

## MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

# TRABAJO FIN DE MÁSTER

### **<VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE LOS RESIDUOS GENERADOS EN LA OBTENCIÓN DE ACEITE DE OLIVA >**

<b>Estudiante</b>	<i>&lt;Gutiérrez, Gutiérrez, Javier&gt;</i>
<b>Director/Directora</b>	<i>&lt;De La Peña, Aranguren, Víctor&gt;</i>
<b>Departamento</b>	Máquinas y motores térmicos
<b>Curso académico</b>	<i>&lt;2019-2020&gt;</i>

*Bilbao, 15, 09, 2020*

## Resumen

Este proyecto se lleva a cabo con el objetivo de valorizar energéticamente el residuo producido en la elaboración de aceite de oliva virgen mediante una planta de biomasa. Para ello se empleará un ciclo Rankine en el que el combustible será el orujillo seco y extractado obtenido del aceite de extracción. Se incluirá una descripción detallada de la planta y su dimensionamiento, incluyendo además un estudio económico para cifrar la magnitud de un proyecto como este.

The goal of this Project is to value the waste produced in the elaboration of the olive oil by a biomass plant. To fulfill that, a Rankine cycle is needed in which the fuel is dried olive pomace obtained from olive oil extraction. A detailed description and sizing of the plant will be included. In order to figure out the size of a Project like this an economic análisis is attached.

Proiektu hau oliba olio birjina ekoizteko biomasa planta baten bidez ekoizten diren hondakinak energia berreskuratzeko helburuarekin egiten da. Horretarako, Rankinaren zikloa erabiliko da, eta erregai hori erauzteko oliotik lortutako oliba-lehor lehorra eta ateratakoa izango da. Lantegiaren eta haren tamainaren deskribapen zehatza jasoko da, halako proiektu baten magnitudea kalkulatzeko azterketa ekonomikoa ere barne.

## Palabras clave

Aceite de oliva, alperujo, orujillo seco y extractado, residuo, biomasa, ciclo Rankine.

# Índice

1. Introducción.....	6
2. Antecedentes.....	7
2.1 Aceite en Europa .....	7
2.2 Aceite en España .....	8
3. Objetivos del proyecto .....	10
4. Protocolo de Kioto .....	11
5. Descripción del proceso productivo .....	12
5.1 Obtención del aceite de oliva virgen .....	12
5.2 Obtención del aceite de extracción.....	18
5.3 Equipos principales.....	21
6. Problema medioambiental. Residuo generado.....	26
7. Valorización energética del residuo. Alternativas.....	27
7.1 Compostaje.....	27
7.2 Gasificación.....	29
7.3 Generación de energía eléctrica mediante ciclo Rankine .....	31
8. Alternativa seleccionada .....	34
9. Descripción de la planta de biomasa. Equipos principales .....	35
9.1 Zona almacenamiento .....	35
9.2 Isla de potencia.....	36
9.2.1 Caldera.....	36
9.2.2 Grupo turbina-alternador.....	45
9.2.3 Condensador.....	47
9.2.4 Desgasificador.....	47
9.2.5 Bombas .....	48
9.3 Edificios auxiliares.....	49
10. Dimensionamiento de la planta .....	50
11. Mantenimiento.....	56
12. Estudio económico .....	59
13. Cronograma .....	62
14. Bibliografía.....	65
Anexo I.....	66

## Índice ilustraciones

Ilustración 1 Países productores aceite de oliva .....	7
Ilustración 2 Producción de aceite de oliva en España .....	9
Ilustración 3 Almazara tradicional .....	12
Ilustración 4 Metodos de producción de aceite de oliva .....	15
Ilustración 5 Diagrama de flujo método dos fases .....	18
Ilustración 6 diagrama de flujo aceite de extracción .....	21
Ilustración 7 Molinillo de martillos.....	22
Ilustración 8 Batidora horizontal .....	22
Ilustración 9 Decanter .....	23
Ilustración 10 Vibrofiltro.....	23
Ilustración 11 Centrifugadora vertical .....	24
Ilustración 12 Depósitos aceite .....	24
Ilustración 13 Horno tipo Trómel .....	25
Ilustración 14 Proceso gasificación.....	30
Ilustración 15 Ciclo Rankine.....	32
Ilustración 16 Hogar de la caldera .....	37
Ilustración 17 Economizador .....	39
Ilustración 18 Ciclón .....	42
Ilustración 19 Filtro de mangas .....	43
Ilustración 20 Turbina.....	46
Ilustración 21 Grupo turbina-alternador .....	46
Ilustración 22 Esquema de la planta .....	50
Ilustración 23 Datos de partida .....	51
Ilustración 24 Caldera.....	51
Ilustración 25 Condensador.....	53
Ilustración 26 Bomba.....	53
Ilustración 27 Desgasificador.....	54
Ilustración 28 Presupuesto .....	59
Ilustración 29 Ingresos y gastos anuales .....	60
Ilustración 30 Balance económico.....	61

Ilustración 31 Tareas del proyecto .....	62
Ilustración 32 Diagrama de Gantt.....	63
Ilustración 33 Propiedades termodinámicas.....	66

# 1. Introducción

En este proyecto se va a llevar a cabo el estudio de la valorización energética de los residuos generados en la obtención de aceite de oliva. La producción de aceite puede dividirse en dos fases: fabricación de aceite de oliva virgen y aceite de extracción. La primera de estas fases corresponde a la fabricación de aceite de oliva virgen, llevándose a cabo en una almazara logrando un rendimiento del 97%, siendo el 3% restante el aceite obtenido en la segunda fase, la extracción.

La producción de aceite en las almazaras es la responsable de la aparición del alperujo, residuo contaminante formado en un 70% por agua, el cual se introduce en la segunda fase de producción, la extracción produciendo el segundo de los residuos denominado orujillo seco y extractado. Este último puede tener varios usos como guardarse para su venta como combustible o parte de él, en torno al 20% puede quemarse para secar el alperujo.

Con el objetivo de realizar esta labor con el mínimo impacto medioambiental posible, se ha pensado instalar un ciclo Rankine para valorizar este residuo procedente de la extracción del aceite de oliva.

Se definirán las condiciones que tienen que cumplirse para poder implementar correctamente esta tecnología entre las diferentes alternativas posibles. Partiendo de la cantidad de combustible disponible se realizará el dimensionamiento de la planta obteniendo sus valores característicos. Se incluirá una descripción detallada de los principales equipos necesarios.

Para conseguir cifrar los gastos de un proyecto de tal magnitud y demostrar la viabilidad de este se realizará un estudio económico, incluyendo también algún valor indispensable como inversión o periodo de retorno.

Este estudio cuenta también con una planificación de todos los trabajos que se completarán en el que se incluirán las fechas de inicio y fin de cada tarea, así como los hitos del proyecto.

## 2. Antecedentes

El consumo de aceite de oliva anual es cercano a los 3 millones de toneladas, cifra con tendencia ascendente principalmente gracias a las excelentes propiedades de este alimento. Para satisfacer esta demanda, la producción de aceite de oliva está repartida en al menos 32 países distintos, alcanzando una producción en el entorno de los 2,8 y 3,2 millones de toneladas anuales en función de la temporada. Conviene destacar que del total aproximadamente 10 países copan la producción mundial de aceite de oliva.

Europa además de ser el principal consumidor de aceite de oliva con cerca de 1,5 millones de toneladas anuales, también es el principal productor generando aproximadamente el 70% anual.

### 2.1 Aceite en Europa

Como ya se ha comentado Europa es el principal productor de aceite de oliva mundial. En el grafico siguiente se puede observar que España, Italia, Grecia y Portugal son los principales países productores de esta materia (84%).

Producción de aceite de oliva en Europa

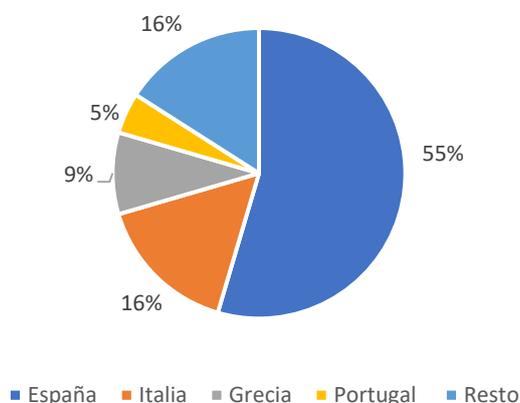


Ilustración 1 Países productores aceite de oliva

De estos datos se puede deducir que la principal área de producción de este tipo de aceite se encuentra en países ubicados en el mar mediterráneo, además de Portugal, que en los últimos años ha experimentado un enorme crecimiento gracias en parte a sus nuevas plantaciones de olivar de regadío.

Fuera de esta zona del mediterráneo, encontramos como principales productores a Chile, Australia y Argentina, aunque lejos de las cantidades de estos.

El sector del aceite, conocido también como oro líquido, supone de gran ayuda para la economía estos países, teniendo una carga importante en el PIB. Pero no todo son aspectos positivos, una de las grandes desventajas del proceso de fabricación de aceite de oliva es la aparición de residuos. Estos residuos suponen grandes cantidades de materia contaminante y es preciso eliminarlos, es por ello el estudio de la valorización del orujillo seco producido en la extracción del aceite de oliva.

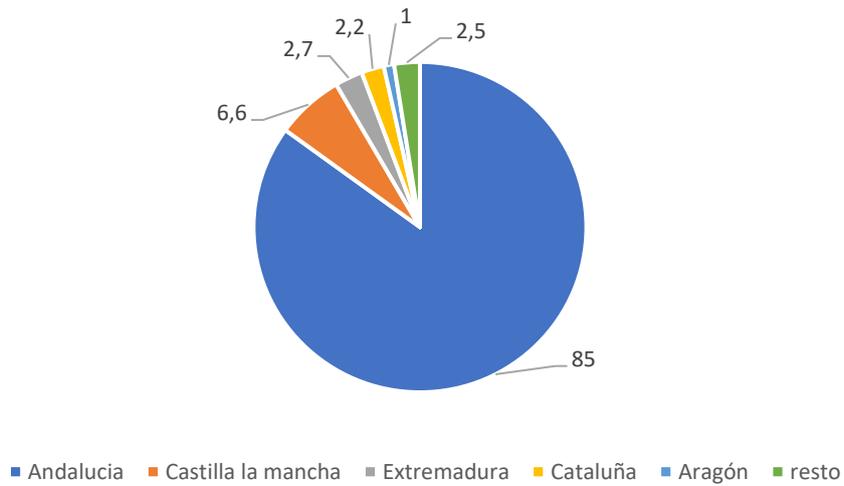
## 2.2 Aceite en España

España es la principal potencia productora y exportadora de aceite de oliva a nivel mundial con gran diferencia, estadísticamente uno de cada dos litros de aceite que hay en el mercado es de origen español. Dispone de una superficie de cultivo cercana a los 2,5 millones de hectáreas gracias a la cual logra producir una media anual que asciende a 1,2 millones de toneladas, siendo el consumo aproximado un total de 400.000 toneladas anuales.

El sector de producción de aceite representa el 5% de las empresas agroalimentarias en España y el 9% de las exportaciones de productos de este sector. Engloba aproximadamente un total de 1570 empresas que dan trabajo a cerca de 8000 personas, siendo la gran mayoría pertenecientes al sector de la recolecta

En cuanto a la procedencia de este aceite en territorio nacional, hay un gran líder y es Andalucía, que produce un 85% del total en el país y alcanzando una cuota del 32% en la producción a nivel mundial.

## Producción de aceite de oliva en España



*Ilustración 2 Producción de aceite de oliva en España*

En este gráfico se pueden observar el resto de principales comunidades productoras de este aceite.

La producción de 1,2 millones de toneladas de aceite anuales equivale al uso de 4,8 millones de toneladas de aceituna (suponiendo un rendimiento del 25%). Al realizar la extracción del alperujo, obtenemos indirectamente un residuo no deseado que es el orujillo. En España se producen anualmente en torno a 1 millón de toneladas de este residuo.

Es importante lograr reducir esta cantidad de residuo, lo que lleva a dos opciones: almacenar el orujillo para su venta como combustible para plantas de biomasa o utilizar parte del residuo como combustible de una caldera de biomasa para secar al alperujo producido en las almazaras.

### 3. Objetivos del proyecto

Los objetivos de este proyecto son los siguientes:

- Valorizar energéticamente el residuo producido en las plantas que fabrican aceite de oliva. No solo lograremos eliminar esta materia contaminante si no que podremos aprovechar su potencial calorífico y por tanto obtener una rentabilidad de él.
- Por otro lado, cada día las normas medioambientales son más estrictas en cuanto a emisiones en los procesos industriales y por tanto las medidas a adoptar por las empresas son más complejas y caras. La instalación de una caldera de biomasa nos permitirá generar energía de la que podamos aprovecharnos cumpliendo a su vez con todas las medidas de carácter ambiental logrando así reducir los residuos de nuestra planta.
- Para acabar, al disponer de un sistema auxiliar que nos permite obtener energía de un producto que sería un desecho, permite a la empresa productora de aceite obtener un rendimiento económico de este residuo y así beneficiarse de él. Ya sea por la disminución de la factura eléctrica o por la venta del excedente de energía a la red.

## 4. Protocolo de Kioto

El compromiso adquirido mediante el protocolo de Kioto por todos los países participantes fue el primer gran acuerdo a nivel mundial en cuanto a la reducción de la emisión de partículas contaminantes, en este caso CO<sub>2</sub>.

En los siguientes años se han logrado acuerdos para reducir la emisión de partículas contaminantes ya sean dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) ... así como otros compuestos dañinos para el medioambiente como pueden ser los diferentes compuestos utilizados en los procesos industriales.

Más reciente el foco se ha centrado en los plásticos, cuyo uso ha aumentado enormemente en la industria. Este uso extenso ha dado lugar a un enorme impacto ambiental al que se quiere poner fin.

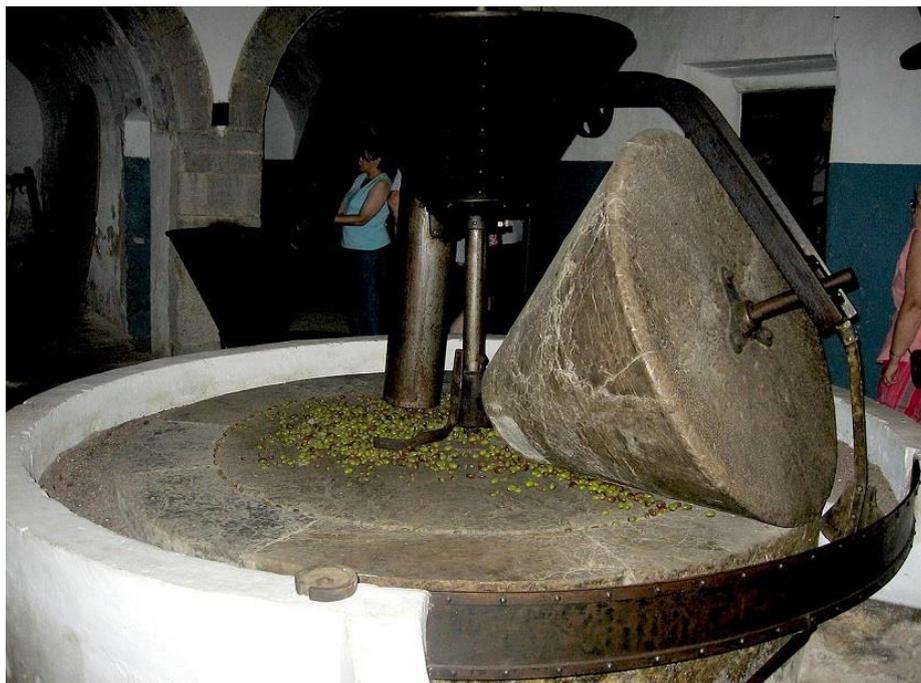
Además, la población ha adquirido cada vez mayor conciencia sobre la necesidad de proteger el medio ambiente y emplear métodos no contaminantes para el desarrollo de la actividad humana. Esto es debido en gran parte al amplio consenso alcanzado en la comunidad científica internacional sobre la existencia del cambio climático. Es necesario inculcar unos hábitos responsables a la población para contribuir a la mejora del medio ambiente.

## 5. Descripción del proceso productivo

La producción del aceite de oliva puede dividirse en dos procesos: el primero de ellos acontece en las almazaras donde aproximadamente se extrae el 97% del aceite dando lugar al aceite de oliva virgen y el segundo se lleva a cabo en las extractoras donde se obtiene ese 3% restante que forma el aceite de extracción.

### 5.1 Obtención del aceite de oliva virgen

La producción del aceite de oliva virgen se lleva a cabo en las almazaras. Palabra de origen árabe que significa prensa, se definía en un principio tanto al lugar como el molino donde se obtenía el aceite, normalmente construidos en piedra y de gran tamaño. Las primeras almazaras se remontan a la edad de cobre.



*Ilustración 3 Almazara tradicional*

Hoy en día estas almazaras han evolucionado mucho respecto a su definición inicial y aunque sigue considerándose el lugar donde se obtiene el aceite, se han adaptado al entorno actual. A día de hoy en España existen alrededor de 1800

almazaras divididas entre cooperativas y almazaras privada, estando aproximadamente la mitad de ellas localizadas en Andalucía.

Estas Almazaras modernas pueden dividirse en tres espacios distintos:

- **Patio de recepción:** lugar donde se recibe la aceituna, se limpia, lava, pesa y almacena a la espera de introducirla en la molienda. Este espacio suele ser abierto y dispone de una cubierta para proteger la materia frente a la lluvia
- **Nave de elaboración:** Espacio cerrado destinado a la extracción del aceite. Se llevan a cabo los procesos de molienda, batido, centrifugado y limpieza del agua y decantado.
- **Bodega:** Espacio cerrado donde se almacena el aceite de oliva virgen. Formada por depósitos de acero inoxidable para asegurar la buena calidad del aceite.

Esta materia prima utilizada en las almazaras tiene la siguiente composición aproximada: Aceite 15-27%, Agua 40-50% y el resto formado por huesos y alperujo 30-35%.

A la hora de realizarse el proceso de fabricación de aceite de oliva virgen pueden diferenciarse tres opciones para su consecución: método tradicional, método de tres fases y método de dos fases. Este último es el más utilizado actualmente.

En el proceso tradicional la fase líquida se separa de la fase solida de las aceitunas mediante presión. A continuación, se separa el aceite de la fase liquida obtenida durante el prensado mediante decantación. Para ello en primer lugar se realiza la molienda de la aceituna en molinos formados por una base cilíndrica de granito sobre la que se dispone de 2 a 4 piedras cilíndricas o troncocónicas que giran a una velocidad alrededor de los 12-15 rpm triturando las aceitunas. Después se bate para facilitar la separación del aceite. La siguiente operación corresponde al prensado donde se produce la separación de fases, en este caso se aplica presión a una pila de discos filtrantes, conocida como capacho, entre los que se dispone una capa de pasta de aceituna, este proceso dura cerca de hora y media. Por último, se produce la decantación por diferencia de densidades entre agua y aceite, aunque previamente

para separar el aceite y agua en la fase líquida de los restos sólidos se emplea un tamiz vibratorio. Este método empleado en sus inicios dejó de emplearse debido a su bajo rendimiento y la aparición de nueva maquinaria que permitió evolucionar el proceso.

El proceso de tres fases se realiza en plantas modulares que trabajan en continuo. La primera operación corresponde a la molienda, en este caso se utilizan molinos metálicos para triturar la aceituna. Seguido se produce el batido de la pasta formada. Un aumento de la temperatura de batido mejorará el rendimiento de extracción. Para separar las fases líquidas se emplea una centrifugadora horizontal, en la que los sólidos se adosan a las paredes y los líquidos forman anillos concéntricos. Con el objetivo de mejorar este proceso se agrega agua a la pasta proveniente de la batidora, influyendo en el rendimiento de la extracción. Se obtienen dos líquidos: aceite con algo de fase acuosa y fase acuosa con algo de aceite. Estos serán centrifugados nuevamente para reducir su contenido en agua. Este proceso se denomina tres fases porque obtenemos: Aceite de oliva, orujo (residuo seco) y alperujo (residuo líquido). Siguen empleándose, aunque en menor medida ya que tienen como principal inconveniente la necesidad de añadir agua que acabará formando un residuo, el alperujo, siendo este aproximadamente el 75%.

Por último, surge el proceso de dos fases, este es el más utilizado en la actualidad y se explicará en profundidad. Debido al gran volumen de agua necesario para el proceso de tres fases y la cantidad de residuo generada surge esta nueva alternativa en la década de los 90.

En la siguiente imagen se puede observar el diagrama de flujo simplificado de estos tres procesos de extracción de aceite de oliva

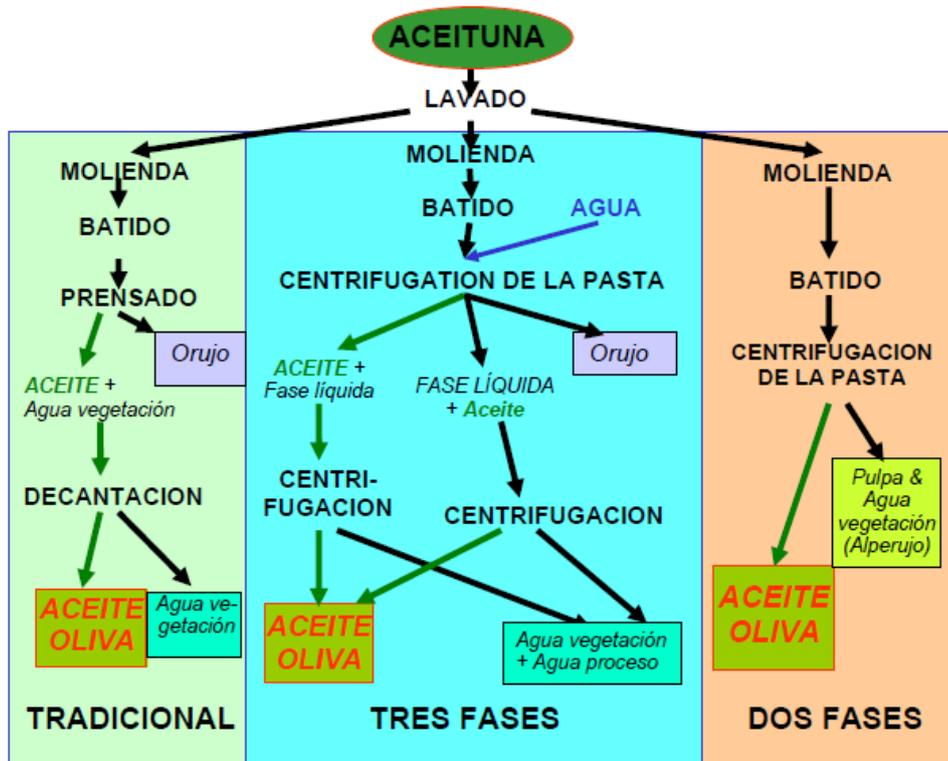


Ilustración 4 Metodos de producción de aceite de oliva

El proceso de dos fases está ampliamente implantado en las almazaras, tiene como principal ventaja el uso de una menor cantidad de agua. Además, utilizan un decantador de dos fases, más sencillo y por tanto más económico que el de tres fases.

El sistema de dos fases obtiene un mayor rendimiento en aceite, tiene mayor capacidad de procesado y la calidad del aceite obtenido es ligeramente superior. Por el contrario, la cantidad de aceite obtenida por cada tonelada de aceituna es ligeramente inferior.

El proceso de dos fases concentra las siguientes operaciones:

1. Recepción de la aceituna: La recolecta de la materia en los campos de cultivo se efectúa diariamente, llevándola mediante camiones a la tolva de recepción, foso que se encuentra enterrado bajo tierra.
2. Limpieza de la aceituna: A través de una cinta transportadora, se lleva la aceituna de la tolva al espacio habilitado para la limpieza donde se eliminarán

los restos no deseados como son hojas, piedras y tallos. Primero mediante soplado se eliminan tanto hojas como pequeñas ramas, a continuación, se introducen en una criba para eliminar los restos de menor tamaño. Por último, se procede al lavado de las aceitunas empleando agua declarada y descalcificada.

3. Pesaje y almacenaje: Después de la limpieza se dirigen las aceitunas a una báscula en el interior de una tolva, estas entran de manera continua hasta completar el peso de una cantidad anteriormente establecida y una vez alcanzado se descargan automáticamente.
4. Transporte al almacenamiento: Una vez que se dispone de las aceitunas limpias y pesadas, la materia esta lista para comenzar el proceso de extracción. Para ello se llevan a la tolva de almacenamiento a la espera de comenzar. En esta fase con el objetivo de no perder propiedades y disminuir la calidad del aceite se limite a 48 horas el tiempo de estancia.
5. Molienda: Se considera la primera fase de la propia extracción. Se emplean molinos de martillo con cribas concéntricas y cabezas de acero extraduro al tungsteno dispuesto en forma de hélice que se encargan de triturar la aceituna. Estas cribas van disminuyendo su tamaño paulatinamente con el objetivo de reducir el tamaño del material. Las cabezas son las encargadas de romper los tejidos vegetales e ir formando poco a poco gotas de aceite que se irán adhiriendo a otras formando cada vez gotas de mayor tamaño.
6. Batido: Para lograr acumular la mayor cantidad de aceite se realiza el batido de la pasta producida en la molienda. Se lleva a cabo en un tambor donde las palas remueven la mezcla para conseguir separar la emulsión formada por agua y aceite, formando poco a poco gotas de aceite cada vez más grandes. Este proceso deber durar en torno a 1 hora y un aumento de temperatura logra

mejorar el rendimiento sin superar la barrera de los 27 °C ya que el aceite comenzaría a perder calidad.

7. Decantado: En este caso en dos fases, separa el aceite del resto de componentes de la mezcla como son el orujo y agua de vegetación. Formado por un rotor horizontal con forma de cilindro troncocónico que aloja en su interior un tornillo sinfín hueco. Gracias a la diferencia de densidades y las fuerzas centrífugas provocadas se consigue separar, depositándose la materia más pesada en las paredes exteriores(alperujo) y el aceite en el cilindro de menor diámetro extrayéndose por uno de los extremos.
8. Transporte del alperujo: Se lleva a una tolva de almacenamiento a la espera de que una empresa externa se haga cargo de su tratamiento, estas empresas son las productoras de aceite de extracción.
9. Filtrado: Se hace pasar el aceite obtenido en el decantador para retener las partículas en suspensión que contiene. Este filtrado se realiza a una temperatura de 18 °C
10. Centrifugado vertical: A través de unas bombas se dirige el aceite filtrado a la centrifugadora con el objetivo de eliminar esas impurezas que todavía se encuentran en el aceite. Para esta operación es necesario añadir una pequeña cantidad de agua para conseguir realizar la separación liquido-liquido por diferencia de densidades. En este caso el aceite forma el anillo interior mientras que el agua forma el anillo exterior logrando dos corrientes de salida separadas.
11. Almacenaje: Con esta operación acaba la fabricación de este aceite de oliva, es necesario almacenar el aceite bajo unas condiciones idóneas para que no pierda sus propiedades. Se emplean depósitos de acero inoxidable cerrados para evitar cualquier contacto con agentes externos. Este almacenamiento se realiza a una temperatura entre 15-18 °C y con un tiempo mínimo de 45 días.

Por seguridad se dispone de purgadores en el fondo del depósito por si el aceite todavía tiene alguna impureza.

Como este es el caso más común de fabricar el aceite de oliva en una almazara se presenta el diagrama de flujo más detallado:

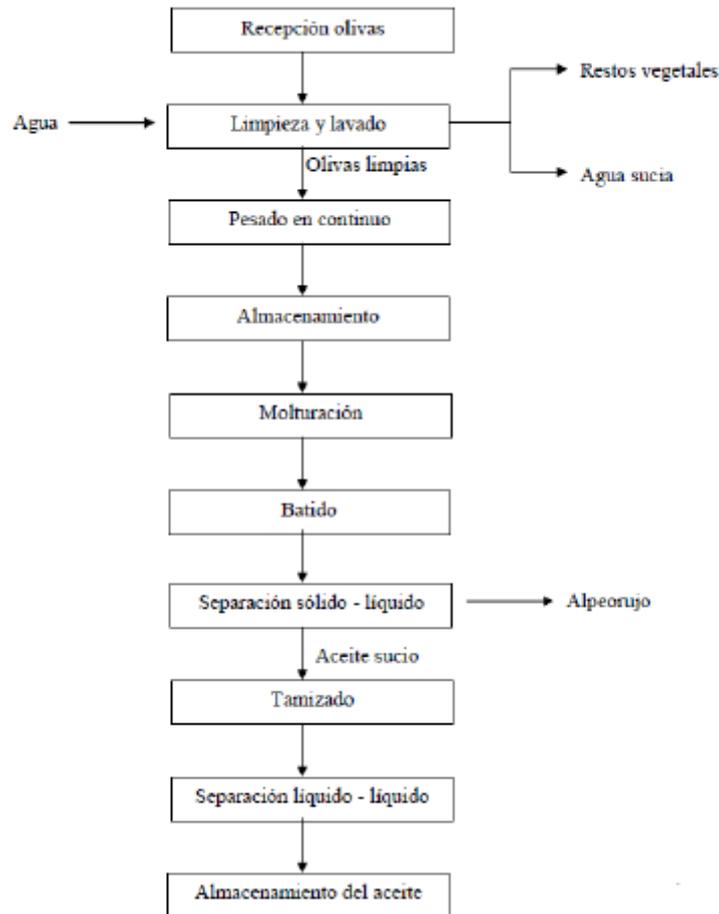


Ilustración 5 Diagrama de flujo método dos fases

## 5.2 Obtención del aceite de extracción

La producción del aceite de oliva en las almazaras genera una gran cantidad de alperujo, residuo que de no ser tratado supondría un gran problema en este proceso productivo. Este alperujo todavía posee un porcentaje de aceite alrededor del 3% que hace rentable la producción de aceite de extracción.

Esta extracción se lleva a cabo en instalaciones industriales llamadas orujeras, donde además de obtener el aceite de extracción se obtiene orujillo seco, residuo que puede tener distintas aplicaciones. Puede emplearse como combustible en una caldera para generar electricidad a través de un ciclo Rankine, también puede quemarse para generar calor en el secadero empleado para reducir la humedad del alperujo o incluso almacenarse para su venta a empresas externas.

Anualmente en España se producen 3.600.000 toneladas de alperujo, por tanto, la existencia de estas orujeras que permiten disminuir esta cantidad de residuo se convierte en obligatorio. Existen dos formas de extraer aceite del alperujo: utilizando agentes químicos(disolvente) o físicos(centrifugación).

El método más empleado consiste en un centrifugado y una extracción con hexano. El proceso consta de las siguientes fases:

1. Recepción del alperujo: La materia se almacena en balsas estancas impermeabilizadas para lograr reducir el alto contenido en humedad, entono al 70%, y así disminuir el coste del secado. Se debe evitar un periodo de almacenamiento prolongado a causa de la aparición de olores debido a la oxidación.
2. Centrifugado: Se consigue obtener aproximadamente un 50% del aceite que contiene el alperujo. Este aceite se denomina aceite de orujo o de extracción.
3. Secado: Permite eliminar el alto contenido de agua del alperujo para conseguir una mayor eficiencia en la extracción que vendrá a continuación. Se emplea un secadero tipo trómel, cilindro giratorio de grandes dimensiones con una pequeña inclinación para el paso del alperujo. El horno se alimenta de orujillo seco (a través de un tornillo sinfín) o inyectando gas natural. Se emplean dos secaderos en serie, el primero de ellos a una temperatura de 500 °C logrando reducir la humedad hasta un 30% aproximadamente y el segundo a una temperatura bastante inferior, unos 80 °C que reduce hasta un 10% de humedad final.

4. Molienda y granulación: Para lograr el tamaño de partícula adecuado se somete a una molienda, granulándolo posteriormente para favorecer el proceso de extracción.
5. Extracción mediante disolvente: La materia granulada se introduce en un tanque, una vez lleno comienza el proceso. Se pone en contacto con una corriente de hexano dejando tiempo para que se produzca la reacción, y formar una mezcla aceite + hexano, que tras repetirse varias veces da lugar a un orujo lixiviado con un pequeño contenido en aceite (0,5%).
6. Desolventizado: En el orujo lixiviado todavía existen restos del hexano utilizado y se hace necesario eliminarlo de la mezcla. Para ello se utiliza una máquina desolventizadora-tostadora formada por varios pisos en los que se encuentran paletas agitadoras, compuertas no enfrentadas, camisa de vapor y entradas de vapor. El orujo discurre a través de los pisos lográndose evaporar el hexano que contiene obteniendo finalmente orujo seco y extractado.
7. Eliminación del disolvente: Se lleva a cabo en refinerías de aceite, en las cuales mediante una destilación se logra separar el aceite del disolvente, consiguiendo finalmente aceite de extracción preparado para ser almacenado y envasado para su venta.

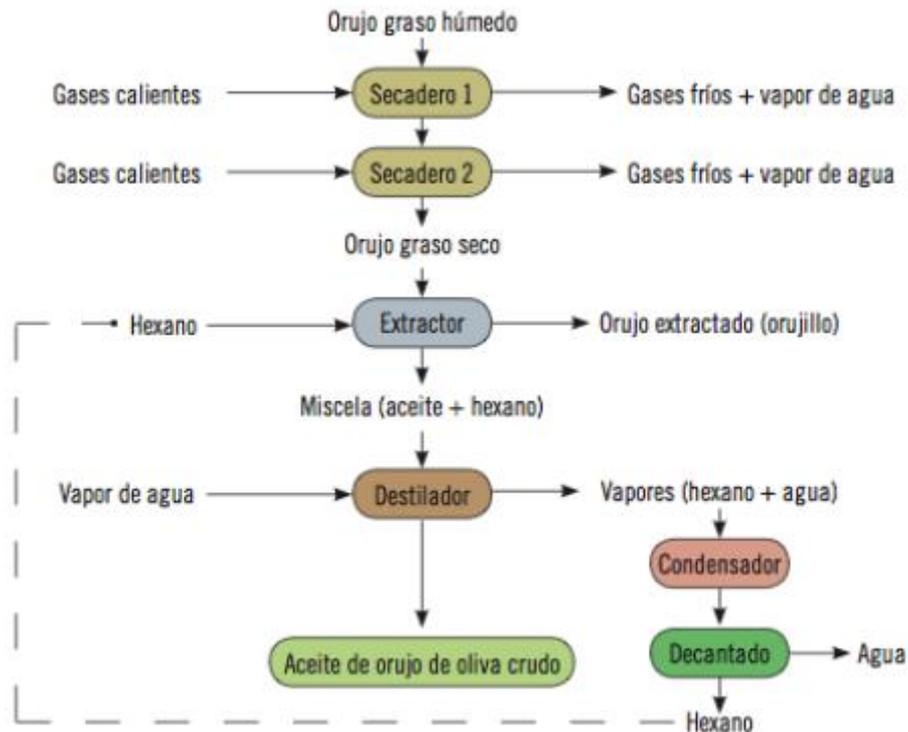


Ilustración 6 diagrama de flujo aceite de extracción

En la imagen anterior se puede apreciar el diagrama de flujo de las diferentes fases que acontecen en una extractora de aceite.

## 5.3 Equipos principales

### 5.3.1 Equipos almazara

- Molinillos de martillo: Normalmente de eje horizontal, tiene forma de estrella y está dotado de cabezas de acero extraduro al tungsteno que se encargan de realizar la molienda. El tamaño de la molienda está regulado por el diámetro de perforación de la criba que gira en sentido contrario al de los martillos. Dispone además de un sistema de arrastre que evita atascos y resistencias excesivas en el proceso de trabajo.



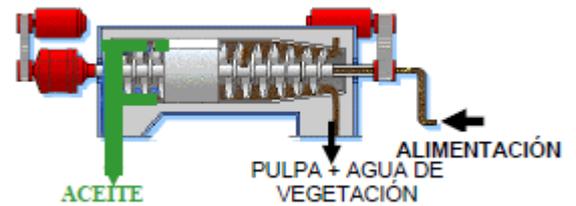
*Ilustración 7 Molinillo de martillos*

- Batidora horizontal: De uno o dos cuerpos horizontales, construida en acero inoxidable con una cámara por la que circula agua caliente para caldeo de la misma. La pasta se introduce en la batidora donde unas palas helicoidales giran a una determinada velocidad aglutinando al máximo posible las partículas de aceite suspendidas.



*Ilustración 8 Batidora horizontal*

- Decanter: Encargado de separar el aceite del resto de componentes, de eje horizontal y con forma de cilindro troncocónico en cuyo interior dispone de un tornillo sinfín hueco



*Ilustración 9 Decanter*

- Vibrofiltro: Retienen las partículas sólidas en suspensión.



*Ilustración 10 Vibrofiltro*

- Centrifugadora vertical: Se eliminan solidos finos e impurezas del aceite, así como eliminar su humedad mediante el uso de fuerzas centrifugas y en el interior de un rotor de platillos.



*Ilustración 11 Centrifugadora vertical*

- Depósitos: Lugar donde se almacena el aceite una vez concluido el proceso de fabricación. Construidos en acero inoxidable, material opaco e impermeable y que evita absorber olores permite mantener las propiedades del aceite, manteniendo una temperatura en torno a los 15 °C.



*Ilustración 12 Depósitos aceite*

### 5.3.2 Equipos extractora

- Centrifugadora: Similar al caso de la almazara

- Secadero: Su objetivo es eliminar la humedad que contiene el alperujo para que la extracción sea más eficiente. Se emplea un secadero tipo trómel, con una pequeña inclinación para el paso de la materia. El horno se alimenta de biomasa o gas natural y dispone de unos ventiladores que inyectan el aire necesario para la combustión. En el interior unas palas longitudinales voltean continuamente el material para favorecer el secado.



*Ilustración 13 Horno tipo Trómel*

- Torres de rectificación: Se lleva a cabo en las refinerías, mediante una destilación se encarga de separar el aceite del disolvente empleado. Por un lado, el aceite se almacena para su posterior venta y por el otro, el hexano se recupera para volver a ser utilizado.
- Máquina desolventizadora-tostadora: Encargada de eliminar el hexano líquido existente en el orujillo mediante evaporación dando lugar a un combustible con una humedad muy baja.

## 6. Problema medioambiental. Residuo generado

Como consecuencia de la fabricación del aceite de oliva virgen surge indirectamente el problema de gestión del residuo generado, el alperujo. La gran cantidad de toneladas anuales producidas hace necesario encontrar una alternativa para este residuo debido a su problemática medioambiental.

Como ya se ha comentado anteriormente, el 75% de la aceituna se transforma en alperujo, generando anualmente 3.600.000 de toneladas en España. El alperujo es una mezcla de alpechín (aguas de vegetación), partes solidas de la aceituna y restos grasos.

En este punto surgen las extractoras, encargadas no solo de aprovechar ese último remanente de aceite en el residuo si no que dan lugar al orujillo seco y extractado, que será aprovechado posteriormente por diferentes procesos gracias a su alto poder calorífico.

Por tanto, se pasa de tener un problema debido al residuo generado a poder aprovechar este para exprimir al máximo el aceite generado y además obtener un combustible energético del orujillo.

## 7. Valorización energética del residuo. Alternativas

Como se acaba de comentar el proceso de fabricación de aceite de oliva virgen y de aceite de extracción genera una gran cantidad de residuo anualmente que es necesario tratar para disminuir su impacto ambiental.

Se considera biomasa como el conjunto de sustancias orgánicas, de origen animal o vegetal, o procedentes de cualquier transformación de las mismas tanto de forma natural como artificial. En este caso al tratarse de un residuo producido en la industria agroalimentaria se clasifica como biomasa residual.

En el caso del uso de orujillo como biomasa, al utilizar la misma cantidad que la producida en la extractora se puede considerar una aplicación neutra en términos de emisiones de CO<sub>2</sub>, con la consiguiente ventaja que esto supone frente a otro tipo de fuentes de energía.

Valorizar la biomasa consiste en buscar una nueva aplicación para esta aprovechando su potencial energético disponible. Existen numerosas aplicaciones en función del tipo de biomasa de la que se dispone, para el caso del orujillo las principales alternativas a analizar serán: compostaje, gasificación y generación de energía eléctrica mediante ciclo Rankine.

### 7.1 Compostaje

El compostaje es un proceso controlado de fermentación de biomasa en condiciones aeróbicas que consiste en la transformación de la materia orgánica fermentable en los residuos para la obtención de un producto inocuo y con buenas propiedades como fertilizante que recibe el nombre de compost. Siendo más preciso, es un proceso biológico aerobio que bajo unas condiciones de temperatura humedad y aeración controladas transforman los residuos orgánicos en un producto estable e higienizado como abono o substrato.

Este proceso se divide en 4 etapas que son mesófila, termófila, enfriamiento y maduración al final de las cuales se obtiene el compost apto para su venta.

- Mesófila: Se dispone de un material fresco, sin humidificar y a temperatura ambiente en el que sus microorganismos mesófilos comienzan a desarrollarse utilizando fuentes sencillas de carbono y nitrógeno, creciendo y multiplicándose logrando descomponer los materiales.
- Termófila: Bacterias y hongos termófilos comienzan a degradar la celulosa y parcialmente la lignina, aumentando la temperatura y transformando el nitrógeno en amoníaco con lo que el pH aumenta.
- Enfriamiento: Se produce cuando las fuentes de carbono y nitrógeno se han agotado en el material orgánico
- Maduración: Proceso de larga duración que acontece a temperatura ambiente durante el cual se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos.

En el lado positivo el compostaje nos permite eliminar y reciclar de forma segura residuos orgánicos evitando problemas de contaminación ambiental que desencadenaría su vertido. Además, al ser un producto completamente natural mejora la estructura del suelo y evita el uso de producto químicos que puedan contaminarlo. Se trata también de una práctica que lucha contra el cambio climático al fijar el dióxido de carbono en el suelo.

En cambio, esta práctica presenta diversos inconvenientes como puede ser la inversión inicial que hay que realizar para disponer de los equipos e instalaciones adecuadas para su proceso. Otro aspecto a tener en cuenta es el terreno necesario para llevar a cabo cada una de las diferentes fases. Por último, un factor clave del compostaje es la climatología, aspecto que puede predecirse, pero no controlarse, alargando el proceso en lugares con climas fríos o afectando al proceso de compostaje originando charcos y condiciones anaeróbicas si no existe buen drenaje en condiciones de lluvia.

## 7.2 Gasificación

La Gasificación es un proceso termo-químico en el que la biomasa, en un ambiente pobre en oxígeno, es transformada en un gas combustible que puede ser utilizado en una caldera, turbina o motor. Se considera que el gas producido tiene un bajo o medio poder calorífico (1.000 - 3.000 kcal/ Nm<sup>3</sup> ) si es comparado con el gas natural (9.000 kcal/Nm<sup>3</sup>>), el butano (28.000 kcal/Nm<sup>3</sup>) o el hidrógeno (2.500 kcal/Nm<sup>3</sup>).

El gas combustible generado puede ser aprovechado de diversas maneras: a través de procesos de combustión para producir electricidad y/o energía térmica o como gas de síntesis transformándose en productos de mayor valor añadido.

Se puede clasificar en las siguientes tecnologías:

- Lecho móvil: Si el combustible y el agente gasificante circular paralelamente el gasificador se conoce como “downdraft” en cambio, si circulan en direcciones opuestas se denomina “updraft”.
- Lecho fluidizado: El agente gasificante mantiene en suspensión al combustible y un inerte hasta que las partículas se han gasificado y convertido en cenizas volátiles siendo arrastradas por la corriente del syngas.

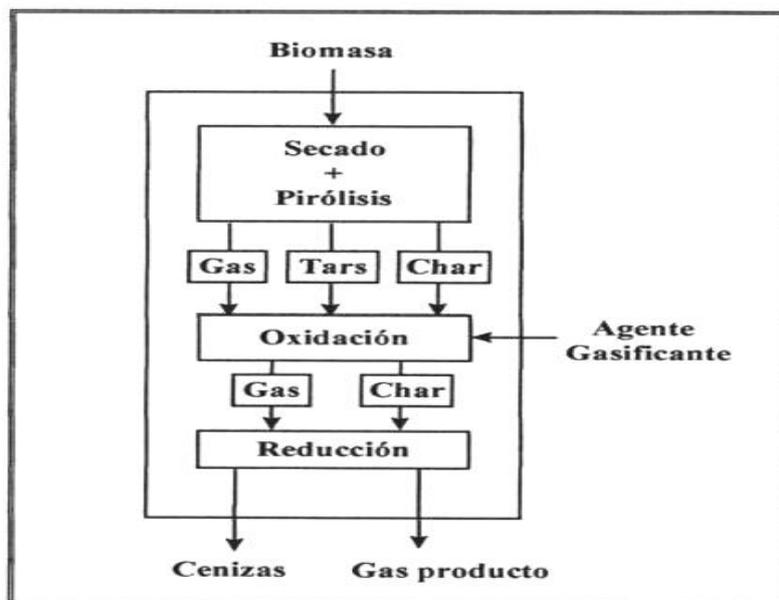
El proceso de gasificación consta de las siguientes 4 etapas: secado, pirolisis, combustión y reducción.

- Secado: Encargada de eliminar parte de la humedad de la biomasa antes de entrar al gasificador para que esta operación sea lo más eficiente posible. Se considera muy útil cuando la biomasa tiene un alto contenido en humedad ya que la energía consumida para evaporar esta agua no es recuperable. Para esta operación se emplea el calor de la reacción de combustión.
- Pirolisis: Se trata de un proceso de descomposición térmica en un ambiente pobre en oxígeno y con temperaturas en el entorno de los 300-500 °C donde se desprenden los gases combustibles más volátiles (vapor de agua, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CO e

hidrocarburos). Los factores más importantes en esta operación son la temperatura y el tiempo de permanencia.

- Oxidación: Parte del residuo carbonoso entra en contacto con el agente gasificante oxidándose, produciendo el suficiente calor para llevar a cabo las reacciones que lo requieren, así como el secado y la pirólisis. El agente gasificante puede ser vapor de agua, oxígeno o aire.
- Reducción: Es la más compleja de todas las etapas ya que envuelve reacciones químicas entre HC, H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>, así como entre los gases desprendidos. Se produce después de la pirólisis y las reacciones correspondientes se llevan a cabo en paralelo con la etapa de combustión. La reacción más importante es la gasificación del residuo carbonoso.

En la imagen a continuación podemos ver un resumen gráfico de la gasificación:



*Ilustración 14 Proceso gasificación*

Los principales factores que afectan a la composición final de gas son: El contenido de humedad, temperatura a la que se llevan a cabo las reacciones, la relación entre biomasa y agente gasificante, tamaño y densidad de la biomasa, tipo de tecnología y composición de la biomasa. Esta última tiene influencia directa sobre el poder calorífico.

Como ventajas de la gasificación se puede señalar su versatilidad, posibilidad de obtener la energía en el momento que ésta se requiera (de facilidad de almacenamiento de energía en forma de biomasa), aceptable eficiencia en la producción eléctrica (12-30%) y/o térmica (60 – 85%), poco impacto ambiental y la disminución del impacto por la reducción de gases de efecto invernadero.

La desventaja del proceso de gasificación de biomasa es que requiere de plantas industriales con altos costes de inversión y un aprovisionamiento de biomasa muy homogénea.

## 7.3 Generación de energía eléctrica mediante ciclo Rankine

El ciclo Rankine es un ciclo termodinámico que tiene como objetivo la conversión de calor en trabajo, constituyendo lo que se denomina un ciclo de potencia. Este ciclo surge como una mejora del ciclo de Carnot al buscar tener una mejor relación de trabajo.

El ciclo Rankine utiliza un fluido que se evapora y condensa alternativamente para producir energía eléctrica. Por norma general suele ser agua, aunque también existen otro tipo de fluidos, dando lugar al ciclo Rankine orgánico.

Para conseguir aportar el calor al fluido que circula por el ciclo se empleara el orujillo seco y extractado como combustible de la instalación, logrando mediante su combustión reciclar y aprovechar energéticamente el residuo producido en la fabricación de aceite de oliva.

La combustión es un proceso termoquímico en el que tienen lugar diferentes reacciones químicas entre el combustible y el comburente. En este caso será entre la biomasa y el aire. Se lleva a cabo con una gran cantidad de aire, para lograr que la combustión sea completa, y se realiza a altas temperaturas.

En la siguiente imagen puede observarse el esquema de un ciclo Rankine con los distintos equipos

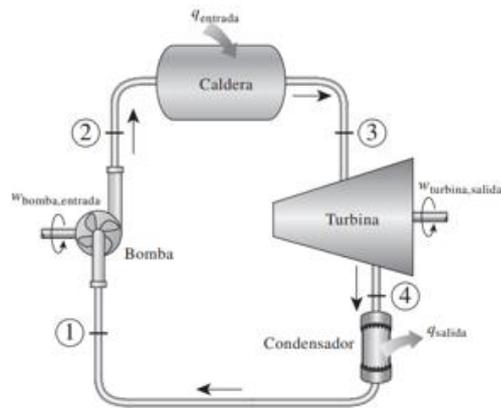


Ilustración 15 Ciclo Rankine

Este ciclo puede dividirse en 4 etapas que se llevan a cabo mediante una bomba, la caldera, la turbina y el condensador, siendo el ciclo ideal el siguiente:

- Compresión isoentrópica (1-2): Se aumenta la presión del fluido en estado líquido de trabajo hasta la presión de la caldera mediante el uso de una bomba que consume una pequeña cantidad de energía.
- Aporte calor (2-3): Tiene lugar el cambio de fase del fluido mediante el aporte de calor proveniente de la combustión del orujillo seco y extractado en la caldera.
- Expansión isoentrópica (3-4): Se expande el fluido desde la presión de la caldera hasta la presión del condensador obteniendo un trabajo mecánico. Empleando un alternador esta potencia mecánica se transforma en potencia eléctrica y logramos el efecto útil del equipo.
- Condensación (4-1): Cesión de calor al exterior por parte del fluido hasta alcanzar el estado de líquido saturado. Este proceso tiene lugar en el condensador e idealmente se produce sin pérdida de carga.

Esta aplicación para la biomasa tiene como principal ventaja numerosos años de experiencia y por tanto un amplio conocimiento de su funcionamiento. Permite su funcionamiento en diversos rangos de carga y, en consecuencia, se trata de un sistema con gran capacidad para adaptarse a diferentes situaciones. Por último, es un sistema con procedimiento de arranque y paradas simple, lo cual facilita la gestión del abastecimiento de biomasa.

Por otro lado, la inversión inicial que hay que realizar para una instalación como esta es grande. Además, un aspecto a tener muy en cuenta es el control del estado del fluido a la entrada de la turbina para evitar posibles averías aumentando así la complejidad de gestión de un ciclo Rankine.

## 8. Alternativa seleccionada

En primer lugar, aunque permita valorizar el residuo por completo, la opción del compostaje se desecha debido a que no se aprovecha su potencial energético como si lo hacen las otras dos opciones. Además, hay que tener en cuenta que la climatología supone un factor importante en este proceso y es algo que no se puede controlar, solo predecir.

La gasificación es un proceso muy complejo que se realiza mediante una serie de reacciones que tienen como objetivo transformar la biomasa en combustible. A esto hay que añadir que si comparamos ese combustible con otras alternativas su poder calorífico es bastante bajo y por tanto no es una opción tan aconsejable. Además, hay un gran número de factores que controlar de los que dependerá las características del combustible final y debido a los equipos empleados es recomendable llevar el proceso a cabo de forma continua, aumentando la complejidad de gestión.

Por tanto, la alternativa seleccionada es la generación de energía eléctrica mediante el uso de un ciclo Rankine. A pesar de que es necesaria una gran inversión en los equipos al igual que en la gasificación, este tipo de plantas tienen una operación más sencilla ya que la cantidad de factores que afectan al proceso son muy inferiores. Otro aspecto clave es la experiencia con esta tecnología, se trata de un ciclo ampliamente utilizado y estudiado del que se tiene un gran conocimiento de su funcionamiento y aplicaciones.

## 9. Descripción de la planta de biomasa. Equipos principales

En este apartado se va a describir detalladamente la alternativa seleccionada, así como los equipos que son necesarios en cada una de sus etapas. La biomasa es un combustible de interés para el sector industrial gracias a su aceptable poder calorífico, buen comportamiento como combustible, bajo coste y emisiones reducidas. Puede emplearse en procesos industriales que necesiten un aporte de calor, como son el secado, producción de agua caliente o vapor, aceite térmico...

Los avances tecnológicos conseguidos en los diferentes equipos que se emplean en este tipo de plantas, así como el desarrollo de mejoras en los ciclos han permitido que la biomasa logre ser tan eficiente, cómodo y competitivo como los combustibles sólidos en sus respectivas instalaciones. Las plantas de biomasa pueden dividirse en tres áreas principales: zona almacenamiento, isla de potencia y edificios auxiliares.

### 9.1 Zona almacenamiento

Se dispone de una zona de terreno a la intemperie en el que el orujillo se almacena en montones y aunque pueda parecer contradictorio este no se protege de la lluvia ya que la propia capa superficial protege al resto de la biomasa. Esta zona está destinada para almacenar la biomasa a dos meses vista ya que normalmente para reducir costes se abastece para varios meses, es por ello que aparte existe un almacén nodriza donde se encuentra la biomasa que va a ser empleada por la planta ese mismo día.

Una cinta transportadora se encarga de transportar el combustible hasta el silo que alimenta la caldera, durante este recorrido se realiza una criba para eliminar restos que pueda contener como piedras, metales... El silo alimenta de forma automática a través de dosificadores volumétricos y empujadores accionados por

cilindros hidráulicos de manera que se disponga siempre la cantidad necesaria para cada régimen de carga.

## 9.2 Isla de potencia

Esta área engloba aquellos equipos necesarios para la generación de energía eléctrica que pueden dividirse en: Caldera, grupo turbina-alternador, condensador...

### 9.2.1 Caldera

Una caldera es un dispositivo empleado para calentar agua o generar vapor a una presión superior a la presión atmosférica. Su objetivo es aumentar la entalpía del fluido de trabajo, que generalmente es agua, gracias a que en forma de vapor este tiene unas propiedades adecuadas para su uso: Barato, inocuo, fácil de controlar, no se inflama ni explota, no es tóxico y además es capaz de almacenar una gran cantidad de energía en poca masa.

Para el caso de una planta de biomasa la caldera empleada es acuotubular, en este caso el fluido empleado por el ciclo Rankine (agua) circula por el interior de los tubos mientras que los humos lo hacen por fuera. A pesar de ser más caras y más complejas, este tipo de calderas nos permiten disponer de altas presiones y temperaturas necesarias en una planta como esta.

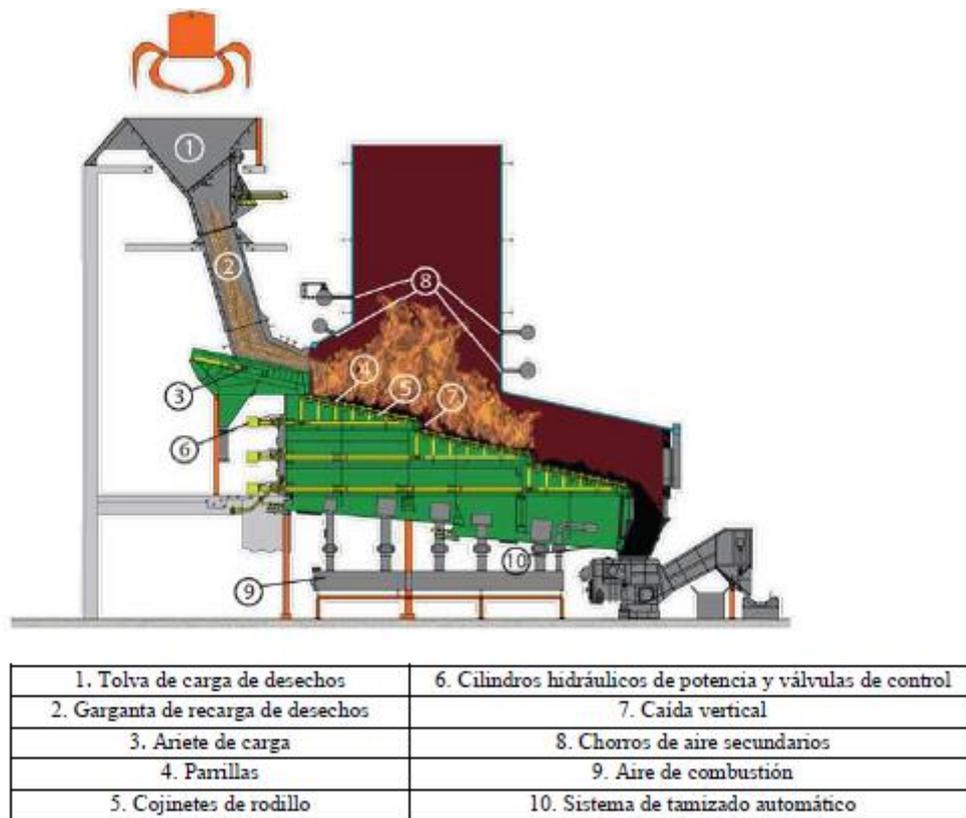
Los elementos principales de una caldera son:

- Quemador: Lugar donde se produce la mezcla del aire comburente y combustible.
- Hogar: En él se produce la combustión.
- Zona de tubos: Encargada del intercambio térmico entre humos y agua, está formada por economizador, evaporador y sobrecalentador.
- Sistemas de control: necesarios para controlar los parámetros fundamentales como pueden ser temperaturas, presiones, caudales...

## 9.2.1.1 Hogar

Lugar donde se produce la combustión del orujillo seco y extractado para su aprovechamiento térmico. En este caso al tratarse de un combustible sólido y concretamente orujillo de aceituna el tipo de caldera utilizado es de parrillas móviles.

En la imagen siguiente se puede ver la disposición general de este tipo de parilla con sus elementos característicos



*Ilustración 16 Hogar de la caldera*

Este tipo de calderas se basa en el avance del combustible mediante el arrastre de unos elementos provistos de movimiento relativo entre sí. A través de ellos se introduce el aire necesario para la combustión.

El combustible se introduce por la tolva, llegando a través de la garganta hasta el ariete de carga, donde empleando cilindros hidráulicos, se alimenta de combustible las parrillas de la caldera. Estas están dispuestas inclinadas lo que permite una

combustión homogénea, así como facilitar el avance. Por la parte inferior de estas parrillas se introduce el aire comburente en una cantidad que asegure la combustión completa. Al tratarse de un sistema sin refrigeración, en el interior del hogar se alcanzan temperaturas de 1000 °C, lo que conlleva el uso de aleaciones de cromo-níquel capaces de soportar estas condiciones.

La combustión de la biomasa acontece en las siguiente cinco fases:

- Fase 1: Evaporación del agua contenida en el combustible, hasta 150 °C
- Fase 2: Se produce la descomposición química, pirolisis. Temperaturas en 150-230 °C
- Fase 3: Gasificación del combustible seco, entre 230 y 500 °C
- Fase 4: Gasificación del carbón sólido, llegando a temperaturas 500-700 °C
- Fase 5: Oxidación de los gases combustibles, entre 700 y 1000 °C

Un parámetro importante en el diseño del hogar es la distancia que existe entre este y la zona de tubos para evitar la solidificación de las partículas presentes en los humos que disminuirían la transferencia de calor en la caldera. Normalmente la distancia mínima entre ambas partes es de 2m. Para contribuir a este hecho, se introduce también aire secundario a la caldera para lograr la combustión completa de los inquemados y volátiles.

### 9.2.1.2 Economizador

El economizador es el encargado de aumentar la temperatura del fluido a la entrada de la caldera hasta su temperatura de saturación aprovechando el calor de los humos de la combustión. En este caso el economizador se encuentra en el exterior de la caldera por lo que no es necesario que tengas garantías de presión.



*Ilustración 17 Economizador*

En la imagen se observa que el economizador está formado por tubos unidos entre si formando el serpentín. Estos tubos están distanciados uniformemente para asegurar la transferencia de calor homogénea.

El colector de entrada es el encargado de distribuir el agua uniformemente a cada columna de tubos del serpentín. Una vez en este, el agua que circula por el interior comienza el intercambio térmico con los humos de la caldera sin llegar a producirse el cambio de fase. Por último, el colector de salida recoge el agua de cada columna para trasladarlo al siguiente dispositivo.

Normalmente, los economizadores están envueltos por chapas de acero formando el casing con el objetivo de maximizar el intercambio térmico y asegurar también la seguridad tanto del propio equipo como los operarios. Dispone de huecos alrededor para llevar a cabo las tareas de puesta en marcha, mantenimiento...

### 9.2.1.3 Vaporizador y sobrecalentador

Una vez alcanzado el estado de líquido saturado, el agua se dirige a la zona de tubos del interior de la caldera formada por dos zonas diferenciadas: evaporador y sobrecalentador.

Tanto el evaporador como sobrecalentador están formados por tubos horizontales en la zona superior de la caldera previamente calculados para alcanzar las condiciones de diseño.

En el primero de los dispositivos se produce el cambio de fase de agua líquida a vapor de agua, siendo para este proyecto con una presión en la caldera de 60 bar, la temperatura a la que se produce el cambio de fase 275,6 °C. A continuación, el vapor discurre por la zona de tubos correspondiente al sobrecalentador donde alcanzara las condiciones de salida, en este caso 450 °C a 60 bar.

#### 9.2.1.4 Aislamiento de caldera

Uno de los principales aspectos de las centrales térmicas es el aislamiento de sus principales equipos como pueden ser la caldera, tuberías y auxiliares y depósitos. El sistema empleado para conocer el estado del aislamiento de estos equipos es la termografía infrarroja, equipo que detecta la emisión de calor de los diferentes elementos y da a conocer la temperatura en cada punto.

Por ley, la temperatura máxima a la que cualquier equipo al que se tenga acceso en la industria es de 60 °C. Por ello una de las principales razones para realizar el aislamiento de los equipos es esta. Además, los dispositivos calorifugados evitan las pérdidas de calor excesivas y por tanto supone una medida de eficiencia energética.

#### 9.2.1.5 Tratamiento de agua de calderas

La calidad del agua empleado en la caldera es fundamental para una buena operación de esta. El agua sin tratar contiene sodio, calcio y hierro, incluso gases del aire disueltos. Además, en estado coloidal existen también partículas de sílice y óxido de hierro. En caso de alcanzar la caldera estas partículas podrían dar lugar a la formación de incrustaciones, arrastre de sílices y desprendimiento de los gases disueltos del aire.

Es imposible lograr un circuito completamente estanco, al ser vapor lo que circula por el ciclo, favorecido por el efecto Venturi crea una depresión a su paso por las válvulas favoreciendo a que el aire penetre. Esta presencia de aire en las tuberías puede causar corrosión, golpe de ariete, ruido y cavitación.

Para contrarrestar la presencia de partículas dañinas en el ciclo se llevan a cabo las siguientes fases de tratamiento del agua:

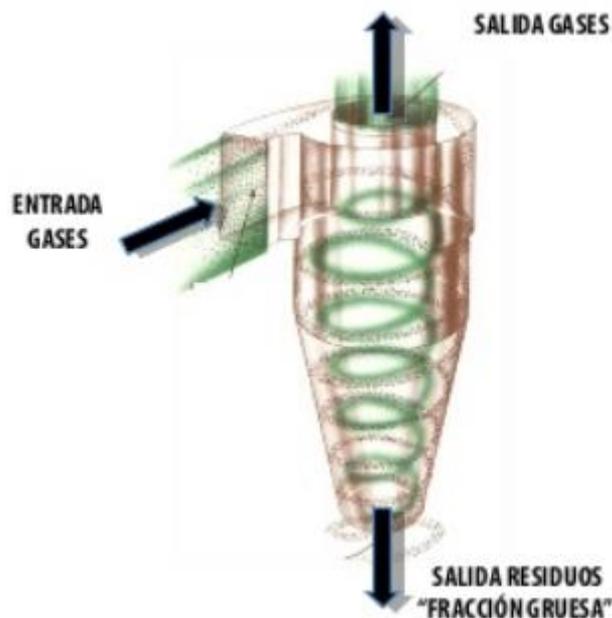
- **Pretratamiento:** Se llevan a cabo la filtración y la coagulación – floculación – decantación. Este último se encarga de facilitar la retirada de sólidos en suspensión y de las partículas coloidales. Mediante la coagulación se desestabiliza las partículas coloidales debido a la adición de un reactivo químico llamado coagulante neutralizando sus cargas electrostáticas. Le sigue la floculación, aglomerando las partículas desestabilizadas en microflóculos y después en flóculos más grandes que tienden a depositarse en el fondo. Por último, el decantador elimina estos flóculos
- **Desmineralización:** El proceso de desmineralización por intercambio iónico consiste en hacer pasar el agua a través de una cama de resina catiónica (cargada con iones H<sup>+</sup>) y una aniónica (cargada con iones OH<sup>-</sup>) o una cama con ambas conocida como resina mixta. Los iones disueltos no deseados son intercambiados, eliminados por adsorción sobre un material sólido.

### 9.2.1.6 Aspectos medioambientales de las calderas

Desde el punto de vista medioambiental, las mayores emisiones y, por tanto, las que requieren una limpieza más exigente son las calderas que emplean combustibles sólidos como el caso del orujillo. Como ya se ha comentado cada día es mayor la preocupación respecto al impacto ambiental y, por consiguiente, las leyes en cuanto a emisión de partículas más restrictivas.

Este suceso da lugar a la implantación de distintos dispositivos que minimicen los efectos negativos de este proceso industrial. En primer lugar, se introduce un ciclón y si este no fuese suficiente a continuación, se añade un filtro de mangas.

El ciclón permite la separación de partículas y la limpieza por tanto de los gases, reduciendo los niveles de emisión. Mediante rotación y el efecto de la gravedad separa las pequeñas partículas suspendidas en el aire depositándolas en el fondo y recirculando el aire a la parte superior del equipo tras un giro de 180 ° en el flujo. Este dispositivo se coloca siempre debido a su sencillez y su bajo coste



*Ilustración 18 Ciclón*

Si el ciclón no es suficiente, se coloca en serie un filtro de mangas encargado de alcanzar las características requeridas por la ley. Este sistema mucho más complejo que el anterior se encarga de retirar aquellas partículas de menor tamaño que el ciclón no ha sido capaz.

Se conducen los humos a través de un tejido filtrante en forma de manga que se encarga de atrapar las partículas no deseadas. El material de este tejido debe

adaptarse al uso deseado y las condiciones existentes como temperatura o presencia de compuestos corrosivos.

Un filtro de mangas consiste en varios compartimentos aislados formado por hileras de tela en forma de tubos redondos o mangas. El polvo transportado por la masa de aire pasa, por aspiración o depresión, a lo largo de la superficie de las mangas y después radialmente a través de la tela reteniendo por su parte exterior estas partículas. Una vez en el interior de las mangas, el aire filtrado se dirige a la cámara superior y de ahí al exterior a través de un ventilador. Este filtro es operado cíclicamente con paradas para la limpieza de la suciedad acumulada en las mangas.

Este tipo de filtros logra una eficiencia superior al 99% en partículas con tamaños desde las submicras hasta varios cientos de micras gracias principalmente a la capa de polvo formada en la tela.

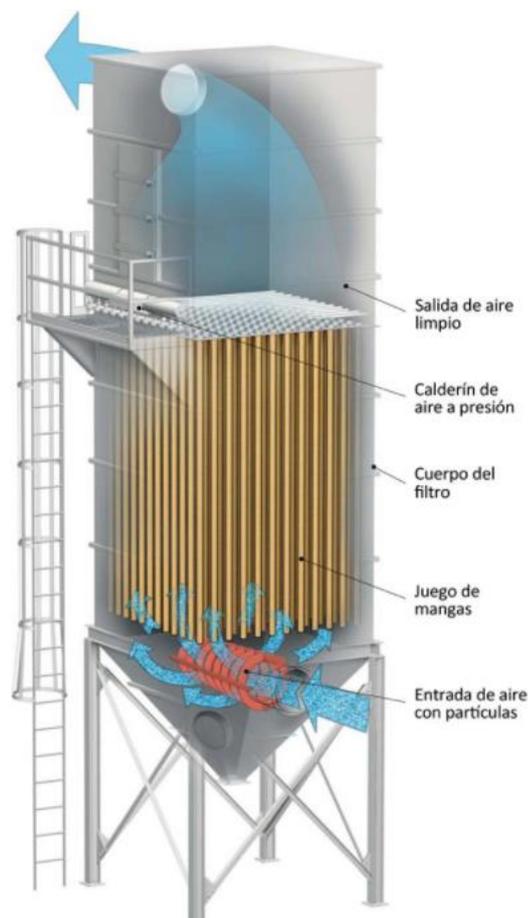


Ilustración 19 Filtro de mangas

### 9.2.1.7 Chimenea

Una vez que los humos han sido aprovechados térmicamente y cumplen con las restrictivas leyes en cuanto a emisiones, son conducidos a la chimenea para su expulsión a la atmosfera. El diseño de esta chimenea es de vital importancia ya que tiene que ser capaz de producir el suficiente tiro para conseguir dispersar los humos.

Los parámetros más importantes para el diseño de una chimenea son la diferencia de temperatura entre humos y ambiente, el tipo de combustible, caudal de gases y la aparición de corrosión debido al rocío ácido.

Como se trata del último sistema antes de la expulsión a la atmosfera los humos pueden llegar a disminuir su temperatura por debajo del punto de rocío ácido, para evitarlo se instalan tanto protecciones como aislante por sus partes internas y externas respectivamente.

### 9.2.1.8 Medidas y control en calderas

Para que la caldera opere acorde a los parámetros calculados adquiere especial importancia tanto las medidas como el control de ciertos parámetros referente a ella.

Los principales parámetros que se miden son la temperatura, presión, nivel de agua, caudales de vapor y gases y la composición de los humos.

En el caso de temperaturas, se presta especial interés a las temperaturas a la entrada y salida de la caldera y la temperatura de salida de los humos. En cuanto a las presiones, las más importantes son la presión a la salida de la caldera y la presión en el interior del hogar.

El nivel de agua supone un parámetro fundamental en el funcionamiento de la caldera, para valores por debajo del mínimo permitido se puede producir una evaporación muy brusca que podría parar la caldera. En cambio, para valores

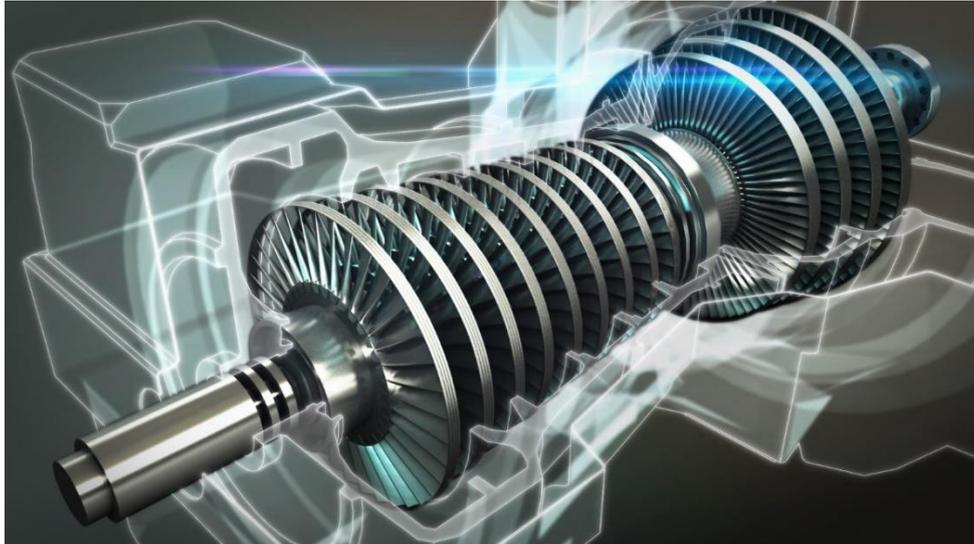
superiores al máximo admisible la cantidad de vapor producida disminuiría con el consiguiente arrastre de agua al ciclo.

## 9.2.2 Grupo turbina-alternador

Por un lado, la turbina es la encargada de transformar la energía térmica del fluido que circula por el ciclo en energía mecánica por otro lado, el alternador se encuentra conectado a la turbina y tiene como objetivo producir energía eléctrica a partir de energía mecánica.

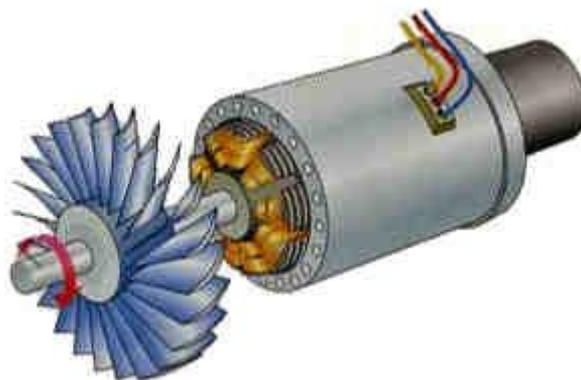
Una turbina de vapor es una turbomáquina motora que transforma la energía térmica de un flujo de vapor en energía mecánica realizando un intercambio de cantidad de movimiento entre el fluido de trabajo y el rodete, órgano principal de la turbina formado por alabes con geometría particular para favorecer el intercambio térmico. Existen dos partes diferenciadas en las turbinas, el rotor, formado por álabes unidos al eje y que forman la parte móvil de la turbina y el estator, unidos a la carcasa de la turbina. El rotor necesita ser resistente frente a los impactos del flujo que circula por él, para ello se construye de acero fundido con presencia de níquel o cromo. La carcasa que aloja los elementos mecánicos está fabricada en hierro, acero o aleaciones de este si las condiciones lo requieren. Por último, los alabes ya sean fijos o móviles, es común utilizar superaleaciones de titanio o níquel y aleaciones de wolframio-molibdeno para soportar las condiciones de desgaste y resonancia.

Además de estos elementos principales también dispone de una serie de elementos estructural, mecánicos y auxiliares para un correcto funcionamiento de la maquina como son: cojinetes, sistema de lubricación, sistema de refrigeración, sistema de control, válvulas de regulación, virador, sistema de extracción de vahos, aceite de control y sistema de sellado de vapor.



*Ilustración 20 Turbina*

El alternador es una maquina eléctrica capaz de transforma energía mecánica en energía eléctrica empleando inducción electromagnética para generar una corriente alterna. Funciona cambiando constantemente la polaridad para lograr movimiento y generar energía (Europa cambia 50 veces por segundo su polaridad). En este caso se emplea un generador síncrono de tipo trifásico para proveer de energía a la red. Compuesto por dos partes fundamentales como son inductor e inducido. El primero es el encargado de crear el campo magnético, está formado por un metal ferromagnético sobre el que se dispone un devanado de alambre de cobre esmaltado que es el que produce el campo magnético. El inducido donde se encuentran los pares de polos distribuidos de modo alterno está formado por un bobinado alrededor de un núcleo de material ferromagnético como es el hierro dulce.



*Ilustración 21 Grupo turbina-alternador*

En el caso de las turbinas hay que tener especial cuidado con las características del flujo de entrada, y más concretamente con el título a la entrada de la turbina ya que, la presencia de gotas de agua en la turbina produce un efecto contraproducente erosionando los alabes de este y llegando a destruirla con el paso del tiempo. Por ello se busca tener un título  $> 85\%$  a la entrada de la turbina para así disminuir la probabilidad de avería.

### 9.2.3 Condensador

El condensador no es más que un intercambiador de calor que se encarga de refrigerar el vapor a la salida de la turbina para obtener líquido saturado. Para lograr el máximo trabajo posible en la turbina se requiere disminuir lo máximo posible la temperatura a la salida de esta. Esto se consigue empleando un condensador que trabaje a una presión de 0,1 bar.

El vacío se produce en este dispositivo de forma termodinámica por la propia condensación del vapor, este será mayor cuanto menos sea la temperatura de refrigeración. Para lograrlo, es necesaria la ayuda de bombas de vacío, conocidas como eyectores, que se encargan de eliminar el vapor no condensado, agua líquida que no ha salido del condensador y el aire filtrado a este.

Para obtener líquido saturado a la salida del condensador el caudal de vapor se refrigera a través de un caudal de agua auxiliar, el cual se obtiene de un embalse situado en las cercanías de la planta. Por ley, la máxima diferencia de temperatura entre la entrada y salida del caudal de agua auxiliar es de  $7\text{ }^{\circ}\text{C}$  por ello, el caudal de este último será muy superior al de vapor de agua que circula por el ciclo.

### 9.2.4 Desgasificador

Debido a la alta presión y velocidad con la que circula el vapor por el ciclo, en las zonas donde se sitúan válvulas y purgadores, se genera una depresión en su zona

externa favoreciendo la entrada del aire al circuito debido al efecto Venturi. Este suceso supone un peligro para la integridad de la planta ya que puede conllevar cavitación en las bombas, golpes de ariete en tuberías y válvulas, oxidación y ruido.

Para corregir esta situación se instala un desgasificador en la planta con el objetivo de eliminar todo ese aire infiltrado a lo largo del circuito. No solo elimina esas partículas disueltas de  $O_2$  y  $CO_2$ , sino que también tiene como objetivo precalentar el agua de alimentación a la caldera. Para ello, el desgasificador operara a una temperatura de  $105\text{ }^\circ\text{C}$  evitando que existan gases disueltos.

Los desgasificadores están formados por dos depósitos distintos, el superior de pequeñas dimensiones y el inferior de gran tamaño. El primero es el encargado de eliminar los gases que se encuentran en la disolución a la salida del condensador. Para lograrlo se introduce por la parte superior la mezcla procedente del condensador y a contracorriente se mezcla con el vapor procedente del sangrado de la turbina logrando eliminar alrededor del 90% de los gases.

El depósito inferior de grandes dimensiones es el encargado de almacenar el agua precalentado y está conectado directamente a la bomba de alimentación a la caldera. La entrada del vapor extraído en la turbina se realiza a través de este depósito inferior. Dispone además de una válvula de drenaje encargada de expulsar agua cuando el nivel está por encima del máximo.

## 9.2.5 Bombas

La bomba es la encargada de aumentar la energía del fluido para que este alcance las condiciones deseadas. En este caso la primera de las bombas se encarga de aumentar la presión del líquido a la salida de condensador hasta los 3 bar, presión a la que opera el desgasificador. A la salida de este, se localiza la segunda de las bombas cuyo objetivo es aumentar la presión del fluido hasta los 60 bar antes de ser introducido a la caldera.

## 9.3 Edificios auxiliares

Estos edificios permiten disponer del espacio necesario para equipos, personal y materiales no incluidos en los apartados anteriores. Como en cualquier planta, se dispone un espacio para los trabajadores, ya sea en forma de oficinas o despachos individuales para el desarrollo de las actividades relacionadas.

Uno de los aspectos más importantes de cualquier planta de este tipo es el control del correcto funcionamiento. Para ello se habilita la sala de control donde se supervisa al momento el correcto funcionamiento de cada área de la planta, así como del conjunto general. Con los años se ha hecho más común el uso de SCADA, sistema que permite controlar de manera remota una instalación a través de la información que recibe de actuadores y sensores facilitando en gran medida esta actividad.

Estos edificios auxiliares también sirven para alojar todos los dispositivos eléctricos necesarios en la planta. Además, para optimizar los tiempos se dispondrá de un espacio donde se guardarán aquellas piezas de repuesto y mantenimiento más habituales necesarias para un correcto funcionamiento de la instalación.

Se incluyen también espacios para las necesidades de los trabajadores como son servicios, cocina-comedor, vestuarios...

## 10. Dimensionamiento de la planta

En este apartado se va a llevar a cabo el dimensionamiento de la planta, así como todos los cálculos termodinámicos de cada equipo. Para ello partiremos del siguiente esquema de la planta.

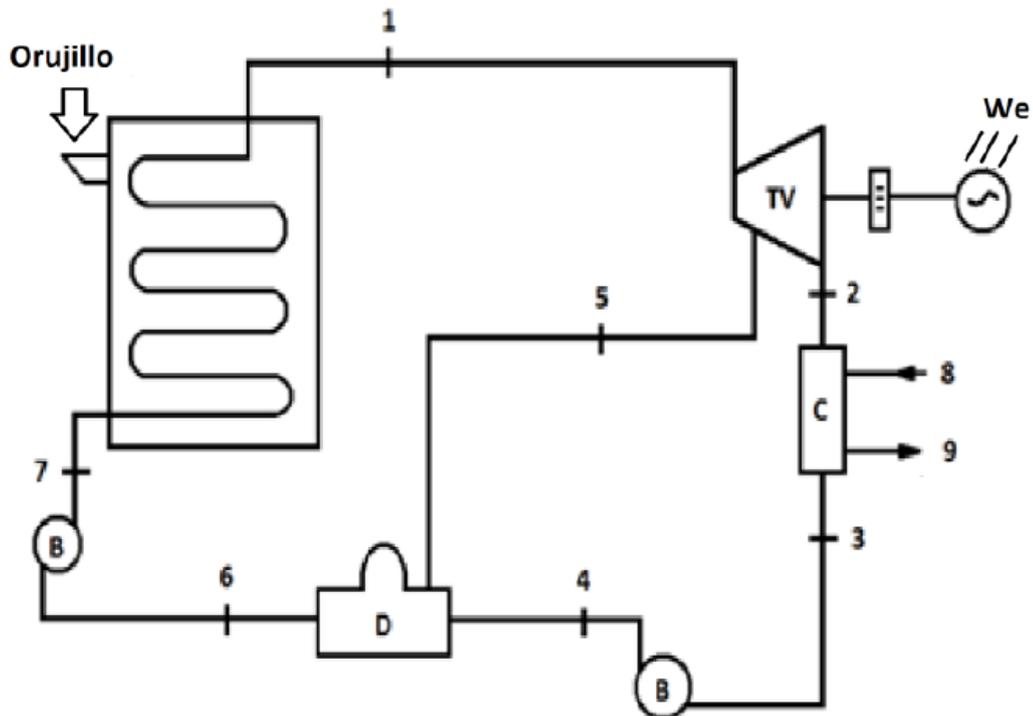


Ilustración 22 Esquema de la planta

En la imagen se aprecian todos los equipos de la planta empezando por la caldera a continuación, el ciclo avanza hacia la turbina, donde se realiza una extracción intermedia, conectada a su vez a la reductora y alternador. A la salida de la turbina el vapor circula a través del condensador obteniendo líquido saturado a su salida. La bomba se encarga de aumentar la presión del fluido hasta la del desgasificador, encargado de eliminar el aire filtrado cuya salida se dirige a la bomba de alta presión para alimentar a la caldera.

En la siguiente tabla se pueden observar los datos de partida para los cálculos energéticos de la planta:

#### Datos de partida

Estado 1	T1 = 450 °C P1 = 60 bar
Estado 2	P2 = 0,1 bar
Estado 3	P3 = 0,1 bar X3 = 0
Estado 5	P5 = 3 bar
Estado 6	T6 = 105 °C P6 = 3 bar
Estado 7	T7 = 105 °C P7 = 60 bar
Combustible	Q = 40.000 Tn/año PCI = 15800 KJ/kg $\rho = 600 \text{ Kg/m}^3$
Rendimientos	$\eta_{\text{caldera}} = 85 \%$ $\eta_{\text{isoturb}} = 70 \%$ $\eta_{\text{mecred}} = 90 \%$ $\eta_{\text{elecait}} = 97 \%$ $\eta_{\text{isobomb}} = 60 \%$

Ilustración 23 Datos de partida

- Caldera:

El primer dispositivo de la planta a analizar es la caldera, ya que es de la que más datos de partida tenemos.

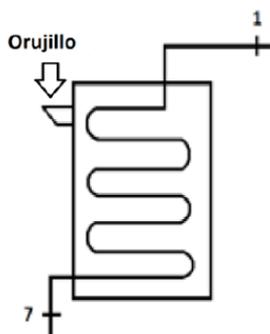


Ilustración 24 Caldera

$$\eta_{\text{caldera}} = \frac{Mv * (h1 - h7)}{Q * PCI}$$

Para las entalpías de los estados 1 y 7 conocemos tanto su temperatura como presión por tanto están definidas, el rendimiento de la caldera, Q y el PCI son datos de partida del problema por lo que a través de esta ecuación calcularemos el caudal de vapor que circula por el ciclo.

$$h_1 = 3301,45 \text{ kJ/kg}$$

$$h_7 = 444,64 \text{ kJ/kg}$$

$$M_v = 6,53 \text{ kg/s}$$

- Turbina:

Al realizarse una extracción intermedia, hay que tratar al conjunto como si fuesen dos turbinas distintas. La primera de ellas considerada de media presión, tiene como entrada el estado 1 y como salidas el estado 5 y un estado intermedio 2', los cuales son idénticos.

$$\eta_{isoturb} = \frac{h_1 - h_{2'}}{h_1 - h_{2's}}$$

Sabiendo que  $h_{2's}$  es la entalpia a la presión del punto 2' que es 3 bar y con la entropía del estado 1  $s_1 = 6,72 \text{ kJ/kgK}$ .

$$h_{2'} = 2822,33 \text{ kJ/kg}$$

La entrada de la turbina de baja presión es el estado 2' y la salida es el estado 2, aplicando la misma fórmula de antes obtenemos:

$$h_2 = 2331 \text{ kJ/kg}$$

Hay que tener en cuenta que parte de la masa de vapor se ha extraído de la turbina y por tanto la masa que circula por el ciclo queda de la siguiente manera:

$$m_5 = X * M_v$$

$$m_2 = (1-X) * M_v$$

donde X es el porcentaje de masa del sangrado de la turbina

- Condensador:

El condensador utiliza agua procedente de un embalse para refrigerar el vapor y obtener liquido saturado. Por ley la diferencia máxima de temperatura del fluido auxiliar empleado es de 7 °C.

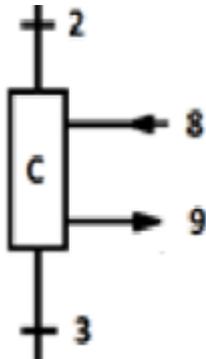


Ilustración 25 Condensador

Balance de energía en el condensador:

$$(1-X) \cdot Mv \cdot (h_2 - h_3) = Mr \cdot (h_9 - h_8)$$

$$h_9 - h_8 = 4,18 \cdot (7) = 29,26 \text{ kJ/kg}$$

$$h_3 = 191,83 \text{ kJ/kg}$$

En esta ecuación tenemos dos incógnitas que son X y Mr, y por tanto a priori no podría resolverse de momento. Al resolver el degasificador se obtendrá el valor de X y a continuación se volvería a esta ecuación para obtener Mr que es la masa de refrigeración necesaria.

$$Mr = 432,52 \text{ kg/s}$$

- Bomba:

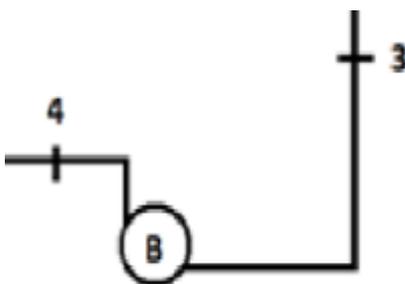


Ilustración 26 Bomba

$$\eta_{\text{isobomb}} = \frac{h_{4s} - h_3}{h_4 - h_3}$$

otra forma de escribirlo:

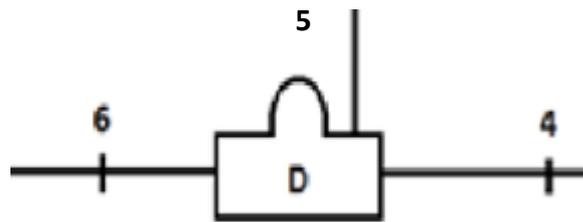
$h_4 - h_3 = v_3 \cdot (P_4 - P_3)$ , donde  $v_3$  es el volumen específico del estado 3, que al ser una bomba el dispositivo empleado será igual que el volumen específico del estado 4.

$$v_3 = 0,00101 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$h_4 = 192,12 \text{ kJ/kg}$$

- Desgasificador:

Encargado de eliminar el aire filtrado al circuito y precalentar el agua a la entrada de la caldera.



*Ilustración 27 Desgasificador*

Balance de energía en el desgasificador:

$$(1-X) \cdot Mv \cdot h_4 + X \cdot Mv \cdot h_5 = Mv \cdot h_6$$

Sabiendo la presión y temperatura del estado 6  $h_6 = 440 \text{ kJ/kg}$

$$X = 0,094$$

Una vez realizados todos los balances energéticos de cada equipo conocemos todos los valores característicos de la planta, pasaremos a obtener las potencias.

$$W_{\text{turbMP}} = Mv \cdot (h_1 - h_2') = 3130 \text{ kW}$$

$$W_{\text{turbBP}} = (1-X) \cdot Mv \cdot (h_2' - h_2) = 2908 \text{ kW}$$

$$W_{\text{bomb1}} = (1-X) \cdot Mv \cdot (h_4 - h_3) = 1,7 \text{ kW}$$

$$W_{\text{bomb2}} = Mv \cdot (h_7 - h_6) = 25,3 \text{ kW}$$

$$W_{\text{total}} = W_{\text{turbMP}} + W_{\text{turbBP}} - W_{\text{bomb1}} - W_{\text{bomb2}} = 6011 \text{ kW}$$

Teniendo en cuenta el rendimiento mecánico de la reductora y el rendimiento eléctrico del alternador la potencia eléctrica obtenida del ciclo es:

$$W_e = W_{total} * 0,9 * 0,97 = 5247,6 \text{ kW}$$

$$\text{El rendimiento del ciclo es: } \eta_{ciclo} = \frac{W_e}{Q * PCI} = 23,9 \%$$

A su vez es necesario también calcular el espacio destinado al almacenaje del orujillo seco y extractado, para ello tendremos en cuenta que en la planta solo se dispondrá de combustible como máximo a 2 meses vista.

$$Vol = \frac{Q * 8000}{\rho} = 66672 \text{ m}^3, \text{ donde } 8000 \text{ son las horas al año de uso de la planta}$$

Obtendríamos el volumen total de combustible utilizado en un año, pero teniendo en cuenta que solo tendremos como máximo el combustible necesario para dos meses, esto será 1/6 parte del total.

$$Vol_{alm} = \frac{1}{6} * Vol = 11112 \text{ m}^3$$

Sabiendo que el combustible se almacenará en montones con una altura de 4 metros, la superficie necesaria será:

$$Sup = \frac{Vol_{alm}}{4} = 2778 \text{ m}^2$$

Para asegurarnos de disponer espacio suficiente para circular entre montones y acceder sin ningún tipo de problema se sobredimensionará un 20% más, dando lugar a una superficie destinada a almacenamiento del combustible.

$$S = Sup * 1,2 = 3333,6 \text{ m}^2$$

Las propiedades termodinámicas de todos los estados del ciclo se pueden ver en el ANEXO I

## 11. Mantenimiento

Uno de los aspectos más importantes para que la planta funcione correctamente es el mantenimiento, estos se dividen en mantenimiento de los equipos y mantenimiento preventivo con el objetivo de disminuir el riesgo de futuras averías. Podemos diferenciar dos grupos distintos, la caldera y los elementos mecánicos.

En los elementos mecánicos como turbinas, bombas y transformadores los principales puntos a vigilar son el análisis de vibraciones y la lubricación. La vibración es el movimiento de una maquina o parte de una maquina en relación a un sistema de referencia considerado fijo y se puede determinar por su frecuencia y amplitud. Estos fallos pueden detectarse por la aparición de holguras y roces, excentricidad, desequilibrio, piezas en mal estado como rodamientos o cojinetes...

En cuanto a la lubricación pueden encontrarse cuatro tipos diferentes: Fricción hidrodinámica, fricción semiseca, fricción seca y fricción de rodadura... El lubricante no solo crea una película entre elementos metálicos para evitar su contacto y desgaste, sino que también se encarga de refrigerar, arrastrar las partículas metálicas y reducir el consumo energético. La principal consecuencia de una mala lubricación es el desgaste de las piezas con el consiguiente peligro para el funcionamiento de la máquina, siendo las principales causas de avería por mala lubricación la ausencia de aceite, degradación del aceite, cantidad inadecuada de lubricante, condición mecánica de la máquina y la utilización de un lubricante incorrecto.

Para cualquiera de los equipos mencionados el mantenimiento preventivo relacionado con la lubricación puede diferenciarse entre diario e intervalo fijo. Diariamente se controlan los niveles de aceite, principales parámetros operativos y búsqueda de ruidos y fugas. Los mantenimientos con intervalos fijos suelen programarse por tiempo transcurrido o por horas de funcionamiento de los sistemas, se lleva a cabo la inspección del aceite y en el caso de que lo necesite reposición o sustitución (mínimo una vez al año se sustituye), unido a esto se limpiara el filtro de aceite y en caso de estar en malas condiciones se sustituye. Se procede a la limpieza de

todos los circuitos referidos al sistema de lubricación, así como a la búsqueda de posibles fugas.

En el caso de la turbina, además de lo ya mencionado anualmente se llevará a cabo una revisión en la que se realizaran pruebas de potencia y rendimiento, termografía del grupo turbina-alternador, inspección de álabes, válvulas de regulación, sistema hidráulico y sellos laberínticos y comprobación de la alineación del grupo turbina-reductor-alternador. Se analizará también el espectro de vibraciones de este último a diferentes velocidades.

Durante el arranque de las bombas habrá que controlar que este llena de producto, comprobar que las válvulas de refrigeración estén abiertas y en caso de utilizar productos calientes precalentar para evitar choques térmicos. Una vez puesta en marcha evitar operar en puntos de caudal máximo o mínimo, vigilar los niveles de aceite y regular las temperaturas.

El otro grupo de elementos está formado por la caldera, dispositivo que tiene que soportar grandes presiones y temperaturas, siendo vital para que la planta opere en los valores establecidos. Por un lado, diariamente se vigilarán los parámetros principales como temperaturas, presiones y niveles, búsqueda de fugas de vapor o agua, inspección visual de la instrumentación y control químico del agua de alimentación. Mensualmente se realizará el engrase de los elementos mecánicos de la instalación, así como el análisis del mapa de vibraciones.

Paralelamente se lleva a cabo el mantenimiento preventivo en el que a diario se vigila el equipo de tratamiento de agua, la temperatura de los gases en la chimenea, purgas de lodos y sales. Mas o menos semanalmente se comprueban los termómetros, termostatos, manómetros y presostatos, limpieza de los elementos del quemador, apertura y cierre de todas las válvulas manuales y comprobación de la estanqueidad de la puerta de acceso a la caldera. Cada mes se realiza una prueba de paro normal y otra empleando el interruptor de emergencia, verificación de toda la aparamenta eléctrica y análisis de gases y ajuste de la combustión.

Una vez al año se lleva a cabo la parada de la caldera para su apertura e inspección. Se aprovecha para evaluar el estado de la caldera respecto a la aparición de corrosión, se lleva a cabo una limpieza de la zona del agua eliminando incrustaciones y sedimentos, eliminación de los hollines en la zona de los gases, limpieza de los ciclones y filtros de mangas y reparación de las fugas de vapor.

## 12. Estudio económico

A continuación, se introduce el presupuesto del proyecto desglosado en diferentes partidas para cifrar los gastos de un proyecto de tal magnitud. Además, se incluirá el periodo de retorno de la inversión para demostrar la viabilidad del proyecto

<b>Partida</b>	<b>Coste</b>
<b>Caldera</b>	<b>6.000.000 €</b>
Caldera	
Economizador	
Chimenea	
Ciclón y filtro de mangas	
Desgasificador	
<b>Grupo Turbina-alternador</b>	<b>5.100.000 €</b>
Turbina	
Reductora	
Alternador	
Sistema lubricación	
Sistema control	
Sistema seguridad	
<b>Equipos auxiliares</b>	<b>2.000.000 €</b>
Condensador	
Bombas	
Valvulas, tuberías y codos	
Control general equipo	
<b>Obra civil</b>	<b>1.700.000 €</b>
Cimentaciones	
oficinas	
Almacenes del orujillo	
Vías de acceso	
Taller	
Zona de descarga	
<b>Montaje mecánico</b>	<b>1.200.000 €</b>
<b>Montaje eléctrico</b>	<b>1.400.000 €</b>
<b>Puesta en marcha</b>	<b>200.000 €</b>
<b>Subtotal1</b>	<b>17.600.000 €</b>
<b>imprevistos (7%)</b>	<b>1.232.000 €</b>
<b>Total</b>	<b>18.832.000 €</b>

*Ilustración 28 Presupuesto*

La primera conclusión que se puede obtener es que el conjunto de caldera y grupo turboalternador supone más del 50% del presupuesto total contribuyendo enormemente a la inversión inicial que hay que realizar cercana a los 19 millones de €.

Los ingresos de esta planta provendrán de la venta de electricidad tanto a la red eléctrica española como a la planta de extracción de aceite de oliva, por ello es necesario hacer un balance de la potencia eléctrica generada.

El total de potencia generada asciende a 5250 kW, de los cuales 750 kW serán destinados para el autoconsumo de la propia planta y la potencia restante se dividirá entre la extractora y la red nacional. Aproximadamente la potencia necesaria por una extractora es de 1 MW, quedando 3,5 MW de potencia para su venta a la red eléctrica española.

Por tanto, los ingresos de esta planta van a depender del precio de venta de la electricidad a las dos entidades distintas. En el caso de la potencia vendida a la red eléctrica española el precio viene fijado en 50 €/MWh. Con la planta extractora se acuerda un precio de venta de 100 €/MWh.

Mientras que los gastos de la planta pueden englobarse en los costes de mantenimiento y operación. Para una planta de esta potencia los costes anuales aproximados de operación son 750.000 € y el coste de mantenimiento se encuentra en torno a 250.000 € anuales. La cifra conjunta de gastos anuales de la planta asciende a 1 millón €.

A modo de resumen en la siguiente tabla se pueden observar tanto los ingresos como los gastos anuales de la planta.

<b>Ingresos</b>	
Venta a la red electrica española	1.400.000 €
Venta a la extractora	800.000 €
Total	2.200.000 €

<b>Gastos</b>	
Costes operación	750.000 €
Mantenimiento	250.000 €
Total	1.000.000 €

*Ilustración 29 Ingresos y gastos anuales*

La planta logra unos beneficios anuales de 1.200.000 € a partir del cual se calcular a continuación el periodo de retorno de la inversión, para ello se adjunta una gráfica en la que se demuestra de forma sencilla el balance durante los próximos 20 años.

	<b>Gastos</b>	<b>Ingresos</b>	<b>Balance</b>
año 0	18.832.000 €	-	-18.832.000 €
año 1	1.000.000 €	2.200.000 €	-17.632.000 €
año 2	1.000.000 €	2.200.000 €	-16.432.000 €
año 3	1.000.000 €	2.200.000 €	-15.232.000 €
año 4	1.000.000 €	2.200.000 €	-14.032.000 €
año 5	1.000.000 €	2.200.000 €	-12.832.000 €
año 6	1.000.000 €	2.200.000 €	-11.632.000 €
año 7	1.000.000 €	2.200.000 €	-10.432.000 €
año 8	1.000.000 €	2.200.000 €	-9.232.000 €
año 9	1.000.000 €	2.200.000 €	-8.032.000 €
año 10	1.000.000 €	2.200.000 €	-6.832.000 €
año 11	1.000.000 €	2.200.000 €	-5.632.000 €
año 12	1.000.000 €	2.200.000 €	-4.432.000 €
año 13	1.000.000 €	2.200.000 €	-3.232.000 €
año 14	1.000.000 €	2.200.000 €	-2.032.000 €
año 15	1.000.000 €	2.200.000 €	-832.000 €
año 16	1.000.000 €	2.200.000 €	368.000 €
año 17	1.000.000 €	2.200.000 €	1.568.000 €
año 18	1.000.000 €	2.200.000 €	2.768.000 €
año 19	1.000.000 €	2.200.000 €	3.968.000 €
año 20	1.000.000 €	2.200.000 €	5.168.000 €

*Ilustración 30 Balance económico*

En la tabla se puede apreciar que entre el año 15 y 16 de funcionamiento de la planta el balance pasará de ser negativo a positivo y por tanto se habrá recuperado la inversión realizada.

Para concretar más el dato si se utiliza la formula del payback, Inversión/Flujo de caja:

$$\text{Payback} = 18.832.000 / 1.200.000 = 15,69 \text{ años}$$

## 13. Cronograma

A continuación, se van a describir las diferentes fases del proyecto a través de un diagrama de Gantt, fijando las fechas de inicio y fin de cada una de ellas.

Tipo...	Nombre	Fecha de inicio	Fecha de fin	Duración
T1	• Ingeniería básica	1/12/20	1/03/21	65
T2	• Ingeniería de detalle	2/03/21	1/03/22	261
T3	• Gestión de compra	2/03/21	1/03/22	261
H1	• Material en obra	1/03/22	1/03/22	0
T4	• Obra civil	2/03/21	30/07/21	109
T5	• Montaje mecánico	3/01/22	1/07/22	130
T6	• Montaje eléctrico	4/07/22	3/10/22	66
H2	• Fin de montaje	3/10/22	3/10/22	0
T7	• Puesta en marcha	4/10/22	5/12/22	45
H3	• Fin de proyecto	6/12/22	6/12/22	0

*Ilustración 31 Tareas del proyecto*

La primera de las tareas corresponde a la ingeniería básica, en ella se realizará un diseño preliminar del proyecto a grandes rasgos sin entrar en mucho detalle, proporcionando información acerca de los cálculos, costes estimados, plazos... Esta tarea tendrá una duración de 3 meses y supondrá el inicio del proyecto.

Una vez finalizada la ingeniería básica se dará comienzo a la ingeniería de detalle, en este caso se desarrollará el proyecto completo con todos los datos necesarios para su realización, fijando plazos y costes estimados en la ingeniería básica, así como todos los planos necesarios para la planta. Esta tarea se alargará 12 meses.

Simultáneamente, se llevarán a cabo las tareas de compra de material y obra civil. La primera de ellas con una duración de 12 meses tendrá como objetivo realizar la compra de todos los equipos necesarios para la planta y su recepción en obra, para ello se realizará la comprobación al término del plazo que se dispone de todos los equipos en obra cumplimentando el primero de los hitos.

Durante este mismo periodo se llevará a cabo la obra civil del proyecto en la que se realizaran las cimentaciones, construcción de oficinas y almacenes y habilitación de vías para circulación y la descarga del material. Esta fase del proyecto tendrá una duración de 5 meses.

A los 13 meses del comienzo del proyecto se dará inicio al montaje mecánico de las diferentes maquinas necesarias para el proyecto una vez que estén disponibles parte de estas. Tendrá un plazo de 6 meses.

Tras acabar el montaje mecánico se comenzará con el montaje eléctrico, operación que se extenderá 3 meses y al finalizar la cual se producirá el segundo de los hitos que es el fin de montaje.

Por último, una vez acabado el montaje, hay que realizar la última tarea del proyecto que es la puesta en marcha en la que se comprobara que todo funcione acorde a lo descrito en el proyecto, su duración será de 2 meses y finalizara con la consecución del hito fin de proyecto.

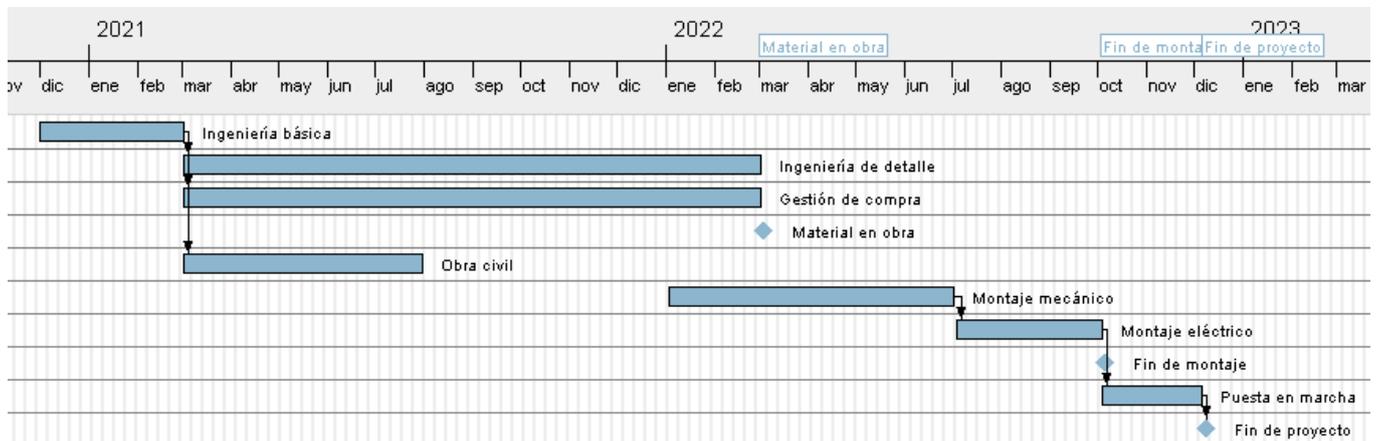


Ilustración 32 Diagrama de Gantt

En el grafico del cronograma se pueden ver el inicio y fin de cada tarea, así como las relaciones entre las diferentes tareas y los hitos del proyecto. Existirán dos caminos críticos que constarán de las siguientes fases:

- Ingeniería básica, ingeniería de detalle, montaje mecánico, montaje eléctrico y puesta en marcha

- Ingeniería básica, gestión de compra, montaje mecánico, montaje eléctrico y puesta en marcha

## 14. Bibliografía

- [1] International olive council (diciembre 2019). Outcome of the 110th sesión, nº144
- [2] Oro del desierto (2019). Aceite de oliva en el mundo, países productores y características diferenciadoras por país.
- [3] Centrales termoeléctricas (2020). Master universitario en Ingeniería Industrial
- [4] Energías alternativas (2018). Grado en tecnología en Ingeniería Industrial
- [5] TDC olive (2006). Tecnología de la elaboración de aceite de oliva y aceitunas de mesa
- [6] ESCAN, S.A. (2008). Biomasa: industria

## Anexo I

Estado	Temperatura [°C]	Presion [bar]	Entalpia [kJ/kg]	Entropia [kJ/kgK]	Caudal [kg/s]
1	450	60	3301,45	6,72	6,53
2	45,8	0,1	2331	7,35	5,916
3	45,8	0,1	191,83	0,6492	5,916
4	45,84	3	192,12	0,6496	5,916
5	178,9	3	2822,33	7,216	0,614
6	105	3	440	1,363	6,53
7	105	60	444,65	1,358	6,53
8	15	0,1	62,7	0,22	432,52
9	22	0,1	91,96	0,325	432,52

*Ilustración 33 Propiedades termodinámicas*

En la grafica anterior se pueden observar todos los datos de temperatura, presión, entalpia, entropía y caudal masico de cada estado del proceso.