

Financiado por:



Junta de Andalucía

Consejería de Transformación Económica,
Industria, Conocimiento y Universidades



TECNOLOGÍAS DE VALORIZACIÓN DE SUBPRODUCTOS DEL SECTOR OLEÍCOLA

GASIFICACIÓN



Elaborado por:



**CIT
OLIVA**
CENTRO TECNOLÓGICO
DEL OLIVAR Y
EL ACEITE

INDICE

1.	El proceso de gasificación	3
1.1.	Parámetros del proceso de gasificación	3
1.2.	Etapas del proceso de gasificación	4
1.3.	Técnicas de gasificación	5
2.	Subproductos de la industria oleícola utilizables en el proceso de gasificación	7
2.1.	Alperujo.....	7
2.2.	Poda y Hojín	7
2.3.	Hueso	7
2.4.	Orujillo	7
3.	Productos obtenidos de la gasificación de los subproductos de la industria oleícola..	7
3.1.	Syngas.....	8
3.2.	Hidrógeno renovable.....	8
4.	Industria andaluza dedicada a la gasificación de biomasa	9
5.	Patentes sobre técnicas dedicadas a la gasificación de biomasa	10
6.	Proyectos de investigación sobre la tecnología de gasificación de subproductos de la industria oleícola en Andalucía	14
7.	Análisis económico de la instalación de la tecnología de gasificación	16
8.	Bibliografía.....	16



1. El proceso de gasificación

La gasificación es un proceso termoquímico donde la biomasa se convierte en un gas combustible de alto poder calorífico. Este proceso implica reacciones a altas temperaturas con un agente gasificante. El gas resultante se utiliza en turbinas de gas, motores de combustión interna alternativos o en plantas de ciclo combinado para generar energía (Sebastián Nogués et al., 2010). Este proceso ha sido tradicionalmente empleado para el aprovechamiento energético de la biomasa residual y otros materiales como el carbón; así como el tratamiento y/o la eliminación de determinados residuos.

1.1. Parámetros del proceso de gasificación

En el proceso de gasificación intervienen cinco variables que deben de tenerse en cuenta durante su desarrollo:

Temperatura. La gasificación ocurre a una temperatura constante en presencia de un medio gasificante. Se distinguen tres tipos de gasificación según la temperatura: baja, media y alta. Estas temperaturas definen las tres zonas principales del proceso: pirólisis (400-700°C), oxidación (800-1300°C) y reducción (700-900°C) (Ramírez Rubio, et al. 2011).

Tiempo de permanencia. A medida que aumenta el tiempo de contacto entre la materia y el agente gasificante, se incrementa la proporción de gases generados y se reduce la cantidad de material sólido que no reacciona con el gasificador (Ramírez Rubio, et al. 2011).

Agente gasificante. La composición del gas obtenido varía según el agente gasificante utilizado (Ramírez Rubio, et al. 2011):

- Aire: Produce un gas de baja calidad energética (4-7 MJ/m³) debido a su baja densidad energética. Es el agente gasificante más comúnmente utilizado en las centrales de gasificación debido a su disponibilidad
- Oxígeno: Genera un gas de mayor calidad energética (10-18 MJ/m³), pero su producción implica costos elevados y conlleva mayores riesgos durante la gasificación.
- Vapor de agua o dióxido de carbono: El gas obtenido es de calidad similar al del oxígeno, pero con menores costos de producción y riesgos operativos. Sin embargo, el proceso es más lento, de 3 a 5 veces, en comparación con el uso de oxígeno.

Materia prima. El carbonizado resultante de la pirólisis constituye la materia prima para la gasificación. Si la pirólisis se realiza adecuadamente y a altas temperaturas, se logra una gran área superficial, lo que indica una cantidad significativa de carbono para una gasificación eficiente. Las cenizas, compuestas principalmente por elementos inorgánicos como potasio, hierro o sodio, pueden actuar como catalizadores en la reacción de gasificación de la biomasa (Ramírez Rubio, et al. 2011).



Reactividad. La reactividad está determinada por la estructura interna del sólido, su área superficial, su porosidad y la presencia de compuestos inorgánicos, que pueden funcionar como catalizadores o inhibidores de la reacción (Ramírez Rubio, et al. 2011).

1.2. Etapas del proceso de gasificación

El proceso de gasificación se divide en tres etapas (Herrera, 2020):

- Secado + pirólisis. La biomasa ingresa al reactor y se calienta gracias al calor procedente de la combustión, lo que provoca su secado y la absorción de calor sensible, aumentando así la temperatura y evaporando el agua. Durante esta fase, la temperatura puede llegar a los 100°C, e incluso superar los 200°C, lo que resulta en la volatilización de algunos compuestos de bajo peso molecular. Sin embargo, la humedad presente en la biomasa no se elimina completamente debido a su estructura interna, lo que conduce a una evaporación del agua superficial. Para que la gasificación funcione correctamente, la humedad residual en la biomasa no debe superar el 20% en peso (Estrada y Meneses, 2004; Peña et al., 2017).

Después de la evaporación del agua de la biomasa, la temperatura continúa aumentando hasta llegar a los 400-700°C. Las moléculas más largas comienzan a craquearse, reduciendo su longitud y separándose del sólido restante. Debido a la falta de oxígeno, estos compuestos liberados se convierten en alquitranes (denominados "tars"). Paralelamente, se forma un residuo carbonoso sólido conocido como "char", que tiene un alto contenido de carbono y un peso molecular elevado. Junto con estos residuos, se generan compuestos como hidrocarburos ligeros, vapor de agua y benceno (Estrada y Meneses, 2004). El "char" puede ser utilizado como fertilizante o combustible (Herrera, 2020).

- Oxidación (combustión): En esta etapa, los residuos carbonosos ("char") que han alcanzado una temperatura superior a los 700°C se someten a oxidación. El calor liberado durante este proceso permite que la combustión continúe de forma autónoma.
- Gasificación (reducción): Durante esta fase, se producen una serie de reacciones gas-gas o sólido-gas, generalmente endotérmicas, que conducen a la conversión del sólido restante en gas. El CO₂ generado en etapas anteriores se convierte en CO. Las temperaturas de esta etapa oscilan entre los 700 y 900°C (Estrada y Meneses, 2004).



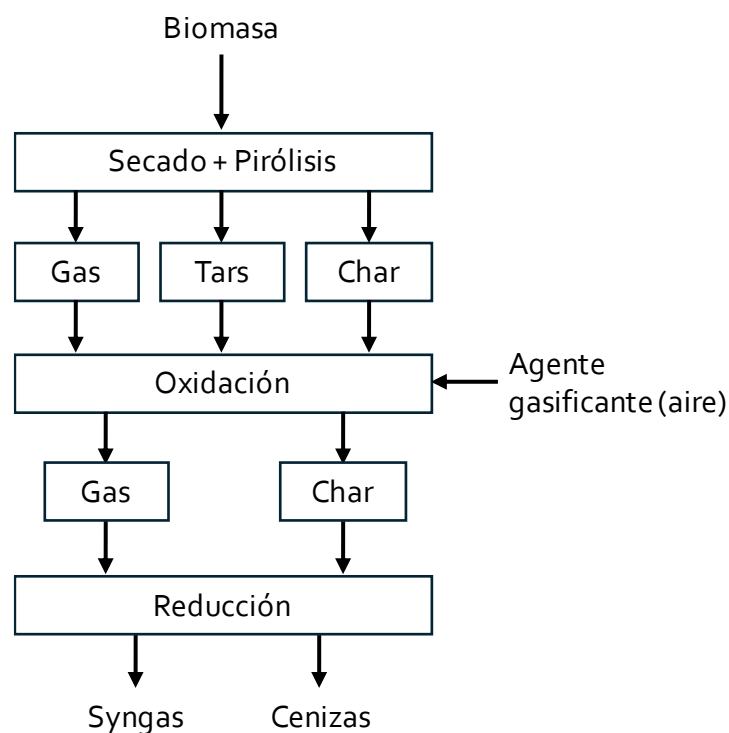


Figura 1. Etapas del proceso de gasificación.

1.3. Técnicas de gasificación

Las principales técnicas de gasificación de biomasa se dividen en dos categorías: lecho móvil y lecho fluidizado. En los gasificadores de lecho móvil, la biomasa circula lentamente en sentido descendente mientras es impulsada por el agente gasificante correspondiente. Estos gasificadores se subdividen según el movimiento relativo de la biomasa y el gas en corrientes paralelas o "downdraft" y a contracorriente o "updraft".

Gasificador en corrientes paralelas ("downdraft")

Este tipo de gasificador opera con la biomasa y el gas moviéndose en un mismo sentido, generalmente hacia abajo. La biomasa se introduce por la parte superior y, a medida que desciende, experimenta secado y pirólisis, alcanzando temperaturas cada vez más altas. En la parte inferior, se produce la combustión de los productos de la pirólisis, generando calor. Los residuos carbonosos que no se queman completamente continúan descendiendo hasta la etapa de reducción o gasificación, donde reaccionan con los productos de la combustión. Los gases resultantes se recolectan en la parte inferior del gasificador.

Este tipo de técnica permite obtener un gas de bajo contenido en alquitranes debido a que estos son obligados a pasar por una zona de altas temperaturas, donde se queman o se craquean, reduciendo así su presencia en el syngas final. Estos gasificadores son de fácil construcción y operación, adecuados para una variedad de biomazas relativamente secas y con diferentes granulometrías. Sin embargo, presentan una baja eficiencia global debido a la elevada temperatura del syngas de salida. A pesar de ello, son comúnmente

utilizados para la generación de energía eléctrica a pequeña escala, ya que requieren menores inversiones en limpieza y tratamiento debido a la escasa presencia de alquitranes en el syngas.

Gasificador en contracorriente ("updraft")

El sólido alimentado y el gas producido se mueven en direcciones opuestas, típicamente hacia abajo y hacia arriba respectivamente. La biomasa entra por la parte superior y se encuentra con los gases generados en las fases previas de pirólisis y reducción. A medida que la biomasa desciende, experimenta secado y pirólisis, generando gases que ascienden con el resto de los gases, incluyendo alquitranes y vapores condensables. El char resultante de la pirólisis sigue descendiendo y se encuentra con el agente gasificante, experimentando una reducción en la zona central antes de ser oxidado en la parte inferior.

El syngas producido contiene alquitranes e hidrocarburos que aumentan su poder calorífico, pero debido a su temperatura relativamente baja, entre 70 y 300°C, los alquitranes se encuentran en forma de aerosoles en el gas. Esto puede ser manejable si el gas se utiliza directamente en aplicaciones térmicas, pero si se va a utilizar en motores o turbinas, se requiere un sistema de limpieza.

Las principales ventajas de este tipo de gasificadores incluyen su relativa simplicidad de construcción y operación, así como su alta eficiencia térmica. Además, el gas producido tiene un bajo contenido de sólidos debido al tamaño de partícula de la biomasa y a la baja velocidad del gas. Aunque no hay una limitación importante en términos de escala, esta técnica es más aplicable a pequeñas potencias.

Gasificadores de lecho fluidizado

Estos gasificadores operan de manera que todas las etapas del proceso, como el secado, la gasificación, la oxidación y la pirólisis, ocurren simultáneamente en todo el reactor, lo que garantiza una temperatura y conversión uniformes. Esto resulta en un gas con bajos a medianos contenidos de alquitranes y grandes cantidades de partículas y cenizas, con temperaturas típicas entre 800 y 1,000°C.

Esta técnica presenta una alta velocidad de transferencia de calor y materia, así como una buena mezcla de la fase sólida, lo que conduce a velocidades de reacción elevadas y a una temperatura uniforme en todo el lecho. Además, es capaz de adaptarse fácilmente a variaciones en el caudal y composición de la biomasa procesada.

Cuando se utiliza aire como agente gasificante en este tipo de gasificadores, se obtiene un gas con un contenido intermedio de alquitranes en comparación con otras técnicas. Las partículas de ceniza y char no reaccionadas son arrastradas por la corriente gaseosa fuera del reactor y separadas en la mayoría de los casos mediante ciclones. Los reactores de lecho fluidizado pueden ser de tipo burbujeante (LFB) o circulante (LFC), ofreciendo diferentes ventajas en términos de capacidad de procesamiento, control y costos de inversión.



2. Subproductos de la industria oleícola utilizables en el proceso de gasificación

2.1. Alperujo

El alperujo procedente de la almazara, una vez secado y peletizado puede emplearse como biomasa en el proceso de gasificación (Fernández-Lobato et al., 2022).

2.2. Poda y Hojín

La composición de los residuos de poda es la siguiente: 23% leña, 51% ramas y 26% hojas. La leña se separa para su uso doméstico en chimeneas o calderas de leña. En consecuencia, la cantidad de residuos generados durante la poda de olivar en Andalucía, excluyendo el 23% correspondiente a la leña, es de 2,31 millones de toneladas. Sin embargo, gran parte de esta cantidad no está disponible, ya que muchos agricultores optan por eliminarla inmediatamente después de la poda, ya sea quemándola o devolviéndola al suelo (Medina y Hernández, 2006).

El principal desafío al utilizar hojín como combustible es su alto contenido de agua, que alcanza aproximadamente el 40% en peso (Kong et al., 2004).

2.3. Hueso

El hueso de aceituna debe secarse antes de su uso, ya que suele contener alrededor del 35% de humedad (Benalcázar Játiva, 2021). Una vez seco, el hueso puede emplearse directamente como combustible, aunque en ocasiones se prensa para convertirse en pellets, lo que facilita su transporte y almacenamiento. Muchas almazaras utilizan parte del hueso que producen para satisfacer sus necesidades de energía térmica.

2.4. Orujillo

El subproducto generado tras la extracción del aceite de orujo se conoce como orujillo. Este material posee un alto poder calorífico (4.300 kcal/kg) y una humedad promedio del 14% (Agencia andaluza de la energía, 2020). Para su uso como fuente de energía, el orujillo se transporta a instalaciones especializadas donde se seca. Una vez seco, se transforma en pellets, un producto adecuado para su venta como combustible en calderas o motores de cogeneración que emplean el proceso de gasificación.

3. Productos obtenidos de la gasificación de los subproductos de la industria oleícola.

El producto final del proceso de gasificación es un gas compuesto principalmente por CO, H₂, N₂, CO₂, H₂O e hidrocarburos o alquitrans (Herrera, 2020). La composición de este gas varía según las características de la biomasa, el agente gasificante utilizado (aire, oxígeno, vapor de agua o hidrógeno) y las condiciones del proceso. Sin embargo, el factor que más influye en la composición final es la humedad de la biomasa. A mayor humedad, se requiere una mayor cantidad de agente gasificante, ya que el agua debe calentarse y evaporarse (Herrera et al., 2013).



3.1. Syngas

El Syngas, al igual que otras fuentes de energía renovable como el biogás, el biometano o el hidrógeno verde, se produce de manera controlada a partir de materias primas orgánicas, como residuos agrícolas, mediante el proceso de gasificación térmica. Este gas de síntesis, también conocido como sintegás, contiene principalmente H₂, CO, CO₂, CH₄, junto con trazas de hidrocarburos y agua (Liso et al., 2015). Sus aplicaciones abarcan desde la generación de energía eléctrica o térmica hasta su uso como materia prima para la producción de diversos productos químicos.

Tabla 1. Composición media del syngas (Liso et al., 2015).

PARÁMETRO	%	FRACCIÓN MOLAR
H ₂	19,00	0,293
N ₂	49,00	0,030
CH ₄	3,00	0,001
CO	15,00	0,287
CO ₂	17,00	0,118
PCI (Poder calorífico inferior)	1.330,00 Kcal/Nm ³	

La calidad y aplicación del syngas generado por el proceso de gasificación dependen de varios factores clave:

- La materia prima utilizada, que influirá en las variables operativas del proceso de gasificación.
- El agente gasificante empleado, que impactará en la composición del gas resultante junto con la materia prima.
- El tipo de reactor utilizado para la gasificación.
- El sistema de limpieza o acondicionamiento del gas obtenido.

El gas de síntesis resultante puede ser utilizado de diversas formas, incluyendo:

- Generación de energía eléctrica y térmica para diferentes aplicaciones, mediante su uso como combustible en motores de combustión o turbinas de vapor.
- Producción de gas natural sintético, utilizando procesos termocatalíticos o biológicos.
- Conversión en hidrocarburos líquidos y sólidos mediante el proceso Fischer-Tropsch, para su uso como biocombustibles y ceras en diversos sectores industriales.

Obtención de metanol a través de procesos termoquímicos, importante tanto para la industria química como para la energética y como combustible alternativo.

3.2. Hidrógeno renovable

El hidrógeno que contiene el syngas puede separarse y purificarse.



La proporción de hidrógeno que puede obtenerse a partir del gas de síntesis (syngas) es de, aproximadamente, el 40%, en un proceso que resulta menos intensivo en emisión de carbono que en la producción de hidrógeno gris o azul (a partir de gas natural).

No obstante, no deja de ser un proceso complejo en el que intervienen gran número de reacciones y se generan productos no deseados, como el monóxido de carbono (CO) y el coque.

A esto se suma que, el proceso requiere de unas condiciones severas de reacción, seguido de los pasos adicionales de separación y purificación del hidrógeno producido para que sea de alta calidad. Algo que complica su implantación en industrias de pequeño tamaño.

4. Industria andaluza dedicada a la gasificación de biomasa

Ninguna de las actuales plantas generadoras de electricidad a partir de biomasa ubicadas en Andalucía utiliza la tecnología de gasificación. En su lugar, emplean la tecnología de combustión para quemar el combustible.

No obstante, existen empresas andaluzas dedicadas a proporcionar orientación detallada y personalizada a aquellos interesados en llevar a cabo la instalación de plantas de gasificación, ayudándoles a evaluar aspectos técnicos, económicos y financieros para garantizar el éxito y la rentabilidad de sus iniciativas. Estas son:

Tabla 2. Listado de empresas andaluzas dedicadas a asesorar sobre la implantación de plantas de gasificación.

CIF	Razón Social	Domicilio	Teléfono	CP	Municipio	Provincia
B2373004	Recursos Estratégicos de Biomasa S.L. (BIOLIZA)	Calle Ronda de la Misericordia, nº 91	639629307	23009	Jaén	Jaén
B90040130	INERCO Corporación Empresarial S.L.	Parque Científico y Tecnológico Isla de La Cartuja. Calle Tomás Alba Edison, 2.	954 468 100	41092	Sevilla	Sevilla

5. Patentes sobre técnicas dedicadas a la gasificación de biomasa

Tabla 3. Listado de patentes sobre técnicas de gasificación de biomasa.

N.º de publicación	Título	Solicitantes	Inventores	Descripción	Fecha de publicación
UY0001033585	Sistema y proceso para la gasificación de productos de biomasa	Starlight energy holdings LLC	Bart Kavanaugh; Donald W. Kendrick; Steven R. Brncic; Steven Kushinck	Sistema para la gasificación de biomasa que incluye una unidad de gasificación y un mecanismo de alimentación para introducir los materiales. La unidad cuenta con múltiples puertos de inyección de gasificación y biomasa, distribuidos verticalmente, cada uno con un ángulo de inyección correspondiente. Estos ángulos pueden ser tangenciales en dirección ascendente o descendente.	30/03/2012
ES2918574	Método para producir gas de síntesis mediante la gasificación de biomasa en un lecho fluidizado	Gidara Energy B.V.	Max Heinritz-Adrian; Ralf Abraham; Domenico Pavone	La invención describe un método para producir gas de síntesis a partir de biomasa mediante gasificación en un lecho fluidizado. La biomasa se alimenta a un gasificador de lecho fluidizado, y para eliminar los álcalis formados durante la gasificación, el gas de síntesis se pone en contacto con un depósito getter.	19/07/2022
ES2558318	Aparato y método de carbonización termoquímica y	ZBB GmbH	Elhan Demir	Aparato de carbonización y gasificación termoquímica para biomasa húmeda o seca que produce	03/02/2016

	gasificación de biomasa húmeda			un portador de energía y/o materia prima. Este aparato incluye un reactor de carbonización con un orificio de entrada y un orificio de salida conectado a un tanque de enfriamiento. El reactor de carbonización está conectado a un reactor de gasificación que separa gas y residuos de la biomasa.	
ES2325105	Gasificador modular de biomasa.	Guascor Explotaciones Energeticas SA	Pedro García Bacaicoa	El gasificador modular de biomasa convierte la biomasa en gas combustible mediante tres reactores: uno de volatilización, uno de craqueo térmico y uno de reducción. La biomasa es introducida en el reactor de volatilización, que cuenta con un agitador y una fuente de calor exterior. El reactor de craqueo térmico tiene combustores para la inyección de aire. Finalmente, el reactor de reducción permite la salida de la materia reaccionada a través de orificios y la salida de los gases obtenidos por un conducto.	25/08/2009
ES2307412	Gasificador de biomasa	José Vilella Pons	José Vilella Pons	El gasificador de biomasa de la invención incluye una tolva para el material combustible, un conducto de	08/02/2007

				alimentación que conecta la tolva con una cámara de gasificación. Este conducto es parte integral de la cámara, formando un conjunto de gasificación que incluye un vibrador y está montado sobre elementos flexibles. Este diseño permite la gasificación de biomasa como virutas trituradas y serrín mediante la vibración del conjunto de gasificación.	
ES2150360	Procedimiento integral para el tratamiento y reciclaje del alperujo	José María Olmo Peinado; Sonsoles Rojas Ruiz; Konrad Aigner Josef	José María Olmo Peinado	El procedimiento busca aprovechar y eliminar el alperujo revalorizando sus componentes sin añadir químicos. Este proceso incluye varias fases: separación, extracción, pirólisis o carbonización, gasificación y combustión. Primero, se separa la parte leñosa del hueso del alperujo. Luego, se extraen las pulpas sin hueso del aceite. La parte leñosa se carboniza en un horno a 550°C durante unos 20 minutos. En la fase de gasificación, el material carbonizado se somete a vapor de agua en un reactor a 850-1.000°C. Simultáneamente, se preseca la pulpa sin grasa utilizando los gases de	16/11/2000

				desecho de la carbonización y activación.	
ES1249954	Instalación compacta de combustión de biomasa para generación de calor mediante gas de síntesis filtrado para el tratamiento de materiales orgánicos de origen vegetal	Ingeneo equipos industriales, S.L.	Ramón Nebot Fores; Luis Alfonso Jiménez Romero	Instalación compacta de combustión de biomasa para generación de calor mediante gas de síntesis filtrado para el tratamiento de materiales orgánicos de origen vegetal caracterizado porque está compuesto principalmente por los elementos: a. Un gasificador en el que se gasifica la biomasa b. Un filtro donde se depura el gas de síntesis mediante elementos filtrantes c. Un quemador de gas de síntesis donde se produce la combustión del gas generado.	27/07/2020

6. Proyectos de investigación sobre la tecnología de gasificación de subproductos de la industria oleícola en Andalucía

Tabla 4. Listado de proyectos de investigación en Andalucía sobre la tecnología de gasificación de subproductos de la industria oleícola.

Nombre del proyecto	Entidades	Investigadores	Descripción	Fecha de ejecución
Gasolive	Centro IFAPA Venta Del Llano.	Antonio Jiménez Márquez; Gabriel Beltrán Maza; María De La Paz Aguilera Herrera; Abraham Mariano Gila Beltrán	Demostración de un sistema de gasificación de subproductos del olivar para la obtención de energía y fertilizantes orgánicos.	Marzo 2023 - Junio 2025
Oliven	Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Escuela Politécnica Superior de Linares (UJA).	David Vera Candeas; Roque Aguado Molina; Francisco Jurado Melguizo; Gabriel Beltrán Maza	En este proyecto se pretende generar energía eléctrica mediante la tecnología de gasificación a partir de alperujo.	Junio 2018 - Diciembre 2020
Planta de gasificación de orujo graso seco para generación de energía eléctrica y térmica	Bioliza. Aceites Guadalentín.	Rafael Guzmán Bayona	Práctica en fase piloto de desarrollo de una planta de gasificación de orujillo.	Enero 2015- actualidad

Valorización de subproductos del olivar mediante tecnologías de gasificación	Departamento de Organización de Empresas, Marketing y Sociología de la Universidad de Jaén (UJA).	José Antonio La Cal	Análisis de la factibilidad y viabilidad de una planta de gasificación de biomasa que permita el aprovechamiento de los subproductos del olivar.	Mayo 2019 - Mayo 2020
---	---	---------------------	--	-----------------------

7. Análisis económico de la instalación de la tecnología de gasificación

En esta sección, se analiza el costo de inversión inicial de una central de gasificación para producir 1 kilovatio eléctrico (kWe), con el propósito de ofrecer información extrapolable a las necesidades de escala de los productores que estén interesados en adoptar esta tecnología en sus almazaras.

Tabla 5. Inversión inicial de una central de gasificación por kilovatio eléctrico (kWe) (Ankur Scientific, 2024; Powermax, 2024).

	1 kWe	n kWe
Reactor	575€	n * (575€)
Almacenamiento de la biomasa	230€	n * (230€)
Sistema de limpieza y acondicionamiento	230€	n * (230€)
Motor de gas y sistemas auxiliares	690€	n * (690€)
Obra civil	460€	n * (460€)
Instalación	230€	n * (230€)
Total	2415€	n * (2415€)

8. Bibliografía

Agencia andaluza de la energía. (2020). La bioenergía en Andalucía.

Ankur Scientific. (2024). Woody gasifiers. <https://www.ankurscientific.com/ankur-gasifiers-biomass-woody.html>

Benalcázar Játiva, C. A. (2021). Evaluación del aprovechamiento de hueso de aceituna para fabricar elementos o sistemas de paneles interiores en la edificación (Master's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).

Estrada, C. A., & Meneses, A. Z. (2004). Gasificación de biomasa para producción de combustibles de bajo poder calorífico y su utilización en generación de potencia y calor. *Scientia et Technica*, 2(25).

Fernández-Lobato, L., Aguado, R., Jurado, F., & Vera, D. (2022). Biomass gasification as a key technology to reduce the environmental impact of virgin olive oil production: A life cycle assessment approach. *Biomass and Bioenergy*, 165, 106585.

-
- Herrera, J. A., Melguizo, D. D. F. J., & Fernández, D. D. B. O. (2013). Viabilidad de la integración de una planta de gasificación de biomasa.
- Herrera, J.A.L.C. (2020). Estrategias para la transformación de las industrias del sector oleícola.
- Kong, X. Q., Wang, R. Z., & Huang, X. H. (2004). Energy efficiency and economic feasibility of CCHP driven by stirling engine. *Energy Conversion and Management*, 45(9-10), 1433-1442.
- Liso, V., Zhao, Y., Yang, W., & Nielsen, M. P. (2015). Modelling of a solid oxide fuel cell CHP system coupled with a hot water storage tank for a single household. *Energies*, 8(3), 2211-2229.
- Medina, A., & Hernández, J. C. (2006). La biomasa procedente de las podas del olivar en Mágina. *Sumuntán*, 23, 89-108.
- Peña, J., Martínez, P., Cortés, M., Chirivi, N., & Geney, L. M. (2017). Uso energético de la biomasa a través del proceso de gasificación. *Revista de Investigación*, 10(2), 165-181.
- Powermax. (2024). Powermax gasifiers. <https://www.powermaxgasifiers.com/>
- Ramírez Rubio, S., Sierra, F. E., & Guerrero, C. A. (2011). Gasificación de materiales orgánicos residuales. *Ingeniería e Investigación*, 31(3), 17-25.
- Sebastián Nogués, F., García Galindo, D., & Rezeau, A. (Eds.). (2010). *Energía de la biomasa II (Energías renovables) (Vol. 182)*. Prensas de la Universidad de Zaragoza.