



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Jaén

Trabajo Fin de Grado

**“OPTIMIZACIÓN ECONÓMICA
DE PROCESOS EN LA
INDUSTRIA OLEÍCOLA
MEDIANTE LA TECNOLOGÍA
DE GASIFICACIÓN”**

Alumno: Rafael Guzmán Bayona

Tutor: Prof. D. José Antonio La Cal Herrera

Dpto: Organización de Empresas. Marketing y
sociología

Septiembre, 2019



Universidad de Jaén

Escuela Politécnica Superior de Jaén

Departamento de Organización de Empresas, Marketing y Sociología

Don José Antonio La Cal Herrera , tutor del Proyecto Fin de Carrera titulado: *“Optimización económica de procesos en la industria oleícola mediante la tecnología de gasificación”*, que presenta Rafael Guzmán Bayona, autoriza su presentación para defensa y evaluación en la Escuela Politécnica Superior de Jaén.

Jaén, SEPTIEMBRE de 2019

El alumno:

RAFAEL GUZMÁN BAYONA

El tutor:

JOSÉ ANTONIO LA CAL HERRERA

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mis padres y hermanos por su apoyo incondicional en todos estos años de estudio, que me han aguantado en mis peores momentos desde que empecé esta andadura, que me han dado numerosos consejos y orientaciones para intentar que no me perdiera en un mar de problemas. Os quiero mucho.

También quiero agradecer a Pepe e Isa la confianza que han puesto en mí desde el minuto cero y por acogerme en su empresa, me he sentido genial estos meses y espero que siga siendo así durante mucho tiempo.

Agradezco también a Manolo y Mari Angeles la ayuda que me han brindado estos años, aguantándome en los malos ratos así como en los buenos.

Y por último pero no menos importante, a mi novia, Nuria, a la que quiero con locura, por su apoyo incondicional, por ser mi hombro para llorar y mi compañera para celebrar. Por sus consejos y su paciencia conmigo. Te quiero.

-GRACIAS-

ÍNDICE

1. Introducción	4
2. Antecedentes	6
3. Objetivos.....	8
3.1. Objetivos secundarios	8
4. Metodología	9
4.1. Toma de datos	9
4.2. Elección de la tecnología	14
4.3. Descripción tecnología elegida	19
4.4. Realización de cálculos. Dimensionado	23
4.5. Otras consideraciones.....	25
5. Resultados.....	28
5.1. Inversión.....	28
5.2. Ingresos.....	29
5.3. Resultados en emisiones	30
5.4. Análisis de rentabilidad	31
6. Conclusiones	33
7. Anexos	36
ANEXO 1. ANÁLISIS MUESTRA ORUJILLO.....	36
ANEXO 2: INFORME DE EMISIONES MOTOR 400 KW ANKUR.....	37
ANEXO 3: INFORME CONTENIDO EVAPORACION COND.	38
8. Bibliografía	39

1. Introducción

Entre los retos a los que se enfrenta la industria oleícola cabe citar la sostenibilidad y la competitividad. El primero tiene que ver, entre otras cuestiones, con reducir los niveles de emisiones de sus procesos productivos a la atmósfera, con mejorar la eficiencia energética e incrementar la cuota de participación de las energías renovables como la solar o la biomasa, etc.; y, el segundo, con minimizar costes (producción, logística, etc.) y/o generar nuevos ingresos (bioproductos, biocombustibles, energía, etc.).

Para alcanzarlos es fundamental invertir en nuevas soluciones innovadoras que permitan optimizar sus procesos productivos a través de la valorización de los subproductos que generan las propias industrias, uno de los cuales es el orujo extractado y seco u orujillo, el cual se genera en las instalaciones de extracción de aceite de orujo u orujeras. En España existen un total de 45 según ORIVA¹, la Interprofesional del aceite de orujo de oliva, la mayor parte de ellas en Andalucía.



Imagen 1. Vista aérea planta secado orujo graso y húmedo. Fuente BIOLIZA

¹ <https://oriva.es/>

Este tipo de industrias tienen en común que son intensivas en consumos de energía, tanto eléctrica por la gran cantidad de motores que tienen, como térmica para el secado del orujo graso y húmedo, cuya humedad es necesario reducir desde el 65-70% hasta el 8-12%, para el posterior proceso de extracción con disolvente del aceite de orujo de oliva.



Imagen 2. Balsa de Orujo Graso y Húmedo. Fuente BIOLIZA

Una tecnología con la que se pueden alcanzar los dos objetivos anteriores de manera simultánea es la gasificación, que consiste en someter al orujillo, en este caso, a un proceso de combustión incompleta, en atmósfera pobre en O_2 , mediante la cual se genera una corriente gaseosa (syngas) y un residuo sólido con propiedades combustibles (biochar).

El gas, una vez tratado puede ser introducido en un grupo motogenerador para la producción combinada de energía eléctrica y térmica. La primera servirá para el autoconsumo de la industria y la segunda para satisfacer, parcial o

totalmente, las elevadas necesidades térmicas de la industria. De esta forma se reducen los costes energéticos y se reducen los niveles de emisión de partículas a la atmósfera al trabajar con un gas en lugar de con un sólido.

2. Antecedentes

Hasta ahora el orujillo es aprovechado para el secado del orujo graso y húmedo en las propias industrias mediante su empleo como combustible en hornos generadores de aire caliente, comercializado como biomasa para su empleo como combustible en plantas de generación de energía eléctrica mediante tecnología de combustión, y, en menor medida, exportado a países de la UE para ser usado en las centrales térmicas de carbón, con el objetivo de obtener los llamados “certificados verdes”. Esta situación se ha reducido notablemente en los últimos años, con lo que las alternativas para el orujillo son escasas, encontrándose la mayoría de los patios de las extractoras llenos de esta fuente de energía de origen renovable, almacenado a la espera de encontrar una alternativa para su comercialización.



Imagen 3. Pila de Orujillo en patio de industria. Fuente BIOLIZA.

Además, las perspectivas a corto y medio plazo de cosechas crecientes, así como la inexistencia de un marco favorable para la generación de energía eléctrica con biomasa, unido a los problemas de evacuación de energía eléctrica por la falta de capacidad de las líneas eléctricas, hacen que la situación no tenga visos de ser resuelta, de ahí la importancia y la necesidad de encontrar alternativas viables y sostenibles como la que aquí se presenta.

La solución propuesta en el presente TFG es totalmente innovadora puesto que no existen referencias previas de utilización de la gasificación en el sector oleícola. No obstante, la gasificación de biomasa es una tecnología totalmente comercial y con un grado importante de desarrollo en países como EEUU, Asia y también en Europa.

La gasificación, a pesar de ser una tecnología menos desarrollada que la combustión, presenta una serie de ventajas, lo que le permite adaptarse a una gran variedad de industrias y aplicaciones, entre ellas las del sector oleícola:

- Es modular, es decir, se puede arrancar un proyecto de 150 kWe por ejemplo y escalarlo hasta 1 MW o más.
- Es versátil, puesto que se pueden usar un amplio rango de biomásas siempre y cuando presenten una humedad por debajo del 20% y un tamaño de partícula homogéneo por debajo de los 5 mm aproximadamente.
- El gas sintético obtenido (syngas), puede ser utilizado directamente en calderas o cámaras de post combustión previo filtrado, bien en motores de combustión interna alternativos o en turbinas de gas. También se pueden obtener co-productos de valor añadido como carbón vegetal o “biochar”, el cual puede alcanzar un precio elevado en el mercado y contribuir a mejorar la rentabilidad de la inversión.
- La eficiencia energética del ciclo es mayor porque se aprovecha la energía térmica de refrigeración (80-90 C) y de escape de motores (400-450°C), pudiendo alcanzar el 75%, frente al no más del 30% en el caso de caldera y turbina.

- Las necesidades de biomasa, de espacio, de evacuación de la energía y los trámites ambientales y administrativos son inferiores al caso de combustión.
- Los niveles de emisiones de partículas son muy bajos porque son retenidas justo a la salida del gasificador, como paso previo a la limpieza y tratamiento del gas, y pueden situarse en niveles inferiores a 50 mg/Nm³.

3. Objetivos

El principal objetivo del TFG es demostrar la viabilidad técnica y económica de la integración de la tecnología de gasificación en una industria del sector oleícola, valorizando la biomasa que genera la propia industria (orujo seco repasado, en este caso) y satisfaciendo, total o parcialmente, sus consumos energéticos, tanto térmicos como eléctricos.

Si se demostrase que dicha solución resulta factible y viable en términos económicos, podría constituir una alternativa para valorizar parte de la ingente cantidad de biomasa generada por el sector oleícola, contribuyendo así a incrementar la competitividad de las industrias y, todo ello, desde una vertiente absolutamente sostenible porque se utiliza una energía 100% de origen renovable.

3.1. Objetivos secundarios

Además del objetivo principal, también se persiguen otros objetivos secundarios asociados a la implantación de la solución en las industrias del sector oleícola. Algunos de estos objetivos secundarios son los siguientes:

- Mejora de la imagen de la empresa, lo cual puede ser valorado por un determinado perfil de clientes, más concienciados con conceptos como sostenibilidad, bioenergía, economía circular, etc.
- Generación de empleo y de actividad económica en el medio rural, lo que conlleva fijación de la población, entre otras ventajas sociales y económicas.
- Fomento de la economía circular y bioeconomía.

- Generación de valor añadido para el subproducto (orujillo), que de otra manera acabaría mal vendido o infrautilizado.

4. Metodología

4.1. Toma de datos

Para la elaboración del presente TFG se han tomado como referencia para el estudio los datos reales suministrados por una empresa del sector oleícola ubicada en la provincia de Jaén. Esta empresa es actualmente productora de aceite de oliva en una almazara de su propiedad.

También posee unas instalaciones en las que dispone de un sistema de secado natural de orujo graso y húmedo, así como de un equipo de repaso y de un separador pulpa-hueso.



Imagen 4. Vista general de la instalación de secado y repaso de orujo. Fuente BIOLIZA.

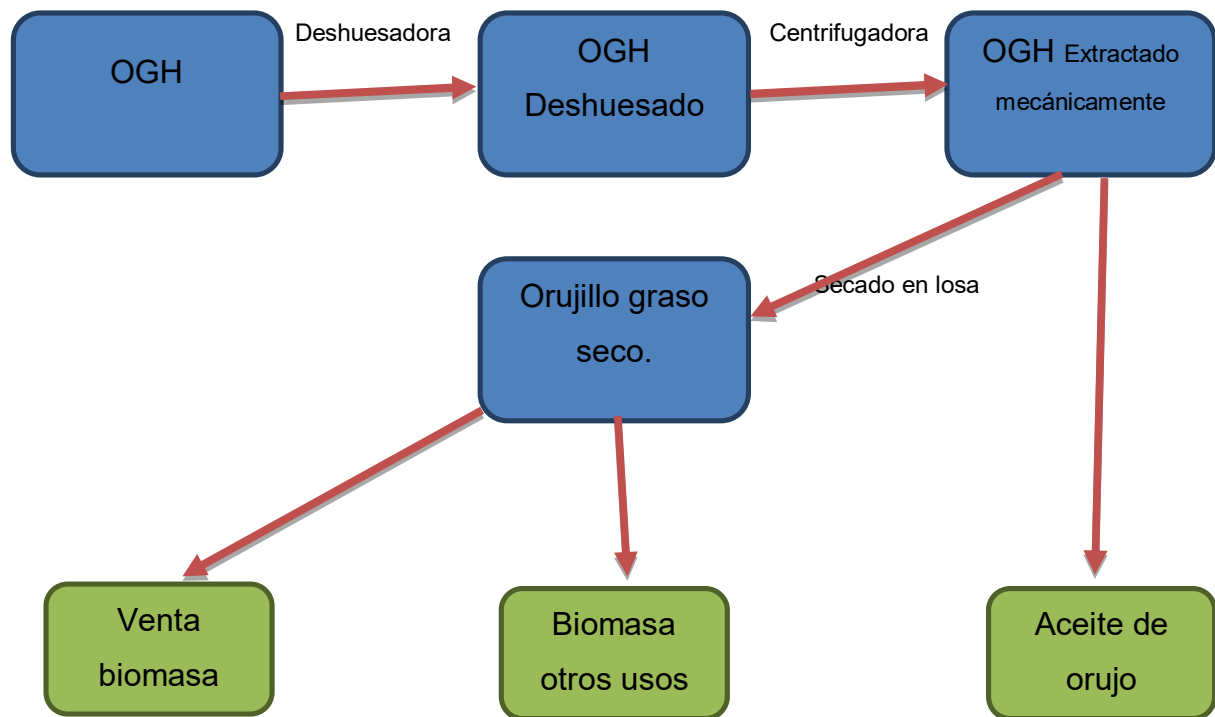
Previamente al denominado repaso del orujo graso húmedo (en adelante OGH) se extrae parte del hueso que aún conserva después de una primera separación en origen en la almazara, evitando así dañar en exceso la maquinaria de centrifugado (repaso).



Imagen 5. Detalle del equipo separador de hueso. Fuente BIOLIZA.

Después del proceso de separación del hueso, el OGH se vierte a una balsa de gran capacidad.

Seguidamente se procede a centrifugar el OGH hasta dos veces para extraer la mayor cantidad posible de aceite por medios mecánicos. A la salida, se obtiene un orujo graso húmedo al 65%.



Esquema de proceso de la orujera analizada. Fuente elaboración propia



Imagen 6. Balsa de orujo y nave de repaso. Fuente BIOLIZA.

La empresa cuenta en sus instalaciones con un sistema de secado natural de OGH, el cual se lleva a cabo mediante su extensión en una superficie hormigonada, basado en el aprovechamiento de la radiación solar y el viento. El proceso es altamente ineficiente en términos de humedad final y requiere tiempos elevados de secado e importantes extensiones de terreno.

Este OGH que va a secado aún conserva una parte de grasa que podría ser extraída químicamente mediante el empleo de hexano de forma controlada. En este caso, el OGH no se lleva a extractar debido a los elevados costes de transporte, directamente se somete a secado natural para la generación de un subproducto denominado orujo seco y graso u orujillo, que será la materia prima empleada para la gasificación.



Imagen 7. Losa de secado de OGH. Fuente BIOLIZA

Actualmente, la empresa procesa 40.000 toneladas de OGH al año, de las cuales el 70% es agua. Después de todos los procesos realizados (separación de hueso y repaso), el OGH que va a secado tiene un 56-62% de humedad. Una vez

seco se dispone de unas 16.000 toneladas anuales de subproducto seco (orujillo), que contiene entre el 12 y el 15% de humedad. El orujillo que se obtiene del secado, tiene un bajo valor en el mercado. La empresa comercializa una pequeña parte del producto obtenido a un precio de unos 17 €/t. El resto (aproximadamente el 90%) lo utiliza como fertilizante para los cultivos olivareros de la zona, directamente aportado al suelo a coste 0.

El producto seco ha sido sometido a un análisis realizado a una muestra enviada a un tecnólogo de sistemas de gasificación (ANEXO I) para someterlo a una primera caracterización físico-química. Los resultados se recogen en el cuadro siguiente:

% humedad muestra	7,07 %
% cenizas en base seca	9,38 %
Densidad	580 kg/m ³
Tamaño partículas	
> 3mm	20,48%
< 3mm	79,52 %
Poder Calorífico Inferior	4.192 kcal/kg

Tabla 1: Análisis orujillo.

Con estos datos, se pone de manifiesto la excelente calidad del orujillo como biocombustible, debido a su alto poder calorífico, su bajo contenido en agua y su elevada densidad, entre otras variables. Los resultados además apuntaban que gasificaba bien, lo que unido a su escaso valor en el mercado lo convierten en un combustible ideal para trabajar en sistemas como el que se está abordando en el presente TFG.

En cuanto al consumo de energía eléctrica de la industria, uno de los problemas a los que se enfrenta es la ausencia de un punto de conexión a la red eléctrica, lo que dificulta y encarece enormemente todo el proceso de extracción y procesado del orujo.

Para solventarlo, actualmente cuentan con un generador diésel de 500 kVA, lo cual, tanto desde el punto de vista económico como ambiental, es absolutamente

inviabile e ineficiente. Además, no usa todo el potencial del generador, solo consume unos 200 kW para el desarrollo de su actividad productiva.

Los costes de mantener dicho generador son los asociados al consumo de 100.000 litros de Diésel C, con un precio medio de 0,91 €/l. Es decir, 91.000 € al año aproximadamente. La empresa tiene previsto adquirir un nuevo equipo de centrifugación de 3 fases (el actual es de 2), que demandará más potencia eléctrica, por lo que se le hace cada vez más indispensable encontrar una solución a este problema.

Actualmente, está pendiente de concesión un punto de conexión de 630 kVA con ENDESA, que serviría tanto como punto de toma de corriente como de punto de evacuación de ser necesario.

A partir de todo lo anterior, se dispone de las principales magnitudes técnicas del proyecto de cara a su optimización. El objetivo es eliminar el generador diésel y la caldera que actualmente tiene en uso mediante combustión de orujillo, reduciendo los elevados costes de producción y haciendo que su producto sea más competitivo y su proceso en general más eficiente.

Para ello, se va a utilizar la tecnología de gasificación, que emplee la materia prima disponible (orujillo) como combustible, generando un mayor valor añadido para el subproducto, tal y como se ha comentado.

4.2. Elección de la tecnología

Una de las diferentes alternativas para la valorización energética de la biomasa generada en el sector oleícola, es la gasificación porque, tal y como se ha comentado, permite la generación de un gas el cual, una vez tratado, puede ser introducido en un motor de combustión interna alternativo para la producción combinada de energía eléctrica y térmica (cogeneración).

La gasificación consiste en la conversión de un combustible generalmente sólido (biomasa en este caso) en otro de naturaleza gaseosa (gas de síntesis). Para llevar a cabo este proceso, es necesario garantizar una serie de condiciones de

operación, así como unos requisitos previos del biocombustible. Por ejemplo, un nivel bajo de oxígeno, una granulometría del combustible homogénea (entre 2-20mm), un porcentaje de humedad relativamente bajo (entorno al 20-25%), un flujo constante y suficiente de combustible, etc.

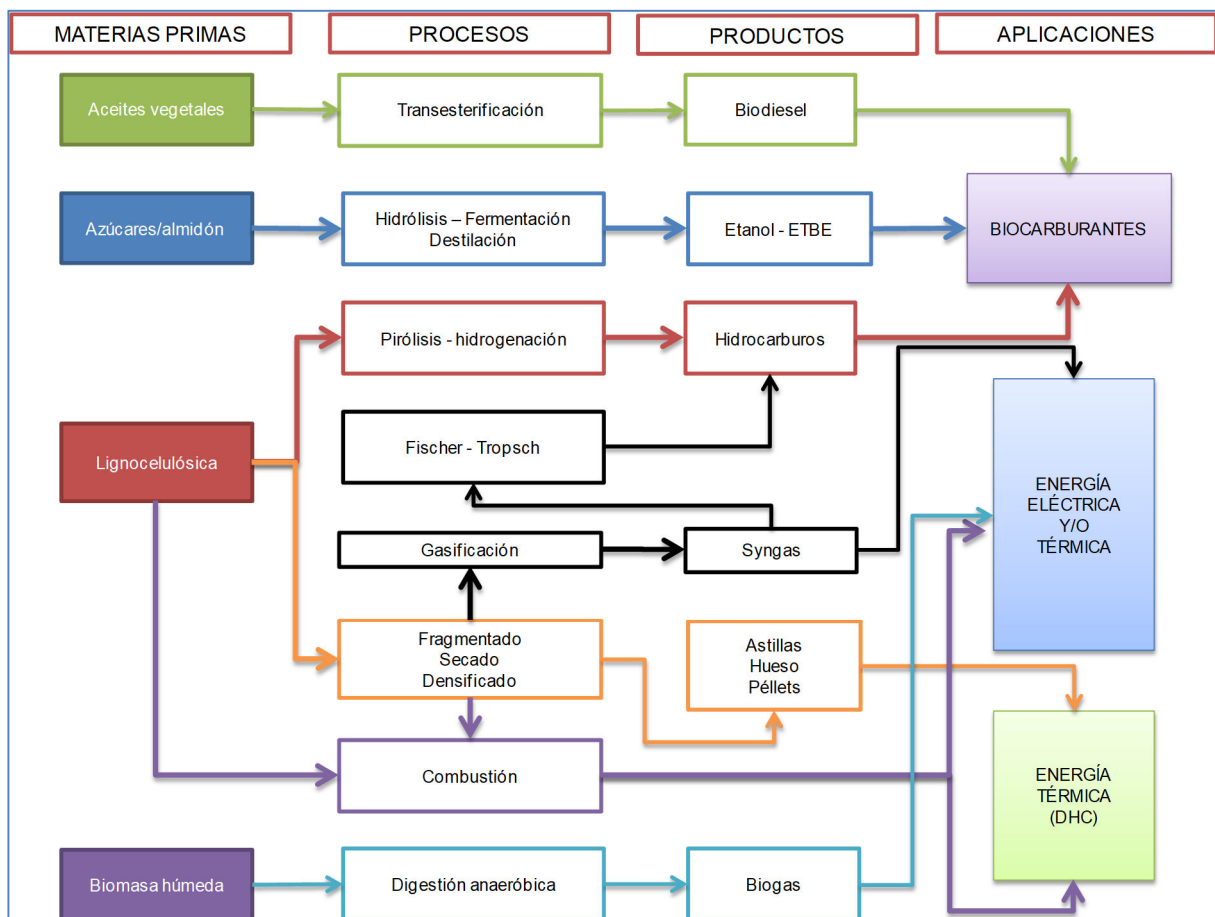


Imagen 8. Procesos de conversión de biomasa, productos obtenidos y aplicaciones. Fuente BIOLIZA

En el mercado existen distintos tipos de gasificadores:

- De lecho móvil, que a su vez puede dividirse en función de cómo circule el agente gasificante (puede ser aire, vapor o incluso hidrógeno) en dos tipos; DownDraft, si el gasificante fluye en el sentido del flujo de combustible o “a favor de la corriente” o UpDraft, si fluye en sentido contrario o a “contracorriente”.

- De lecho fluidizado por su parte, el gasificante mantiene en suspensión al combustible hasta que el mismo gasifica. También es llamado de “lecho burbujeante”.

La elección del tipo de gasificador depende de la potencia requerida por el proceso. Por ejemplo, los gasificadores tipo lecho móvil (“updraft” y “downdraft”) son usados para potencias bajas (<10MW) y los de lecho fluidizado son más apropiados para potencias intermedias (5-100 MW).

El tipo “downdraft” es un reactor que trabaja en paralelo, donde el aire entra a cierta altura por encima del fondo. La fase gas fluye hacia abajo y abandona el gasificador por la parte inferior, del mismo modo que la fase sólida. Diferentes esquemas del “downdraft” se pueden ver en la siguiente figura.

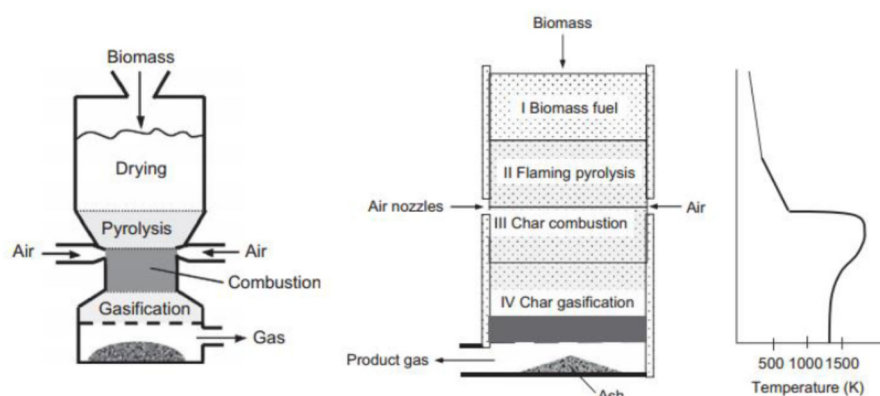


Imagen 9. Esquema gasificador tipo Downdraft

El funcionamiento del “downdraft” comienza con el secado, donde la biomasa alimentada en esta zona alcanza la suficiente temperatura para evaporar la humedad que contiene. A continuación, se produce la pirólisis de la biomasa, donde se liberan gases condensables, no condensables (alquitranes) y se forma el carbonizado (“char”). A partir de aquí, se inyecta aire para poder producir la combustión que proporcionará la energía necesaria para las dos etapas anteriores y la gasificación posterior.

El aire que entra por las boquillas fluye hacia abajo y se encuentra con las partículas de carbonizado generadas en la zona de pirólisis, produciendo en la siguiente zona la combustión de una parte del “char” generado. Esta zona del gasificador produce la energía térmica necesaria para el resto de zonas. A continuación, el gas desciende a través del lecho caliente de partículas de carbonizado, gasificándolas. Las cenizas producidas abandonan el gasificador, junto con el syngas producido, por el fondo del gasificador.

Quizás el mayor de los beneficios del “downdraft” sea la baja producción de alquitranes, 15mg/Nm³. Puesto que los gases de pirólisis pasan a través de la zona más caliente, los alquitranes formados se encuentran en condiciones favorables de sufrir un craqueo térmico. Por este motivo, el gasificador “downdraft” es el que menor cantidad de alquitranes produce. Así, se convierte en el tipo idóneo para trabajar junto con motores de combustión interna, cuyos gases necesitan una previa limpieza.

Una variación del proceso es que se pueden aplicar diferentes agentes gasificantes, lo que produce ligeros cambios en el gas de síntesis resultante, variando éste su poder calorífico y su composición. Así, si se emplea aire como gasificante, el gas obtenido resulta adecuado para utilizarlo en motores de combustión interna, mientras que, si se utiliza hidrógeno, el gas resultante, posee un elevado poder calorífico pudiendo incluso servir como sustituto del gas natural. El caso intermedio, es si se usa vapor de agua como agente gasificante que generaría un gas con poder calorífico superior al generado por aire, que podría usarse para producir metanol o gasolina sintética. Lo más habitual y económico es utilizar aire como agente gasificante.

En función de las propiedades de la biomasa que se introduzca en el sistema, se obtendrán también unos gases con variable poder calorífico. Para el caso que ocupa este estudio, utilizar orujillo, tendría un gas resultante con poder calorífico aproximado de 1.050 kcal/Nm³.

Este gas presenta la siguiente composición aproximada:

CO - $17 \pm 2\%$ H₂ - $14 \pm 3\%$

CO₂ - $14 \pm 3\%$ CH₄ - $< 3\%$

O₂ - $< 1\%$ N₂ – Resto

Fuente: ANKUR Scientific

Un factor importante a tener en cuenta a la hora de diseñar una planta de gasificación de biomasa, es el tamaño de partícula de la misma. En este caso, el orujillo tiene aproximadamente un 80% de finos con tamaño inferior a 3mm. En el caso del sistema de gasificación de lecho fluido no habría ningún problema, ya que la biomasa se encuentra en suspensión con el agente gasificante para llevar a cabo el proceso. Sin embargo, en los gasificadores de tipo DownDraft o UpDraft, habría que aglomerar la biomasa más fina para optimizar el proceso. Una posible solución a este problema sería utilizar una máquina de peletizado que consiga compactar un poco el combustible y generar un tamaño de grano óptimo para su procesado en el gasificador.

La elección de uno u otro tipo de sistema de gasificación, vendrá determinado por el factor económico. Para ello, se han buscado diferentes proyectos ejecutados en materia de biomasa y gasificación. Los dos proveedores más importantes que se han podido encontrar y, además, tecnólogos en materia de gasificación, son EQTEC y ANKUR SCIENTIFIC. El primero, diseña plantas de gasificación “llave en mano” con el sistema de lecho fluido, especialmente indicado para potencias de más de 2 MW_e. Tiene varias plantas en funcionamiento actualmente en España como la planta propiedad de MOVIALSA en Campo de Criptana en Ciudad Real de 6 MW de potencia. El precio de sus proyectos “llave en mano” para una planta de gasificación que genere una potencia de 1 MW es de aproximadamente 6 millones de €.

ANKUR por su parte, posee más de 60 referencias de plantas de gasificación de menos de 1 MW de potencia en el sureste asiático en países como Camboya, Indonesia, etc. También tiene plantas en Colombia, Cuba, Reino Unido o Turquía. Sus equipos, están pensados para gasificar casi cualquier tipo de biomasa

debidamente preparada para cumplir con un mínimo de tamaño de grano. En el diseño de sus plantas, emplean sistemas de tipo DownDraft, acordes con bajos consumos de biomasa y generación de potencia bajos. El presupuesto “llave en mano” de sus plantas de gasificación, para una potencia de 1MW es aproximadamente 3 millones de €.

En cuanto a consumo de biomasa, el sistema de EQTEC tiene un consumo aproximado de 1 tonelada/hora para 1 MW de potencia mientras que el sistema de ANKUR tiene un consumo algo mayor, de 1,35 toneladas/hora. Teniendo en cuenta el precio actual medio del orujillo de 20 €/t, supone una diferencia de 7 €/h del sistema de ANKUR respecto al de EQTEC. En un año, considerando que ambos trabajan un promedio de 7500 horas (especificado en ambas ofertas económicas), la diferencia es de 52.500 €.

Una vez analizados los datos proporcionados por ambos proveedores, se selecciona el sistema de ANKUR, ya que su precio es 3 millones de euros inferior al de EQTEC, aun a pesar de que su consumo sea mayor. No es suficiente la diferencia de coste de combustible para justificar la elección del sistema EQTEC. La tecnología de producción de ambos es similar, variando únicamente el tipo de gasificación.

4.3. Descripción tecnología elegida

Teniendo en cuenta las especificaciones de la empresa para la que se ha realizado el análisis, se ha solicitado información al proveedor de una planta que proporcione 630 kW, para así cumplir con las demandas energéticas de la misma. Además, se ha considerado el consumo de la planta para que el combustible disponible no fuese un limitante en el diseño.

La tecnología de ANKUR, tiene la capacidad de emplear un amplio rango de biomasa de distinto origen (cascarilla de arroz, astilla forestal, gallinaza, etc.), lo que le confiere un alto grado de robustez. El orujillo por su parte, no es una biomasa excesivamente sucia o problemática en cuanto a su uso en este tipo de sistemas

más allá de la generación de cenizas, para lo cual el proceso de ANKUR tiene previsto un sistema de extracción automático.

Además de lo anterior, el diseño de la planta consta de las siguientes partes:

- Sistema de alimentación:
 - Sistema de peletizado
 - Sistema de cribado de finos
 - Sistema de elevador de cangilones
- Sistema de gasificación:
 - Gasificador ANKUR
 - Torre de enfriado
 - Sistema de evaporador de condensado
 - Sistema de filtrado y limpiado del gas
- Sistema motogenerador:
 - Set de motores 2 x 400 kW

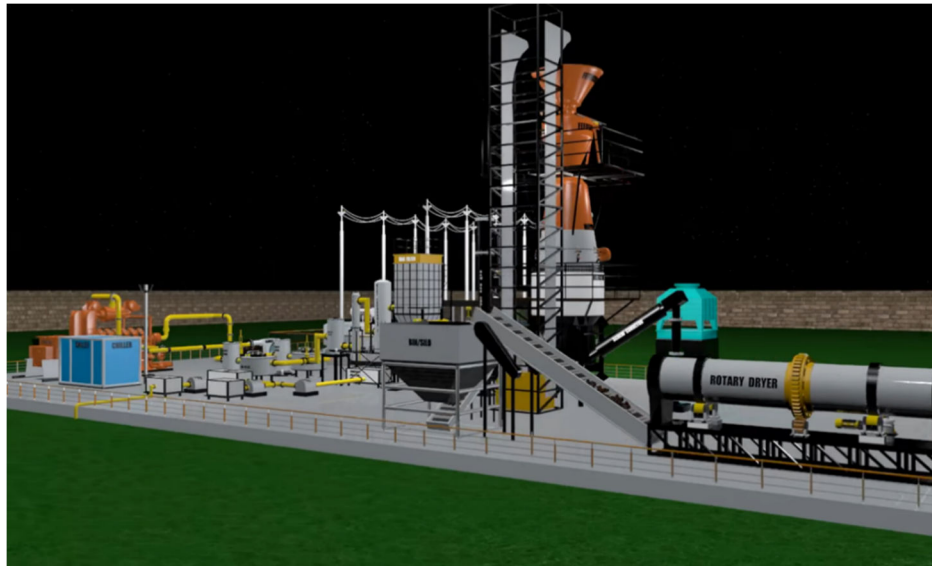


Imagen 10. Gasificador de ANKUR. Tipo Downdraft. Fuente BIOLIZA

Una vez entregado el proyecto “llave en mano” y puesto en funcionamiento, la planta entrega una potencia de 800 kW brutos en un set de 2 motores de 400 kW cada uno y una energía térmica aprovechable de 536 kW_t, en forma de agua caliente a 90°, proveniente de las camisas de refrigeración y gases de escape del set de motores a 450-500°C.

Para alcanzar este régimen de trabajo, la planta consume 950 kg/h de orujillo peletizado, y un 15% de la energía generada, es decir, 120 kW para su propio funcionamiento y 50 kW en la alimentación del sistema de peletizado, entregando 630 kW netos.

Este proveedor, también ofrece la posibilidad de utilizar el syngas generado como combustible en un quemador de gas para procesos térmicos tales como el secado industrial, la climatización de grandes superficies u otros similares, etc. Para este uso, solo habría que cambiar los motores por un horno de quemado de gas con intercambiador de calor en función de la actividad a la que se destine dicha energía.



Imágenes 11 y 12. Vistas 3D del diseño de la planta. Fuente ANKUR

4.4. Realización de cálculos. Dimensionado

Partiendo de los datos proporcionados por la empresa, se han realizado los cálculos necesarios para el dimensionado óptimo de una planta de gasificación con cogeneración. Para ello ha sido necesario analizar distintos tamaños de gasificadores proporcionados por ANKUR, analizando y estudiando datos de consumo y producción para cada uno de ellos, así como diferentes tipos y tamaños de peletizadoras.

El resultado del estudio previo ha sido la obtención de una formula empírica única que permite conocer la potencia que entrega la planta en función de únicamente la cantidad de biomasa que entra al sistema, partiendo previamente del valor de su poder calorífico inferior (4.192 kcal/kg). De esta forma, sería necesario un flujo de biomasa de 950 kg/h. Teniendo en cuenta que el 80% de la entrada tiene un tamaño inferior a 3mm, se tendría que peletizar previamente, por lo que habría que hacerlo a un ritmo de 750 kg/h aproximadamente. Con estos inputs, el sistema estaría en condiciones de proporcionar 630 kW netos en bornes del alternador.

En cuanto al tiempo de servicio anual, el fabricante garantiza un funcionamiento de 7.500 horas casi sin mantenimiento más allá de extraer cenizas, limpiar la zona y aplicar engrasantes y lubricantes cuando sea necesario. Una vez al año se realizará una parada de unas 800 horas en las que se limpiará y desmontará el sistema y se sustituirán algunas piezas de acuerdo con las indicaciones del manual de mantenimiento proporcionado por el proveedor. Los motores tendrán su revisión (overhaul) a las 25.000 horas de funcionamiento, por lo que no sería necesario hacer este mantenimiento hasta pasados casi 4 años desde el momento del inicio o puesta en marcha de la planta.

Durante las 7500 horas, la planta cubrirá la demanda de potencia de la empresa, que se ha estimado en 500 kW una vez realizados los cambios previstos para aumentar su productividad. La empresa asegura que su planta de extracción de aceite de orujo estará en funcionamiento alrededor de 3.000 horas al año a pleno rendimiento, por lo que consumirá 1.500.000 kWh.

El precio medio de la energía eléctrica para este tipo de consumos y potencias es 0,108 €/kWh (Fuente ENDESA).

La planta por su parte, puede entregar 630 kW de potencia continuos durante 7.500 horas, por lo que podrá cubrir la demanda de la industria y aún le quedarán 3.225.000 kWh para exportar a la red, a un precio de compra de 0,052 €/kWh, según el pool actual.

Además, arroja aproximadamente 536 kW térmicos de potencia entre el agua caliente a 90°C y los gases de escape a 450-500°C, que podrán sustituir la caldera actual de hueso de aceituna de 300 kW de potencia, que tiene un consumo de aproximadamente 70 kg/h (Dato proporcionado por la empresa), es decir, 210 toneladas al año.

Con el calor restante, se podrá alimentar a una planta de secado de hueso (1.200 kg/h) para incrementar su valor añadido al ofrecer la posibilidad de venderlo ensacado en diferentes formatos, con una calidad excelente, ya que su contenido en humedad será mínimo (inferior al 10%) y su limpieza (restos de pulpa y finos) óptima.

El consumo anual de orujillo de la planta, teniendo en cuenta todo lo anterior, será de aproximadamente 7.150 toneladas.

Una vez realizados los cálculos básicos previos, se dimensiona la planta para asegurar el cumplimiento de los objetivos materializados en ellos.

- Planta gasificación ANKUR. Consumo máx. 1250kg/h. min. 625 kg/h
- Tamaño planta: 793 m². (61m x 13m)
- Peletizadora. Producción máx. 1000 kg/h. Consumo 50 kW.

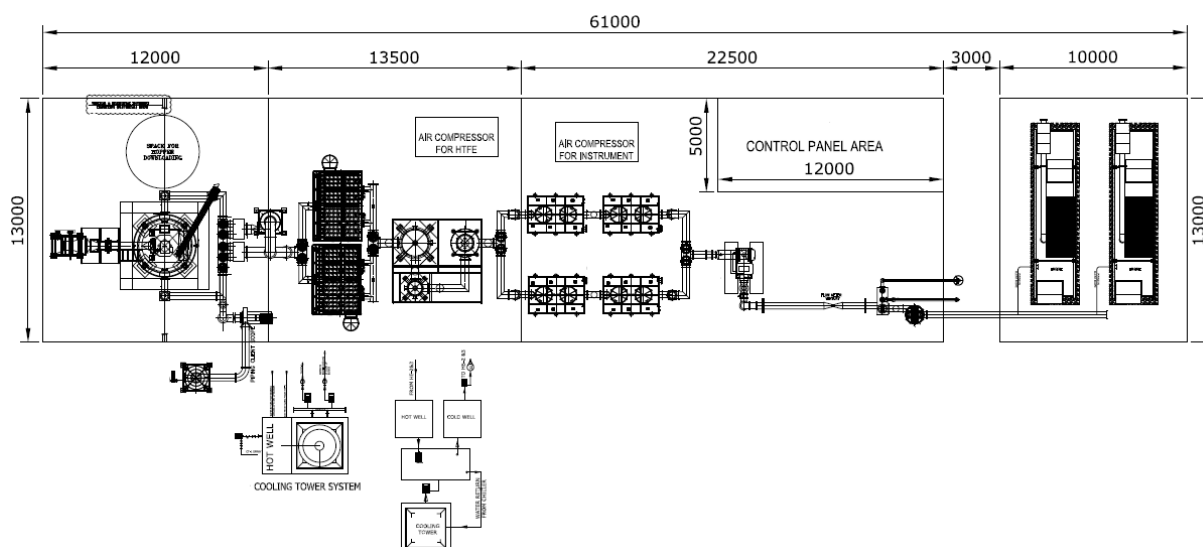


Imagen 13. Distribución en planta del sistema de gasificación. Fuente ANKUR

Para el dimensionado, se han tomado como referencia los catálogos de los proveedores ANKUR, STELA y AFAU, facilitados por los mismos.

4.5. Otras consideraciones

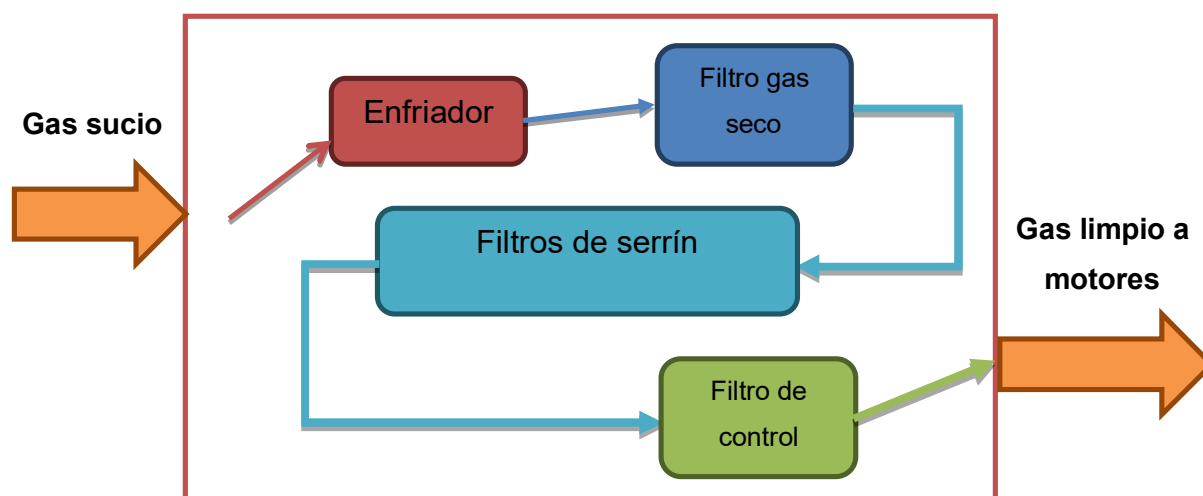
A la hora de realizar el diseño de la planta, se detectó la posibilidad de fallo en los motores debido a la “suciedad” del syngas resultante del proceso de gasificación. Con este motivo, el proveedor proporcionó una solución con garantías. En el diseño de su planta, incorpora un sistema de filtrado y limpieza que asegura que el gas llega con total ausencia de partículas o alquitranes.

Se pueden diferenciar dos elementos que participan de forma activa o pasiva en la limpieza del gas:

- **Gasificador con diseño para craqueado de alquitranes.** Ha sido diseñado especialmente con el tamaño y la geometría adecuados de la garganta para garantizar una rotura casi completa de los alquitranes en el gasificador. Por lo tanto, el gas caliente que sale del sistema generalmente no contiene alquitranes.

- **Sistema de limpieza de gas seco.** El sistema esencialmente enfría el gas usando un intercambiador de calor. Luego pasa a través de un filtro de tela. El filtro de tela elimina la mayor parte de las partículas y los alquitranes del gas. Después de esto, pasa a través de un filtro de serrín, compuesto por varios filtros de serrín en serie, donde quedan atrapadas el resto de partículas y/o alquitranes que aun pueda contener el gas. Por último, el syngas atraviesa un filtro de cartucho de plisado para asegurar que las partículas que aun puedan arrastrarse con el gas y no se hayan atrapado en las fases anteriores del sistema de limpieza, se detengan en este punto. El syngas que sale del filtro de control generalmente tendrá un nivel total de partículas y alquitrán de menos de 5 mg por Nm³ de gas.

De esta forma, el proveedor garantiza la ausencia de partículas que puedan dañar los motores



Respecto a las emisiones de los motores, ANKUR garantiza que cumple con la normativa vigente en Europa. Para ello, ha certificado sus motores en AVL Austria, referente mundial en el desarrollo de motores de combustión interna alternativos. Los niveles de emisiones según un informe enviado por ellos (Anexo II), no superan los 230 mg/Nm³ de NO_x, el cual es el más restrictivo de todas las emisiones contempladas. Además, en emisión de Hidrocarburos, no se superan los 50 mg/Nm³.

Analizando más focos de emisión de posibles contaminantes a la atmosfera, se tienen los evaporados. Como resultado del enfriamiento que sufre el gas de forma forzada al salir del gasificador, se producen una serie de condensados que, para su eliminación, se proceden a evaporar con el calor extraído al gas. Las emisiones que se producen en el evaporador de condensados son en un 99,99% agua. También contiene otros elementos como partículas en suspensión con un valor inferior a 3,2 mg/m³ o SO₂ con 2,08 ppm. El análisis de dichas emisiones ha sido proporcionado por ANKUR y realizado por Max-Well Engineers con sede en Baroda, India. (Anexo III).

En cuanto al estado de la biomasa que se va a utilizar para alimentar el gasificador, se va a considerar que se encuentra conforme a los estándares requeridos para su uso en estos equipos, esto es, con una humedad del 15% o inferior, aun manteniendo el contenido en finos del 80%.

5. Resultados

A continuación, se van a analizar los diferentes elementos económicos que intervienen en el normal desarrollo del proyecto para conseguir optimizar todo el proceso y lograr que el sistema productivo de la empresa que está siendo objeto de estudio en el presente trabajo, alcance sus cotas óptimas desde el punto de vista energético, ecológico y económico.

5.1. Inversión

Para la ejecución material de la propuesta analizada en este trabajo, se necesitará de una inversión aproximada de 2.000.000 €. En este se incluyen las siguientes partidas:

- Gasificación: Todo lo concerniente a la planta de gasificación.
- Obra civil: Diseño y construcción de las naves necesarias.
- Otros costes: Certificados, estudios, permisos, redacción de proyectos, etc.

Id.	Concepto	Cantidad
01	Gasificación (llave en mano)	1.700.000 €
01 01	Gasificador + motor	1.200.000 €
01 02	Peletizadora (incluido transporte y montaje)	300.000 €
01 03	Transporte	50.000 €
01 04	Montaje	50.000 €
01 05	Supervisión y puesta en marcha	100.000 €
02	Obra civil	150.000 €
02 01	Proyecto nave para gasificación	150.000 €
03	Otros Costes	150.000 €
05	Total proyecto	2.000.000 €

Todos los datos, han sido proporcionados directamente por los proveedores de los equipos tanto de gasificación como de secado, peletización, etc., mediante el envío previa solicitud, de ofertas comerciales con las características establecidas para este proyecto en concreto.

Para este tipo de proyectos, la Agencia Andaluza de la Energía tiene abierta hasta 2020 una línea de incentivos procedentes de fondos FEDER y de la Junta de Andalucía, a través de los cuales se pueden otorgar hasta 1 millón de euros a proyectos que desarrollen iniciativas de carácter energético de este tipo (gasificación y cogeneración).

Con estos incentivos, se concede hasta el 40% de la inversión del proyecto con un límite máximo de 1 millón de euros. Es decir, en este caso, dispondríamos de 800.000 € a fondo perdido, que reducirían la inversión hasta 1.200.000 €. Esto contribuye notablemente a la mejora de las condiciones de recuperación de la inversión y por lo tanto a la mejor rentabilidad del proyecto.

5.2. Ingresos

Una vez desarrollado el Proyecto y puesto en funcionamiento todo el sistema, se estarían generando una serie de ahorros directos por consumo de energía tanto térmica como eléctrica. En cuanto al ahorro por dejar de consumir energía eléctrica de la red, con un consumo aproximado de 1.500.000 kWh a un precio de 0.108 €/kWh, se tendrían 162.000 € al año. En cuanto a energía térmica, el aporte de 300 kW térmicos, supone actualmente unas 210 toneladas de hueso con un precio de 100 €/t, por lo que el ahorro sería de 21.000 € al año. Todo ello sin contar con el ahorro que se produciría en el secado de hueso con el calor restante.

Además del ahorro, se obtendrían ingresos por la venta del excedente de energía eléctrica de 3.225.000 kWh a un precio de 0,052€/kWh. En total unos 167.700 € al año en ingresos por venta de energía eléctrica. El funcionamiento de la planta, permitiría producir 24 toneladas diarias de hueso de aceituna con un valor de 120 €/t, por su estado de limpieza y secado excepcionales. Esto se traduciría en

3.000 t de hueso, que generarían unos ingresos de 360.000 € al año, pudiendo tener capacidad para incrementar la producción hasta 7.500 toneladas al año.

Otro ingreso, podría ser el procedente de la venta de un subproducto generado en el proceso de gasificación, el llamado “biochar”. Este elemento es un concentrado de carbón resultado del proceso de pirolisis que tiene un poder calorífico cercano a 7500 kcal/kg. Además, puede usarse para filtros de carbón activo, como aporte al suelo para retener líquidos, para limpiar suelos contaminados, etc. Todos estos usos están aún en investigación. Considerando solo su oportunidad como combustible, se tendrían unos 200 kg/h de este subproducto, es decir, 1.500 toneladas al año. Podría tener un precio en mercado de 200 €/t debido a su alto poder calorífico, pero ante la ausencia de información al respecto, se ha optado por no considerar este dinero como ingreso sino más bien mencionar un posible aprovechamiento futuro del recurso en cuestión.



Imagen 14. Biochar. Fuente ANKUR

5.3. Resultados en emisiones

En cuanto a los resultados de las emisiones, cabe destacar que no se producen emisiones de CO₂ a la atmosfera, ya que se considera que, al utilizar biomasa, el ciclo del carbono se cierra y cada molécula que es emitida en el proceso, es absorbida por el olivo en este caso, contribuyendo así a una economía verde con huella de carbono muy baja.

El uso de orujillo como biocombustible, permite mejorar la economía del agricultor, ya que se da valor a algo que normalmente se considera un residuo. Por ello, un beneficio asociado a este proyecto es la creación de economía circular en la que todo se aprovecha para maximizar y optimizar, en este caso, el cultivo del olivar y por ende la producción del sector oleícola.

5.4. Análisis de rentabilidad

Una vez determinados los ingresos y gastos asociados al proyecto, a continuación se muestran las principales magnitudes económicas.

Para empezar, se ha calculado el “payback” de la inversión. Teniendo en cuenta la inversión inicial y el total de ingresos generados anualmente menos los gastos, que son los que cuesta el orujillo principalmente (perdida de oportunidad de venta) y los de operación y mantenimiento de la instalación. Esto es:

Inversión (sin incentivo): 2.000.000 €

Inversión (con incentivo): 1.200.000 €

Ingresos: 162.000 € + 21.000 € + 360.000 € = 543.000 €

Gastos: 7.150 ton x 17€/t = 121.550 € + 60.000 € = 181.550 €

Diferencia Ingresos-gastos: 361.450 €

Una vez determinados los datos necesarios, los resultados son los siguientes:

Payback (sin incentivo): 5,53 años

Payback (con incentivo): 3,32 años

Para el cálculo del TIR, se han tenido en cuenta 15 periodos y además se ha determinado que los ingresos sean constantes en el tiempo, aunque se podría haber considerado que se incrementaban de un año a otro, para de esta forma mantener un escenario más neutral. El flujo de caja de los 15 periodos es el siguiente:

Periodo	Cash Flow
0	-2.000.000 € -1.200.000 €
1	361.450 €
2	361.450 €
3	361.450 €
4	361.450 €
5	361.450 €
6	361.450 €
7	361.450 €
8	361.450 €
9	361.450 €
10	361.450 €

11	361.450 €
12	361.450 €
13	361.450 €
14	361.450 €
15	361.450 €

Los resultados obtenidos para el cálculo de la TIR son:

TIR (sin incentivo): 16,17%

TIR (con incentivo): 29,51%

Para el cálculo del VAN, se ha considerado un interés de referencia del 8% y el mismo flujo de caja que para el cálculo de la TIR, así como el número de periodos. Los resultados de este cálculo son los siguientes:

VAN (sin incentivo): 1.013.592,15 €

VAN (con incentivo): 1.754.332,89 €

6. Conclusiones

Una vez terminado el estudio sobre la implantación de un sistema de gasificación para cogeneración de energía térmica y eléctrica en una industria del sector oleícola, se pueden extraer las siguientes conclusiones a modo de resumen:

- Es un proyecto innovador, susceptible de ser incentivado económicamente.
- Es rentable en términos económicos, a pesar de conllevar una inversión importante.
- Permite reducir costes para la industria, así como nuevos ingresos, lo que contribuye de manera directa a la obtención de períodos de retorno relativamente atractivos.
- Es un proyecto financiable porque está basado en la economía circular, además de generador de empleo neto en el medio rural, tanto directo como indirecto.
- Es un proyecto sostenible en tanto que utiliza una energía de origen 100% renovable como la biomasa, a la vez que reduce los niveles de emisión a la atmósfera, de acuerdo a la legislación vigente.
- Genera valor añadido para un subproducto el cual actualmente no goza de buenas expectativas de mercado.
- Desde un punto de vista estratégico, resuelve un problema para la industria, que de otra manera tendría que seguir secando de manera natural (ineficiente) o, por el contrario, enviar el OGH hasta la extractora más cercana con los consiguientes costes económicos y ambientales. Además, podría incrementar su nivel de actividad gestionando el OGH de otras almazaras de su entorno (nuevas líneas de negocio)

Tal como se ha visto en el estudio, la viabilidad económica queda demostrada por el análisis de variables como el payback, el VAN y la TIR. Incluso sin contar con el incentivo de la Agencia Andaluza de la Energía los resultados son bastante favorables, ya que la TIR por ejemplo es del 16,17 % y su payback de 5,53 años. Esto indica que llevar a cabo la inversión necesaria para el desarrollo del proyecto es una decisión acertada, ya que en menos de 6 años se habrá recuperado el dinero invertido.

En cuanto a la creación de empleo, para el funcionamiento de los sistemas de la planta, es necesario el trabajo de 4 operarios en turnos de 8 horas, (2 en el turno de noche). De esta forma, se crearían 4 puestos de trabajo fijos. Además, estos empleados serían los encargados de realizar el mantenimiento e incluso la parada anual de 800 horas.

Al emplear una tecnología limpia que utiliza biomasa como combustible y que produce emisiones por debajo de la legislación vigente, la imagen de la empresa se ve beneficiada, proporcionando a posibles clientes una proyección de empresa verde, limpia, ecológica e inteligente. Esta a su vez, participa activamente con la sociedad ecológica actual en el cambio necesario para afrontar los problemas del cambio climático, al apostar por tecnologías limpias, eficientes y de carácter renovable.

Con respecto al combustible, el orujillo actualmente tiene un mercado limitado con un precio bajo (17€/t) incluido el coste de transporte, con lo cual, el beneficio de vender orujillo es de apenas 6-7 céntimos de euro. De esta forma garantiza el consumo de 7.150 toneladas al año a un precio equivalente de 32 €/t si se considera que toda la energía que genera se vende a la red. En términos de ahorro, tendría un valor equivalente de 64 €/t, suponiendo que toda la energía que se genera en la planta se consume en la industria, lo cual sería el caso ideal. Así, se alcanza el objetivo de rentabilizar el subproducto generado en el proceso productivo de las empresas oleícolas in situ, sin desplazamientos.

Desde el punto de vista económico, esta solución puede llegar a proporcionar un aumento en los beneficios de la empresa. Además, hace que sus precios de producción sean más competitivos, permitiendo bajar el precio de venta o bien mantenerlo y aumentar el margen de beneficio de su aceite de orujo extraído mecánicamente.

Otra ventaja que se extrae de este estudio es la total independencia de terceros a la hora de alimentar energéticamente las demandas de la empresa, ya que sería ésta la que produjese su propia energía, dejando de depender de la distribuidora eléctrica para su normal funcionamiento. Incluso se podría pensar en trabajar sin conexión a red, lo que se conoce como “en isla”. Esta última posibilidad,

no es tan rentable, pues no permite poner en la red el excedente de energía generada y obtener así una compensación económica por ello.

Se abre también una nueva oportunidad de negocio para este caso concreto, que es el secado del orujo. De esta manera podría ofrecer el servicio de recogida o aceptación del OGH de las almazaras de su zona, que en total tienen una disponibilidad de 80.000 toneladas, a un coste bajo por su cercanía. Así, podría aprovechar la instalación para ampliar su producción hasta 4.500 horas más, obtener más aceite de repaso y disponer de más biomasa para su venta a granel o incluso peletizado, o bien instalar otra planta gemela para su consumo in situ y valorizar así este recurso que proporciona beneficios importantes a la empresa.

Actualmente existe una problemática importante con el transporte del OGH desde las almazaras hasta las extractoras de aceite de orujo, debido a que el 70% del peso es agua. Esto genera numerosos problemas en las carreteras, así como grandes costes en la logística de este subproducto que podrían eliminarse o paliarse si se implantasen soluciones de este tipo.

La gasificación es una tecnología bastante desconocida en España, aun existiendo algunas instalaciones grandes para la generación de electricidad por toda la geografía nacional. Con este estudio se ha demostrado que existen soluciones a problemas comunes del sector oleícola con inversiones aceptables y que además proporcionan una serie de ventajas y beneficios importantes, basadas en esta tecnología. Optimizar sus procesos, requiere de ciertas inversiones, pero queda demostrado que se trata de inversiones rentables y que compensan los riesgos asociados.

7. Anexos

ANEXO 1. ANÁLISIS MUESTRA ORUJILLO



Ankur Scientific Energy Technologies Pvt. Ltd.

Physico-chemical Characterisation of Fuel Report

Serial No.: Ankur/R&D/Lab/18/17

DATE: 11/06/2018

Sample Name	Country of Origin	Receiving Date	Referred by
Olive Pomace	BIOLIZA , Spain	02.06.2018	Mr. Gunjan Patel

Parameters	Olive Pomace
Moisture Content on wet basis, %	7.07
Ash, % on dry basis	9.38
Volatile, % on dry basis	73.06
Fixed carbon, % on dry basis	17.56
Ash Fusion (°C)	Slight Deformation at 1100, No Ash Fusion at 1000
Bulk Density, kg/m ³	580
Size (in mm), >3 <3	20.48 79.52
Ignition test	Burns easily
Flow ability test	Flows easily
CV, kcal/kg (HHV)(on dry basis)	4192

Analyst: Manish Patel

Checked by: Dr. G. P. Nagori

Assessment:

Olive pomace has very high concentration (~80%) of fines <3mm. These fines need to be sieved out. Sieved material of >3 mm can be used in FBG based on overall properties. Alternatively all olive pomace can be palletized and used in FBG. Binding of pellets should be strong and pellets should not swell or start disintegrating within 180 seconds when submerged in water. Olive pomace normally has ash ~5-7%. Higher ash in the sample may be due to mixing of soil while handling. Care must be taken to avoid mixing soil so that overall ash remains <8%.

ANEXO 2: INFORME DE EMISIONES MOTOR 400 KW ANKUR



Energy Balance Exhaust gas and pollutant emissions

Enginge load	【 % 】	100
Theor. Composition of wet exhaust gas at 100% fuel gas combustion:		
NO	230 mg/Nm3	
O2	21000 mg/Nm3	
CO2	292576 mg/Nm3	
CO	625 mg/Nm3	
HC	50 mg/Nm3	
Emission		
CO	0.05 Vol%	
CO2	14.89 Vol%	
O2	1.47 Vol%	

ANEXO 3: INFORME CONTENIDO EVAPORACION COND.



MAX - WELL ENGINEERS

ENVIRONMENTAL CONSULTANTS & AUDITORS

101- 303, Gajanand Chambers, Makarpura Road, Baroda- 390 010.

TELE FAX : (0265) 2641581, 2635365 Email : maxwell_baroda@sify.com, maxwell_baroda@hotmail.com

STACK ANALYSIS REPORT

- Name of the Industry : Ankur Scientific Energy Technologies (P) Ltd.
Vadodara- Savli Road,
Near Village Gothada,
District: VADODARA.- 391 773
- Date of Sampling : 26th November, 2014
- Name of the Sample location: Biomass Gasifier Condensate Evaporation

Sr.No.	Parameter	Unit	Result
1.	Particulate Matter PM	mg/m ³	3.2
2	Sulphur Dioxide as SO ₂	ppm	2.08
3	Oxides of Nitrogen as NO ₂	ppm	0.0149
4	Ammonia as NH ₃	mg/m ³	B.D.L
5	Acid Mist	mg/m ³	B.D.L
6	Carbon Monoxide as CO	ppm	0.277
7	VOC	ppm	B.D.L

For MAX-WELL ENGINEERS

(Env. Chemist)

8. Bibliografía

Agencia Andaluza de la Energía (2013) “La biomasa en Andalucía”. Consejería de Empleo, Empresa y Comercio. Junta de Andalucía.

Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía (2010). “Potencial energético de los subproductos de la industria olivarera en Andalucía”

Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía (2008). “Potencial energético de la biomasa residual agrícola y ganadera en Andalucía”.

Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente. Junta de Andalucía. “Análisis de la incidencia de la supresión de la quema de residuos agrícolas sobre la reducción de emisiones de gases contaminantes en Andalucía”

Consejo Oleícola Internacional (2015). “Estudio internacional sobre costes de producción del aceite de oliva”.

Damián, Alain (2010). “La biomasa: fundamentos, tecnologías y aplicaciones”. AMV Ediciones y Mundi-Prensa.

De Juana, José María (2003). “Energías renovables para el desarrollo”. Thomson-Paraninfo.

Fernández Salgado, José María (2010). “Guía completa de la biomasa y los biocombustibles”. AMV Ediciones.

García Maraver, A. et al (2012). “Influence of the cellulose, hemi cellulose and lignin content on the thermal behaviour of residual biomass from olive trees”.

García Maraver, A. et al (2012). “Analysis of olive grove residual potential biomass for electric and thermal energy generation in Andalusia (Spain)”.

García-Maraver A., et al (2014). «Biomass pelletization : standards and production ». Wit Press.

La Cal Herrera, J.A. (2014). “Nuevo modelo de valorización de subproductos del olivar basado en la tecnología de gasificación integrada en almazaras”. Instituto de Estudios Giennenses.

La Cal Herrera, J.A. (2017). “Valorización energética de subproductos del olivar y sus industrias de transformación”. Fundación Caja Rural de Jaén.

Madrid Vicente, Antonio (2012). “La biomasa y sus aplicaciones energéticas”. AMV Ediciones.

Nogués, Sebastián, Fernando; García Galindo, Daniel y Rezeau Adelina (2010). “Energías renovables. Energía de la biomasa, Volúmenes I y II”. Pressas Universitarias de Zaragoza. Editorial Ochoa.

Pérez Serrano, Víctor M. (2011). Observatorio Económico de la Provincia de Jaén. Boletín número 74 de mayo de 2011. Monografía número 50. “Cadena de valor y viabilidad del olivar andaluza”.

Pastor Muñoz-Cobo, Miguel y Humanes Guillén, José (2010). “La poda del olivo, moderna olivicultura”. 6º edición. Junta de Andalucía.

Plataforma Tecnológica Española de la Biomasa, BIOPLAT (2012). “Plan de implementación a 2015 del sector español de la bioenergía”.

Sala Lizarraga, José María y López González, Luis María (2002). “Plantas de valorización energética de la biomasa”. Editorial Ochoa.

Sanz Cañada, Javier et al (2012). “Investigación e innovación en el sector del aceite de oliva en España. Problemas, oportunidades y prioridades de I+D+i”. Instituto de Economía, Geografía y Demografía. Centro de Ciencias Humanas y Sociales. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Sjaak Van Loo y Jaap Kopppejan “The handbook of biomass, combustion and co-firing”.

Vilar, J. y Cárdenas R. (2012). “El sector internacional de elaboración de aceite de oliva. Un estudio descriptivo de los distintos países productores”. GEA Westfalia Separator Ibérica, S.A. Centro de Desarrollo y Competencia para Aceite de Oliva.

Vilar, J. et al (2010). “El patrimonio oleícola. Análisis desde la diversidad del conocimiento”. Grupo de Desarrollo Rural de Sierra Mágina, Jaén.
