni inversión al final de la concesión (Nuwagaba et al., 2023).

3. Contratos de Compra de Energía:

Los contratos de compra de energía (PPA) son acuerdos clave entre sectores público y privado en el ámbito eléctrico, promoviendo despliegue de energías renovables y sostenibilidad, reduciendo riesgos financieros (Słotwiński, 2022). Parámetros esenciales, como duración, precio, entregas mínimas y máximas, penalizaciones, y seguros, se definen en diversas estructuras, como precios fijos o indexados (Mendicino et al., 2019). Facilitan la participación de empresas más pequeñas en proyectos arriesgados, aliviando la incertidumbre para inversores pero presentan desafíos como la obtención de financiamiento a largo plazo y acuerdos en moneda local para inversores extranjeros (Taghizadeh-Hesary et al., 2021).

4. Modelos de Construir-Operar-Transferir (BOT) y variantes como BOOT (Construir-Poseer-Operar-Transferir):

El modelo de Construir-Operar-Transferir (BOT) involucra al sector privado desde la construcción hasta la operación, con transferencia al sector público al cumplir el plazo. Eficaz en infraestructura, optimiza eficiencia y rentabilidad. El modelo Construir-Operar-Propiedad-Transferir (BOOT) añade etapa de propiedad antes de la transferencia al sector público. Ambos mitigan riesgos, distribuyen responsabilidades y fomentan eficiencia y transparencia. Atractivos para inversores privados en proyectos de comunidades energéticas, garantizan estabilidad y certeza con transferencia de activos. Implementación exitosa requiere marco regulatorio sólido, políticas gubernamentales

coherentes y participación de partes interesadas para proyectos sostenibles (Aladağ & Işık, 2020).

5. Sociedades de Propósito Específico (SPE o SPV):

El modelo de Entidad Especial (SPE o SPV) implica crear una entidad legal independiente para gestionar infraestructuras energéticas específicas. Compuesta por actores públicos y privados, facilita la colaboración y la asignación clara de responsabilidades, activos y riesgos (Sainati et al., 2020). Esta flexibilidad en las estructuras de financiamiento y modelos de negocio contribuye a la sostenibilidad económica a largo plazo. El éxito requiere roles y responsabilidades definidos, transparencia en decisiones, gestión de riesgos efectiva y alineación de intereses, fomentando la participación y la integración de aspectos socioeconómicos y ambientales para beneficio mutuo y sostenibilidad a largo plazo.

6. Joint Ventures (JV):

Las Joint Ventures (JV) son asociaciones estratégicas que unen a dos o más partes para ejecutar proyectos, como en comunidades energéticas. Permiten combinar recursos y conocimientos para proyectos más grandes. Al compartir riesgos y costos, facilitan el desarrollo de infraestructuras energéticas. La ventaja clave es fomentar la innovación y diversificación de soluciones para abordar desafíos energéticos. Proporcionan flexibilidad en la gobernanza y toma de decisiones, facilitando la colaboración eficiente (Ciccarelli et al., 2015). A pesar de desafíos, como la gestión de conflictos, la comunicación abierta y relaciones sólidas son cruciales para el éxito a largo plazo.

Conclusiones

En resumen, los modelos BOT y BOOT proporcionan sólidas estructuras para comunidades energéticas, colaborando eficientemente entre gobiernos y entidades privadas. Los acuerdos BOT reducen riesgos privados al tener al gobierno como principal cliente. Las Sociedades de Propósito Específico (SPE o SPV) ofrecen un enfoque prometedor con estructuras legales y financieras robustas. Estos modelos contribuyen al desarrollo de comunidades energéticas sostenibles y resilientes globalmente. Las concesiones y concesiones demaniales son herramientas para necesidades públicas sin aumentar deuda,

priorizando la gestión del patrimonio público sin necesidad de beneficiar a los ciudadanos.

Referencias

- Aladağ, H., & Işık, Z. (2020). The Effect of Stakeholder-Associated Risks in Mega-Engineering Projects: A Case Study of a PPP Airport Project. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 67(1), 174–186. <https://doi.org/10.1109/TEM.2018.2866269>
- Ciccarelli, S., Cassese, F., Mascetti, G., Massoli, P., Parmitano, L., Pignataro, S., & Ugolini, F. (2015). Public-private partnerships to develop new applications from space resource utilisation: The case of green air experiments on board the ISS. *Proceedings of the International Astronautical Congress, IAC, 15*, 11705–11709.
- Delmon, J. (2018). Public-private partnerships basics: What and why. *PPE Reference Guide*, 1–52.
- European Investment Bank. (2022). *Public-private partnerships financed by the European Investment Bank from 1990 to 2021* (Issue February).
- Mendicino, L., Menniti, D., Pinnarelli, A., & Sorrentino, N. (2019). Corporate power purchase agreement: Formulation of the related levelized cost of energy and its application to a real life case study. *Applied Energy*, 253(February), 113577. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113577>
- Moutinho, J. da A., Fernandes, G., & Rabechini, R. (2024). Evaluation in design science: A framework to support project studies in the context of University Research Centres. *Evaluation and Program Planning*, 102 (July 2023). <https://doi.org/10.1016/j.evalprogplan.2023.102366>
- Nuwagaba, I., Lukamba, M. T., Hofisi, C., Nduhura, A., Molokwane, T., & Ochora, A. (2023). An Analysis of the use of Toll Concession Public Private Partnership Projects(PPP) in the Road Sector. *African Journal of Business and Economic Research*, 18(2), 7–21. <https://doi.org/10.31920/1750-4562/2023/v18n2a1>
- Sainati, T., Locatelli, G., Smith, N., Brookes, N., & Olver, G. (2020). Types and functions of special purpose vehicles in infrastructure megaprojects. *International Journal of Project Management*, 38(5), 243–255. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2020.05.002>
- Taghizadeh-Hesary, F., Yoshino, N., Rasoulinezhad, E., & Rimaud, C. (2021). Power purchase agreements with incremental tariffs in local currency: An innovative green finance tool. *Global Finance Journal*, 50(February), 100666. <https://doi.org/10.1016/j.gfj.2021.100666>
- Valle, R., Fernando, J., Alfonso, M., Antonio, M., Alfonso, M., Enrique, J., Gómez, F., & María, J. (2022). International Congress on Project Management and Engineering Terrassa, 5. *26th International Congress on Project Management and Engineering, July*, 1290–1299.

Agradecimientos:

A la Red Iberoamericana de Modelos de Sistemas de Gestión de Energías Sostenibles (RIMSGES) del Programa CYTED, organizadora del evento.

Mejora de la calificación energética de una instalación eléctrica de una vivienda unifamiliar por implantación de un Sistema de Gestión de Energía

Dorotea Dimitrova Angelova¹, Sara Carmona Gallardo², Diego Carmona Fernández^{2*} y Juan Enrique Riballo Cabanillas.

¹Departamento de Física Aplicada, Escuela de Ingenierías Industriales, Universidad de Extremadura, Avenida de Elvas s/n, 06006 Badajoz, España.

²Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Automática, Escuela de Ingenierías Industriales, Universidad de Extremadura, Avenida de Elvas s/n, 06006 Badajoz, España.

Abstract

This paper analyzes and describes how the implementation of an Energy Management System (EMS) will be carried out in order to improve the energy rating of the electrical installation of a single-family house. Different scenarios are proposed and evaluated in order to achieve an improvement of the energy rating of the electrical installation of the house. For this purpose, a tool developed in the School of Industrial Engineering of Badajoz, programmed in VBA, is used, which allows to know the efficiency of the installation in a few simple steps following the UNE 60364-8-1 standard. Thus obtaining a classification of the energy efficiency of the electrical installation following the requirements for the electrical part of the energy management system addressed by ISO 50001.

Keywords: Energy Management System (SGEn), single-family house, energy rating of electrical installation, VBA tool, UNE 60364-8-1.

Resumen

En este trabajo se analiza y describe cómo se llevará a cabo la implementación de un Sistema de Gestión de Energía (SGEn) para mejorar la calificación energética de la instalación eléctrica de una vivienda unifamiliar. Se proponen y evalúan diferentes escenarios de actuación con el objetivo de lograr una mejora de la calificación energética de la instalación eléctrica de dicha vivienda. Para ello, se utiliza una herramienta desarrollada en la Escuela de Ingenierías Industriales de Badajoz, programada en VBA, que permite conocer la eficiencia de la instalación en unos sencillos pasos siguiendo la norma UNE 60364-8-1.

Obteniendo así una clasificación de la eficiencia energética de la instalación eléctrica siguiendo los requisitos para la parte eléctrica del sistema de gestión de la energía tratado por la Norma ISO 50001.

Keywords: Sistema de Gestión de Energía (SGEn), vivienda unifamiliar, calificación energética de instalación eléctrica, herramienta VBA, UNE 60364-8-1.

Introducción

El sistema de gestión de la energía es crucial para mejorar la eficiencia, reducir costos y promover el uso sostenible de los recursos energéticos, proporcionando beneficios económicos, ambientales y sociales en diversos sectores [1].

En este trabajo se analiza y se describe cómo llevar a cabo la implementación de un Sistema de Gestión de Energía (SGEn) [2] para mejorar la certificación de la calificación energética de la instalación eléctrica de una vivienda unifamiliar.

Se lleva a cabo un análisis detallado del estado energético de la vivienda y se evalúan sus necesidades mediante el estudio del uso y de los consumos energéticos a lo largo de un año. La norma UNE 60364-8-1 [3] se aplica para evaluar la calificación energética de la instalación eléctrica y se establece una línea base para medir los avances y retrocesos en términos de energía. Se identifican y definen las estancias de la vivienda que suponen un gasto significativo y se establecen indicadores de desempeño energético para el monitoreo y medición del consumo. Se proponen medidas de mejora, como el cambio de tarifa eléctrica, la instalación de paneles solares fotovoltaicos y la implementación de medidas de eficiencia según la UNE 60364-8-1. Finalmente, se realiza un análisis económico-financiero para evaluar la viabilidad de las mejoras propuestas y se establecen los procedimientos de implantación de cada medida. Además, se define el proceso de seguimiento, medición y análisis para verificar la efectividad del SGEn y se establece el procedimiento de revisión del sistema.

Justificación

El RD 235/2013 estableció la obligación de facilitar a compradores y/o usuarios de un edificio, un certificado de eficiencia energética. El RD 390/2021 establece el procedimiento básico para dicha certificación energética. Antes de ello se estableció la exigencia de una etiqueta energética también para medir la eficiencia energética de diferentes equipos. Los requisitos, recomendaciones y metodología para poder evaluar la eficiencia energética de una instalación eléctrica, a diseñar o existente, vienen recogidos

en la Norma UNE-HD 60364-8-1 [3]. Todo esto dentro del marco de un SGEN, calificando la instalación con una etiqueta o nivel de eficiencia de entre EE0 (nivel bajo) y EE5 (nivel alto).

Este trabajo se adelanta a las futuras exigencias de certificación energética de las instalaciones eléctricas [3], utilizando una herramienta propia de la Escuela de Ingenierías Industriales de Badajoz. Dicha herramienta, en sencillos pasos, permite al usuario obtener la certificación y saber en qué aspectos y cómo puede mejorar el resultado obtenido [4].

Metodología

A continuación, se explican los distintos puntos de la metodología aplicada en este trabajo.

- Primero, definición de la política energética para los habitantes de la vivienda, es decir, las responsabilidades y las pautas a seguir para que a través de aplicación de un SGEN, se pueda mejorar la calificación energética de la instalación eléctrica.
- En la planificación energética se identifican todas las actividades de la vivienda que afecten de manera significativa al uso y consumo de la energía. Conociendo así la situación actual de la vivienda en materia de energía y analizar qué decisiones de mejora adoptar.
- Definición de todo lo relativo al procedimiento para la implementación y operación del Sistema de Gestión de Energía, para mejorar la calificación energética de la instalación eléctrica de la vivienda objeto de estudio, definiendo los distintos escenarios de actuación (cambio de tarifa eléctrica, incluir energía renovable fotovoltaica, implementar medidas de eficiencia según UNE 60364-8-1 o aplicar combinaciones de ellas).
- Comprobación del grado de cumplimiento de las metas y objetivos establecidos mediante la medición, el seguimiento y análisis.
- Y, por último, generar un informe de la revisión llevada a cabo por la Dirección del SGEN.

Resultados

En el primer escenario, cambiar la tarifa eléctrica de la vivienda, se ha conseguido un ahorro económico del 52,78 % de la factura anual de electricidad, pero la certificación de la eficiencia sigue en el estado inicial, EE0, ya que no se cambia el consumo anual de la vivienda, ni se instalan medidores de consumo o se gestiona de alguna manera el consumo energético de la instalación eléctrica de la vivienda.

La inclusión de energía renovable fotovoltaica, segundo escenario, supone un ahorro de más de un tercio de la factura anual de electricidad. Pero la certificación de la eficiencia sigue siendo EE0, ya que con la incorporación de la instalación fotovoltaica no resultó suficiente para subir el nivel.

En el tercer escenario, aplicar algunas de las medidas propuestas en la norma UNE 60364-8-1, supuso incrementar el nivel de la certificación energética a un nivel EE1.

El mejor escenario es el de aplicar todas las medidas de mejoras juntas (cuarto escenario), se obtuvo un ahorro del 64,83 % del consumo energético total anual de la vivienda, lo que supuso un 73,9 % de ahorro económico anual. De forma que se ha mejorado la certificación de la calificación energética de la instalación eléctrica de la vivienda con el menor coste posible y pasando de una calificación EE0 a EE1.

Conclusiones

Los datos obtenidos de la revisión energética (patrones y hábitos de consumo de energía, estancias con mayor Uso Significativo de la Energía (USEn), equipos eléctricos de mayor consumo...), han permitido enfocar las medidas de mejora de la calificación energética de la instalación eléctrica propuestas en los distintos escenarios de mejora, hacia las necesidades y uso de la vivienda de forma más concreta y no de una forma genérica.

Las acciones que más aportan a mejorar la calificación energética fueron las coincidentes con las recomendaciones de la norma UNE 60364-8-1, por lo tanto, serían sobre las que más habría que centrarse. La combinación de todas las medidas juntas (cuarto escenario) fue la mejor forma de aumentar la calificación energética y disminuir el coste energético de energía de la vivienda.

Referencias

- [1] Comisión Europea (2022). Flash Eurobarometer 514. EU's response to the energy challenges. <https://europa.eu/eurobarometer/api/deliverable/download/file?deliverableId=85514>.
- [2] Norma UNE-EN ISO 50001:2018. Sistemas de gestión de la energía. Requisitos con orientación para su uso. (ISO 50001:2018), 2018-09-19.
- [3] UNE-HD 60364-8-1:2020. Instalaciones eléctricas de baja tensión. Parte 8-1: Aspectos funcionales. Eficiencia energética. 2020-06-03.
- [4] D. Carmona, F. Silvia, and R. Suero, "Propuestas educativas y de investigación para una gestión energética eficiente," in *Propuestas educativas y de investigación para una gestión energética eficiente*, OCTAEDRO, S.L., 2023, pp. 59–83.

Análisis de modelo digital de instalaciones fotovoltaicas

Dorotea Dimitrova Angelova*, **Sara Carmona Gallardo**, **Juan Félix González González ***, **Diego Carmona Fernández ***, **Miguel Ángel Jaramillo Morán**.

Departamento de Física Aplicada, Universidad de Extremadura. Avda. de Elvas, s/n, 06006, Badajoz, España

Abstract

Photovoltaic energy is consolidated as a fundamental source, mainly due to the need to improve efficiency in energy generation and consumption. The implementation of digital twins of photovoltaic systems makes it possible to anticipate energy production, balance supply and demand, improve the detection of possible failures and optimize system efficiency. This work focuses on the study of a digital twin of a photovoltaic installation that allows the supervision, control and management of the energy that is generated and consumed in a photovoltaic installation. To complete the study, a 2,79 kW photovoltaic installation was installed in a part of the cover of the Badajoz School of Industrial Engineering. This installation allows self-consumption, battery storage and energy supply.

Keywords: Digital twin, photovoltaic installation, Internet of Things (IoT), energy management.

Resumen

La energía fotovoltaica se consolida como una fuente fundamental, sobre todo por la necesidad de mejorar la eficiencia en la generación y el consumo de energía. La implementación de gemelos digitales de sistemas fotovoltaicos permite anticipar la producción de energía, equilibrar la oferta y la demanda, mejorar la detección de posibles fallos y optimizar la eficiencia del sistema. Este trabajo se centra en el estudio de gemelo digital de una instalación fotovoltaica que permita la supervisión, el control y la gestión de la energía que se genera y se consume en una instalación fotovoltaica. Para llevar a cabo dicho estudio se ha instalado una instalación fotovoltaica de 2,79 kW sobre una parte de la cubierta de la Escuela de Ingenierías Industriales de Badajoz,. Dicha instalación permite el autoconsumo, el almacenamiento en baterías y el vertido a red.

Keywords: Gemelo digital, instalación fotovoltaica, Internet de las cosas (IoT), gestión de energía.

Introducción

En 2023, la electricidad generada mediante tecnología fotovoltaica superará la producción total del año anterior, alcanzando los 27,968 GWh, según las previsiones de Red Eléctrica. Este logro marca un hito histórico para esta fuente renovable, experimentando un aumento del 32,3% en comparación con el mismo periodo del año anterior hasta el 6 de septiembre de 2022, según la información proporcionada en la página web de Red Eléctrica. A medida que la energía fotovoltaica se consolida como una fuente fundamental, surge la necesidad crítica de mantener una eficiencia óptima en la generación, identificación y previsión de energía.

Mediante la implementación de un gemelo digital del sistema fotovoltaico, se pretende la supervisión, control y gestión de la energía generada y consumida, así como la predicción de la generación de energía recopilando datos esenciales mediante el Internet de las cosas (IoT) para su pronóstico. La anticipación de la producción de energía permite equilibrar la oferta y la demanda y se mejora la capacidad de detección de posibles fallos en el sistema eléctrico.

El gemelo digital es una emulación digital de un sistema físico que calcula analíticamente los valores medibles de distintas salidas de características en tiempo real pudiendo estar basado en modelos, en datos o una combinación de ambos [1]. Este trabajo ha sido enfocado en el estudio de un gemelo digital diseñado para una instalación fotovoltaica con capacidad para autoconsumo, vertido a red y almacenamiento de energía en baterías. A través del IoT, se recopilan datos en tiempo real de la producción y de otras variables exógenas como temperatura, irradiación y viento, que serán las entradas del gemelo digital.

Justificación

La comparación entre la respuesta del gemelo digital y la instalación fotovoltaica real frente a factores externos tales como temperatura, irradiancia y viento permite identificar posibles errores, como sombras parciales o acumulación de polvo. La información obtenida del gemelo digital orienta decisiones estratégicas, evaluando opciones como el autoconsumo total, el uso de la batería o el consumo de energía de la red, considerando el tipo de día y el tramo horario para optimizar la eficiencia y rentabilidad del sistema. En situaciones de exceso de energía, el gemelo digital permite tomar decisiones basadas en las necesidades de consumo, evaluando la viabilidad de cargar la batería o vender el excedente a la red, tomando en cuenta los precios del mercado eléctrico. También se considera la opción de descartar ambas acciones si la batería está cargada o si el precio del mercado es negativo.

Metodología

- Búsqueda bibliográfica científica y técnica para recopilar datos relevantes sobre gemelos digitales aplicados a instalaciones fotovoltaicas..
- Definición del gemelo digital mediante ecuaciones matemáticas [2] que modelarán la producción de energía de la instalación.
- Recopilación de datos en tiempo real de la producción de la instalación fotovoltaica a partir de los sensores instalados.
- Comparación entre la respuesta del gemelo digital y la instalación fotovoltaica real frente a los mismos factores externos.
- Optimización de la instalación real. Introducción de mejoras y/o ajuste de parámetros.

Resultados

Como resultado de esta investigación hay un artículo en proceso de publicación. El primer artículo trata de una revisión bibliográfica sobre el uso de Digital Twin en instalaciones fotovoltaicas que está en preprint [3] y en el segundo se define el diseño teórico del modelo de Digital Twin, que se aplicará a la práctica en un entorno real sobre la instalación fotovoltaica de 2,79 kW montada para este fin.

Para ello, se ha montado una instalación fotovoltaica de 2,79 kW que permite el autoconsumo, el almacenamiento en baterías y el vertido a red. Sobre dicha instalación se llevará a cabo el estudio del gemelo digital desarrollado en el segundo artículo, como ya se ha comentado. La instalación se encuentra ubicada en la cubierta de la Escuela de Ingenierías Industriales (Universidad de Extremadura), suministrando actualmente de energía renovable al laboratorio de Termodinámica (Proyectos). En la figura 1 y 2 se puede ver una foto de la instalación real y el esquema unifilar de la instalación, respectivamente.



Figura 8. Foto de la instalación real ubicada en la cubierta de la Escuela de Ingenierías Industriales (Universidad de Extremadura).

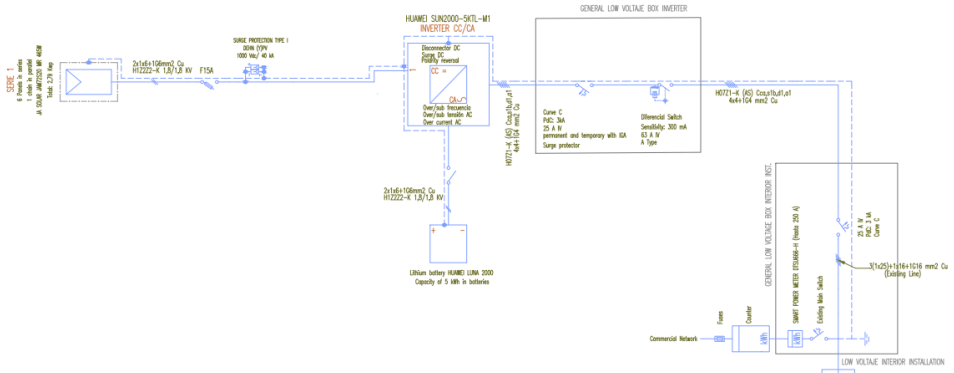


Figura 9. Esquema unifilar de la instalación PV de 2,79 kW que suministra al laboratorio de termodinámica en la Escuela de Ingenierías Industriales.

Conclusiones

Utilizar gemelos digitales para optimizar las instalaciones fotovoltaicas permite simular diversos escenarios y evaluar el rendimiento en tiempo real. La implementación de gemelos digitales facilita la toma de decisiones informadas sobre el consumo de energía, maximizando la eficiencia y rentabilidad de las instalaciones fotovoltaicas. Este trabajo abre nuevas perspectivas para avanzar en la eficiencia y sostenibilidad de la energía solar.

Referencias

- [1] P. Jain, J. Poon, J. P. Singh, C. Spanos, S. R. Sanders, and S. K. Panda, “A digital twin approach for fault diagnosis in distributed photovoltaic systems,” *IEEE Trans Power Electron*, vol. 35, no. 1, pp. 940–956, Jan. 2020, doi: 10.1109/TPEL.2019.2911594.
- [2] R. Ayaz, I. Nakir, and M. Tanrioven, “An improved matlab-simulink model of pv module considering ambient conditions,” *International Journal of Photoenergy*, vol. 2014, 2014, doi: 10.1155/2014/315893.
- [3] D. Dimitrova Angelova, D. Carmona Fernández, M. Calderón Godoy, J. Antonio, Á. Moreno, and J. Félix González González, “A Review on Digital Twins and Its Application in the Modeling of Photovoltaic Installations,” 2024, doi: 10.20944/preprints202401.1585.v1.

Diseño innovador de rastreadores solares para el mejoramiento de la eficiencia en plantas de energía renovable

Alfonso Gunsha-Morales, Juan Carlos Pisco, Jorge Murillo Oviedo, Johanna Barriga Fray

Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Carrera de Ingeniería en Electricidad, Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Campus Central Av. Quito km. 11/2 vía a Santo Domingo de los Tsáchila.

Email de contacto: agunsham@uteq.edu.ec.

Abstract

Currently, the enhancement of efficiency in renewable energy plants has been increasing due to new designs of solar trackers for solar energy capture. However, the movement of the solar panel, which contributes to significant efficiency losses, has not been a subject of study. Nor have measures to counteract the losses caused by static panels been studied. This report utilizes an experimental methodology to demonstrate the improvement of Solar Trackers' efficiency through the repositioning of the panel according to the changing sun's location from an Earth perspective. This identifies the efficiency increase in comparison to solar panels without solar trackers. We find an efficiency improvement of 20-30% in solar panels with solar trackers, making them viable for high-consumption applications with high sustainability. This improvement allows for an energy efficiency of up to 2800 Watts in a specific hour of the day. It is concluded that by evaluating the solar tracker, efficiency is improved by up to 10% compared to static solar panels. This work proposes to mitigate solar energy capture problems and enhance efficiency and performance in plants.

Keywords: *Solar Tracker, Energy Efficiency, Solar Panels, Sustainability.*

Resumen

El mejoramiento de la eficiencia en plantas de energía renovables actualmente se ha incrementado en función de nuevos diseños de rastreadores solares para captación de la energía solar, no obstante, no ha sido objeto de estudio el movimiento del panel solar lo que contribuye a perdidas considerables de la eficiencia, ni las medidas que permite

Diseño Innovador De Rastreadores Solares Para El Mejoramiento De La Eficiencia En Plantas De Energía Renovable

contrarrestar las pérdidas ocasionadas por paneles estáticos. En el presente informe se usa una metodología experimental para la demostración del mejoramiento de la eficiencia del Seguidor Solar a través del cambio de posición del panel de acuerdo a la ubicación del sol cambiante desde una perspectiva de la tierra y así se identifica el incremento de la eficiencia en comparativa con los paneles solares sin seguidor solar, encontramos que tiene un mejoramiento de la eficiencia en Paneles solares con seguidor solares del 20 - 30% que permite ser viable para aplicaciones de alto consumo con sostenibilidad alta, permite tener una eficiencia energética hasta 2800 Vatios en una hora determina del día, se concluye que al evaluar el seguidor solar mejora la eficiencia hasta en un 10% en comparativa con los paneles solares estáticos. El presente trabajo plantea disminuir los problemas de captación de la energía solar y pueda incrementar su eficiencia y rendimiento en las plantas de energía renovable.

Palabras clave: Seguidor Solar, Eficiencia Energética, Paneles Solares, Sostenibilidad.

Introducción

Este proyecto se centra en optimizar la captura de energía solar mediante un sistema de seguimiento solar de doble eje, implementado con un microcontrolador Arduino (Zhang et al., 2019; Green et al., 2019). La eficiencia de los paneles solares se eleva hasta un 25.8% gracias al seguimiento solar, superando a los sistemas estáticos (Mermoud et al., 2017). Este enfoque, respetuoso con el medio ambiente y económicamente viable, utiliza fotorresistencias y actuadores para ajustar los paneles solares en dos ejes, maximizando la captura de luz solar. En un contexto de creciente demanda de energía eléctrica y la necesidad urgente de fuentes renovables, este proyecto busca perfeccionar la utilización de la energía solar, marcando una transición hacia una generación de energía más sostenible y eficiente (Lohmann et al., 2019).

Justificación

La investigación destaca el crecimiento de las energías renovables, especialmente la solar. Implementando paneles solares con seguimiento solar de un eje, se superan limitaciones de los paneles estáticos, logrando mejoras del 20-30%. Ejemplificado por el "Desarrollo de un seguidor solar de un eje controlado por microcontrolador Arduino," este enfoque contribuye a la sostenibilidad, resuelve deficiencias en áreas rurales y reduce la dependencia de fuentes no renovables, maximizando la producción de energía solar y fomentando la autonomía energética comunitaria.

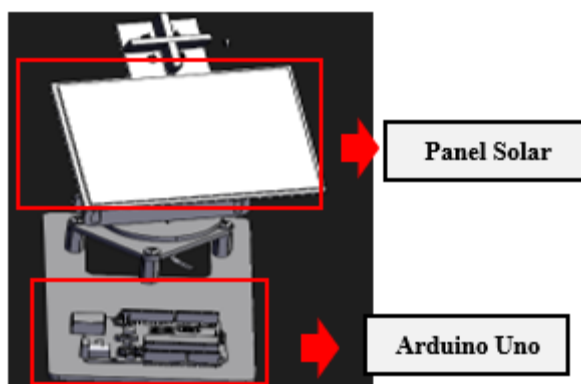
Metodología

Diseño Innovador De Rastreadores Solares Para El Mejoramiento De La Eficiencia En Plantas De Energía Renovable

Utiliza una metodología experimental para diseñar paneles solares que rastrean la luz solar en dos ejes. Se caracteriza por su claridad y empleo de tecnologías. Buscamos mejorar la eficiencia de los paneles solares y establecer un estándar en la aplicación práctica de tecnologías sostenibles.

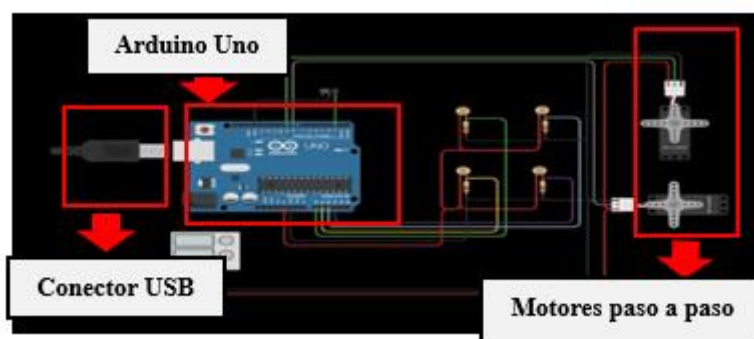
Diseño y Planificación: Se diseña un seguidor solar innovador de dos ejes, considerando factores geográficos y climáticos. El prototipo ofrece un seguimiento preciso y eficiente. El diseño 3D Tinkercad define la disposición final del seguidor solar (Figura 1.1).

Figura 1.1. Visión Tridimensional Del Prototipo. Fuente: Elaboración Propia



En la fase eléctrica, ajustamos y probamos el circuito del seguidor solar en Tinkercad como se visualiza en la Figura 1.2, para mejorar la precisión del seguimiento solar.

Figura 1.2. Circuito Eléctrico Del Rastreador Solar En Tinkercad. Fuente: Elaboración Propia



El proyecto se optimizó para mejorar la eficiencia y funcionalidad del seguidor solar.

Construcción del Hardware

En la fase física, se destaca la conexión de motores y sensores al Arduino, con seguridad eléctrica. El montaje de la estructura, soporta el panel solar y sensores LDR, (Figura 1.3)

Figura 1.3 Estructura del prototipo Fuente: Elaboración Propia



Pruebas y Ajustes Finales

Las pruebas finales, evaluando el sistema en diversas condiciones de iluminación y posiciones solares, orientan ajustes para optimizar el rendimiento en situaciones reales (Figura 1.5).

Figura 1.5. Rastreador solar en movimiento. Fuente: Elaboración Propia



Registro Detallado

Un registro detallado, de los resultados de las pruebas (Tabla 1.1), es clave para ver el funcionamiento del seguimiento solar.

Tabla 1.1. Voltaje generado del sistema estático vs dinámico

| HORA | Sin Seguidor Solar | Con Seguidor Solar |
|------|-----------------------|--------------------|
| | VOLTAJE DEL PANEL (V) | VATIOS W |

Diseño Innovador De Rastreadores Solares Para El Mejoramiento De La Eficiencia En Plantas De Energía Renovable

| | | | |
|-----------------|------|------|------|
| 08H00 AM | 3,62 | 5,78 | 1800 |
| 10H00 AM | 5,10 | 7,08 | 2400 |
| 12H00 PM | 7,26 | 8,98 | 2800 |
| 14H00 PM | 8,15 | 9,58 | 2600 |
| 16H00 PM | 5,42 | 8,23 | 2200 |
| 18H00 PM | 3,24 | 6,27 | 1600 |

El seguidor solar mejora la generación de energía durante el día al ajustar la posición del panel, maximizando la captación incluso a las 4:00 PM. Sin embargo, al analizar la eficiencia del rastreador solar, se observa un aumento constante hasta el pico de 2800 vatios a las 12:00 PM, seguido por una disminución progresiva desde las 14:00 PM. Este patrón sugiere una desalineación posible del rastreador solar con la trayectoria óptima del sol en las horas posteriores, señalando la necesidad de una investigación detallada para optimizar su rendimiento, considerando posibles causas como sombras, obstrucciones u operatividad defectuosa del mecanismo del rastreador.

Resultados

Los resultados de nuestra investigación de rastreadores solares impactan la eficiencia de los sistemas de energía solar, evaluando la adaptabilidad al clima. Detalles en la tabla 1.2.

Tabla 1.2. Características del Rastreador Solar vs Sistema Normal

| Característica | Sin Seguidor Solar | Con Seguidor Solar |
|-----------------------|---------------------------|---------------------------|
| Eficiencia | 15-20% | 20-30% |

Los sistemas de energía solar con y sin seguidor (20-30% y 15-20% de eficiencia) muestran que, a pesar de los mayores costos y mantenimiento del seguidor solar, sus beneficios a largo plazo respaldan estos gastos. La eficacia del sistema con seguidor destaca en entornos de alto consumo, justificando costos adicionales según objetivos de eficiencia, presupuesto y demanda energética local. Tendencias y oportunidades en rastreadores solares se reflejan en la eficiencia de la tabla 1.2, con la optimización centrada en mejorar la captación de energía solar en horas específicas del día.

Conclusiones

Nuestra investigación destaca la eficacia del seguidor solar con Arduino en entornos académicos y prácticos. Desarrollamos un modelo didáctico funcional con enfoque sistemático y meticulosa planificación. Estos resultados contribuyen al conocimiento en ingeniería solar y enfatizan su potencial educativo y práctico. Ecuador, con una hora solar pico promedio de 4.2 horas diarias, aprovecha la orientación continua de los paneles hacia el sol para optimizar la eficiencia. Este proyecto confirma que un seguidor solar con Arduino brinda soluciones eficientes y prácticas, respaldando su importancia y sugiriendo su aplicabilidad en sistemas más grandes. Las lecciones aprendidas ofrecen una base sólida para futuras mejoras y contribuciones hacia la utilización más efectiva y sostenible de la energía solar.

Referencias

- Zhang, L., Wang, F., Li, Y., & Li, Y. (2019). A review of solar tracking techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 101, 290-303.
- Green, M. A., Emery, K., Hishikawa, Y., & Warta, W. (2019). Solar cell efficiency tables (version 55). *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 27(1), 3-12.
- Mermoud, A., Gascón, G., Monnier, Y., Chenaud, B., Pahud, D., & Ballif, C. (2017). Dual-axis solar tracking for maximizing energy yield: Prototype implementation and analysis. *Solar Energy*, 156, 469-481.
- Lohmann, T., Sutter, F., Goldluecke, B., & Schneider, J. (2019). Arduino-based solar tracking system with mirror booster. In 2019 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC) (pp. 1-8). IEEE.
- C. Johnson, "Advancements in Solar Tracker Technology," *Renewable Energy Journal*, vol. 20, no. 4, pp. 345-359, 2022.
- A. Smith y B. Patel, "Optimizing Solar Tracker Performance for Maximum Energy Harvesting," en *Proceedings of the International Conference on Sustainable Energy*, Paris, France, 2021, pp. 112-125.
- M. Gonzalez, *Solar Tracking Systems: Design and Implementation*. New York: Springer, 2020.
- J. Wang, "Enhancing Solar Tracker Efficiency," presentado en la Conferencia Anual de Energía Solar, San Francisco, 2021.
- R. Palmer, "Design and Optimization of Solar Tracking Systems for Enhanced Energy Yield." *Transactions on Sustainable Energy*, vol. 34, no. 4, pp. 345-359, 2021.
- L. Brown, Comparative Analysis of Single-Axis and Dual-Axis Solar Trackers in Tropical Climates." en *Journal of Photovoltaics*, 2019, pp. 56-67.
- Wextersm. "Construimos un Solar Tracker ¿Vale la pena?" Wexter Home. Accedido el 08 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.wexterhome.com/proyectos-con-arduino/solar-tracker/>
- SATCONTROL. "Solar Tracker & Sun Tracker & Actuator for Solar Tracker". *Solar Tracker & Sun Tracker & Actuator for Solar Tracker*. Accedido el 01 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible: <http://www.solar-motors.com>
- "Inteligencia más allá del acero - PVH Advanced solar trackers and controllers". PVH Advanced solar trackers and controllers. Accedido el 13 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://pvhardware.com/es/>
- "Types of Solar Trackers and their Advantages & Disadvantages - SolarFeeds Magazine". *SolarFeeds Magazine*. Accedido el 13 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.solarfeeds.com/mag/solar-trackers-types-and-its-advantages-and-disadvantages/>
- Grassi F, Busquet J y Salum GM (2010). Seguidor solar de dos ejes para celdas fotovoltaicas, *AVERMA* 14, 4.21-4.24

Agradecimientos

A la Red Iberoamericana de Modelos de Sistemas de Gestión de Energías Sostenibles (RIMSGES) del Programa CYTED, organizadora del evento.

Modelo de Electrolinería Residencial para Carga de Vehículos Eléctricos a partir de una Microgrid Aislada Sostenible alimentada por Energías Renovables

Ortiz Santiana Kevin Alexander(a), Ortiz Santiana Alan Esteban(b), Verdesoto Salazar Angela Gabriela(c)

(a)Unidad Educativa Particular San José “La Salle” Latacunga, (b)Universidad Técnica de Ambato, (c)Universidad Técnica de Cotopaxi.

Email de contacto: axanleder@live.com

Abstract

The latest studies carried out on the largest environmental pollutants worldwide are the waste produced from the burning of fossil fuels, thus the largest consumers of these fuels are the industry sectors and means of transportation; To reduce this pollution, an ecological alternative is proposed; this option presents the insertion of electric cars for everyday use, which do not emit polluting gases into the environment. Electric vehicles require charging points to be able to be powered and function correctly, thus, as a second point, the model of an electric station based on an island mode microgrid is manifested, implementing only renewable energy sources such as photovoltaic energy, taking advantage of the solar resource.

Keywords: *Microgrid, electric station, electric vehicle, renewable sources, storage.*

Resumen

Los últimos estudios realizados sobre los mayores contaminantes del medio ambiente a nivel mundial son los desechos producidos a partir de la quema de combustibles fósiles, así los mayores consumidores de estos combustibles son los sectores de la industria y medios de transporte; para reducir esta contaminación se plantea una alternativa ecológica, esta opción presenta la inserción de automóviles eléctricos de uso cotidiano, los cuales no emiten gases contaminantes al entorno. Los vehículos eléctricos requieren de puntos de carga para poderse alimentar y funcionar correctamente, es así que, como segundo punto se manifiesta el modelo de una electrolinería basada en una microgrid modo isla implementando

Modelo de Electrolinera Residencial para Carga de Vehículos Eléctricos a partir de una Microgrid Aislada Sostenible alimentada por Energías Renovables

únicamente fuentes de energía renovables como la energía fotovoltaica aprovechando el recurso solar.

Palabras clave: Microgrid, electrolinera, vehículo eléctrico, fuentes renovables, storage.

Introducción

Actualmente uno de los criterios más importantes para el desarrollo de la sociedad es el impacto ambiental, es por ello que una de las maneras de reducir la contaminación ambiental producida por parte de los vehículos que usan combustibles fósiles como principal fuente de energía, es la penetración de autos híbridos y eléctricos en el parque automotor, pues no emiten gases contaminantes al ambiente (Santana, 2016) (Martínez, 2018). Teniendo en consideración que los livianos son los agentes primordiales de la movilización y transporte de alimentos y personas, actualmente en su mayoría los vehículos utilizan derivados del petróleo como fuente de energía primaria para su funcionamiento; el último aporte registrado en el año 2022 de emisiones de CO₂ la medio ambiente es de 36,8 GTON (Continent, 2023), para reducir paulatinamente el aporte de estas emisiones totales, es bajar el aporte de estos gases por parte de los vehículos, la inserción de los vehículos con movilidad eléctrica es una solución, y a la par la introducción de energías renovables como fuente primaria para la carga de estos vehículos (Santana, 2016) (Energía, 2016).

Metodología

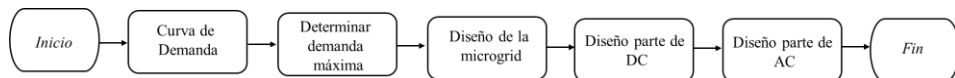


Figura 1. Metodología de diseño

Desarrollo

Caso de estudio

El caso propuesto corresponde al diseño de una microgrid con la capacidad de trabajar como electrolinera residencial en la zona centro del Ecuador, en específico la provincia de Cotopaxi, donde el promedio de irradiancia es de 5,025 Kw/m², siendo esta la segunda con mayor irradiancia, superada únicamente por la provincia de Loja (ARCONEL, 2008). La figura 4 nos presenta la curva típica de irradiancia, donde se ha tomado como modelo para la curva de irradiancia cargada en el software PowerFactory DigSilent, la figura 2 y 3 nos muestra dicha curva.

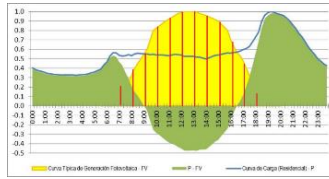


Figura 2. Modelo de curva de Irradiancia

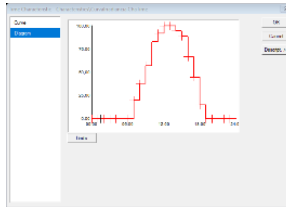


Figura 3. Modelo de curva de Irradiancia en software

Curva de demanda

Los criterios para la selección de los vehículos eléctricos que serán considerados como las cargas a satisfacer son de fácil acceso para una familia de estatus económico no tan elevado, es decir un vehículo eléctrico de categoría estándar; bajo dichos criterios se ha seleccionado el Nissan LEAF y el Renault ZOE Q90 con capacidad de carga de 40 y 41 kWh respectivamente (ORBIS, 2019).

Demanda máxima

La figura 4 muestra a mayor detalle la potencia pico que debe abastecer la microgrid.

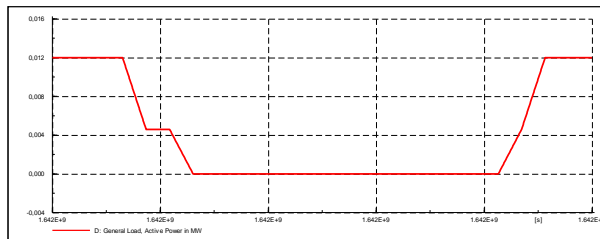


Figura 4. Curva de carga total

Para el diseño de la microgrid, se plantea que el parque fotovoltaico debe generar aproximadamente 14,4 Kw lo que corresponde a la potencia máxima de la demanda por un factor de seguridad de 1,2.

A partir de las características del panel fotovoltaico de la marca LONGI SOLAR LR5-54HTB-440M y el inversor Fronius SYMO 15.0-3-M, se calcula el banco de baterías y el

parque fotovoltaico, donde se obtiene un banco de baterías correspondiente a 3 arreglos de 15 baterías en serie, además del parque fotovoltaico donde se necesita 4 arreglos de 12 paneles en serie, dicha configuración se presenta a continuación:

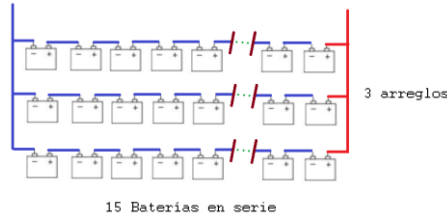


Figura 5. Banco de baterías

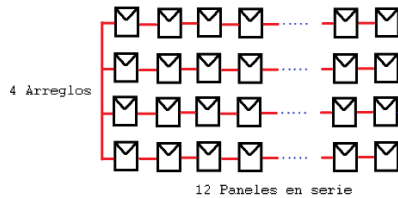


Figura 6. Parque fotovoltaico

La superficie necesaria para la instalación de este parque fotovoltaico se calcula a partir de las dimensiones individuales de cada panel, es decir la altura de cada panel es de 1,72m y el ancho es de 1,14m, entonces el área estimada es de 98m² considerando separaciones mínimas entre cada panel.

Otro parámetro a considerar es el conductor, pues la corriente máxima que circula en el circuito es de 52 A, el conductor adecuado para esta aplicación sería el 6 AWG, con terminal “tipo 2”.

Resultados

Al realizar el flujo de potencia en el caso de estudio planteado, la figura 7 nos presenta que no existe sobrecargas en ningún punto de la microgrid.

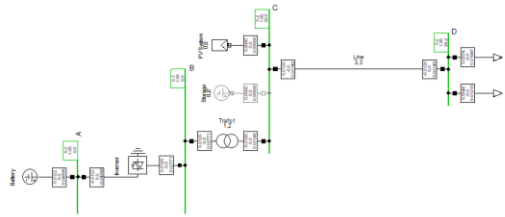


Figura 7. Flujo de carga en el caso de estudio simulado

La simulación Cuasi-Dinámica nos entregó como resultados el comportamiento del sistema en un día cotidiano, es así que la figura 8 muestra la generación de energía por medio del parque fotovoltaico con color rojo, y el comportamiento del banco de baterías en color azul.

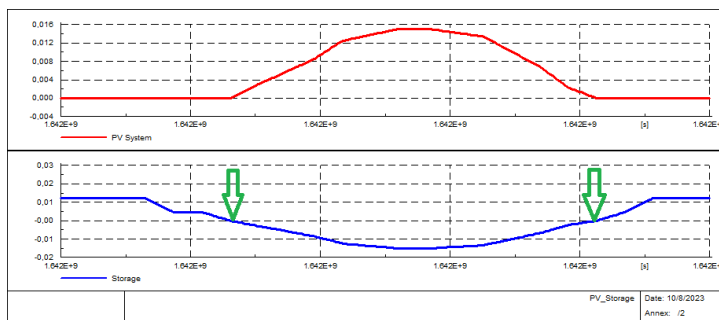


Figura 8. Comportamiento PV y banco de baterías

Al analizar la gráfica, se puede evidenciar que la carga de los vehículos lo hace el banco de baterías hasta la señal marcada, es decir las baterías entregan energía a los vehículos, mientras que en el intervalo que se encuentra en la mitad, las baterías almacenan energía que es producida por el parque fotovoltaico.

El valor de implementación del modelo es de aproximadamente \$7 000, mientras que el consumo anual promedio en combustible en un auto es \$1 040; así que la inversión aproximadamente se recupera en 6,73 años.

Conclusiones

El uso de energías renovables permita operar una microgrid en modo aislado de la red eléctrica, lo cual favorece al medio ambiente, pues la fuente primaria de energía de estos vehículos es la electricidad, y esta se obtiene a partir de energías renovables, así como el uso de elementos almacenadores de energía, esto permite la operación de la microgrid cuando hay ausencia de luz solar.

La superficie que cubre la instalación es de aproximadamente 98m², lo cual la hace muy factible de instalar en el techo de una vivienda, pues el enfoque que se plantea de esta microgrid es de uso residencial. La aplicación de la electrolinera corresponde a uso residencial, por lo cual el modo 3 de carga permite una carga considerablemente lenta, esto basado en que los vehículos se van a cargar aproximadamente toda la noche y con ello, los vehículos serán utilizados para el transporte de la familia en sus distintas actividades cotidianas. El tiempo estimado de recuperación de la inversión es de aproximadamente 7 años, teniendo en consideración el uso del dinero utilizado en combustibles fósiles.

Referencias

- V. L. Santana Chóez, “Análisis de la implantación del uso de vehículos eléctricos como aporte al cambio de la matriz productiva y su impacto en la no utilización de combustibles fosiles en el Ecuador,” Universidad de Guayaquil, 2016.
- J. D. Martinez Angel, “Movilidad motorizada, impacto ambiental, alternativas y perspectivas futuras: consideraciones para el Área Metropolitana del Valle de Aburrá,” *Rev. Salud Pública*, vol. 20, no. 1, pp. 126–131, Jan. 2018, doi: 10.15446/rsap.v20n1.57038.
- S. P. Freile Veloz, Andrés Alejandro Robayo Calle, “Estudio de Factibilidad para la Implementación de Medios de Transporte Eléctricos en el Centro Histórico de Quito,” Universidad Internacional del Ecuador, 2016.
- L. P. Sanchez Yunga and A. P. Zuñiga Guzhñay, “Análisis de la contaminación de gases de vehículos tipo L1 y L3, mediante el muestreo de emisiones para la determinación de niveles de contaminación en la ciudad de Loja,” Universidad Politécnica Salesiana, 2018.
- «Le Grand Continent,» 10 03 2023. [En línea]. Available: <https://legrandcontinent.eu/es/2023/03/10/las-emisiones-de-co2-en-2022-por-debajo-de-lo-previsto-debido-a-la-crisis-energetica/#:~:text=y%20medio%20ambiente-,Las%20emisiones%20de%20CO2%20en%202022%20por%20debajo%20de%20lo,más%20de%2036%2C8%20Gt.> [Último acceso: 10 09 2023].
- O. T. de Energía, “Mapa Tecnológico Movilidad Eléctrica.” p. 80, 2012.
- K. Ortiz Santiana “Análisis de Protecciones Eléctricas de Microgrids Modo Isla con Elevada Penetración de Energías Renovables No Convencionales.” 2022
- ARCONEL, “Atlas solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica”, Quito 2008.
- ORBIS, “Manual de introducción para la recarga de vehículos eléctricos”, 2019.
- «EnerSys,» 15 03 2023. [En línea]. Available: <https://enersys.com.mx/blog/baterias-solares/#:~:text=Las%20baterías%20solares%20son%20dispositivos,convierten%20la%20luz%20en%20electricidad.> [Último acceso: 03 10 2023].

Hydrothermal carbonization for enhanced biomass valorization: activated carbon from residual biomass

Fidel Vallejo^(a), Diana Yáñez-Sevilla^(a), Luis Díaz-Robles^(b) y Tamara Romero^(b)

(a) National University of Chimborazo, Engineering Faculty, Riobamba, Ecuador, (b) Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Santiago de Chile, Santiago, Chile.
Email de contacto: fidel.vallejo@unach.edu.ec

Abstract

Comparative studies on activation using potassium hydroxide and phosphoric acid revealed notable differences in activated carbons. Hydrothermal carbonization improved mass yield, particularly with potassium hydroxide, showcasing its potential to augment the final product mass. The activating agent influenced porosity and adsorptive capacity, displaying pronounced porosity with potassium hydroxide and a more consistent trend in iodine numbers with phosphoric acid. The agent-to-precursor ratio indicated that excessive increments decreased adsorption capacity. The dry impregnation step significantly enhanced adsorptive capacity, especially with potassium hydroxide. Optimal conditions identified for activated carbons surpassed 1000 mg/g of iodine adsorption capacity, suggesting that adjusting conditions could narrow the gap between hydrochar and commercial activated carbon.

Keywords: Activated Carbon, Hydrothermal Carbonization, Adsorption Capacity, Alkaline Activation.

Resumen

La carbonización hidrotérmica mejoró el rendimiento másico, especialmente con hidróxido de potasio, resaltando su potencial en el aumento de la masa final del producto. El agente activante influyó en la porosidad y capacidad adsorptiva, mostrando porosidad marcada en el hidróxido de potasio y una tendencia más consistente en números de yodo con ácido fosfórico. La relación agente/precursor indicó que aumentos excesivos disminuyeron la capacidad de adsorción. La etapa de impregnación en seco resultó significativa en la mejora de la capacidad adsorptiva, especialmente con hidróxido de potasio. Las condiciones óptimas identificadas para carbones activados superaron los 1000 mg/g de

capacidad de adsorción de yodo, sugiriendo que ajustar las condiciones puede reducir la brecha entre el hydrochar y el carbón activado comercial.

Keywords: Carbón Activado, Carbonización Hidrotérmica, Capacidad de Absorción, Activación Alcalina.

Introducción

La acumulación creciente de residuos es un desafío global urgente, vinculado al desarrollo económico y social, indicando una gestión ineficiente de recursos y una problemática ambiental significativa (Suwelack et al., 2016). Con el aumento constante de desechos, se requiere repensar estrategias que no solo mitiguen esta tendencia, sino que también transformen los desechos en recursos valiosos. La biomasa residual, una porción considerable de estos desechos, es una materia prima infrautilizada con potencial para convertirse en diversos productos de alto valor (Yuan et al., 2022). Esta riqueza desaprovechada impacta en la sostenibilidad ambiental al reducir la cantidad de desechos en vertederos y ofrece oportunidades económicas al generar productos de interés comercial. La valorización de la biomasa mediante métodos como la carbonización hidrotérmica es crucial para abordar la gestión de residuos, impulsar la innovación tecnológica y generar materiales con menor huella ambiental. A pesar de la atención en biocombustibles sólidos, hay escasez de investigación en productos de alto valor añadido, como el carbón activado, a partir de la biomasa residual. Este trabajo se enfocó en la exploración y optimización de la generación de carbón activado, marcando un avance significativo en la valorización de la biomasa y la obtención de productos de alto valor agregado (Santoyo-Castelazo et al., 2023).

Justificación

Este trabajo se justifica en la necesidad apremiante de redefinir la gestión de residuos, destacando la biomasa residual como un recurso subutilizado con un potencial subestimado. En un contexto global de agotamiento de recursos y acumulación de desechos, es crucial explorar alternativas innovadoras que transformen los residuos en recursos valiosos.

Metodología

La materia prima estuvo compuesta por aserrín (83.5%), cortezas (11.5%), lodo residual (4.32%), y pulpa (0.68%). La carbonización se llevó a cabo a 190 °C, 0.5 h, y una razón biomasa:agua del 12%. Se realizó una reducción de tamaño del hydrochar mediante mortero y tamiz para alcanzar medidas específicas. Posteriormente, se lavó con agua destilada y se secó a 105 °C durante 24 horas. La activación del hydrochar se dividió en

fases: impregnación a temperatura ambiente, impregnación en seco, y activación en mufla a 550°C por un tiempo determinado. Los carbones activados resultantes se lavaron hasta alcanzar un pH cercano a 7 y se secaron a 100 ± 5 °C por más de 24 horas. Se analizaron los parámetros clave del proceso de activación química del hydrochar mediante un diseño factorial 2³. Se manipularon la razón agente/precursor, la impregnación en seco y el tiempo de activación, utilizando dos agentes: hidróxido de potasio (KOH) y ácido fosfórico (H₃PO₄). Se realizaron dos diseños experimentales completos para cada agente activante, midiendo rendimiento másico (MY) y capacidad de adsorción de yodo. Además, se llevó a cabo una prueba adicional en biomasa cruda para comparar con el pretratamiento térmico. La Tabla 1.1 detalla las condiciones de activación para KOH y ácido fosfórico.

Tabla 1.1. Condiciones de activación en el diseño experimental completo

| Agente precursor | Razón agente/precursor (-) | | Impregnación en seco (h) | | Tiempo de activación (h) | |
|--------------------------------|----------------------------|-----|--------------------------|---|--------------------------|---|
| | - | + | - | + | - | + |
| KOH | 2:1 | 4:1 | 0 | 1 | 1 | 2 |
| H ₃ PO ₄ | 1.3:1 | 2:1 | 0 | 1 | 1 | 2 |

Resultados

Rendimiento másico

El rendimiento másico del carbón activado obtenido a partir de la biomasa tratada con KOH fue de 18.07 %. En contraste, para la biomasa tratada con ácido fosfórico, se registró un rendimiento másico promedio de aproximadamente 44.47 %. Sin embargo, este valor fue menor que el observado en el hydrochar tratado bajo condiciones similares. Esta disminución significativa en el rendimiento másico, especialmente evidente en las muestras tratadas con KOH, sugiere que la aplicación de la carbonización hidrotérmica a 190°C durante 30 minutos provocó cambios notables en el producto obtenido. En concreto, se logró aproximadamente un 43 % más de carbón activado al emplear hidróxido de potasio después de este proceso de carbonización. Estos resultados indican que un alto contenido de carbono fijo en el material carbonoso conduce a una mayor estabilidad térmica y menor reactividad (Ulbrich et al., 2017). Esta mayor estabilidad permite al precursor resistir mejor las reacciones agresivas durante el proceso de activación. El hydrochar tratado con hidróxido de potasio mostró un rendimiento máximo del 35.5 %, mientras que el ácido fosfórico presentó únicamente tres condiciones con rendimientos inferiores al 40 %. Las considerables pérdidas de masa observadas en los productos

activados con este agente activante pueden vincularse a las reacciones con el precursor (Toufiq Reza et al., 2015). Estas reacciones provocan la fragmentación de la biomasa a través de procesos de reducción, liberando óxidos de carbono que fomentan la presencia de moléculas de carbonato de potasio en la estructura sólida, incrementando así la porosidad. En contraste, el ácido fosfórico induce reacciones de deshidratación y condensación que afectan a las moléculas de celulosa presentes en la biomasa. Este proceso conlleva a la pérdida del carácter alifático de algunas de estas moléculas, incrementando la aromaticidad en la biomasa. Es relevante señalar que el uso de temperaturas superiores a 400 °C bajo la acción del ácido fosfórico podría generar incluso rendimientos más altos que a temperaturas inferiores. Sin embargo, estas condiciones también provocan pérdidas de masa menos pronunciadas, las cuales tienden a asociarse con un desarrollo menos extenso de la porosidad. Por otra parte, una mayor cantidad de hidróxido de potasio, existe una disminución en el rendimiento, lo cual se explica en literatura (Puccini et al., 2017). Esta relación se vincula con una mayor reactividad en la mezcla, lo que resulta en menores cantidades de producto final y un mayor desarrollo de la porosidad (Zhang et al., 2018). Se destaca una diferencia significativa de aproximadamente un 10 % entre colocar 2:1 y 4:1 el KOH, lo que indica una mayor reactividad en la condición con mayor cantidad de agente activante, potencialmente generando un material con una capacidad adsorptiva superior. En contraste, se observa un efecto opuesto cuando las muestras experimentaron la etapa de secado o fueron sometidas a mayores tiempos de activación. El aumento del tiempo de activación a 550 °C provocó una notable disminución en los rendimientos máxicos de los carbones activados. Esta variación se observó al comparar los resultados de muestras con diferentes tiempos de residencia. Se evidenció una reducción significativa en la cantidad de producto obtenido, especialmente al utilizar ácido fosfórico como agente activante. La relación entre mayores tiempos de activación y menores cantidades de producto está ligada a las reacciones durante el proceso de activación, que varían según el agente utilizado. En el caso del hidróxido de potasio como agente activante, las reacciones inician alrededor de los 400 °C, liberando óxidos de carbono e hidrógeno molecular, y formando carbonato de potasio. Este agente muestra mayor reactividad a temperaturas iguales o superiores a 700 °C, lo que sugiere que 550 °C pueden no ser óptimas para su proceso.

Conclusiones

Los resultados indican que las proporciones de agente activante y precursor son críticas para las propiedades del carbón activado, y la presencia de hidróxido de potasio y ácido fosfórico afecta la capacidad de adsorción y la porosidad. La etapa de impregnación en seco, especialmente en la activación química, mejora positivamente la capacidad adsorptiva

al facilitar el contacto entre el agente y el precursor, aumentando la porosidad y reduciendo sustancias interferentes. Con condiciones óptimas identificadas, como la razón 2:1 de hidróxido de potasio y 1 hora de impregnación seca, y ácido fosfórico sin impregnación y 2 horas de activación, ambas superando los 1000 mg/g de capacidad de adsorción de yodo, ajustar estas condiciones puede cerrar la brecha entre la adsorción de hidrochar y el carbón activado comercial.

Referencias

- Kang, S., Li, X., Fan, J., & Chang, J. (2012). Characterization of Hydrochars Produced by Hydrothermal Carbonization of Lignin, Cellulose, d -Xylose, and Wood Meal. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 51(26), 9023–9031. <https://doi.org/10.1021/ie300565d>
- Puccini, M., Stefanelli, E., Hiltz, M., & Seggiani, M. (2017). Activated Carbon from Hydrochar Produced by Hydrothermal Carbonization of Wastes. *Chemical Engineering Transactions*, 57(May), 169–174. <https://doi.org/10.3303/CET1757029>
- Santoyo-Castelazo, E., Santoyo, E., Zurita-García, L., Camacho Luengas, D. A., & Solano-Olivares, K. (2023). Life cycle assessment of bioethanol production from sugarcane bagasse using a gasification conversion Process: Bibliometric analysis, systematic literature review and a case study. *Applied Thermal Engineering*, 219, 119414. <https://doi.org/10.1016/J.APPLTHERMALENG.2022.119414>
- Suwelack, K., Dostert, N., Wüst, D., & Kruse, A. (2016). Economics of Hydrothermal Carbonization of Biogas Digestate in a Hybrid AD-HTC Plant. *24th European Biomass Conference and Exhibition*, 1(June), 1727–1733. <https://doi.org/10.5071/24thEUBCE2016-3DO.9.4>
- Toufiq Reza, M., Rottler, E., Herklotz, L., & Wirth, B. (2015). *Hydrothermal carbonization (HTC) of wheat straw: Influence of feedwater pH prepared by acetic acid and potassium hydroxide*. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.02.024>
- Ulbrich, M., Preßl, D., Fendt, S., Gaderer, M., & Spliethoff, H. (2017). Impact of HTC reaction conditions on the hydrochar properties and CO₂ gasification properties of spent grains. *Fuel Processing Technology*, 167(August), 663–669. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2017.08.010>
- Yuan, H., Li, C., Shan, R., Zhang, J., Wu, Y., & Chen, Y. (2022). Recent developments on the zeolites catalyzed polyolefin plastics pyrolysis. *Fuel Processing Technology*, 238(October), 107531. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2022.107531>
- Zhang, B., Heidari, M., Regmi, B., Salaudeen, S., Arku, P., Thimmannagari, M., & Dutta, A. (2018). Hydrothermal carbonization of fruit wastes: A promising technique for generating hydrochar. *Energies*, 11(8), 2022–2035. <https://doi.org/10.3390/en11082022>

Agradecimientos

A la Red Iberoamericana de Modelos de Sistemas de Gestión de Energías Sostenibles (RIMSGES) del Programa CYTED, organizadora del evento.

Plan de mejora del sistema de gestión de energía para la central de biomasa de 49,9 MW de Logrosán

Carmen María Álvarez Medina^(a), Coral Escarmena Bernardo^(b) y Juan Gabriel Barquilla Hermosa^(c).

^(a)Dpto. Física Aplicada, Escuela de Ingenierías Industriales, Universidad de Extremadura. Avda. de Elvas, s/n, 06006, Badajoz, España; ^(b)Grupo Emececuadrado, Edificio Siglo XXI, P.º Fluvial, 15, planta 13, 06011 Badajoz, España; ^(c)Freelance del sector de la arquitectura, C. Suarez Somonte, 26, 06800, Mérida (Badajoz), España.

Email de contacto: carmenmaam@unex.es

Abstract

In a variety of industrial sectors, sustainable energy management models are utilised to enhance operational performance and reduce environmental impact. This approach requires the implementation of numerous measures aimed at achieving these objectives. Within the context of this study, which concentrates on enhancing a 49.9 MW biomass power plant, multiple strategic initiatives have been assessed and recommended. Among these proposals, the focus on incorporating a photovoltaic system, the development and implementation of an industrial drying facility, along other aspects that are conducive to enhancing the efficiency of the entire system, are noteworthy. These suggestions endeavour not only to buttress the sustainability and energy efficacy of the power plant but also evince a commitment to nurturing innovative and eco-friendly practices for energy infrastructure development.

Keywords: Biomass power plant; energy efficiency; continuous improvement; energy management system; sustainability.

Resumen

En diferentes sectores industriales, se emplean modelos de gestión de energía sostenible con el fin de mejorar el rendimiento operativo y mitigar los impactos ambientales. Este enfoque implica la implementación de diversas medidas dirigidas a lograr estos objetivos. En el marco específico de este estudio, que se centra en la mejora de una central de biomasa con una capacidad de 49,9 MW, se han examinado y propuesto varias iniciativas estratégicas. Entre estas propuestas, se destaca la consideración de implementar una instalación fotovoltaica, el diseño e instalación de un

secador industrial, así como otros aspectos que pueden contribuir a optimizar la eficiencia del sistema en su totalidad. Estas sugerencias no solo tienen como objetivo fortalecer la sostenibilidad y la eficiencia energética de la central, sino que también demuestran un compromiso con la adopción de prácticas innovadoras y respetuosas con el medio ambiente para el desarrollo de la infraestructura energética.

Palabras clave:: Central de biomasa; eficiencia energética; mejora continua; sistema de gestión de energía; sostenibilidad.

Introducción

Existen varios modelos de sistemas de gestión de energía sostenible que se utilizan en diferentes contextos y sectores, diseñados para ayudar a las organizaciones a gestionar y mejorar su rendimiento energético, reducir los impactos ambientales y promover prácticas sostenibles.

Algunos de los modelos más reconocidos promueven requisitos para establecer, implementar, mantener y mejorar continuamente un sistema de gestión de energía en las organizaciones y la mejora del rendimiento energético y la eficiencia, como es el caso de la norma internacional ISO 50001.

Dada la diversidad de sistemas de gestión de energía regidos por normativas o entidades internacionales, es crucial destacar que la selección del modelo o norma dependerá de la naturaleza y los objetivos específicos de la organización. Asimismo, muchas organizaciones personalizan estos modelos para atender sus necesidades particulares y cumplir con los requisitos locales y sectoriales.

El objetivo de este estudio, enfocado en una central de biomasa en fase de proyecto, es aumentar el rendimiento energético en ciertas instalaciones industriales de la planta. Para ello, se ha utilizado un enfoque basado en la mejora continua y la conformidad con normas de eficiencia energética.

Metodología

El procedimiento seguido para realizar este proyecto aborda diferentes propuestas de mejora y de gestión de energía sostenible para una futura central de biomasa. Estas medidas incluyen el diseño de una planta fotovoltaica de 2,22 MW y un tambor rotatorio para el secado de biomasa con aprovechamiento y recuperación de humos. Además, se han estudiado algunas medidas para evitar pérdidas mediante aislamientos en canalizaciones y puentes térmicos. Finalmente, se han expuesto distintas consideraciones ambientales, de salud y sinergias con el entorno.

Procedimiento y resultados

En esta sección se explica en detalle cada uno de las medidas planteadas, en el apartado anterior, y los resultados obtenidos.

✓ Instalación fotovoltaica

Se propone una instalación fotovoltaica con una orientación completamente al sur y una inclinación de 30°. La estructura soporte de los módulos fotovoltaicos son prefabricadas de hormigón de la marca SolarBloc. Además, se calcula una distancia de separación entre filas para evitar sombras de 3,21 m.

La superficie disponible para la construcción de la planta fotovoltaica es de 27.472 m². Esta superficie se encuentra delimitada por un camino existente y por el Arroyo de Los Trampales. Teniendo esto en cuenta, se hace una implantación general de módulos y se obtiene una potencia total de 2,22 MWe.

La planta solar estaría compuesta por 4.040 módulos fotovoltaicos con una potencia unitaria de 550 Wp. Además, para convertir la corriente continua de los módulos en corriente alterna, se necesitan 18 inversores de 110 kW.

La conexión entre los módulos fotovoltaicos y los inversores se realiza de la siguiente manera: 17 inversores tendrán conectados 14 strings de 16 módulos cada string y 1 inversor tendrá conectado 13 strings con 16 módulos cada uno y 2 strings con 12 módulos cada uno.

Por último, se realiza la comprobación de tensiones e intensidades en cada string para comprobar y verificar que la configuración elegida es correcta.

✓ Secador de tambor rotativo

La implementación de un secador tiene como objetivo reducir la humedad de la biomasa, ya que de este modo se mejora su poder calorífico, se facilita el almacenamiento y transporte, se evita la degradación y proliferación de microorganismos, se reducen las emisiones contaminantes y se asegura un suministro constante y estable de biomasa como fuente de energía renovable.

La cantidad de biomasa anual que se necesita, para una planta de 49,90 MW que funciona durante 8.000 horas al año, es de 228.206,27 t/año. Sin embargo, si se reduce la cantidad de humedad mediante el secador industrial, el PCI medio será superior, y, por tanto, las toneladas de biomasa que requerirá el proceso será inferior. Mediante el proceso de secado se pretende que la biomasa salga con un contenido de humedad del 15%, que es propiamente la humedad intrínseca al producto y permite que el proceso de combustión sea óptimo.

Por tanto, recalculando el PCI medio, considerando un 15% de humedad, se ha obtenido que la cantidad de biomasa requerida es de 213.710,82 t/año. Esto supone un ahorro del 7% de la cantidad de biomasa requerida inicialmente. En el proceso de secado, se emplearán los gases provenientes del filtro de mangas como agente para calentar y eliminar la humedad de la biomasa. Estos gases se conducirán a través de una tubería que estará aislada con lana de vidrio, con el propósito de asegurar que la temperatura de salida de los gases (240 °C) no descienda por debajo de los 220 °C.

✓ **Otros aspectos a considerar. Pildoras.**

En este apartado tendremos en consideración otros aspectos de suma importancia que consideramos primordiales. Cada uno de los apartados contienen una exposición, detalles y ejemplos para su completo entendimiento.

● **Prevención ante el Radón**

La Legislación actual en España de protección frente a la exposición al radón en edificios (Documento Básico HS 6 del CTE RD 732/2019), entró en vigor en octubre de 2020 y es de obligado cumplimiento. De acuerdo con el DB HS6, si un inmueble está localizado en un municipio Zona II, caso del municipio de Logrosán y la ubicación de la planta, será preciso implementar una doble solución correctiva (en primer lugar, una barrera de protección y, en segundo, un espacio de contención ventilado o un sistema de despresurización del terreno) para minimizar en lo posible la concentración de radón en el aire interior del edificio.

● **Sinergias socioculturales con el entorno**

Este apartado está enfocado a buscar sinergias y relaciones colaborativas con las comunidades sociales del entorno y la planta.

● **Relativo al medioambiente**

En este apartado el propósito es dar solución a algunos de los hándicaps que se presenta a la hora de converger instalaciones e infraestructuras en un entorno natural y protección de flora y fauna del entorno.

Las propuestas siguientes que consideramos factibles de implantación en el caso de estudio, son las especificadas a continuación:

- Paso de fauna y drenaje sobre el Arroyo de los Trampales.
- Vallados perimetrales para grandes mamíferos.
- Vallados perimetrales para pequeños vertebrados.
- Sistemas de escape en tramos con vallado perimetral.
- Señalización de pantallas transparentes para evitar la colisión de aves.

- Adaptación de arquetas, cunetas y otros elementos que pueden causar mortalidad de fauna.

Conclusiones

En conclusión, el proyecto abarca la propuesta de una instalación fotovoltaica y un secador de tambor rotativo, ambos diseñados para optimizar la generación de energía renovable a partir de biomasa. En el caso de la instalación fotovoltaica, se destaca la orientación al sur, la elección de estructuras prefabricadas de hormigón y la cuidadosa disposición de módulos para evitar sombras. La superficie disponible de 27.472 m² permitirá una potencia total de 2,22 MWe, con la conexión eficiente de 4.040 módulos a 18 inversores.

En relación al secador de tambor rotativo, su implementación se fundamenta en la reducción de humedad en la biomasa, mejorando su calidad para su uso como fuente de energía renovable. En el proceso de secado se utilizan los gases provenientes del filtro de mangas con el fin de alcanzar un contenido de humedad del 15%, lo que resulta en un ahorro del 7% en la cantidad de biomasa requerida inicialmente.

Adicionalmente, se abordan aspectos críticos en "Píldoras", incluyendo medidas de prevención ante el radón, estrategias de sinergias socioculturales con el entorno y consideraciones medioambientales. Estas últimas implican propuestas concretas, como pasos de fauna, vallados perimetrales y sistemas de escape, destinadas a mitigar impactos en el entorno natural y proteger la biodiversidad circundante. En conjunto, estas iniciativas reflejan un enfoque holístico que considera no solo la eficiencia energética, sino también la sostenibilidad ambiental y la integración positiva con las comunidades locales.

Referencias

Código Técnico de la Edificación, *Documento Básico sobre Salubridad Protección frente a la exposición al Radón* (CTE DB HS6)

Ministerio de Medioambiente de España, *Prescripciones técnicas para el diseño de pasos de fauna y vallados perimetrales*

Organización Mundial de la Salud, *Manual de la OMS sobre el radón en interiores*

Región Digital , *Junta declara urgente ocupación de terrenos para obras nueva conducción de agua a Logrosán.*

<https://www.regiondigital.com/noticias/caceres-y-provincia/335603-junta-declara-urgenteocupacion-de-terrenos-para-obras-nueva-conduccion-de-agua-a-logrosan.html>

Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables. <https://sig.mapama.gob.es/snczi/>

Agradecimientos:

A la Red Iberoamericana de Modelos de Sistemas de Gestión de Energías Sostenibles (RIMSGES) del Programa CYTED, organizadora del evento.

Estudio del empleo de aerocondensador para planta de biomasa de 49,9 MW

José Alberto Caballero Gutiérrez(a), Antonio Jesús Guerrero Gómez(b), Katterinne Carmen Cárdenas Cancinos(c) y Francisco Romero Galán(d).

(a) Elaborex, Polígono industrial el Nevero, Calle Nevero Quince 44, Badajoz, España; (b) Fricalex instalaciones S.L., Calle San Antonio 15, 06800, Mérida, España; (c) Eficace Soluciones. Edificio CEINNTEC, Avda. del Parque Científico y Tecnológico, 06006, Badajoz, España; (d) Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Automática, Escuela de Ingenierías Industriales, Universidad de Extremadura. Avda. de Elvas, s/n, 06006, Badajoz, España.

Email de contacto: fromerojt@alumnos.unex.es

Abstract

Renewable energies have played a significant role in a major development in recent years. The issue of climate change has prompted us to establish utilities to address it. Spain has several systems that produce energy in an environmentally responsible way. Most of these systems utilize the thermodynamic cycle known as Rankine cycle, which is employed to generate electricity through steam. Example of such systems include nuclear power plants, coal-fired thermoelectric plants and gas thermoelectric plants; which are non-renewable; and solar thermal plants or biomass plants, which are renewable. Cooling towers are typically used in this cycle to complete the steam condensation stage, requiring a substantial amount of water. This paper will introduce a study on the application of air-cooling, specifically by using an air-cooled condenser. Equations will be provided to obtain approximate sizing and power results. The idea of an air-cooled condenser will be evaluated economically and technically in comparison to a cooling tower. Finally, some potential upgrades will be discussed that could be successful in various situations.

Keywords: renewable energies, Rankine cycle, cooling tower, air-cooled condenser.

Resumen

Las energías renovables han experimentado un importante desarrollo en el mundo desde hace algunos años. El problema del cambio climático ha obligado a poner en marcha medidas con las cuales conseguir mitigarlo.

España presenta numerosos sistemas para la obtención de energía de forma limpia y concienciada con el medio ambiente. Muchos de estos sistemas emplean el ciclo termodinámico conocido como Ciclo de Rankine para generar electricidad a través de vapor de agua. Es el caso de las centrales nucleares, las centrales termoeléctricas de carbón o las centrales termoeléctricas de gas, las cuales son no renovables. También es el caso de las centrales termosolares o las centrales de biomasa, que sí son renovables. En este ciclo se emplean normalmente torres de refrigeración para completar la etapa de condensado del vapor, consumiendo así una enorme cantidad de agua. En este documento se muestra una pequeña introducción al estudio de la refrigeración por aire, en concreto, mediante aerocondensadores. Se llevará a cabo un desarrollo del cálculo a realizar para obtener una primera aproximación a las dimensiones del aerocondensador. Posteriormente, se valorará económicamente la idea frente a las torres de refrigeración.

Keywords: energías renovables, ciclo de Rankine, torres de refrigeración, aerocondensador.

Introducción

La gran mayoría de plantas de combustión de biomasa o plantas termosolares en España cuenta con torres de refrigeración para realizar una de las etapas del ciclo de Rankine, el condensado del vapor saturado a la salida de la turbina de baja presión. Sin embargo, consumen millones de litros de agua anualmente, suponiendo un problema en vistas al futuro, debido a la falta de agua a nivel nacional. Dada esta situación, se propone en este documento una alternativa al uso de las torres de refrigeración como sistema de condensación. Se plantea el empleo del aerocondensador, que se trata de un equipo que impulsa, mediante ventiladores, un caudal de aire hacia los conductos que transportan el vapor saturado, absorbiendo así su calor.

Cálculos

Para el cálculo se utiliza la ecuación de transferencia de calor que relaciona el flujo de calor que se debe disipar en la superficie de intercambio con el área de transferencia de calor (A), el coeficiente global de transferencia de calor (U) y la diferencia de temperatura media logarítmica (ΔT_{lm}):

$$Q = A \cdot U \cdot \Delta T_{lm}$$

La potencia instalada en la planta es de 49,9 MWe, con un rendimiento térmico del ciclo de Rankine de 0,37. Se determina la potencia térmica a disipar:

$$Q = m_{vap}(h_{entrada\ vapor} - h_{salida\ vapor})$$

Se llevó a cabo una serie de iteraciones hasta alcanzar los valores del coeficiente global de transferencia de calor y de temperatura de salida del aire de refrigeración que consiguiesen un error por debajo del 0,1 %. Es por esto que inicialmente se supone un valor del coeficiente global de transferencia de calor de 40 W/m²K. La temperatura de salida del aire se obtiene mediante el promedio de la temperatura de entrada del aire (se ha considerado la temperatura máxima registrada en la ubicación) y la temperatura de condensado (0,1 bar). A continuación, se puede determinar la variación de la temperatura media logarítmica, y posteriormente, el área de transmisión del calor. Una vez obtenidos estos valores iniciales, se realiza el cálculo del coeficiente global de transferencia de calor:

$$\Delta T_{lm} = \frac{T_{salida\ aire} - T_{entrada\ aire}}{\ln \left[\frac{T_{condensación} - T_{entrada\ aire}}{T_{condensación} - T_{salida\ aire}} \right]}, \quad A_0 = \frac{Q}{\Delta T_{lm} \cdot U_0}, \quad U = \frac{1}{A \cdot R_{total}}$$

R_{total} se refiere a la resistencia térmica total, para la que hay que tener en cuenta varias resistencias en serie, desde el interior de los tubos al exterior. Estas resistencias se deben a la convección interna, el ensuciamiento interno, la conducción, el ensuciamiento externo y la convección externa. Para realizar el cálculo de la ecuación, previamente se debe saber la forma, dimensiones y propiedades térmicas de los tubos.

Finalmente, en la última iteración se consiguen unos valores con una desviación menor a la impuesta ($U = 12,34 \text{ W/m}^2\text{K}$, $T_{\text{Aire Salida}} = 315,2 \text{ K}$, $A = 952.448,78 \text{ m}^2$). Llegado a este punto, se obtienen las dimensiones y la potencia necesaria para el aerocondensador. El caudal total de aire que tienen que impulsar los ventiladores viene dado por la velocidad del aire (6,3 m/s) y el área total que ocupan los tubos aleteados ($\text{Caudal}_{\text{aire}} = 38.500 \text{ m}^3/\text{s}$). Dividiendo esta cantidad entre el caudal de aire del ventilador seleccionado, se determina el número de ventiladores y la potencia eléctrica total. Se seleccionó el “Ventilador de accionamiento por correa DTF series”, el cual es capaz de mover un caudal de aire de 900.000 m³/h. Finalmente, se obtiene que se necesitarán 154 ventiladores de este tipo, acumulando una potencia total de 12.320 kW. Cabe destacar que, para conseguir el condensado mediante refrigeración por aire, se debe aumentar la presión de condensación. Esto provoca una reducción en el rendimiento del ciclo de aproximadamente un 1,06 %.

Estudio económico y de viabilidad

Se ha considerado un precio del kWh eléctrico de 0,1 € y un precio del m³ del agua de 0,3 €. Se ha estimado que en años futuros la necesidad de suministro de agua supondrá un problema para la planta, pudiendo provocar 40 días de parada de la producción al año, suponiendo así unas pérdidas de unos 4,8 millones de euros al año (energía que no se vendería esos días). Por un lado, los gastos en mantenimiento y en consumo de químicos se ven reducidos en gran medida. Por otro, el aerocondensador consume mayor cantidad de energía, además, el decremento en el rendimiento supone un mayor gasto en la cantidad de biomasa.

Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..2. Segundo ejemplo de tabla

| | TORRE REFRIG. | AEROCONDENSADOR |
|---------------------------------------------|-------------------|-------------------|
| Mantenimiento (€/año) | 3.500.000 | 120.000 |
| Consumo químicos (€/año) | 28.745 | 0 |
| Consumo Energía (MWh/año) | 19.809,92 | 98.560 |
| Consumo Agua (m ³) | 1.124.000 | 0 |
| Posibles paradas por falta de agua (€/año) | 4.790.400 | 0 |
| Reducción del rendimiento del ciclo (€/año) | 0 | 265.000 |
| COSTE TOTAL (€/año) | 10.637.337 | 10.241.000 |

Conclusiones

La instalación de un equipo de refrigeración seco, o aerogenerador, supondría para la planta un ahorro sustancial de agua. Además, se evitan los vertidos de agua a una temperatura mayor que los cauces receptores de estas aguas. Por otro lado, se evita el desembolso en productos químicos para tratar el agua que se usa en los equipos de refrigeración, dependencia del estado de embalses, apariciones de la Legionela en la balsa de captación de agua y se eliminan los penachos o altas columnas de agua evaporada.

Referencias

- Aguilar Aldereta, R. (2012). Análisis de sistemas de refrigeración húmedos, secos e híbridos en centrales termosolares de torre.
- De la Rocha Camba, E. (2020). Earth-Cooling Air Tunnels for Thermal Power Plants: Initial Design by CFD Modelling.
- Fernández Martínez, E. (2012). Diseño y análisis operativo de un aerocondensador para una planta solar térmica de 50 MW.

Agradecimientos

A la Red Iberoamericana de Modelos de Sistemas de Gestión de Energías Sostenibles (RIMSGES) del Programa CYTED, organizadora del evento.

Producción de biolubricantes y reformado de biogás como modelos energéticos sostenibles

Sergio Nogales Delgado

Departamento de Física Aplicada. Escuela de Ingenierías Industriales, Universidad de Extremadura. Avda. de Elvas, s/n, 06006, Badajoz, España.

Email de contacto: senogales@unex.es

Abstract

This work presents two apparently different examples of sustainable energy models, like biolubricant production through double transesterification and biogas steam reforming. As different steps of these models are explained, we will realize that they have interesting points in common, with the possibility of belonging to the same biorefinery concept. In that sense, the role of different aspects such as the catalytic performance of different chemical routes will be covered, proving that the implementation of these technologies is possible at industrial level, allowing green transition practices.

Keywords: *transesterification, biodiesel production, biolubricant production, methane steam reforming, hydrogen production.*

Resumen

Este trabajo presenta dos ejemplos aparentemente diferentes de modelos de sistemas de gestión sostenibles como son la elaboración de biolubricante a través de una doble transesterificación y el reformado de biogás para producir hidrógeno. A medida que se expliquen las distintas etapas que componen estos sistemas, nos daremos cuenta de que los mismos presentan puntos en común, e incluso podrían formar parte de un mismo modelo de biorrefinería. En este sentido, se tratará el papel de diferentes factores como el uso de catalizadores de estas distintas rutas químicas, demostrándose que la implementación de estas tecnologías a nivel industrial es posible, contribuyendo a una transición ecológica y sostenible.

Palabras clave: *Transesterificación, producción de biodiésel, producción de biolubricante, reformado de metano, producción de hidrógeno.*

Introducción

El uso de modelos energéticos sostenibles se hace cada vez más importante, ya que pueden contribuir de una manera directa al desarrollo sostenible de países o regiones en vías de crecimiento, así como a la transición energética de países desarrollados. Dentro de ese amplio abanico de posibilidades, la implementación de tales modelos presenta un perfil que se adapta perfectamente a todo aquello que se demanda desde el punto de vista de los Objetivos de Desarrollo Sostenible establecidos por las Naciones Unidas. A modo de ejemplo, temas como el uso sostenible de tierras de cultivo, el fomento de economías locales mediante el uso de productos propios evitando así importaciones excesivas o el fomento del mayor respeto posible al ciclo del agua son premisas que pueden verse beneficiadas mediante el fomento de modelos energéticos sostenibles, muchos de los cuales se pueden ver integrados en el concepto de biorrefinería.

Al fin y al cabo, una biorrefinería viene a ser una “refinería verde”, donde básicamente se reemplaza el petróleo y sus derivados por productos menos dañinos para el medio ambiente, tales como residuos agrícolas o alimentarios, para así obtener productos equivalentes a los derivados del petróleo que, por su naturaleza, tienen un menor impacto ambiental y pueden ser perfectamente utilizados para múltiples funciones (Palmeros Parada et al., 2017). En tales biorrefinerías también se obtienen biocombustibles como fuente de energía, con lo cual ofrecen una amplia gama de posibilidades que dan a tales sistemas una gran versatilidad. Sin embargo, si bien dichas biorrefinerías pueden tener una naturaleza bien diferente dependiendo de la materia prima de partida o el proceso a seguir para su explotación (entre otros muchos factores), en verdad suelen presentar una serie de características en común que las hacen muy atractivas desde el punto de vista de la gestión medioambiental y energética (Moncada B et al., 2016). Dichas características podrían ser las siguientes:

- Son sistemas basados en productos naturales, en especial aquellos residuos derivados de otras industrias (como la agrícola, la alimentaria, el procesado de aguas residuales, etc.) que de otra manera tendrían una gestión medioambiental con un alto coste y, por lo tanto, poco eficiente desde el punto de vista económico.
- Los productos obtenidos presentan, por regla general, un menor impacto ambiental en caso de ser liberados accidentalmente al medio ambiente, ya que son biodegradables y, siguiendo un desarrollo tecnológico adecuado, su elaboración suele implicar un bajo nivel de emisiones de contaminantes tales como gases de efecto invernadero.
- Dependiendo del número de técnicas aplicadas a dichos sistemas, se puede llegar a tener una eficiencia atómica. Es decir, la capacidad de reaprovechar todos los

productos generados, sin liberar compuestos (y por ende átomos) al medio ambiente, es por lo general muy elevada.

- Como veremos en algunos de los ejemplos de este trabajo, la variedad de productos obtenidos suele ser elevada, pudiéndose adaptar a las necesidades del mercado. Así, no es inusual que una determinada biorrefinería presente la posibilidad de producir, sucesiva o simultáneamente, biocombustibles y otra serie de productos con un uso específico, tales como biolubricantes.
- Finalmente, el uso de diferentes técnicas hace de las biorrefinerías un sistema de gestión de residuos y productos muy versátil, pudiéndose presentar un sinnúmero de posibilidades para tratar y gestionar los diferentes productos intermedios obtenidos. Así, el límite de una biorrefinería vendrá dada por la adaptación a su entorno y las necesidades a cubrir, pudiéndose dar el caso de que se puedan interconectar procesos aparentemente muy distintos.

Así, el uso de modelos energéticos sostenibles tiene aquí un papel primordial, ya que garantiza que gran parte de estos sistemas sea eficiente y competitivo con otras refinerías más tradicionales y, por desgracia, contaminantes. De esta forma, todo cuenta a la hora de hacer más eficiente un sistema como lo es una biorrefinería, pudiéndose prestar atención a múltiples factores como el uso de catalizadores para que los procesos se lleven a cabo en condiciones de operación más suaves, la optimización de la materia prima de partida, la gestión del calor liberado en determinadas etapas y su posibilidad de reutilización dentro del sistema, etc.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, el objetivo de este trabajo fue analizar dos casos específicos y prácticos que podrían encuadrarse en un modelo energético sostenible, como son la producción de biolubricante a partir de aceites vegetales mediante doble transesterificación y la producción de hidrógeno a partir del reformado de biogás con vapor. Así, a medida que se profundice en estos ejemplos, se pondrá de manifiesto que muchos de los puntos anteriormente explicados se ajustan perfectamente a dichos casos, en los cuales el papel de los catalizadores es esencial.

Dos casos específicos: producción de biolubricante a través de transesterificación doble y reformado de biogás

En este trabajo se va a hablar de dos ejemplos de sistemas de gestión medioambiental, los cuales son muy familiares debido a que nuestro departamento se ha encargado de estudiarlos, en mayor o menor medida.

El primero de ellos es una biorrefinería basada en aceite de fritura para producir biodiésel y biolubricante a través de una doble transesterificación con alcoholes. La materia de

partida podría ser cualquier aceite vegetal, pero la gestión de residuos como el comentado hace que dicho proceso sea más atractivo). En este caso, se lleva a cabo una primera etapa de transesterificación con metanol para producir biodiésel y glicerina. Posteriormente, el biodiésel (tras ser purificado) se somete a una nueva transesterificación con un alcohol superior, siendo generalmente trimetilolpropano (TMP) o pentaeritrita, para obtener biolubricante y metanol (Nogales-Delgado et al., 2023).

El otro ejemplo es el aprovechamiento de biogás obtenido a partir de la gestión de aguas residuales para producir hidrógeno mediante reformado con vapor. Igualmente, la materia de partida para producir biogás podría ser de diferente naturaleza, como por ejemplo residuos sólidos. Así, tras la digestión anaeróbica del correspondiente residuo, se realiza el reformado con vapor de agua del biogás resultante (el cual normalmente debe ser purificado, sobre todo para evitar trazas de H₂S que podrían causar envenenamiento del catalizador) para obtener hidrógeno, de mayor o menor pureza dependiendo del uso de reactores de membrana (González et al., 2023).

Simplemente comentando el funcionamiento básico de estos sistemas, se pueden deducir muchos puntos en común que presentan los mismos:

- Por un lado, promueven el aprovechamiento material y energético de residuos de difícil gestión medioambiental, siendo estos sistemas muy adaptables a las características físico-químicas de dichos residuos.
- En estas biorrefinerías tienen cabida multitud de técnicas y procesos, hasta tal punto que los ejemplos seleccionados pueden interrelacionarse de la forma observada en la Figura 1 (ver zonas delimitadas por líneas azules discontinuas). Así, ambos ejemplos comparten técnicas (como es el reformado con vapor, si bien es cierto que a partir de diferentes productos de partida y en distintos estados físicos) y hasta funcionalidades, como es la producción de biocombustibles y biolubricantes (de distinta naturaleza ya que las técnicas y materias primas de partida son diferentes, pero en realidad comparten la misma función).
- Por otro lado, el reaprovechamiento de productos intermedios está más que probado, ya que los mismos pueden ser utilizados desde un punto de vista energético (por ejemplo, biodiésel obtenido en la primera transesterificación con aceite de fritura) o bien se pueden reutilizar en el proceso, como en el caso del metanol obtenido en la segunda transesterificación para formar parte de la primera transesterificación, o como en el caso del CO obtenido en el reformado de biogás, para llevar a cabo, en las proporciones idóneas, un proceso de Fischer-Tropsch para obtener compuestos orgánicos cuyas funciones son fácilmente compatibles con aquellas de biocombustibles o biolubricantes.

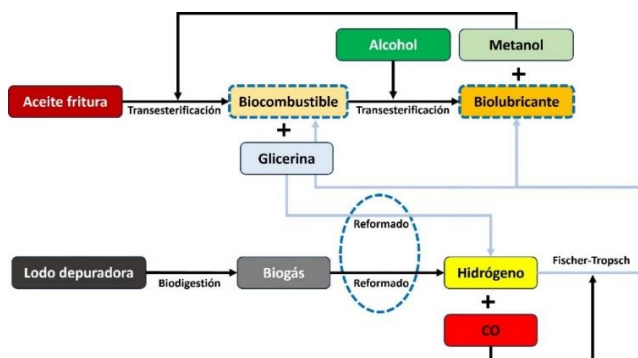


Figura 1. Diferentes etapas de la producción de biolubricantes a través de doble transesterificación y producción de hidrógeno a través de reformado de bio­gás. Las zonas delimitadas por línea azul discontinua son puntos en común de ambos procesos.

- Otro punto en común en ambos procesos es el papel de los catalizadores, los cuales son imprescindibles para mejorar la eficiencia desde múltiples puntos de vista. Por un lado, suelen facilitar el uso de condiciones de operación más suaves al disminuir la energía de activación de la síntesis correspondiente.
- Finalmente, como se observa en la siguiente tabla a modo de ejemplo, en trabajos previos se ha observado un gran rendimiento de estos procesos, teniéndose conversiones de biodiésel y del metano contenido en el bio­gás de más del 95 %, lo cual contribuye a la eficiencia y valorización de los productos obtenidos:

Tabla 1. Ejemplos de conversiones obtenidas en distintos procesos.

| Producto | Condiciones | Conversión, % | Referencia |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------|
| Biolubricante (colza) | 1,5 % MeOH, 90 min, 120 °C, reacción con TMP (relación molar 1:1) | >98 | Encinar <i>et al.</i> , 2021 |
| Biogás (fango) | 20 % Ni/Al ₂ O ₃ , 700-800 °C, 5-20 bar, S/C = 3-6 | >99 | González <i>et al.</i> , 2023 |

Conclusiones

Como principales conclusiones, los dos ejemplos de gestión sostenible presentados ofrecen un sinfín de posibilidades que los hacen encuadrarse dentro del concepto de biorrefinerías. Los modelos anteriormente comentados presentan una serie de puntos en común, como la posibilidad de aprovechar residuos de difícil gestión (aceite de fritura, por un lado, aguas residuales por el otro), la capacidad de reutilizar muchos de los subproductos generados durante el proceso o la gran diversidad de técnicas empleadas en

los mismos, lo cual hace que las biorrefinerías se puedan adaptarse a zonas menos desarrolladas, contribuyendo al desarrollo sostenible. Las biorrefinerías presentan tal variedad de recursos que incluso los dos ejemplos explicados podrían, en cierto modo, vincularse entre sí a través del reformado con vapor de agua, ya que ambas podrían presentar esta tecnología en común si la glicerina es utilizada para tal fin. El papel de distintos catalizadores en múltiples etapas, así como el gran valor añadido de los productos finalmente obtenidos, hacen que la eficiencia de estos procesos sea comparable a la de otros procesos preestablecidos. Finalmente, el reto de este tipo de instalaciones radica en la necesidad de llevar a cabo un diseño eficiente de los mismos para competir con otras industrias equivalentes, pero más contaminantes. Así, se pueden incluir aspectos tales como eficiencia y durabilidad del catalizador, transferencia de calor, costes relacionados con las materias primas, valor añadido generado, etc.

Agradecimientos

A la Red Iberoamericana de Modelos de Sistemas de Gestión de Energías Sostenibles (RIMSGES) del Programa CYTED, organizadora del evento, y a los Fondos Europeos NextGeneration (línea C17.II “Planes complementarios con las Comunidades Autónomas”, dentro de la línea 17 “Reforma institucional y fortalecimiento de las capacidades del sistema nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación” dentro del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia).

Referencias

Encinar, J. M., Nogales-Delgado, S., & Pinilla, A. Biolubricant Production through Double Transesterification: Reactor Design for the Implementation of a Biorefinery Based on Rapeseed. *Processes*, 9(7), 1224. 2021. <https://doi.org/10.3390/pr9071224>

González, J. F., Álvarez-Medina, C. M., & Nogales-Delgado, S. Biogas Steam Reforming in Wastewater Treatment Plants: Opportunities and Challenges. In *Energies* (Vol. 16, Issue 17). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). 2023. <https://doi.org/10.3390/en16176343>

Moncada B, J., Aristizábal M, V., & Cardona A, C. A. Design strategies for sustainable biorefineries. *Biochemical Engineering Journal*, 116, 122–134. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2016.06.009>

Nogales-Delgado, S., Encinar, J. M., & González, J. F. A Review on Biolubricants Based on Vegetable Oils through Transesterification and the Role of Catalysts: Current Status and Future Trends. *Catalysts*, 13(9), 1299. 2023. <https://doi.org/10.3390/catal13091299>

Palmeros Parada, M., Osseweijer, P., & Posada Duque, J. A. Sustainable biorefineries, an analysis of practices for incorporating sustainability in biorefinery design. *Industrial Crops and Products*, 106, 105–123. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.08.052>

Agradecimientos

A la Red Iberoamericana de Modelos de Sistemas de Gestión de Energías Sostenibles (RIMSGES) del Programa CYTED, organizadora del evento.

La red RIMSGES (Red de Investigación en Modelos de Gestión de Energía Sostenibles) nació en el año 2022 bajo la coordinación de D. Diego Carmona Fernández en la Universidad de Extremadura (UEx), con el propósito de facilitar la colaboración académica e investigadora de grupos de profesionales que desde Universidades, Centros de Investigación y desde el Sector empresarial, trabajan en el ámbito de la Gestión de energía. La red pasaría posteriormente a estar coordinada por la profesora Dña. Silvia Román Suero, compañera del Dr. Carmona, en el año 2023.

Compuesta en la actualidad por socios de 9 países (Panamá, Colombia, Ecuador, Chile, Brasil, Andorra, Argentina, España y Portugal), y con casi dos años y media de vida ya, la red ha logrado estrechar relaciones que han permitido desarrollar, en las líneas estratégicas de gestión de energía y eficiencia energética: a) actividades académicas (cursos gratuitos, presenciales e híbridos para estudiantes de Grado y Posgrado, microcredenciales, seminarios y congresos, como el que dio lugar a la publicación que tiene en sus manos), b) actividades investigadoras (pasantías, diseño de planes de investigación, tesis doctorales, trabajos fin de estudios dirigidos, producción científica) y c) de transferencia al sector empresarial (convenios).

El programa CYTED ha hecho posible que esta y numerosas redes desde diferentes ámbitos estratégicos trabajen en armonía por un mundo más justo, más resiliente y más sostenible, y ha generado relaciones duraderas entre personas que creen en el desarrollo y las alianzas.

Diego Carmona Fernández

Diego Carmona es doctor y profesor titular en el área de Ingeniería Eléctrica de la UEx, docente e investigador en materias relacionadas con la producción y distribución de energía y la eficiencia energética. Carmona es además subdirector de Ordenación Académica e Innovación de la Escuela de Ingenierías Industriales de dicha Universidad. Autor de numerosos libros y artículos científicos, destaca su ingente trabajo de transferencia al sector productivo a través de convenios y proyectos con empresas en el ámbito de las energías renovables y la eficiencia energética.

Silvia Román Suero

Silvia Román es profesora catedrática en el Área de Física Aplicada de la UEx, y compagina actualmente sus labores docentes (en materias relacionadas con la termodinámica y la ingeniería térmica, así como en energía a partir de biomasa y termosolar) e investigadoras (eficiencia energética y aprovechamiento de biomasa), con la Dirección de la Oficina Universitaria de Cooperación para el Desarrollo de la UEx. Román es además coordinadora de proyectos de investigación regionales, nacionales e internacionales, y trabaja también en transferencia a la sociedad a través de convenios de investigación relacionados con el aprovechamiento de residuos o la mejora de la huella de carbono.

Beatriz Ledesma Cano

Doctora en Física Aplicada por la UEx, Dña Beatriz Ledesma, actualmente investigadora en dicha Universidad, posee una dilatada carrera investigadora en el ámbito de la conversión de residuos de biomasa en materiales de valor, incluyendo aplicaciones como combustibles, adsorbente o enmienda en suelos. Ha participado como conferenciante en diversos cursos y seminarios en diversos Centros nacionales e internacionales, y ha sido docente en el área de Física Aplicada y el de Máquinas y Motores térmicos con asignaturas relacionadas con la gestión energética.

