



PLANTA DE APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE RESISUOS DE INVERNADERO DE 7MW DE POTENCIA ELÉCTRICA

PROYECTO FIN DE CARRERA

Autor: José Francisco Gómez Moriana

Tutor: Pable José Matute Martín

Ingeniería Industrial

13 de Septiembre de 2016



Índice

1. Antecedentes y objetivo	4
1.1. Antecedentes	
1.2. Objetivo	5
2. Situación y emplazamiento	6
3. Biomasa	8
3.1. Concepto biomasa	
3.2. ¿Por qué biomasa?	
3.3. Tipos de biomasa	9
3.4. Residuos de invernadero en Almería: Tipos y características principales	12
4. Procesos de obtención de energía	15
4.1. Ciclos de Rankine	
4.2. Elección del ciclo	17
5. Descripción de los procesos de tratamiento	18
5.1. Sistema de recepción de biomasa	19
5.2. Pretratamiento de la biomasa	
5.3. Planta de Potencia	21
6. Descripción de la solución adoptada	23
6.1. Datos de partida	
6.2. Sistema de recepción de biomasa	
6.3. Pretratamiento de la biomasa	24
6.3.1. Almacenamiento de biomasa fresca	25
6.3.2. Transporte de la biomasa en planta	27
6.3.3. Separación de rafias de plástico	28



6.3.4. Triturado	31
6.3.5. Secado y tratamiento de gases de salida	32
6.3.6. Almacenamiento de combustible tratado	36
6.4. Planta de potencia	38
6.4.1. Caldera de vapor	
6.4.1.1. Sistema de extracción cenizas	40
6.4.2. Turbina de vapor	
6.4.3. Generador	42
6.4.4. Condensador	
6.4.5. Tratamiento de agua del ciclo	45
6.4.6. Bombeo	47
6.5. Protección contra incendios	48
6.5.1. Edificio de oficinas	49
6.5.2. Edificio de pretratamiento de biomasa	
6.5.3. Edificio de almacenamiento de combustible tratado	50
6.5.4. Edificio de generación	51
6.5.5. Edificio de vehículos y maquinaria de transporte de biomasa	
6.5.6. Zona de almacenamiento de biomasa fresca	
6.5.7. Diseño del equipamiento de protección contra incendios	52
6.6. Tratamiento de aguas contaminadas del parque de residuos	53
6.7. Transformación y conexión a la red	55
7. Edificios	58
7.1. Hangar de maquinaria de transporte de biomasa	
7.2. Nave de Pretratamiento	59



7.3. Almacenamiento biomasa tratada	
7.4. Nave de Generación	60
7.5. Edificio de oficinas	61
7.6. Caseta de control de accesos	62
8. Reglamento de obligado cumplimiento	63
9. Resumen del presupuesto	72
10. Conclusiones	73



1. Antecedentes y objetivo

1.1. Antecedentes

El enorme desarrollo producido en la agricultura bajo invernadero en la provincia de Almería, ha hecho aparecer consigo un aumento de los problemas provocados en cuanto a la gestión de los residuos generados en las distintas cosechas. Estos residuos provocan diversos problemas en su eliminación o tratamiento, tanto económica como medioambientalmente, esta última, cada vez con mayor importancia.

En consecuencia, la enorme cantidad de residuos generados en los cultivos agrícolas bajo invernadero en la provincia de Almería (más de un millón de toneladas anuales), ha promovido varias y diversas iniciativas con la finalidad de poder disponer de un tratamiento que garantice de forma sostenible, tanto ambiental como económicamente, la actividad agrícola (vital en nuestra sociedad), y además contribuya, en la medida de lo posible, a una disminución de los costes.

Actualmente, en su mayoría, estos residuos se entregan a plantas de tratamiento que orientan su actividad a la producción de compost.

Con independencia de que la calidad de dicho compost se o no suficiente para una propicia salida al mercado, conviene hacer notar los potenciales riesgos y molestias que dicha actividad puede suponer. Con este respecto, algunos medios de comunicación han dado luz a diferentes problemas presentados en instalaciones existentes, así como la opinión adversa e inquietudes de muchos ciudadanos, lo que hace suponer, al menos, una cierta falta de solidez de las tecnologías adoptadas para los tratamientos.

Otras tecnologías que se han implementado incluyendo tecnologías de gasificación tampoco han significado una solución finalista (como las operadas en Níjar y/o en la Mojonera).

Con todo esto, el presente estudio busca implementar una iniciativa que se revalorice de una manera propicia los residuos generados en los cultivos agrícolas bajo invernadero en la provincia de Almería.



1.2. Objetivo

El objetivo de este documento es, como se mencionó anteriormente, buscar una solución técnica propicia para el aprovechamiento energético de residuos agrícolas generados bajo invernadero en la provincia de Almería.

Para ello, teniendo en cuenta las cantidades de residuos que se generan actualmente en la provincia de Almería, vamos a establecer como objetivo, el diseño de una planta de tratamiento de residuos que abastecerá a una central térmica que producirá, a la salida del generador, 10 MWe de potencia eléctrica (que tras el autoconsumo de la planta resultará una potencia neta inyectada a la red distinta).

El proyecto se desarrollará desde el recepcionamiento de los residuos generados por el agricultor en nuestra planta, hasta la inyección de la energía eléctrica generada en nuestra planta a la red eléctrica. Esto incluye el diseño de un sistema de almacenamiento de los residuos recepcionados, el diseño de una planta de tratamiento de los mismos para una correcta combustión de los mismos y el diseño de una central térmica de generación eléctrica.



2. Situación y emplazamiento

Como hemos comentado anteriormente, Almería presenta una gran cantidad de hectáreas bajo invernadero (ha llegado a superar las 30.000 hectáreas), sin embargo, a la cabeza dentro de la provincia de Almería se encuentra El Ejido con 12.446 hectáreas, detrás de este municipio, se encuentran Níjar (con 5.042 hectáreas), Roquetas (con 2.023 hectáreas) y ya diferentes municipios con producciones menores de 2.000 hectáreas.

Con estos datos de superficies bajo plástico, consideramos como primera opción ubicar nuestra planta de aprovechamiento energético de residuos en el municipio de El Ejido, sin embargo la cantidad de superficie de bajo invernadero es tal que no hay un terreno suficientemente grande para nuestra planta.

Con esto, como segunda opción, encontramos una superficie adecuada para nuestros requerimientos en la localidad de Almería, en su linde con Níjar. En la ilustración 1. Podemos ver la ubicación exacta de la planta.



Ilustración 1. Detalle situación de la planta.

Con esta localización, ubicamos nuestra planta a 15 km de Almería capital y unos 9 km de Níjar, situándola entre los dos grandes productores agrícolas de invernadero en Almería: El Ejido y Níjar.

En la ilustración 2, podemos ver un aumento de la ubicación de la planta.



Ilustración 2. Detalle ubicación de la planta.



3. Biomasa

3.1. Concepto biomasa

La RAE la define como “materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía”. Siendo una definición bastante pobre que podría llegar a la mala interpretación de la misma.

Por otra parte, directivas de la UE definen la biomasa como:

“la fracción biodegradable de productos, desechos y residuos de la agricultura (incluyendo sustancias vegetales y animales), silvicultura e industrias relacionadas, así como la fracción biodegradable de los residuos municipales e industriales”.

Esta última definición hace una referencia más clarificadora de lo que es la biomasa y su procedencia, excluyendo de su clasificación a recursos fósiles como el carbón, el petróleo o el gas, que podían entrar en la primera definición.

3.2. ¿Por qué biomasa?

La necesidad de un cambio en las políticas energéticas actuales nos lleva a la utilización de nuevas energías renovables, que no solo buscan eliminar esa dependencia de un recurso “no renovable” y limitado, sino también paliar las problemáticas adyacentes al actual modelo como es el efecto invernadero o el cambio climático.

La biomasa es un tipo de energía renovable que es beneficiosa tanto a nivel energético y ambiental, como a nivel de desarrollo socioeconómico de las zonas rurales donde se desarrolla.

En cuanto nivel ambiental, la biomasa tiene un balance neutro de CO₂, por lo que no contribuye al aumento del efecto invernadero, ya que el carbono que se libera forma parte de la atmósfera actual y no del subsuelo, recuperado de épocas anteriores, como el carbón, el gas o el petróleo.



Por otra parte, de cumplirse los objetivos propuestos en el Plan de Energías Renovables 2011-2020, un estudio elaborado por Boston ConsultingGroup y difundido por la firma Ence, sostiene que, en el caso concreto de la biomasa, se generarán ingresos que rondan la cifra de los 725 millones de euros.

Otros beneficios socioeconómicos de este recurso son: la generación de entorno a unos 15.000 empleos en zonas rurales, o la inversión industrial y forestal en estas zonas de más de 3.000 millones de euros.

Pero, ¿por qué la biomasa frente a otras energías renovables como la energía fotovoltaica o la eólica? La biomasa es un tipo de energía renovable que, además de las ventajas propias de las energías renovables ya mencionadas (ser autóctonas, generar empleo y ser amigables con el medio ambiente), tiene ciertas características que la dotan de especial importancia.

En primer lugar, destacar que la biomasa permite un cierto grado de almacenamiento, lo que permite una gestión controlada de la misma, cosa de la que no disponemos en energías como la solar pues nos hace dependiente de la disponibilidad del recurso, sin posibilidad de gestionarlo. Gracias al almacenamiento de la misma que permite la biomasa, las plantas de biomasa pueden estar trabajando por encima de las siete mil horas al año, pudiendo, a su vez, adaptarse a los picos de demanda.

Por otra parte, es un recurso flexible, pues es susceptible de transformación en diversas maneras, mediante transformaciones físicas, termoquímicas y biológicas; y, además, se puede dirigir a diversos usos. De la biomasa se puede obtener tanto electricidad, energía térmica, como biocarburantes, por tanto, obteniéndose con ella los tres vectores energéticos que utiliza el ser humano.

3.3. Tipos de biomasa

Según Euroserv'ER Barometer se distinguen dentro de la biomasa cuatro fuentes de energías diferentes: La biomasa sólida, el biogás, la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y los biocarburantes.



1. *Biomasa sólida*: aprovechamiento térmico o eléctrico de la materia orgánica de origen vegetal o animal (excluyendo aquellos usos que se definen en las siguientes categorías). Dependiendo del origen y composición de cada uno de los materiales y residuos utilizados, la biomasa sólida se divide en:

a) *Primaria*: formada por cultivos energéticos, que son cultivos de especies vegetales destinados específicamente a la producción de biomasa para uso energético. Entre las especies agrícolas para producción de biomasa lignocelulósica podemos citar el cardo, el sorgo, la brassica carinata o la colza etíope, entre otras. Entre las especies forestales leñosas se pueden citar, entre otras, el chopo, el sauce, el eucalipto o la paulownia.

b) *Residual o secundaria*: residuos forestales (como los generados en operaciones de limpieza o poda), residuos agrícolas leñosos (como podas de olivos, viñedos y frutales), residuos agrícolas herbáceos (como la paja de cereales de invierno o el cañote del maíz), residuos de industrias forestales y agrícolas (astillas, cortezas, serrín, huesos de aceitunas, cáscaras de frutos secos, cascarilla de arroz etc.).

2. *Biogás*: se denomina “metanización” al proceso de fermentación anaeróbica de los componentes orgánicos de los residuos. Dicha fermentación se produce por bacterias que se desarrollan en ambientes carentes de oxígeno. Durante el proceso de transformación de la materia orgánica, llamado digestión, dichas bacterias producen un gas denominado por su origen “biogás”.

El biogás puede proceder de la metanización natural de los residuos sólidos urbanos depositados en los vertederos (desgasificación) o puede producirse en digestores anaerobios (metanización voluntaria). La digestión anaerobia puede aplicarse a excedentes de cosechas, cultivos energéticos, residuos agrícolas, residuos ganaderos, lodos procedentes de depuradoras de aguas residuales o efluentes industriales. Estos residuos se pueden tratar de forma independiente o conjunta (codigestión). El biogás resultante de aguas residuales urbanas y efluentes industriales generalmente se produce en las mismas plantas depuradoras. Los residuos agrícolas y ganaderos pueden ser tratados en pequeñas plantas de biogás a nivel de granja o grupo de granjas².



En cuanto a sus usos, el biogás puede destinarse a la generación de calor y electricidad en una caldera, generación de electricidad en motores y turbinas, pilas de combustible previa realización de una limpieza de H₂S y otros contaminantes de las membranas, introducción en una red de transporte de gas natural previa purificación y agregación de los aditivos necesarios, material de base para la síntesis de productos de elevado valor añadido como el metanol o el gas natural licuado, e incluso como combustible de automoción (IDAE, 2007b)³.

3. *Fracción Orgánica de Residuos Sólidos Urbanos (FORSU)*. La Directiva 2008/98/CE incluye como biorresiduos los residuos orgánicos procedentes de jardines y parques, los residuos procedentes de las cocinas y de los alimentos de los hogares, bares, restaurantes, proveedores y redes de distribución de alimentos y residuos procedentes de las plantas de tratamiento de los alimentos. Su transformación en energía se realiza por incineración.

La Directiva de la Unión Europea 2006/12/EC sobre residuos define una jerarquía en la gestión de residuos sólidos urbanos en el siguiente orden de prioridad: 1) prevención o reducción de producción de residuos; 2) recuperación de residuos por medio del reciclaje, la reutilización y la recolección o cualquier otro proceso que permita extraer materias primas secundarias; 3) uso de residuos como fuente de energía; 4) vertido de residuos.

La valorización energética de los residuos sólidos urbanos reduce las emisiones de gases de efecto invernadero por dos vías: mediante la generación de energía térmica y eléctrica en sustitución de combustibles fósiles y evitando emisiones de metano en vertederos.

4. *Biocarburantes*: Se denominan biocarburantes a los combustibles líquidos de origen biológico que por sus características físico-químicas resultan adecuados para sustituir a la gasolina o al gasóleo, bien sea de manera total, en mezcla con estos últimos o como aditivo.

Los biocarburantes más utilizados en la actualidad son el bioetanol, que sustituye a la gasolina, y el biodiésel, que sustituye al gasóleo. El bioetanol se obtiene mediante la fermentación de los azúcares presentes en plantas como la caña de azúcar o



la remolacha, o mediante la hidrólisis y la fermentación del almidón obtenido del maíz y otros cereales. El biodiésel se obtiene tras someter a los aceites vegetales (soja, palma, girasol o colza, principalmente) a un proceso industrial de transesterificación. La mayor parte del biodiésel y cerca de un 80% del bioetanol producidos en el mundo se utilizan como combustibles para transporte. El resto sirve como insumo en la fabricación de bebidas alcohólicas y en otras industrias como la farmacéutica.

3.4. Residuos de invernadero en Almería: Tipos y características principales

La agricultura almeriense se centra principalmente en las siguientes especies hortícolas: tomate, pimiento, pepino, calabacín, melón, sandía, judía y berenjena.

De estas especies hortofrutícolas se obtienen los residuos que pretendemos aprovechar en nuestra planta.

Las principales características que necesitamos analizar de estos residuos son: la humedad, la cantidad de cenizas generadas en su combustión y el poder calorífico inferior que portan dichos residuos.

En cuanto a la humedad portada en los residuos, en la siguiente tabla podemos apreciar dicha humedad para cada tipo de residuo.

Tipo de Residuo	Humedad (% en peso)
Tomate	88,37
Pepino	85,82
Calabacín	92,66
Pimiento	82,11
Sandía	87,95
Melón	91,47
Judía	82,83
Berenjena	81,74

Tabla 1. Humedad (% en peso)



Con estos datos, vamos a establecer que la humedad con la que nos llega el residuo es del 86 % en peso.

Con respecto a la cantidad de cenizas generadas en la combustión del residuo, tenemos los siguientes datos.

Tipo de Residuo	Cenizas (g/100 g.s.s.)
Tomate	21,46
Pepino	17,49
Calabacín	25,06
Pimiento	17,06
Sandía	15,80
Melón	26,81
Judía	17,90
Berenjena	17,45

Tabla 2. Cenizas (g/100 g.s.s.) de los residuos.

Con los datos obtenidos, establecemos que la producción de cenizas de diseño será del 20 %.

Para terminar, mostraremos a continuación los valores del poder calorífico inferior de cada tipo de residuo.

Tipo de Residuo	PCI (kJ/kg)
Tomate	12.593,89
Pepino	12.468,29
Calabacín	15.955,89
Pimiento	14.683,11
Sandía	15.273,45
Melón	11.501,14
Judía	14.628,68
Berenjena	13.741,08

Tabla 3. PCI (kJ/kg) de los residuos.



Con los datos obtenidos, determinamos que el poder calorífico inferior portado en el residuo recibido es de $13.000 \frac{kJ}{kg}$.



4. Procesos de obtención de energía

En este apartado estudiaremos los procesos de obtención de energía de los residuos agrícolas bajo invernadero.

Como hemos mencionado anteriormente, nuestra planta generará energía a partir de la combustión de los residuos previamente tratados para tal fin. Para ejecutar dicho proceso, implantaremos en nuestra planta un ciclo de Rankine donde turbinaremos el vapor generado mediante la combustión de la biomasa.

4.1. Ciclos de Rankine

El ciclo de Rankine es el ciclo ideal que sirve de base al funcionamiento de las centrales térmicas con turbinas de vapor, las cuales producen actualmente la mayor parte de la energía eléctrica que se consume en el mundo.

La evolución de las centrales térmicas ha estado condicionada por la búsqueda de mejoras en el rendimiento térmico del ciclo termodinámico, ya que incluso pequeñas mejoras en el rendimiento significan grandes ahorros en los requerimientos del combustible.

Este ciclo consiste en calentar agua en una caldera hasta evaporarla y elevar la presión del vapor, que se hace incidir sobre los álabes de una turbina, donde pierde presión y energía cinética. Prosigue el ciclo hacia un condensador donde el fluido se licúa, para posteriormente introducirlo en una bomba que de nuevo aumentará la presión, y ser de nuevo intruducido en la caldera.

Como hemos dicho antes, a este ciclo básico, con pequeñas mejoras en su rendimiento se consiguen grandes ahorros, sobre todo en los requerimientos de combustible todo lo que esto lleva detrás (logística del combusitble, tramatiendo en nuestro caso, etc.). Por ello, estudiaremos las dos tecnologías más extendidas a la hora de mejorar el ciclo básico de Rankine: el recalentamiento intermedio y el ciclo regenerativo.



El recalentamiento intermedio es una mejora del ciclo básico de Rankine donde el vapor de alta presión procedente de la caldera se expande solo parcialmente en una parte de la turbina, para volver a ser recalentado en la caldera. Posteriormente, el vapor retorna a la turbina, en donde se expande hasta la presión del condensador.

En la siguiente imagen podemos ver el diagrama T-S y la estructura de un ciclo de Rankine con recalentamiento intermedio.

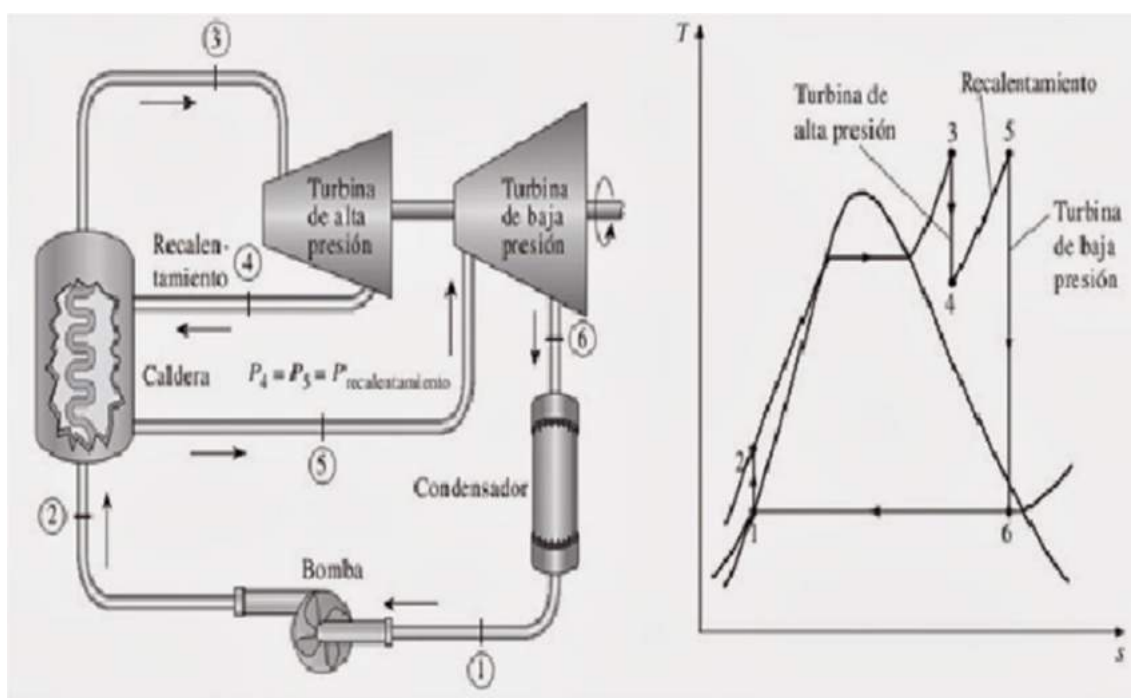


Ilustración 3. Ciclo con recalentamiento intermedio.

Por otro lado, el ciclo regenerativo consiste en extraer parte del vapor expandido en la turbina y utilizarlo para suministrar calor al fluido de trabajo, aumentando la temperatura por una fuente principal de calor a una presión determinada.

En la siguiente imagen podemos observar el diagrama T-S y la estructura del ciclo de Rankine regenerativo.

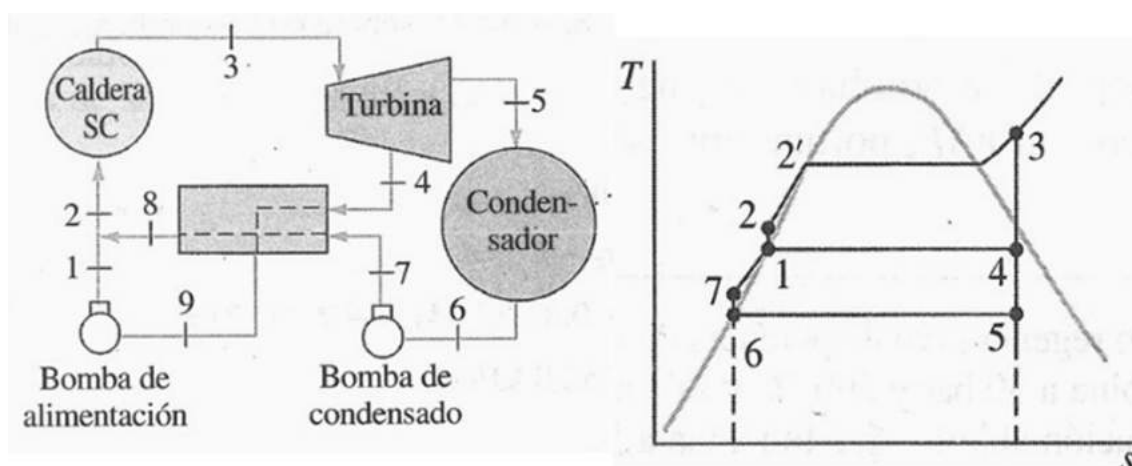


Ilustración 4. Ciclo regenerativo.

4.2. Elección del ciclo

Con todo esto, la selección del ciclo que implantaremos en nuestra planta de potencia la realizaremos con el objetivo de alcanzar en nuestra planta de potencia un rendimiento marcado como rendimiento objetivo de al menos un 30%.

Para la elección y el diseño del ciclo de potencia, utilizaremos el software CYCLEPAD, un software de modelado y simulación de ciclos termodinámicos gratuito y orientado al ámbito de la docencia que, aunque no llega a la profundidad otros programas de cálculos de ciclos profesionales, nos va a permitir el alcance requerido en este proyecto.

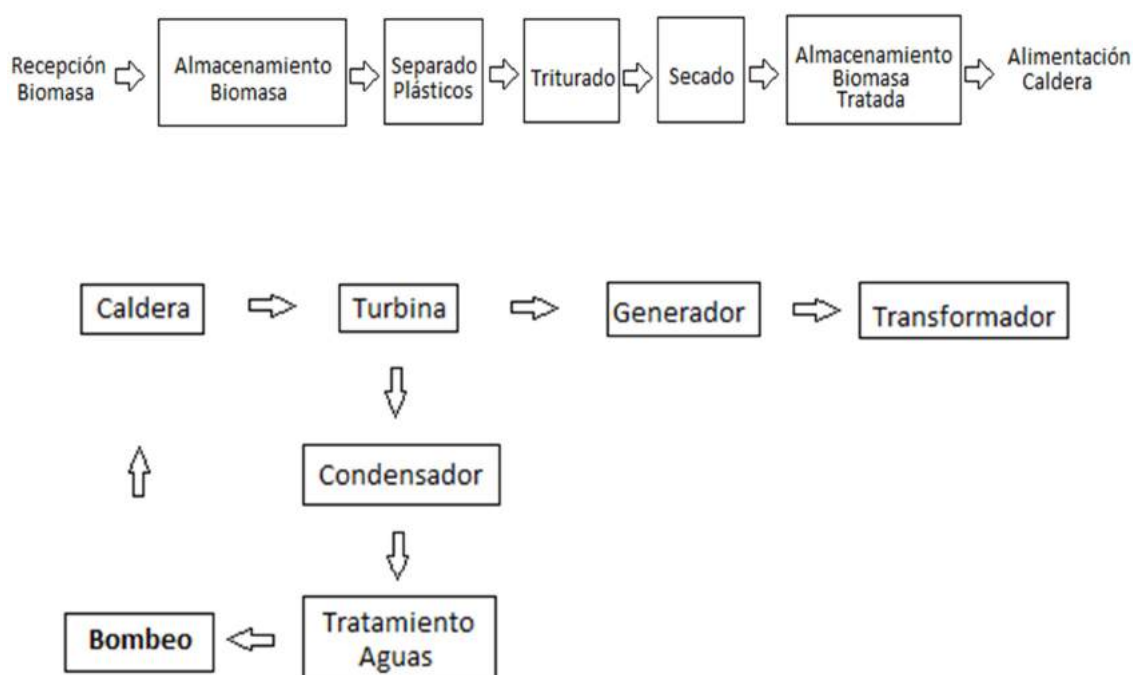
Una vez simulados y analizados el ciclo de Rankine básico, el ciclo de Rankine con recalentamiento intermedio y el ciclo regenerativo (véase anexo elección del ciclo de potencia) se decide implementar en nuestra planta de potencia un ciclo de Rankine con recalentamiento intermedio.



5. Descripción de los procesos de tratamiento

Nuestra planta va a constar de dos etapas diferentes: La primera será la etapa de pretratamiento de los residuos y la segunda será la etapa de generación de potencia eléctrica. La primera etapa se compone de las instalaciones necesarias para adecuar las características de los residuos que nos entra en planta a las necesarias para alimentar la caldera de vapor. Posteriormente, la segunda etapa, consta de todo lo necesario en el ciclo de potencia, es decir, desde la caldera de vapor, hasta la salida del generador. Además, anterior a estas dos etapas, se encontrará el recepcionamiento de los residuos.

Tanto la planta de pretratamiento como la planta de potencia operará 8.000 horas anuales, el resto de horas se destinarán a paradas de mantenimiento.





5.1. Sistema de recepción de biomasa

Los residuos se generan estacionalmente en invierno y primavera, por lo tanto, la recepción se tendrá que llevar a cabo en los seis meses que componen estas dos estaciones.

Para gestionar los volúmenes de camiones, se instalarán básculas de pesaje de camiones en la entrada de la planta, una báscula de camiones para el pesaje de los camiones de entrada y otra para el pesaje de los camiones que se disponen a salir de la zona de almacenamiento. Los camiones entrarán en la planta, pasarán directamente por la báscula de pesaje de entrada, donde le darán acceso a la zona de almacenamiento y procederán a descargar en el área que se les indique en el acceso.

Una vez llegado al sector de almacenamiento indicado en el acceso a la planta, los camiones descargan los residuos y una pala cargadora se encarga de apilarlo debidamente para su almacenamiento.

5.2. Pretratamiento de la biomasa

Como indicamos anteriormente, el pretratamiento de la biomasa se compondrá de las instalaciones necesarias para darle a la biomasa recepcionada todas las características (tamaño, humedad, etc.) necesarias para una correcta combustión en la caldera de vapor.

Los procesos implicados en este pretratamiento los que podemos ver en la imagen tal y los veremos a continuación.



Como mencionamos anteriormente, la biomasa fresca recepcionada se almacenará a la intemperie en la zona habilitada para ello.



Posteriormente, debido a las necesidades en la logística del transporte de la biomasa almacenada hasta la entrada de esta en la planta de pretratamiento, se dispondrá en la zona del almacenamiento que comunica con la entrada a la planta de pretratamiento una superficie destinada a un “posalmacenamiento” de la biomasa a suministrar a la planta de pretratamiento. Esto es debido a las grandes distancias que hay desde algunos puntos del almacenamiento de la biomasa hasta la entrada a la planta. De esta forma, uno o varios operarios se encargarán de suministrar un flujo continuo de biomasa a la planta de pretratamiento mientras que otro grupo se encarga de traer biomasa desde las distintas zonas del almacenamiento a esta zona de “posalmacenamiento”.

Tras el transporte de la biomasa del almacenamiento exterior a la planta de pretratamiento, el primer proceso por el que pasa la biomasa es el separado de la rafia de plástico (polietileno) de la biomasa. Estas rafias son las utilizadas para el guiado de la mata en su crecimiento y viene totalmente mezclada con la biomasa.

Para este proceso, contamos con una maquinaria a la que se le introduce una cantidad de biomasa y con una serie de peines en su parte inferior golpea de forma violenta la biomasa. De esta forma, la rafia se queda enredada en los peines y la biomasa limpia cae por el inferior del equipo

Tras el separado de la biomasa de las rafias plásticas, la biomasa es transportada mediante cintas transportadoras directamente a la alimentación de unas trituradoras de biomasa, donde dotamos a esta biomasa de un tamaño óptimo para la combustión en la caldera.

Posteriormente, una vez triturada la biomasa, esta se conduce mediante cintas transportadoras al sistema de secado. El secado de la biomasa va a constar de dos procesos diferentes y no consecutivos en el tiempo.

La biomasa llega a nuestras instalaciones recién extraída de la tierra y trae una humedad en torno a un 85%, siendo esta humedad excesiva para una combustión aceptable en la caldera. Para llegar a este objetivo, primero se somete a un secado natural en el almacenamiento a la intemperie. En este proceso, y de manera natural, la biomasa pierde una cantidad importante de la humedad inicial, sin embargo, ante el



tiempo limitado de almacenamiento, necesitaremos un tratamiento posterior para terminar el correcto secado de la biomasa.

En este proceso de secado, se establecerá una consigna de humedad. El tiempo de permanencia en la fase de secado natural va a depender de las condiciones climatológicas y, a priori, se deja en manos de los gestores de la factoría.

Una vez alcanzados estos valores de humedad, la biomasa (tras la separación de las rafias de plástico, como hemos visto anteriormente) se tritura. Este factor, favorece el secado de la misma, que, conforme avanza el proceso de secado del material, más se dificulta.

Con la biomasa triturada y con la humedad establecida alcanzada, se introduce en un secadero rotatorio tipo “trommel”. Estos secaderos consisten en hacer pasar la biomasa a tratar por un tubo en contacto directo con un gas caliente, que es el encargado de secar el material.

Una vez secada la biomasa, ya se podrá considerar como combustible tratado. Sin embargo, en lugar de alimentar directamente a la caldera, procederemos a almacenarlo. Para esto, diseñaremos un almacén destinado solamente a almacenar una reserva de varios días para ocasiones de paradas involuntarias o paradas de mantenimiento.

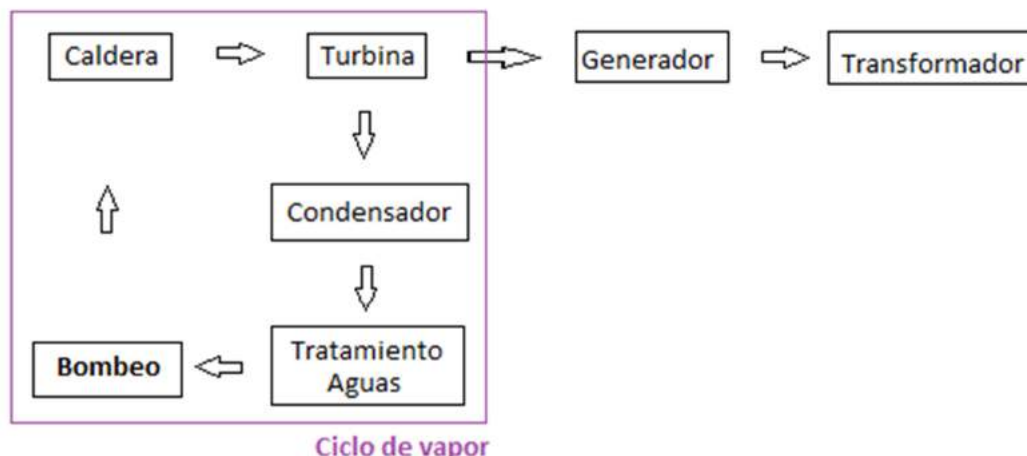
Este almacenamiento se realizará en silos alimentados directamente mediante cintas transportadoras desde la salida del proceso de pretratamiento. A su vez, los silos de almacenamiento descargan sobre una red de cintas transportadoras que desembocan en la alimentación de la caldera, concluyendo así el proceso de tratamiento y entrando en el proceso de obtención de energía.

5.3. Planta de Potencia

Una vez finalizado todo lo referente al adecuamiento del combustible para la caldera de vapor, vamos a ver todo lo necesario para la generación de la energía eléctrica.



En la imagen tal, podemos ver todos los procesos inmiscuidos en la generación de energía.



El proceso de generación constará del ciclo de vapor, el generador síncrono y, finalmente, el centro de transformación para inyectar la energía a la red.

El ciclo de vapor será un ciclo de Rankine con recalentamiento intermedio, por lo que instalaremos dos turbinas en el eje del generador: la turbina de alta presión y la turbina de baja presión. Esto implica también, que la caldera de vapor deberá estar preparada para calentar tanto el agua condensada como la corriente de vapor de salida de la caldera de alta presión.

Por otro lado, teniendo en cuenta que no dispondremos de fuentes de agua propicias para el uso de un condensador húmedo para el condensado del vapor exhausto de la caldera, instalaremos en nuestra planta un aerocondensador para dicho proceso de condensación.



6. Descripción de a solución adoptada

6.1. Datos de partida

Los datos de partida para el diseño de las isntalaciones de nuestra planta son (véase anexo cálculos para ver la procedencia de dichos datos de partida):

- Residuo a almacenar: $653.330,9 \frac{tn\ biomasa}{año}$
- Gasto másico de entrada de biomasa a la planta de pretratamiento: $37.5 \frac{tn\ biomasa}{hora}$
- Humedad de la biomasa de entrada a la planta de pretratamiento: 49%
- Requerimientos de alimentación de la caldera:
 - Gasto másico: $9,4 \frac{tn\ Combustible}{hora}$
 - Humedad del 30 %

6.2. Sistema de recepción de biomasa

La biomasa se genera estacionalmente en invierno y primavera, por lo tanto, la recepción se tendrá que llevar a cabo en los seis meses que componen estas dos estaciones.

Considerando esto, el total de biomasa anual entrará en planta con un flujo de:

$$\frac{653.330.887 \text{ Kg biomasa}}{año} \cdot \frac{1 \text{ año}}{6 \text{ meses}} \cdot \frac{1 \text{ mes}}{30 \text{ días}} \cdot \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ horas}} = 151.234 \frac{\text{Kg Biomasa}}{\text{hora}}$$

Asumiendo un volumen de 15 m^3 por camión y una densidad de almacenamiento en el camión de $300 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$, obtendremos un flujo de recepción de biomasa de unos 30 camiones a la hora.

Para gestionar estos volúmenes de camiones, se instalarán dos básculas de pesaje de camiones en la entrada de la planta, uno para el pesaje de camiones que entran llenos y otra para el pesaje de los camiones que abandonan la planta vacíos. Los camiones entrarán en la planta, pasarán directamente por las básculas de pesaje, que le darán



acceso a la zona de almacenamiento y procederán a descargar en el área que se les indique en el acceso.

Para la instalación de dichas básculas acudimos al fabricante Revuelta y elegimos una instalación con las siguientes características:

- Báscula electromecánica con capacidad de 25 toneladas.
- Instalada sobre piso.
- Con indicador digital de peso y comunicación con centro de control.
- Capacidad de pesaje por ejes.

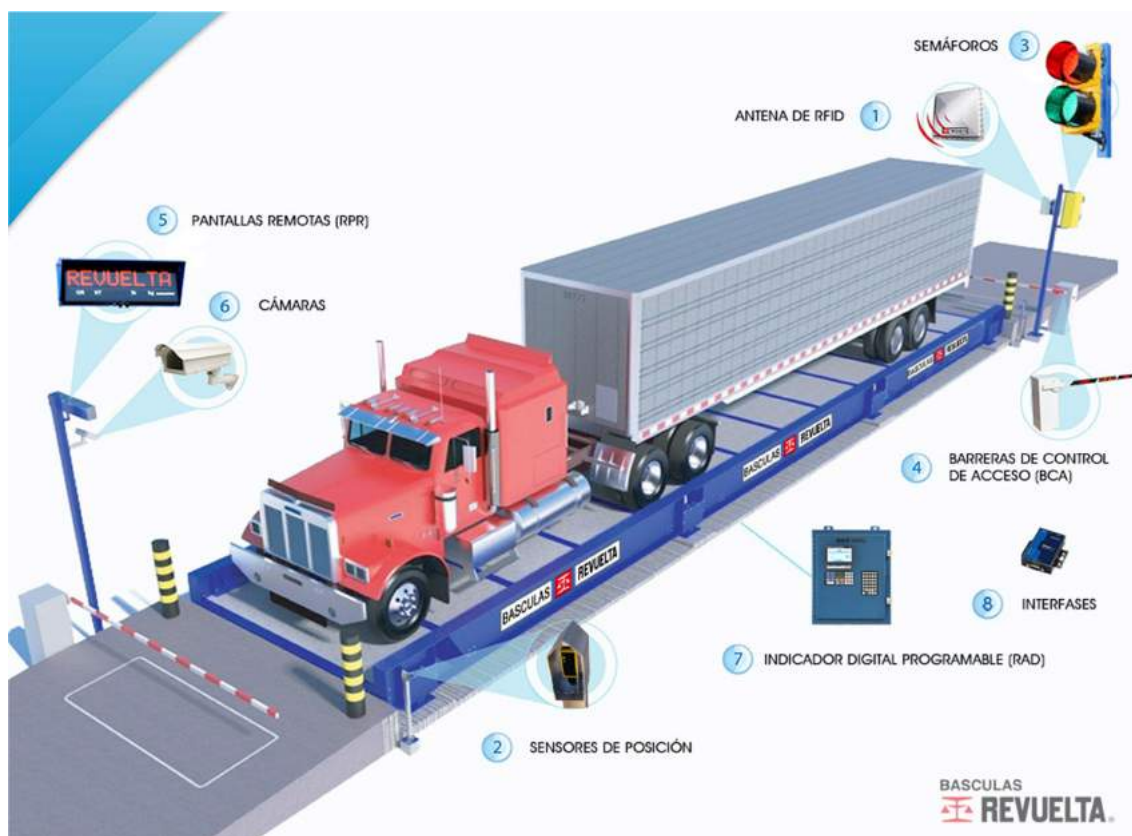


Ilustración 5. Detalle báscula.

6.3. Pretratamiento de la biomasa

En el siguiente apartado describiremos todo lo referente al tratamiento previo que va a recibir la biomasa para su acondicionamiento hacia la combustión.



6.3.1. Almacenamiento de biomasa fresca

La biomasa fresca recepcionada se almacenará a la intemperie en la zona habilitada para ello. Esta, se almacenará en pilas de 8 m de altura. Dichas pilas tendrán la superficie máxima permitida para el almacenamiento de combustible según el real decreto 2267/2004 de 500 m². Para el almacenamiento de pilas tan alta, dichos apilamientos tendrán una forma troncopiramidal, con una pendiente de unos 60° de inclinación, por lo que finalmente presentarán un volumen de 2.575,5 m³.

La biomasa total necesaria anualmente son 653.330.887 Kg, que, con la densidad aparente de la biomasa en su almacenamiento de 250 $\frac{Kg}{m^3}$ resultan 2.613.323 m³.

Sin embargo, durante los seis meses de recepcionamiento de la biomasa, la planta de pretratamiento está en funcionamiento y requiriendo un flujo de biomasa, por lo tanto, al haber terminado los seis meses de recepcionamiento, la biomasa no llegará nunca a ocupar un volumen de 2.613.323 m³.

Para calcular la superficie necesaria para almacenar la cantidad final de biomasa se muestran en la tabla tal, el flujo de biomasa de entrada en la factoría, el flujo de biomasa de entrada a la planta de pretratamiento y la diferencia de ambos flujos, que será el “flujo neto” que debemos asumir que entra en la zona de almacenamiento. Con este “flujo neto” ya podemos calcular en los seis meses de recepcionamiento la cantidad de biomasa que realmente se van a almacenar en nuestras instalaciones.

Biomasa entra planta (Kg/h)	Biomasa entra en pretratamiento (Kg/h)	"flujo neto" (Kg/h)	"Biomasa neta" (Kg)	Volumen necesario (m3)
158.796	85.750	73.046	315.560.000	1.262.240

Tabla 4. Balance biomasa almacenada.

Podemos observar que, prácticamente, el volumen requerido para el almacenamiento resulta la mitad del volumen necesario anualmente.



Por lo tanto, teniendo en cuenta los $2.575,5 m^3$ de volumen de las pilas, necesitaremos un total de 490 pilas.

Para asegurar una correcta logística de la biomasa, tanto en su recepcionamiento como posteriormente en la propia factoría, las pilas estarán distribuidas en “islas” de nueve pilas cada una. Para permitir el paso, tanto de un camión, como de la maquinaria necesaria para la logística de la propia factoría, cada pila estará separada de su adyacente por viales de $6,5 m$ de ancho. Además, cada “isla” estará separada de su adyacente por unos viales de $10 m$ de ancho que permitirán el paso de dos camiones en direcciones contrarias. Dicha distribución se puede apreciar en la ilustración 6, donde aparece representada con un recuadro rojo una de las “islas” de almacenamiento.

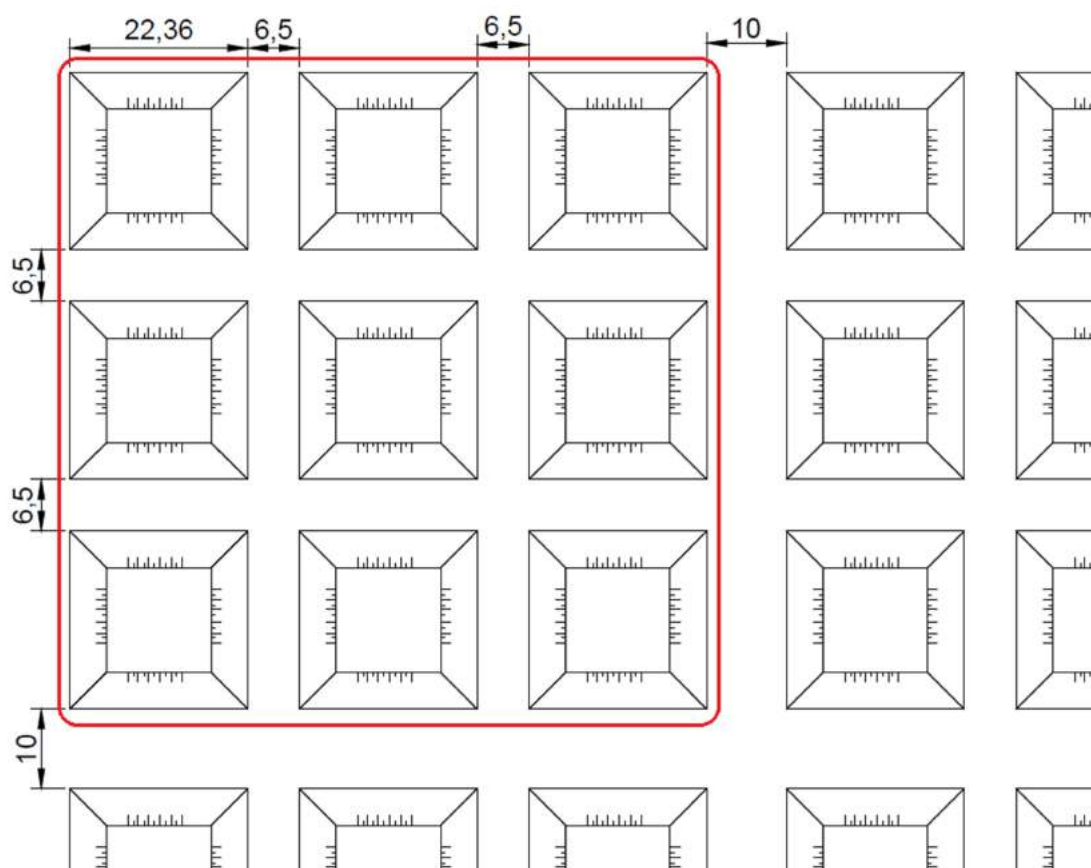


Ilustración 6. Distribución parque de almacenamiento.



Por lo tanto, para distribuir las pilas necesarias de biomasa, dispondremos un total de cincuenta y dos “islas” de nueve pilas cada una. La distribución final de todo el material almacenado se puede ver en el documento planos.

Además, como se ha indicado en anterior apartado, debido a las necesidades en la logística del transporte de la biomasa almacenada hasta la entrada de esta en la planta de pretratamiento, se dispondrá en la zona del almacenamiento que comunica con la entrada a la planta de pretratamiento una superficie destinada a un “posalmacenamiento” de la biomasa a suministrar a la planta de pretratamiento. Esto es debido a las grandes distancias que hay desde algunos puntos del almacenamiento de la biomasa hasta la entrada a la planta. De esta forma, uno o varios operarios se encargarán de suministrar un flujo continuo de biomasa a la planta de pretratamiento mientras que otro grupo se encarga de traer biomasa desde las distintas zonas del almacenamiento a esta zona de “posalmacenamiento”.

6.3.2. Transporte de la biomasa en planta

El transporte de la biomasa desde la zona de almacenamiento en el parque de residuos hasta la zona de posalmacenamiento se realizará siguiendo el siguiente procedimiento.

En la zona del parque de almacenamiento de residuos de donde se esté adquiriendo el residuo a transportar a la planta de pretratamiento, habrá un equipo de operarios. Este equipo constará de dos operarios que se encarguen de transportar la biomasa desde el parque a la zona de posalmacenamiento cargadas en un camión y un tercero que se encargue, utilizando una pala cargadora de llenar dichos camiones.

Para este fin, adquiriremos dos camiones para el transporte y tres palas cargadoras.

El camión seleccionado cuenta con las siguientes características:

- Cilindrada del motor: 18,1 L
- Potencia neta del motor: 370 kW
- Capacidad de la caja: 18 m^3



Con estas características, seremos capaces de suministrar los $37.500 \frac{kg \text{ biomasa}}{h}$ requeridos en la planta de pretratamiento como podemos ver a continuación:

$$\frac{37.500 \frac{kg \text{ biomasa}}{h}}{250 \frac{kg}{m^3}} = 150 \frac{m^3}{h}$$

Teniendo dos camiones con capacidad de $18 m^3$ cada uno:

$$\frac{150 \frac{m^3}{h}}{18 \frac{m^3}{\text{viaje}}} \simeq 8 \text{ viajes a la hora}$$

Obtenemos que necesitaríamos realizar ocho viajes a la hora para satisfacer las solicitudes de la planta de tratamiento. Al tener dos camiones, las cifras que obtenemos son que cada camión realizará cuatro viajes a la hora.

Por otro lado, al adquirir las palas cargadoras, solicitaremos tres equipos debido a que una de ellas se utilizará en el transporte de biomasa como hemos citado antes y las dos restantes se encargarán de apilar los residuos recepcionados (proceso simultáneo e independiente del de alimentación de la planta de pretratamiento).

Se adquirirán tres palas cargadoras de cadenas con las siguientes características más destacables:

- Potencia al volante: 196 kW
- Tipo de zapata de cadena: Garra doble.
- Capacidad del cucharón (uso general): $3,5 m^3$

6.3.3. Separación de rafias de plástico

Tras el transporte de la biomasa del almacenamiento exterior a la planta de pretratamiento, el primer proceso por el que pasa la biomasa es el separado de la rafia de plástico (polietileno) de la biomasa. Estas rafias son las utilizadas para el guiado de la mata en su crecimiento y viene totalmente mezclada con la biomasa.

Para este proceso, contamos con una maquinaria a la que se le introduce una cantidad de biomasa y con una serie de peines en su parte inferior golpea de forma violenta la biomasa. De esta forma, la rafia se queda enredada en los peines y la biomasa limpia cae por el inferior del equipo. Una vez vacío, se vuelve a llenar de más biomasa y vuelve a eliminar los plásticos. Para mayor claridad podemos ver la situación de los peines (20) en la imagen tal y por donde se introduce la biomasa (15).

El proceso realizado por estas instalaciones es mediante ciclos de separado en el que, una vez lleno de biomasa, se accionan los peines y separan las rafias. Una vez vacío, se vuelve a llenar y repite el ciclo. Cada una de estas máquinas realiza diez ciclos cada hora, por tanto, necesitaremos una cantidad de dos máquinas para satisfacer el caudal de tratamiento.

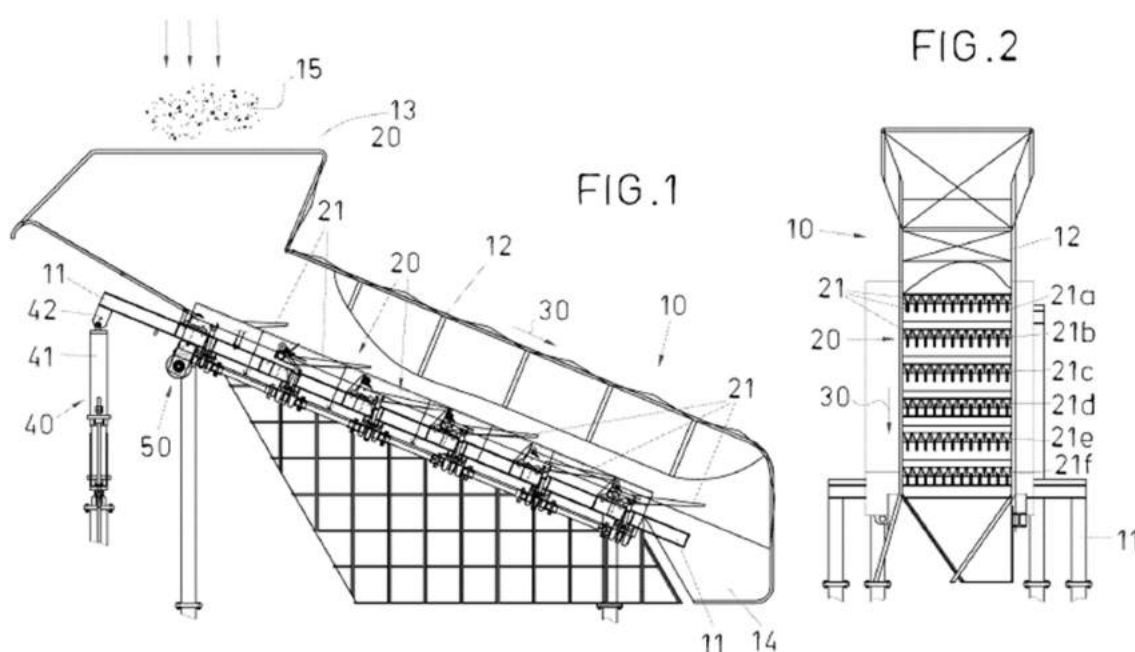


Ilustración 7. Detalle separador.

Para calcular la cantidad de equipos que necesitaremos para nuestro caudal de biomasa fresca a tratar, calcularemos el caudal volumétrico a tratar:

$$37.500 \frac{\text{Kg biomasa}}{\text{hora}} \cdot \frac{\text{m}^3}{250 \text{ kg}} = 150 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}}$$



$$\text{Volúmen de biomasa por equipo} = 7,5 \text{ m}^3$$

$$\text{Ciclos por hora} = 10 \frac{\text{ciclos}}{\text{hora}}$$

Obteniendo así:

$$\frac{150 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}}}{7,5 \frac{\text{m}^3}{\text{ciclo}}} = 20 \frac{\text{ciclos}}{\text{hora}}$$

Para realizar veinte ciclos a la hora, necesitaremos:

$$\frac{\frac{20 \text{ ciclos}}{\text{hora}}}{\frac{10 \text{ ciclos}}{\text{hora}} / \text{máquina}} = 2 \text{ máquinas}$$

Con los resultados obtenidos, observamos que necesitaremos cuatro máquinas para tratar el caudal de biomasa fresca.

Las características de estas instalaciones son:

- *Largo:* 6 m
- *Ancho:* 3 m
- *Alto:* 4 m
- *Potencia eléctrica consumida:* 5 kW
- *Capacidad:* $75 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$

Los dos equipos se dividirán en dos líneas independientes. Cada uno de estos equipos estará alimentado mediante un sistema de cintas transportadoras por una tolva con una capacidad de 15 m^3 , con una autonomía de dos ciclos (uno por cada una de los dos separadores).

Como la cantidad de plástico en peso es en torno a un 5% (ver anexo cálculos), la cantidad de polietileno extraído de la biomasa es de plásticos separados se transportarán periódicamente para su reciclado a un gestor autorizado.



6.3.4. Triturado

Tras el separado de la biomasa de las rafias plásticas, la biomasa es transportada mediante cintas transportadoras directamente a la alimentación de unas trituradoras de biomasa. Dicha alimentación será mediante un tolván de alimentación.

Estos equipos serán trituradoras estacionarias de martillo. El fabricante ventura presenta equipos capaces de triturar el caudal de biomasa necesario en nuestra planta, sin embargo, por cubrirnos ante posibles averías de las instalaciones, vamos a seleccionar dos equipos menores para que trabajen en paralelo. La trituradora la podemos observar en la imagen tal, y las características de cada una de las dos trituradoras son las siguientes:

- Modelo: MILL 500
- Peso (Kg): 1.550
- Número de cuchillas: 63 cuchillas + 6 contracuchillas
- Rendimiento por hora ($\frac{m^3}{h}$): 75
- Potencia del motor (KW): 45



Ilustración 8. Detalle trituradora.



Cada una de estas trituradoras se dispondrán a continuación de los separadores, y estarán alimentadas cada una por un grupo de separación.

6.3.5. Secado y tratamiento de gases de salida

El secado de la biomasa va a constar de dos procesos diferentes y no consecutivos en el tiempo.

La biomasa llega a nuestras instalaciones recién extraída de la tierra y trae una humedad de un 85%, siendo la consigna de humedad máxima aceptada por la caldera de vapor de un 30%. Para llegar a este objetivo, primero se somete a un secado natural en el almacenamiento a la intemperie. En este proceso, y de manera natural, la biomasa pierde una cantidad importante de la humedad inicial, sin embargo, dicho proceso, describe un desarrollo logarítmico y, ante el tiempo limitado de almacenamiento, necesitaremos un tratamiento posterior para terminar el correcto secado de la biomasa.

En este proceso de secado, se establece una consigna de un 49% de humedad. El tiempo de permanencia en la fase de secado natural va a depender de las condiciones climatológicas y, a priori, se deja en manos de los gestores de la factoría.

Una vez alcanzados valores del 49% de humedad, la biomasa (tras la separación de las rafias de plástico, como hemos visto anteriormente) se tritura. Este factor, favorece el secado de la misma, que, conforme avanza el proceso de secado del material, más se dificulta.

Con la biomasa triturada y con una humedad del 40%, se introduce en un secadero rotatorio tipo “trommel”. Estos secaderos consisten en hacer pasar la biomasa a tratar por un tubo en contacto directo con un gas caliente, que es el encargado de secar el material. El secadero suele tener una cierta pendiente, y en su interior presenta unas palas encargadas de transportar el material a secar y moverlo en su interior, aumentando la zona de contacto del material con el gas caliente. En la imagen tal, podemos ver la morfología del mismo.



Para dimensionar un secador capaz de tratar el caudal que nos ocupa, haría falta un secador de dimensiones excesivas (véase anexo cálculos). Para evitar esto, montaremos dos secadores en paralelo con las siguientes características:

- *Diámetro de paso:* 4,4 m (*área de paso de* 15,4 m²)
- *Longitud:* 19 m
- *Caudal másico de gases calientes:* 58.043 $\frac{kg}{h}$
- *Potencia eléctrica consumida:* 100 kW

Como gas caliente, se suele utilizar una pequeña caldera de gas u otro tipo de equipo calentar los gases de secados, sin embargo, nosotros vamos a utilizar los gases de combustión de salida de la caldera de vapor. Sin embargo, estos salen a una temperatura demasiado alta y degradarían la biomasa. La consigna de temperatura de los gases calientes del secadero será de 200 °C para un secado óptimo.

Para solucionar esto, y no perder nada de la energía portada en los gases residuales de la caldera, en vez de reducir su temperatura en un intercambiador de calor, mezclaremos el flujo de gases de escape de la caldera con un flujo de aire en condiciones ambiente. Este aire, se aportará del exterior de la nave de pretratamiento mediante una soplante y se hace pasar por una cámara de mezcla de gases junto con el flujo de gases de salida de la caldera. Con esto, obtendremos el caudal de aire requerido en el secadero a la temperatura de consigna (véase anexo cálculos).

La mezcla de gases se realizará en un depósito en el que ambas entradas coinciden y la propia expansión que experimentan ambas corrientes, junto al tiempo de permanencia que tienen en el equipo, permite que la salida de dicha instalación sea el caudal deseado a la temperatura de diseño.

Este mezclador de corrientes tendrá un volumen de 13 m³ que presenta dos entradas y una salida inferior por donde se extrae el caudal deseado a los 200 °C que solicita el secador.

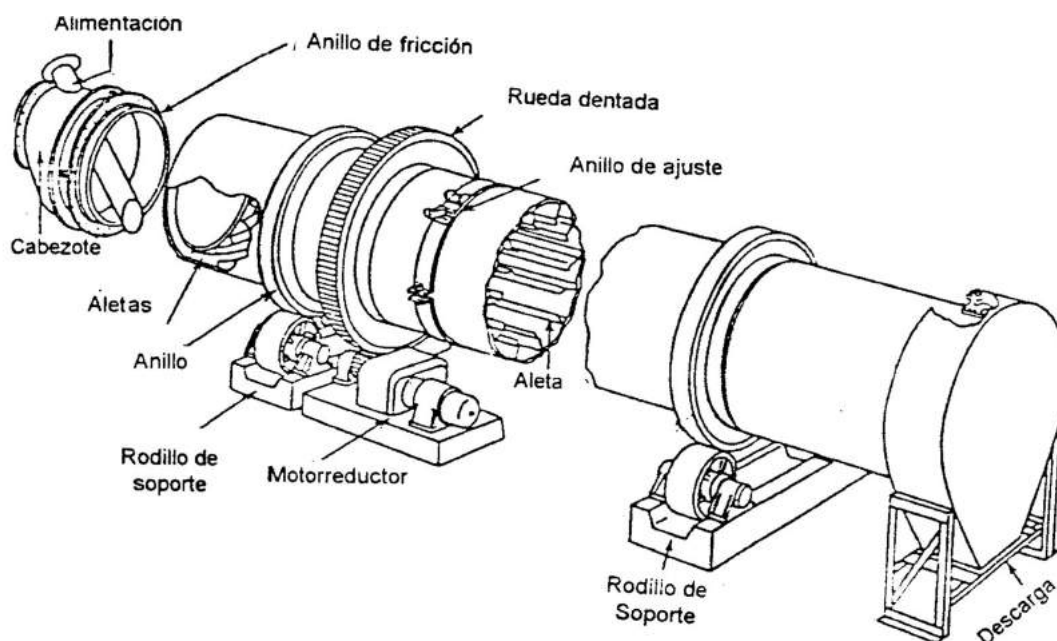


Ilustración 9. Detalle secador biomasa.

Una vez que los gases de secado han atravesado el secador, son direccionados a un filtro de mangas para posteriormente expulsarlos por la chimenea. Sin embargo, el circuito de gases calientes para el secado necesita un sistema de bypass para casos en los que los gases de salida de la caldera no se tengan que pasar por todo el circuito de secado y pasen directamente a la zona de filtrado.



Ilustración 10. Detalle filtro de mangas.

Para el filtrado anteriormente citado, implantaremos un filtro de mangas del fabricante Bruno Balducci, con las siguientes características:

- *Modelo:* 400/23
- *Nº de mangas:* 400
- *Capacidad:* $35.560 \frac{m^3}{h}$
- *Dimensiones:* 10050x2110x5700 mm

Viendo la capacidad de cada bloque de filtros de mangas, se implantarán un conjunto de tres bloques iguales en paralelo para filtrar la totalidad de nuestro caudal de gas.

Tras el conjunto de filtros, el gas se conduce hasta la chimenea donde se expulsará al exterior.

Una vez dimensionados todas las instalaciones procederemos a seleccionar el sistema de transporte de los gases de secado desde la salida de la caldera hasta la salida de los filtros mangas a la chimenea para su expulsión. Este sistema constará de las soplantes necesarias y las tuberías por la que se conducen los gases.



Para la elección de tuberías, iremos a un catálogo de tuberías de acero al carbono. En el anexo de cálculos se pueden observar los cálculos para el diseño de los conductos. A continuación, elegiremos las tuberías normalizadas en base al diámetro calculado para cada tramo del circuito de gases.

Tramo	Diámetro (m)	Diámetro normaliz. (in)
C1: Salida caldera	1.32	56
C2 Aire ambiental	1.00	40
C3: Mezcla	1.60	64
C4: Salida secador	1.39	56

Tabla 5. Diseño de tuberías.

Ahora bien, para la impulsión de los gases, se instala una soplante a la salida de la caldera, otra encargada de inyectar la corriente de gases a temperatura ambiente al mezclador de corrientes y otra que impulsa los gases de salida del secador hacia los filtros de mangas. A continuación, podemos ver la capacidad que debe tener cada soplante (véase anexo de cálculos):

Tramo	Capacidad ($m^3/hora$)
C1: Salida caldera	100.000
C2 Aire ambiental	55.000
C4: Salida secador	110.000

Tabla 6. Diseño de soplantes.

6.3.6. Almacenamiento de combustible tratado

Con el fin de estar previstos de una cierta cantidad de combustible para ocasiones de avería o parada involuntaria de la planta de pretatamiento, se va a implantar un almacén de combustible antes de la entrada a la caldera, en lugar de la alimentación directa de la caldera desde la salida de la planta de pretratamiento. Este almacén se realizará en una nave independiente destinada únicamente al almacenamiento de combustible tratado.



Esta reserva la vamos a dimensionar para dos días, es decir, en caso de parada involuntaria, tendríamos reserva de combustible suficiente para el funcionamiento de la planta de potencia de dos días.

El almacenamiento se va a realizar en un sistema de cuatro silos alimentados mediante cintas transportadoras directamente desde la salida de la nave de pretratamiento. Estos silos, descargarán directamente sobre una sola cinta transportadora que alimentará a la caldera.

A continuación, calcularemos la cantidad necesaria a almacenar y el volumen necesario para cada uno de los tres silos, teniendo en cuenta una densidad aparente del combustible de unos $300 \frac{Kg}{m^3}$.

$$2 \cdot 24 h = 48 h \frac{9.363 Kg Comb.}{h} \cdot \frac{m^3}{300 Kg Comb.} = 1.500 m^3 de combustible$$

Los silos van a disponer de una altura de 5 metros, por lo tanto, las dimensiones de cada silo serán:

$$\frac{1.500 m^3 de comb.}{5 m} = 300 m^2$$

Por lo tanto, cada silo tendrá una superficie de $75 m^2$.

Los silos elegidos para nuestra planta tendrán unas dimensiones:

- *Diámetro* = 10 m
- *Altura* = 5 m

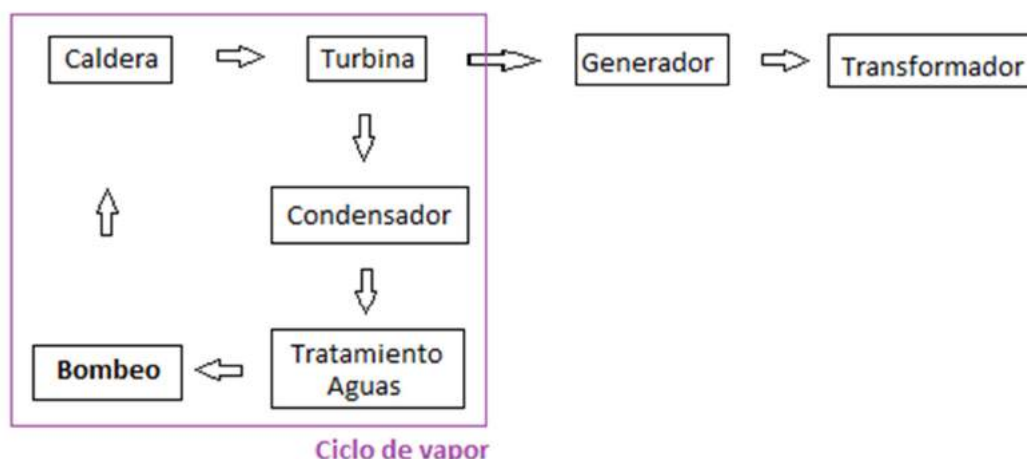
Con todo esto, el funcionamiento del almacenamiento del combustible constará de cuatro silos alimentados mediante una red de cintas transportadoras. Finalmente, estos silos descargan sobre una sola cinta transportadora que llega hasta la alimentación de la caldera.



6.4. Planta de potencia

Una vez finalizado todo lo referente al adecuamiento del combustible para la caldera de vapor, vamos a ver todo lo necesario para la generación de la energía eléctrica.

En la imagen tal, podemos ver todos los procesos inmiscuidos en la generación de energía.



El proceso de generación constará del ciclo de vapor, el grupo de generación y finalmente el centro de transformación para inyectar la energía a la red.

6.4.1. Caldera de vapor

La caldera, es una máquina diseñada para generar vapor. Este vapor se genera a través de una transferencia de calor a presión constante, en la cual el fluido, originalmente en estado líquido, se calienta y cambia su fase a vapor saturado.

En la industria existen muchos tipos de calderas de vapor, pero para las características de nuestro combustible, implementaremos una caldera de vapor de parrilla móvil. Esto implica en la forma constructiva de la cámara de combustión; en la que la biomasa va avanzando transportada en una parrilla móvil a través de la cámara de combustión. Por otro lado, las características de nuestro proceso de combustión, hacen que los intercambios de energía se lleven a cabo en un sistema acuotubular. Esto quiere



decir que el fluido que pasa por dentro de los tubos de los intercambiadores de calor de la caldera es el agua, y por fuera irán los gases de combustión.

Por otro lado, el ciclo de vapor elegido en nuestra planta es un ciclo de Rankine con recalentamiento intermedio, por lo tanto, nuestra caldera tiene que estar dotada de los recalentadores necesarios para dicho proceso. En el recalentamiento, el vapor semiexhausto que sale de la turbina de alta presión se redirecciona a la caldera donde vuelve a alcanzar los 600 °C a la presión de recalentamiento de manera isobárica. Este vapor recalentado es el que se expande en la turbina de baja presión, finalizando así el proceso de turbinado.

Todo esto, las condiciones del agua tanto a la entrada como a la salida de caldera viene recogido en la ficha de requerimientos que se le solicitan al fabricante para encargar la instalación.

- *Potencia térmica: 27 MW*
- *Producción de vapor: 6,85 $\frac{kg}{seg}$*
- *Agua a la entrada:*
 - $T = 36,7\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - $P = 95\text{ bar}$
- *Vapor a la salida:*
 - $T = 600\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - $P = 95\text{ bar}$
- *Sistema de recalentamiento intermedio:*
 - *Presión de recalentamiento: 22 bar*
 - *Temp. entrada: 386 °C*
 - *Temp. salida: 600 °C*

El fabricante nos suministrará la caldera equipada con todo lo mencionado anteriormente para el sistema de recalentamiento intermedio. Además, la instalación contará con un sistema de alimentación del hogar de la caldera, el sistema e instrumentación pertinente de control del proceso y un economizador.



Con todo esto, vamos a prever los datos propios de la caldera que se resumen a continuación:

- Caudal de gases de escape de la combustión (kg/h): 51.850
- Temperatura de gases a la salida del economizador (°C): 400
- Rendimiento de la caldera: 85%

6.4.1.1. Sistema de extracción cenizas

La cantidad de ceniza generada en la combustión de la biomasa es de un 20% en peso de la biomasa consumida en la caldera. Por lo tanto, se generarán:

$$0,2 \cdot 9.362,9 \frac{kg \text{ combustible}}{h} = 1.873 \frac{kg \text{ cenizas}}{h}$$

Estas cenizas pueden ser aprovechadas y reutilizadas como fertilizante, para elaborar cementos o como absorbente de olores sin necesidad de tratamiento previo a su utilización.

Debido a esto, se prevé la retirada periódica de las cenizas generadas en la planta (tanto en el cenicero de la caldera como en el filtrado de los gases de salida de la caldera) por parte de un gestor autorizado a coste cero.

6.4.2. Turbina de vapor

En este apartado estableceremos los requerimientos de nuestra turbina. La turbina es la encargada de transformar la energía portada en el vapor del ciclo en energía mecánica en el eje.

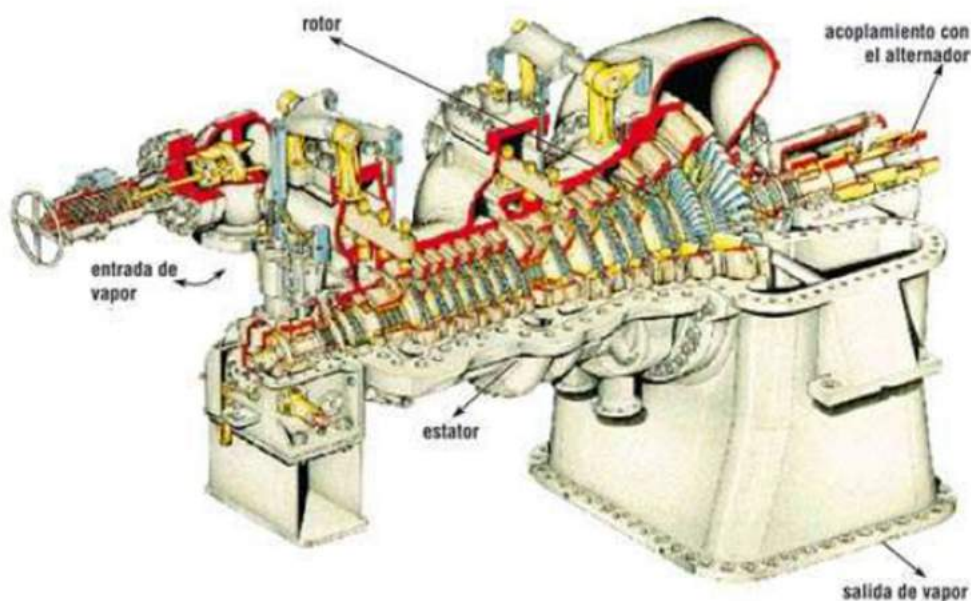


Ilustración 11. Detalle turbina de vapor.

Nuestra turbina de vapor se dimensionará para expandir el flujo total de vapor procedente de la caldera y una producción en bornes del alternador de 10 MWe teniendo en cuenta todas las pérdidas existentes.

En nuestro caso, como hemos visto antes, el turbinado del vapor se realiza en dos turbinas: La turbina de alta presión y la de baja presión, realizándose entre ambas un recalentamiento intermedio en la caldera.

A continuación exponemos las especificaciones de cada turbina:

- Turbina de alta presión
 - Gasto másico de vapor ($\frac{kg}{s}$): 6,85
 - Potencia en el eje (MW): 2,85
 - Presión del vapor (bar)
 - Entrada: 95
 - Salida: 22
 - Temperatura del vapor (°C)



- Entrada: 600
- Salida: 386
- Turbina de baja presión
 - Gasto másico de vapor ($\frac{kg}{s}$): 6,85
 - Potencia en el eje (MW): 7,72
 - Presión del vapor (bar)
 - Entrada: 22
 - Salida: 0.06
 - Temperatura del vapor (°C)
 - Entrada: 600
 - Salida: 36

Como vemos, tanto en las especificaciones, como en el anexo diseño del ciclo, el recalentamiento intermedio se realiza a una presión de 22 bar y se vuelve a llevar a una temperatura de 600 °C.

6.4.3. Generador

En el eje de la turbina se instalará un generador síncrono estándar trifásico de corriente alterna de 50 Hz.

La potencia generada en los bornes de este será de 10 MWe a una tensión de 11 kV, que posteriormente habrá que transformar.

El factor de potencia del generador será de 0,8 y generará una potencia aparente de 12,5 MVA.

6.4.4. Condensador

El condensado del vapor exhausto aguas debajo de la turbina de baja presión se realiza en el condensador.



Debido a la ausencia de una fuente de agua propicia para absorber la energía necesaria en el proceso de condensación del agua del ciclo en instalaciones típicas como un condensador húmedo con torre de enfriamiento, se decide instalar en nuestra planta un aerocondensador.

El funcionamiento de un aerocondensador se resume en un intercambiador de calor en el que el vapor es conducido por medio de colectores hasta los paneles de condensación. El medio refrigerante (que en nuestro caso será en condiciones ambientales mediante circulación forzada), impulsado por grandes ventiladores, pasa a través de los paneles de condensación, que constan de haces de tubos, en el interior de los cuales circula el vapor a condensar. El aire que atraviesa los paneles de condensación absorbe el calor latente de condensación del vapor, condensándolo. Finalmente, el agua llega al depósito de agua condensada donde mediante bombas se impulsan de nuevo al ciclo. En la ilustración 12 podemos ver el funcionamiento.

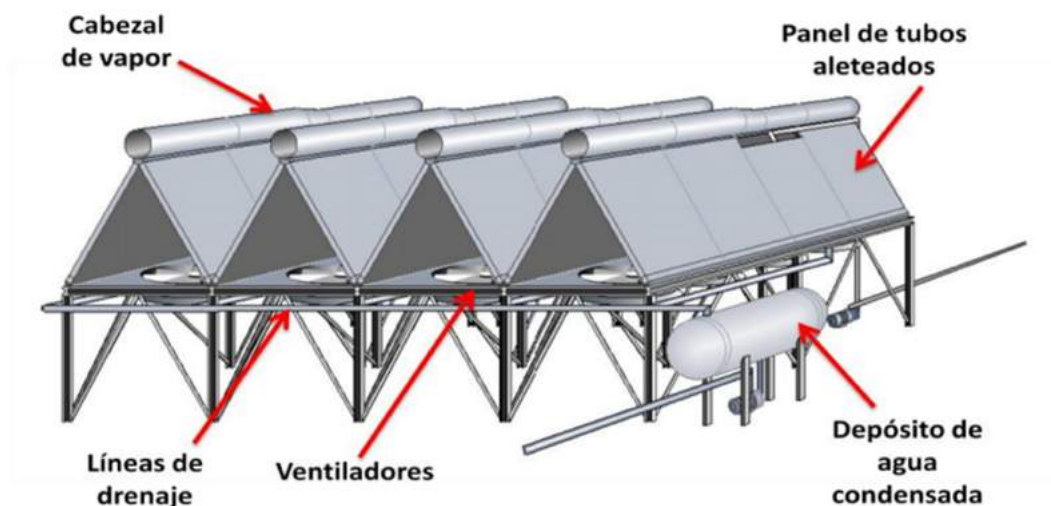


Ilustración 12. Detalle aerogenerador.



Nuestro aerocondensador constará de un módulo con un colector y dos paneles de condensación. Estos se disponen formando un ángulo de 60° con la horizontal, y la base de ventiladores tendrá un ancho de 9,6 metros. La vista en alzado de nuestra instalación es la mostrada en la ilustración 13.

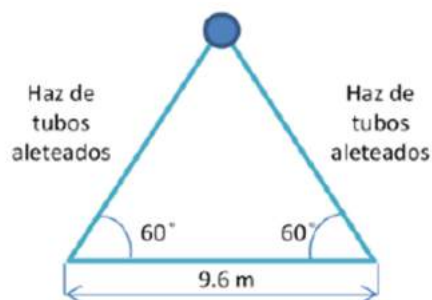


Ilustración 13. Alzado aerogenerador.

En la base de nuestro aerocondensador se instalarán veinte ventiladores encargados de impulsar el aire a través de los paneles de condensación. Dichos ventiladores se dispondrán en dos filas de diez paralelas. Las dimensiones de nuestra instalación se muestran en la ilustración 14.

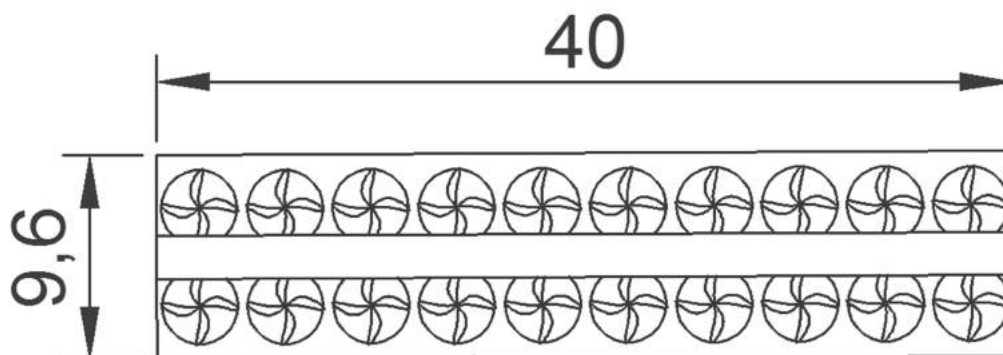
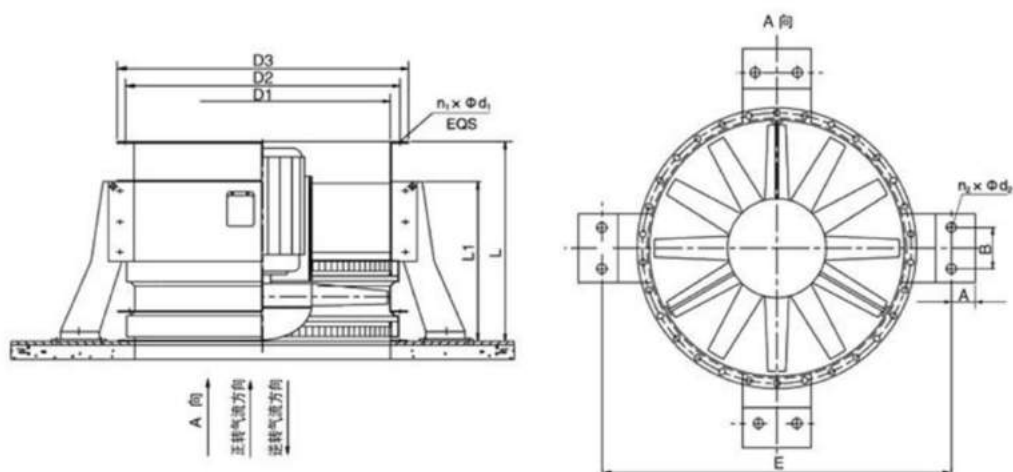


Ilustración 14. Planta aerogenerador.

Los ventiladores instalados impulsarán un caudal de $436.000 \frac{m^3}{h}$ de aire cada uno y los datos proporcionados por el fabricante se muestran en la figura tal. Además, entrando en las curvas del ventilador, obtenemos que en nuestro punto de funcionamiento consumen una potencia de 85,8 kW.



D1	D2	D3	E	L	L1	A	B	$n_1 \times \Phi d_1$	$n_2 \times \Phi d_2$
2814	2960	3060	3400	2100	950	80	160	42xΦ22	8xΦ24

Ilustración 15. Vistas ventilador.

Por lo tanto, las características de nuestro aerocondensador son las siguientes:

- *Calor absorbido:* 16,5 MW
- *Gasto másico condensado:* $8,65 \frac{kg}{s}$
- *Presión de vapor exhausto:* 0,06 bar
- *Caudal de vapor (aprox.):* $584.195 \frac{m^3}{h}$
- *Título de vapor exhausto:* 0.9979
- *Temperatura de vapor exhausto:* 36 °C
- *Potencia eléctrica consumida:* 1.716 kW

6.4.5. Tratamiento de agua del ciclo

El tratamiento del agua de una caldera de vapor es fundamental para asegurar una larga vida útil libre de problemas operacionales, reparaciones de importancia y accidentes. El objetivo principal del tratamiento de agua es evitar problemas de



corrosión e incrustaciones, asegurando la calidad del agua de alimentación y del agua contenida en la caldera.

En la ilustración 16d se muestran los equipos que intervienen en el tratamiento del agua de alimentación a la caldera.

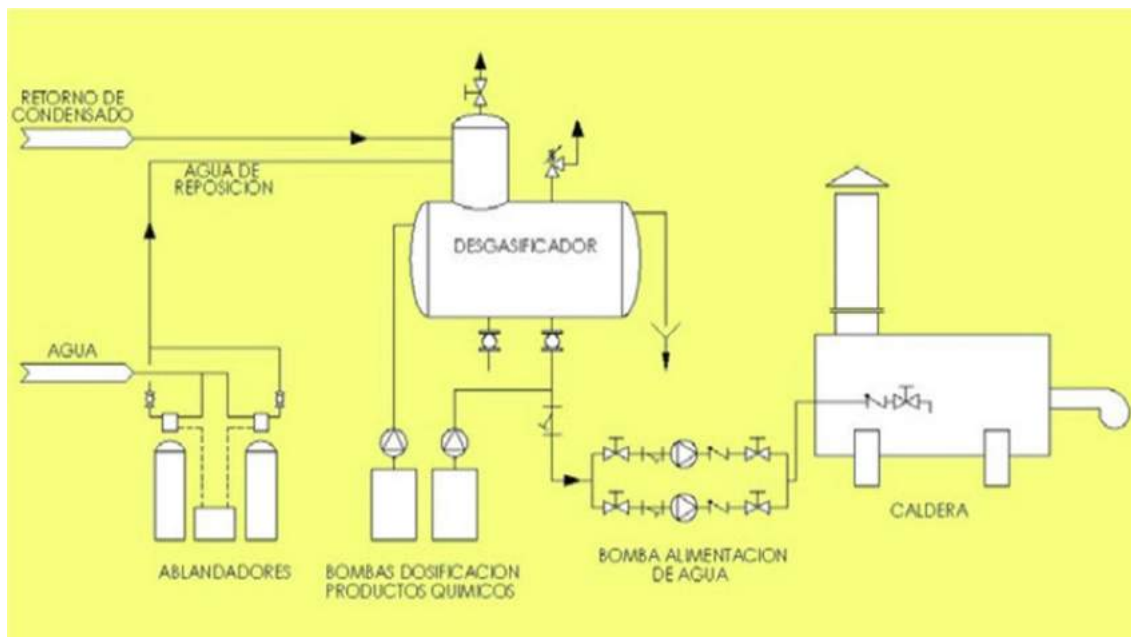


Ilustración 16. Esquema tratamientos de aguas.

El agua de retorno de condensado del aerocondensador llega al desgasificador. La función del desgasificador es eliminar los gases (sobre todo el oxígeno) disueltos en el agua. En este elemento, al agua se le aportan los productos químicos necesarios para el proceso.



Ilustración 17. Detalle desgasificador.

Además, en este punto del ciclo, es donde se inyecta el agua de reposición necesaria para que el ciclo opere siempre en óptimas condiciones.

Los productos químicos utilizados en el tratamiento de aguas son secuestrantes de oxígeno, dispersantes, anti-incrustantes, protectores y neutralizantes para las líneas de retorno de condensado. Además, al agua de reposición que se incorpora al ciclo, se le suministran ablandadores para reducir ciertas sales disueltas indeseadas.

Normalmente, el desgasificador se dimensiona para albergar un volumen necesario para suministrar a la caldera de vapor durante 10 o 20 minutos, por lo tanto, la capacidad de nuestro desgasificador será de:

$$\frac{6,85 \text{ kg}}{\text{seg}} \cdot \frac{\text{m}^3}{994 \text{ kg}} \cdot \frac{60 \text{ seg}}{\text{min}} \cdot 20 \text{ min} \simeq 8 \text{ m}^3$$

6.4.6. Bombeo

Posterior al tratamiento del agua, y debido a que el proceso llevado a cabo en la caldera es un proceso isóbaro, se le necesita suministrar la presión de vapor



sobrestarutado antes de entrar en la caldera. Por lo tanto, posterior al tratamiento del agua, se instalará la bomba encargada de dotar al agua de la presión necesaria.

En nuestro caso, la presión es de 95 bar, y para ello se implementará una bomba del fabricante C.R.I. de la serie HMW-25-80 que trabajará en el punto de:

- *Caudal:* 25 m^3
- *Altura:* 970 m
- *Potencia consumida:* 160 kW

6.5. Protección contra incendios

En este apartado, vamos a proteger toda nuestra planta contra incendios. Esto lo haremos en función al real decreto 2267/2004.

El primer paso será caracterizar cada sector o zona de incendio. En nuestra planta podemos diferenciar los siguientes sectores de incendios:

- Edificio de oficinas
- Edificio de pretratamiento de biomasa
- Edificio de almacenamiento de combustible tratado
- Edificio de generación
- Edificio de vehículos y maquinaria de transporte de biomasa
- Zona de almacenamiento de biomasa fresca

A continuación, estableceremos el nivel de riesgo de cada sector de incendio. Para ello, usaremos el método establecido en el anexo I del real decreto 2267/2004, en el que caracteriza cada sector de incendio según la densidad de carga de fuego. Esta densidad de carga de fuego se calcula según las siguientes expresiones:

En el caso de actividades de producción, transformación, reparación o cualquier otra distinta al almacenamiento:

$$Q_s = \frac{\sum_1^i q_{si} S_i C_i}{A} R_a \quad (\text{MJ}/\text{m}^2)$$



O, en el caso de actividades de almacenamiento:

$$Q_s = \frac{\sum_1^i q_{vi} C_i h_i s_i}{A} R_a \quad (MJ/m^2)$$

6.5.1. Edificio de oficinas

Con una superficie de $450 m^2$, y una actividad caracterizada como “oficinas técnicas” según la tabla 1.2 del anexo I del real decreto 2267/2004, resulta un valor de:

$$Q_s = \frac{600 \cdot 450 \cdot 1}{450} 1 = 600 \frac{MJ}{m^2}$$

Este valor lo caracteriza como un sector con un nivel de riesgo intrínseco BAJO 2 según la tabla 1.3 del anexo I del real decreto 2267/2004.

6.5.2. Edificio de pretratamiento de biomasa

Para este sector, calcularemos su densidad de carga de fuego según el anexo I del real decreto 2267/2004 y, además, lo calcularemos según la cantidad de biomasa que hay en su interior, quedándonos con la densidad de carga de fuego más desfavorable, estando así del lado de la seguridad.

Según el anexo I del real decreto 2267/2004, con una superficie de $1.854 m^2$ y con una actividad caracterizada como “madera, mezclada o variada” la densidad de carga de fuego será:

$$Q_s = \frac{800 \cdot 1.532 \cdot 1}{1.532} 1,5 = 1.200 \frac{MJ}{m^2}$$

Por otro lado, calcularemos la cantidad de biomasa que habrá en la nave en su funcionamiento normal a partir de los 100 m de cinta transportadora existentes en el edificio y la velocidad de $0,1 \frac{m}{seg}$ que lleva la misma. Con esto y su poder calorífico calcularemos la densidad de carga de fuego:



$$\frac{81.666 \text{ kg}}{h} \cdot \frac{h}{3.600 \text{ seg}} \cdot \frac{\text{seg}}{0,1 \text{ m}} \cdot 100 \text{ m} = 22.685 \text{ kg de biomasa}$$

$$22.685 \text{ kg} \cdot \frac{12.250 \text{ kJ}}{\text{kg}} = 277.891.250 \text{ kJ}$$

Luego la densidad de carga de fuego será:

$$Q_s = \frac{277.891,25 \text{ MJ} \cdot 1}{1.532 \text{ m}^2} \cdot 1,5 = 272 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2}$$

A este valor hay que añadirle la densidad de carga de fuego del taller de mantenimiento que posee este edificio. Para esto, con una superficie de 66 m^2 y una actividad de “talleres de reparación”, obtenemos que la densidad de carga de fuego del edificio es:

$$Q_s = \frac{400 \cdot 66 \cdot 1 + 800 \cdot 1.854 \cdot 1}{1.920} \cdot 1,5 = 1.179,37 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2}$$

Por lo tanto, nos quedaremos con la densidad de carga de $1.179,37 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2}$, caracterizando el sector con un nivel de riesgo intrínseco MEDIO 3 según la tabla 1.3 del anexo I del real decreto 2267/2004.

6.5.3. Edificio de almacenamiento de combustible tratado

Con una superficie de 990 m^2 y una actividad de “almacenamiento de madera, virutas”, obtenemos una densidad de carga de fuego de:

$$Q_s = \frac{2.100 \cdot 1 \cdot 5 \cdot [4 \cdot (\pi \cdot 5^2)]}{990} \cdot 2 = 6.664 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2}$$

Por lo tanto, se caracteriza este sector con un nivel de riesgo intrínseco ALTO 6.



6.5.4. Edificio de generación

El edificio de generación comprende la sala de generación y la sala de tratamientos y bombeo del agua del ciclo. Estas dos actividades las caracterizaremos como “máquinas”, por lo tanto, con una superficie de 605 m^2 presentarán una densidad de carga de fuego de:

$$Q_s = \frac{200 \cdot 605 \cdot 1}{605} 1,5 = 300 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2}$$

Lo que lo cataloga con un nivel de riesgo intrínseco de BAJO 1.

6.5.5. Edificio de vehículos y maquinaria de transporte de biomasa

Este edificio, presenta la superficie donde estarán los vehículos de 715 m^2 y una zona de repuestos y mantenimiento de los mismo con una superficie de $117,25 \text{ m}^2$. Para la zona de vehículos, se caracterizará como “vehículos” y la zona de mantenimiento y repuestos como “taller de reparaciones”. Así mismo, obtendremos un valor de densidad de carga de fuego de:

$$Q_s = \frac{300 \cdot 500 \cdot 1 + 400 \cdot 66 \cdot 1}{566} 1,5 = 467,5 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2}$$

Caracterizándolo como BAJO 2.

6.5.6. Zona de almacenamiento de biomasa fresca

Para esta zona, con una cantidad de biomasa almacenada de $300.532.464 \text{ m}^2$, un poder calorífico inferior de $11.000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ y una superficie total de 438380 m^2 , obtenemos una densidad de carga de fuego de:

$$Q_s = \frac{300.532.464 \cdot 1 \cdot 11}{438380} 2 = 15.082 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2}$$

Calificándolo como un sector con nivel de riesgo intrínseco ALTO 8.



6.5.7. Diseño del equipamiento de protección contra incendios

A continuación, para mayor facilidad a la hora de elegir el equipamiento necesario para la protección de nuestras instalaciones, mostraremos una tabla resumen en el que mostraremos los resultados obtenidos de la caracterización de cada sector de incendio, superficie ocupada y tipo de establecimiento:

	Ed. Oficinas	Ed. Pretratam.	Ed. Almac. Combust.	Ed. Generación	Ed. Vehículos	Zona almac. Biomasa
Tipo establec.	C	C	C	C	C	E
Sup. Total (m2)	450	1.532	990	605	566	438.380
Nivel de riesgo	BAJO 2	MEDIO 3	ALTO 6	BAJO 1	BAJO 2	ALTO 8

Tabla 7. Resumen sectores de incendio.

Con esto, a continuación, elaboraremos una tabla con los requerimientos de cada sector de incendios según el anexo I del real decreto 2267/2004.

	Ed. Oficinas	Ed. Pretratam.	Ed. Almac. Combust.	Ed. Generación	Ed. Vehículos	Zona almac. Biomasa
Sist Autom. Detección	x	x	✓	x	x	x
Sist Manual Detección	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Sist Comunicación Alarmas	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Hidrantes exteriores	x	x	✓	x	x	✓
Extintores	✓	✓	✓	✓	✓	✓
BIEs	x	✓	✓	x	x	x
Sist Columna Seca	x	x	x	x	x	x
Rociadores Automáticos	x	x	x	x	x	x
Sist Agua Pulverizada	x	x	x	x	x	x
Sist Espuma Física	x	x	x	x	x	x
Sist Extinción por polvo	x	x	x	x	x	x
Sist Extinción por ag gaseosos	x	x	x	x	x	x
Sist Alumbrado Emergencia	x	x	x	x	x	x

Tabla 8. Resumen equipamiento PCI.

Con estas instalaciones, la reserva de agua de abastecimiento del sistema de protección contra incendios debe ser:

- El caudal necesario para el sistema de hidrantes exteriores
- La reserva necesaria para el sistema de hidrantes exteriores



Esto es:

$$3.500 \text{ l} \cdot 90 \text{ min} = 315.000 \text{ l}$$

Necesitaremos un depósito de 315 m^3 . Sin embargo, para estar del lado de la seguridad instalaremos un depósito de 500 m^3 .

6.6. Tratamiento de aguas contaminadas del parque de residuos

Una vez distribuido el espacio necesario para el almacenamiento de la biomasa recepcionada, deberá tratarse la recogida y el tratamiento de las aguas pluviales que atraviesan los apilamientos de biomasa. Este agua, al atravesar las pilas de biomasa forman un lixiviado que se precisa recoger y direccionar a una zona donde posteriormente, se tratará.

Para ello, diseñaremos unas balsas de evaporación donde se recogerán las aguas pluviales y mediante procesos naturales se evaporará.

Para dimensionar las balsas de evaporación hemos recogido los datos de pluviometría media y evapotranspiración potencial en la provincia de Almería y vamos a calcular qué dimensiones debería tener nuestra balsa de evaporación para conseguir que, en un ciclo de un año, se evapore todo el agua recogido en el parque de almacenamiento de residuos.

Para calcular el agua que se almacena en las balsas de evaporación, suponemos que del agua que precipita sobre las pilas de residuos, solo llega a filtrarse hasta el sistema de recogida un 60 %. El otro 40 % permanece retenida en la masa de residuos y se evapora antes de llegar al sistema de recogida. Aparte de esta agua, se almacena el agua que precipita directamente sobre la balsa.

La pluviometría media y la evapotranspiración potencial en la provincia de Almería la podemos ver a continuación en la tabla tal.



	Mm de lluvia caída	Mm evapot. potencial
Octubre	26,0	78,7
Noviembre	33,0	53,2
Diciembre	26,3	37,1
Enero	18,8	34,6
Febrero	25,8	35,7
Marzo	28,9	43,2
Abril	15,7	49,7
Mayo	8,5	68,2
Junio	1,0	85,8
Julio	1,1	114,1
Agosto	11,8	125,0
Septiembre	28,7	105,8

Tabla 9. Datos pluviometría y evapotranspiración anuales.

El “ciclo” anual se considera que comienza en octubre y finaliza en septiembre debido a que en verano es cuando menos precipitaciones hay y cuando más evapotranspiración potencial tenemos, por tanto, para calcular un ciclo real y ver la cantidad de agua que permanece al final de dicho “ciclo”, lo tomaremos de esta manera.

Conocido los datos de pluviometría y de evapotranspiración potencial, la menor superficie de evaporación necesaria es de 53.000 m^2 . Estos resultados los obtenemos del siguiente balance de materia:

	mm de lluvia caída	mm evapot. potencial	Volumen de agua recogida (m^3)	Volumen agua evaporada (m^3)	Reserva a final de mes (m^3)
Octubre	26,0	78,7	5.028	4.171	857
Noviembre	33,0	53,2	6.382	2.820	4.420
Diciembre	26,3	37,1	5.086	1.966	7.540
Enero	18,8	34,6	3.636	1.834	9.342



Febrero	25,8	35,7	4.990	1.892	12.440
Marzo	28,9	43,2	5.589	2.290	15.739
Abril	15,7	49,7	3.036	2.634	16.142
Mayo	8,5	68,2	1.644	3.615	14.171
Junio	1,0	85,8	193	4.547	9.817
Julio	1,1	114,1	213	6.047	3.982
Agosto	11,8	125,0	2.282	6.625	-360
Septiembre	28,7	105,8	5.551	5.607	-417

Tabla 10. Balance agua balsas de evaporación.

Como podemos observar, desde el otoño hasta la primavera, debido a la gran superficie de almacenamiento de biomasa, aun con la buena relación precipitaciones/evapotranspiración, el volumen de agua recogida es bastante mayor que el agua evaporada en la balsa. Esto sucede debido a que aunque se evapore mucho más agua que la que precipita, la superficie de recogida de agua, es mucho mayor que la superficie de evaporación de agua, lo que hace que la superficie necesaria de evaporación sea tan grande.

Por otro lado, el sistema de recogida de las aguas se hará mediante una red de tuberías de PVC que descargan por gravedad en las balsas de evaporación. La inclinación de dichas canalizaciones será de un 3%.

Al tener una superficie de evaporación tan grande, la balsa de evaporación se dividirá en dos balsas, una a cada lado del parque de almacenamiento de residuos, encargándose cada una de estas de la mitad de las pilas del parque de almacenamiento. Esto hace también que no haya distancias tan grandes y las canalizaciones no sean tan profundas.

6.7. Transformación y conexión a la red

Como hemos visto antes, el generador nos va a proporcionar en sus bornes una potencia eléctrica bruta de 10 MW a una tensión de 11 kV con una potencia aparente de



12,5 MVA. Esta potencia se utilizará para alimentar a la planta y el resto será inyectado a la red eléctrica.

Tanto para alimentar a la planta como para inyectarla a la red, esta energía eléctrica necesita ser transformada. Para ello, instalaremos aguas abajo del generador un transformador principal que eleve la tensión a los 66 kV de la compañía suministradora para su inyección a la red eléctrica y un transformador auxiliar que reduzca el nivel de tensión para su consumo en planta a 400 V.

A continuación, veremos los requerimientos de las instalaciones de nuestra planta para calcular la potencia que consumiremos:

Zona	Identificación	Potencia (kW)	Cantidad	Total (kW)	Total zona (kW)
Nave Oficinas	Fuerza e iluminación	50	1	50	50
Hangar vehículos	Fuerza e iluminación	40	1	40	40
Control y pesaje	Básculas	10	2	20	35
	Fuerza e iluminación	15	1	15	
Nave Pretratamiento	Cintas transportadoras	15	1	15	330
	Separador de plásticos	5	2	10	
	Trituradoras	40	2	80	
	Motor accionamiento secador	110	2	220	
	Iluminación	5	1	5	
Tratamiento gases	Soplante (100.000 m ³ /h)	80	1	80	225
	Soplante (50.000 m ³ /h)	40	1	40	
	Soplante (110.000 m ³ /h)	100	1	100	
	Accionam. Filtro de mangas	5	1	5	
Nave Almacenamiento	Cintas alimentac. nave	5	1	5	30
	Cintas nave almacenamiento	15	1	15	
	Cintas alimentac. caldera	7	1	7	
	Iluminación	3	1	3	
Nave Generación	Iluminación	5	1	5	230
	Accionamiento turbina	50	1	50	
	Desgasificador	10	1	10	
	Bomba de condensado	160	1	160	
	Accionamiento tratam.	5	1	5	
Caldera de vapor	Fuerza e iluminación	50	1	50	50
Aerocondensador	Ventiladores	85,8	20	1.716	1.720
	Bomba salida depósito condensado	4	1	4	
Coefic. Seguridad y extras (5%)					135
TOTAL					2.845

Tabla 11. Consumidores en planta.



Por tanto, tendremos un consumo en nuestra planta de prácticamente 3 MW, al que le supondremos que podemos alcanzar un factor de potencia de 0,9. Por tanto, instalaremos un transformador auxiliar reductor para el suministros de nuestra planta de 11/0,4 kV y una potencia aparente de 4 MVA.

Esto nos dejará una potencia neta para inyectar a la red eléctrica de 7 MW. Para esta conexión, instalaremos un transformador de 66/11 kV con una capacidad de 9 MW.

A continuación, representaremos el esquema básico de la instalación eléctrica:

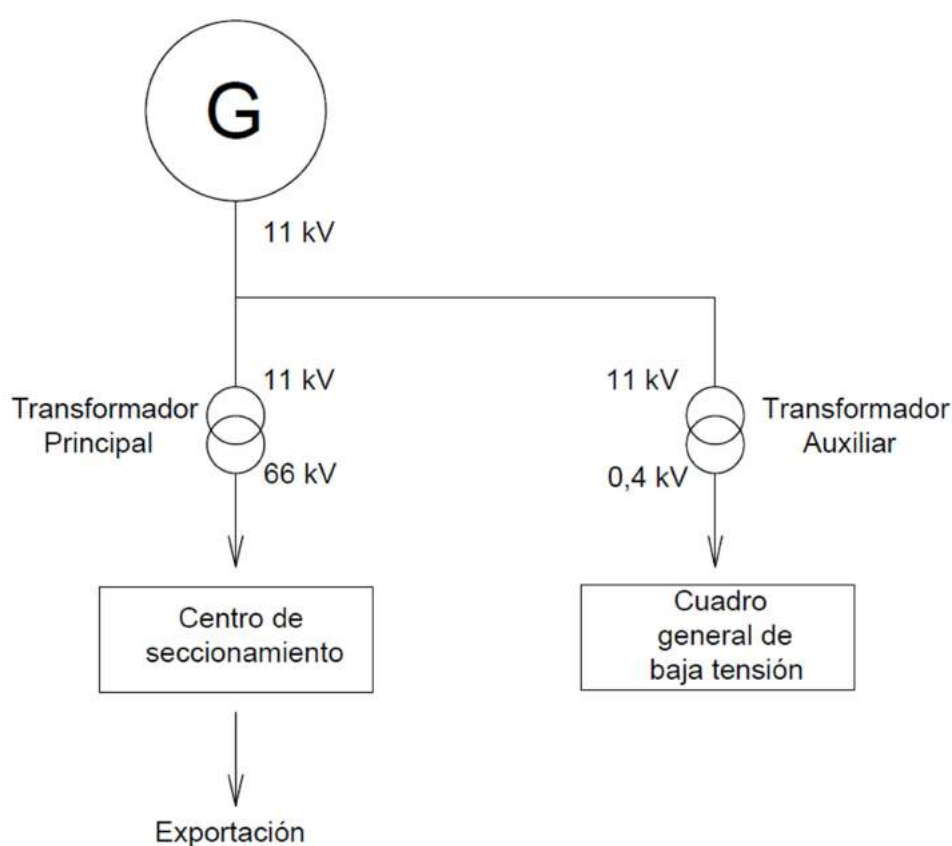


Ilustración 18. Esquema unifilar.



7. Edificios

El conjunto de edificaciones de la planta estará sustentado sobre cimientos de hormigón. Las edificaciones se construirán con una estructura básica de acero con el recubrimiento aislante necesario.

7.1. Hangar de maquinaria de transporte de biomasa

Esta construcción se plantea para albergar la maquinaria de transporte y logística de biomasa en la planta. Tendrá una superficie de 781 m^2 y una altura de 5 m.

Se trata de una construcción con estructura a base de pórticos y correas de fachada y cubierta en perfiles comerciales de acero.

El cerramiento perimetral se prevé a base de muro de bloque hueco de hormigón hasta 4 m de altura debidamente armado, y a partir de los cuatro metros y hasta la cubierta, el cerramiento será de chapa grecada simple de 0,8 mm de espesor.

La cubierta será de chapa grecada simple de 1 mm de espesor sobre las mencionadas correas de cubierta.

La cimentación será superficial mediante zapatas aisladas entre sí con vigas de cimentación que a la vez servirán de apoyo al cerramiento de bloque hueco de hormigón.

La nave se considera diáfana por lo que no se tienen en cuenta tabiquerías interiores de ningún tipo.

La carpintería prevista consta de puertas de doble hoja fabricadas en chapa de acero y puertas sencillas de chapa. Las ventanas serán de carpintería metálicas lacadas en plástico.



7.2. Nave de Pretratamiento

Esta construcción se plantea para albergar la maquinaria de pretratamiento de biomasa. Tendrá una superficie de $1.920 m^2$ y una altura de 7 m.

Se trata de una construcción con estructura a base de pórticos y correas de fachada y cubierta en perfiles comerciales de acero.

El cerramiento perimetral se prevé a base de muro de bloque hueco de hormigón hasta 4 m de altura debidamente armado, y a partir de los cuatro metros y hasta la cubierta, el cerramiento será de chapa grecada simple de 0,8 mm de espesor.

La cubierta será de chapa grecada simple de 1 mm de espesor sobre las mencionadas correas de cubierta.

La cimentación será superficial mediante zapatas aisladas entre sí con vigas de cimentación que a la vez servirán de apoyo al cerramiento de bloque hueco de hormigón.

La nave se considera diáfana por lo que no se tienen en cuenta tabiquerías interiores de ningún tipo.

La carpintería prevista consta de puertas de doble hoja fabricadas en chapa de acero y puertas sencillas de chapa. Las ventanas serán de carpintería metálicas lacadas en plástico.

7.3. Almacenamiento biomasa tratada

Esta construcción se plantea para albergar la los silos de almacenamiento de la biomasa tratada. Tendrá una superficie de $990 m^2$ y una altura de 9 m.

Se trata de una construcción con estructura a base de pórticos y correas de fachada y cubierta en perfiles comerciales de acero.



El cerramiento perimetral se prevé a base de muro de bloque hueco de hormigón hasta 4 m de altura debidamente armado, y a partir de los cuatro metros y hasta la cubierta, el cerramiento será de chapa grecada simple de 0,8 mm de espesor.

La cubierta será de chapa grecada simple de 1 mm de espesor sobre las mencionadas correas de cubierta.

La cimentación será superficial mediante zapatas aisladas entre sí con vigas de cimentación que a la vez servirán de apoyo al cerramiento de bloque hueco de hormigón.

La nave se considera diáfana por lo que no se tienen en cuenta tabiquerías interiores de ningún tipo.

La carpintería prevista consta de puertas de doble hoja fabricadas en chapa de acero y puertas sencillas de chapa. Las ventanas serán de carpintería metálicas lacadas en plástico.

7.4. Nave de Generación

Esta construcción se plantea para albergar el sistema de potencia y la zona de tratamiento de aguas del ciclo y bombeo de la misma. Tendrá una superficie de 605 m^2 y una altura de 6 m.

Se trata de una construcción con estructura a base de pórticos y correas de fachada y cubierta en perfiles comerciales de acero.

El cerramiento perimetral se prevé a base de muro de bloque hueco de hormigón hasta 4 m de altura debidamente armado, y a partir de los cuatro metros y hasta la cubierta, el cerramiento será de chapa grecada simple de 0,8 mm de espesor.

La cubierta será de chapa grecada simple de 1 mm de espesor sobre las mencionadas correas de cubierta.



La cimentación será superficial mediante zapatas aisladas entre sí con vigas de cimentación que a la vez servirán de apoyo al cerramiento de bloque hueco de hormigón.

La nave presenta dos espacios bien diferenciados. Una zona se habilitará para albergar el sistema de potencia (turbinas y generador) y otra zona menor será donde se instalará el tratamiento y el bombeo del agua del ciclo. La tabiquería interior será a base de fábrica de bloque hueco de hormigón, enlucido de yeso y pintado con pintura plástica lisa.

La carpintería prevista consta de puertas de doble hoja fabricadas en chapa de acero y puertas sencillas de chapa. Las ventanas serán de carpintería metálicas lacadas en plástico.

7.5. Edificio de oficinas

Se trata de una construcción de 450 m^2 a base de muro de carga de doble hueco de hormigón con zuncho de hormigón a 2,8 m de altura, enfoscado y pintado. Cubierta invertida con forjado de chapa colaborante.

Los muros de carga se cimentarán sobre la solera del propio edificio. La solera será de hormigón HA-30 con armadura de mallazo en acero B-500T. Sobre esta solera apoyará también la tabiquería interior necesaria.

La tabiquería interior será a base de fábrica de bloque hueco de hormigón, enlucido de yeso y pintado con pintura plástica lisa.

La carpintería prevista para la caseta de control de accesos consta de puerta de acceso principal en chapa de acero y puertas de paso en madera lacada en plástico. Las ventanas serán de carpintería metálica lacadas en plástico.



7.6. Caseta de control de accesos

Se trata de una construcción de 45 m^2 a base de muro de carga de doble hueco de hormigón con zuncho de hormigón a 2,8 m de altura, enfoscado y pintado. Cubierta invertida con forjado de chapa colaborante.

Los muros de carga se cimentarán sobre la solera del propio edificio. La solera será de hormigón HA-30 con armadura de mallazo en acero B-500T. Sobre esta solera apoyará también la tabiquería interior necesaria.

La tabiquería interior será a base de fábrica de bloque hueco de hormigón, enlucido de yeso y pintado con pintura plástica lisa.

La carpintería prevista para la caseta de control de accesos consta de puerta de acceso principal en chapa de acero y puertas de paso en madera lacada en plástico. Las ventanas serán de carpintería metálica lacadas en plástico.



8. Reglamentación de obligado cumplimiento

En la redacción del presente proyecto se ha tenido en cuenta la normativa legal de vigente aplicación, de entre la que cabe destacar:

8.1. ORDENACIÓN URBANÍSTICA

- Ley 7/2002, del 17 de Diciembre del 2002. Ley de Ordenación Urbanística de Andalucía.

8.2. ADMINISTRACIÓN PÚBLICA

- Texto refundido de la ley de contratos con las administraciones públicas. Real Decreto Administrativo 2/2000 del 16 de Junio.
- Reglamento general de contratación de las administraciones públicas. Real Decreto 1098/2001 del 12 de Octubre.
- Ley de Contratos del Sector Público. Ley 30/2007 del 30 de Octubre.

8.3. ESTRUCTURAS DE ACERO

- Real Decreto 314/2006, del 17 de marzo de 2006, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. (Documento DB-SE-Seguridad Estructural).
 - CTE DB SE-AE. Código Técnico de la Edificación. Documento Seguridad Estructural. Acciones en la edificación.).
 - CTE DB SE-A. Código Técnico de la Edificación. Documento Seguridad Estructural. Acero.).
- Real Decreto 997/2002, del 27 de septiembre del 2002, por el que se aprueba la norma de construcción sismorresistente (NCSR-2002).
- Real Decreto 2702/1985, del 18 de diciembre de 1985, del Ministerio de Industria y Energía (BOE 28-02-86), por el que se aprueba la Homologación de alambres trefilados, lisos y corrugados, para mallas electrosoldadas y viguetas semirresistentes de hormigón armado.



- Orden del 8 de marzo de 1994, del Ministerio de Industria y Energía (BOE 22-03-94), por el que se aprueba el Certificado de conformidad como alternativa a la homologación de alambres trefilados, lisos y corrugados, para mallas electrosoldadas y viguetas semirresistentes de hormigón armado.
- Real Decreto 2365/1985, de 20 de noviembre de 1985, del Ministerio de Industria y Energía (BOE 21-12-85), por el que se aprueba la Homologación de armaduras activas de acero para hormigón pretensado.
- Orden del 3 De marzo de 1994, del Ministerio de Industria y Energía (BOE 22-03-94), por el que se aprueba el Certificado de conformidad como alternativa a la homologación de armaduras activas de acero para hormigón pretensado.
- Norma española UNE-EN ISO 14122-1. “Medios de acceso permanente a máquinas e instalaciones industriales”.
- Real Decreto 751/2011 de 27 de mayo, por el que se aprueba la Instrucción de Acero Estructural (EAE)

8.4. MATERIALES METÁLICOS Y TRANSFORMADOS

- Real decreto 846/2006 deroga diferentes disposiciones en materia de normalización y homologación de productos industriales.
- Orden del 8 de marzo de 1994 del Ministerio de Industria y Energía (BOE 22-03-94), por el que se aprueba el Certificado de conformidad como alternativa a la homologación de tubos de acero soldado.

8.5. ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN Y CIMIENTOS

- Real Decreto 1247/2008, del 18 de julio por el que se aprueba la Instrucción de Hormigón Estructural, EHE-08.
- Real Decreto 314/2006, del 17 de marzo de 2006, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación, CTE DB SE-CIMIENTOS. Código Técnico de la Edificación Documento Básico Seguridad Estructural: Cimientos.
- Real Decreto 997/2002, del 27 de septiembre del 2002, por el que se aprueba la norma de construcción sismorresistente (NCSR-2002).
- PG-3. Pliego de prescripciones técnicas para obras de carreteras y puentes.



- Norma de Construcción Sismorresistente NCSE-02.
- NTE 1977 CPI
- UNE-EN 1536. Ejecución de trabajos especiales de geotecnia. Pilotes perforados.
- UNE-EN 12669. Ejecución de trabajos especiales de geotecnia. Pilotes de desplazamiento.
- UNE-EN 10080. Aceros para armados de hormigón.
- UNE-EN 146121. Áridos para la fabricación de hormigones.

8.6. INSTALACIONES ELÉCTRICAS

- Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23.
- Real Decreto 263/2008, de 22 de febrero, por el que se establecen medidas de carácter técnico en líneas eléctricas de alta tensión, con objeto de proteger la avifauna.
- Real Decreto 223/2008 de 15 de febrero, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09. (BOE 19/03/2008).
- Corrección de erratas del Real Decreto 223/2008 de 15 de Febrero, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias. ITC-LAT 01 a 09. (BOE 17/05/2008). Se ha modificado en el artículo 15 los apartados a y b del RD 560/2010, de 7 de mayo, en el sentido de sustituir instalador autorizado por instalador y empresa instaladora autorizada por empresa instaladora.
- Corrección de erratas del Real Decreto 223/2008 de 15 de Febrero, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias. ITC-LAT 01 a 09. (BOE 19/07/2008).



- Decreto 178/2006 de 10 de Octubre por el que se establecen las normas de protección de la avifauna para instalaciones eléctricas de alta tensión.
- Normas particulares de la Compañía ENDESA Sevillana de Electricidad, aprobadas por Resolución de la Dirección General de Industria, Energía y Minas, de la Junta de Andalucía, de 5 de Mayo de 2005 (B.O.J.A. de 20/06/05).
- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (Decreto 842/2002 de 2 de Agosto) e instrucciones Técnicas complementarias a dicho Reglamento, y modificaciones posteriores.
- Real Decreto 1955/2000 de 1 de Diciembre (B.O.E. 27/12/00), por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.
- Real decreto 1627/1997 de 24 de Octubre, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción.
- Ley 7/1994, de 18 de mayo, de protección ambiental y decretos que la desarrollan.
- Reglamento de Verificaciones Eléctricas y Regularidad en el Suministro de Energía Eléctrica.
- Normas UNE y Recomendaciones UNESA que sean de aplicación.
- Condiciones impuestas por las entidades públicas afectadas.

8.7. INSTALACIONES DE ALUMBRADO

- Real Decreto 314/2006, del 17 de marzo de 2006, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación, CTE DB AHORRO DE ENERGÍA. Código Técnico de la Edificación Documento Básico Ahorro de Energía.
- Real Decreto 314/2006, del 17 de marzo de 2006, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. (Documento DB-SU. Seguridad de Utilización).
- Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior, e instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07. Real Decreto 1890/2008 del 14 de noviembre.
- Condiciones impuestas por las entidades públicas afectadas.



8.8. INSTALACIONES CONTRA INCENDIOS

- Real Decreto 2267/2004, del 3 de diciembre de 2004, por el que se aprueba el reglamento de seguridad contra incendios en establecimientos industriales.
- Reglamento de Instalaciones de Protección Contra Incendios RII. Corresponde al Real Decreto 1942/1993, de 5 de Noviembre, emitido por el Ministerio de Industria y Energía en el BOE de 14 de Diciembre de 1993, con corrección de errores en el BOE de 7 de Mayo de 1994.
- Real Decreto 314/2006, del 17 de marzo de 2006, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación (Documento DB-SI. Seguridad en caso de incendio).

8.9. MEDIO AMBIENTE

Nivel Estatal

- Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación.
- Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.
- Real Decreto 379/2001, de 6 de abril por el que se aprueba el Reglamento de almacenamiento de productos químicos y sus instrucciones técnicas complementarias MIE-APQ-1, MIE-APQ-2, MIE-APQ-3, MIE-APQ-4, MIE-APQ-5, MIE-APQ-6 y MIE-APQ-7.
- Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.
- Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos.
- Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, desarrolla la Ley 37/2007, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.
- Texto Refundido de la Ley de Aguas (Real Decreto Legislativo 1/2001) y en el Reglamento del Dominio Público Hidráulico (Real Decreto 849/1986 modificado por el Real Decreto 606/2003).



- Real Decreto 833/1988, de 20 de julio, por el que se aprueba el reglamento para la ejecución de la ley 20/1986, de 14 de mayo, básica de residuos tóxicos y peligrosos.
- Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido.
- Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados.
- La Ley 34/2007 de Calidad del Aire y Protección de la Atmósfera
- Real Decreto 100/2011, de 28 de enero, por el que se actualiza el catálogo de actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera y se establecen las disposiciones básicas para su aplicación.
- Ley 18/2003, de 29 de diciembre, por la que se aprueban medidas fiscales y administrativas.
- Real Decreto 393/2007, de 23 de marzo, por el que se aprueba la Norma Básica de Autoprotección de los centros, establecimientos y dependencias dedicados a actividades que puedan dar origen a situaciones de emergencia.
- Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición.
- Real decreto 846/2006 deroga diferentes disposiciones en materia de normalización y homologación de productos industriales.

Nivel Autonómico

- Decreto 356/2010, de 3 de agosto, por el que se regula la autorización ambiental unificada, se establece el régimen de organización y funcionamiento del registro de autorizaciones de actuaciones sometidas a los instrumentos de prevención y control ambiental, de las actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera y de las instalaciones que emiten compuestos orgánicos volátiles, y se modifica el contenido del Anexo I de la Ley 7/2007, de 9 de julio, de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental.
- Ley 7/2007, de 9 de julio, de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental.
- Ley 9/2010, de 30 de julio, de Aguas para Andalucía.
- Ley 8/2003, de 28 de octubre, de la Flora y Fauna Silvestres.



- Decreto 239/2011, de 12 de julio, por el que se regula la calidad del medio ambiente atmosférico y se crea el Registro de Sistemas de Evaluación de la Calidad del Aire en Andalucía.
- Decreto 326/2003, de 25 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Protección contra la Contaminación Acústica en Andalucía.
- Decreto 104/2000, de 21 de marzo, por el que se regulan las autorizaciones administrativas de las actividades de valorización y eliminación de residuos y la gestión de residuos plásticos agrícolas

8.10. SEGURIDAD Y PREVENCIÓN

- Real Decreto 314/2006, del 17 de marzo de 2006, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. (Documento DB-SU-Seguridad de Utilización).
- LEY 31/1.995, de 8 de noviembre, de prevención de riesgos laborales
- Real Decreto 486/1997 del Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, de 14 de abril de 1997 (B.O.E. 23-04-1997), por el que se aprueban las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- Real Decreto 487/1997 del Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, de 14 de abril de 1997 (B.O.E. 23-04-1997), por el que se aprueban las Disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas que entrañe riesgos, en particular dorsolumbares, para los trabajadores.
- Real Decreto 488/1997 del Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, de 14 de abril de 1997 (B.O.E. 23-04-1997), por el que se aprueban las Disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas al trabajo con equipos que incluyen pantallas de visualización.
- Real Decreto 485/1997, 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo. BOE núm. 97 de 23 de abril.
- Real Decreto 1407/1992, del 20 de noviembre, del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social (BOE 28-12-92), por le que se regulan las Condiciones para la comercialización y libre circulación intracomunitaria de los equipos de protección individual.



- Orden del 16 de mayo de 1994, del Ministerio de Industria y Energía (BOE 01-06-94), por el que se aprueba la Modificación del periodo transitorio establecido en el Real Decreto 1407/92 del 20 de noviembre.
- Ley 31/1995 del 8 de noviembre de 1995, de la Jefatura de Estado (BOE 10-11-95), por la que se regula la Prevención de Riesgos Laborales.
- Real Decreto 783/2001, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes. BOE núm. 178, de 26 de julio.
- Real Decreto 1627/97 del 24 de octubre de 1997, del Ministerio de la Presidencia (BOE 26-10-97), por el que se aprueban las Disposiciones mínimas de Seguridad y Salud para en las obras de construcción.
- Real Decreto 773/97 del 30 de mayo de 1997, del Ministerio de la Presidencia (BOE 12-06-97 Y BOE 18-07-97), por el que se aprueban las Disposiciones mínimas de Seguridad y Salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de protección individual.
- Real Decreto 664/97 del 12 de mayo de 1997, del Ministerio de la Presidencia (BOE 24-06-97), por el que se aprueba la Protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo.
- Real Decreto 665/97 del 12 de mayo de 1997, del Ministerio de la Presidencia (BOE 24-06-97), por el que se aprueba las Protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo.
- Orden del 27 de junio de 1997 del Ministerio de trabajo y Asuntos Sociales (BOE 04-07-97), por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de prevención.

8.11. INDUSTRIA

- LEY 21/1992, de 16 de julio, de Industria.

8.12. PROTECCIÓN CIVIL



- LEY 2/1985 de protección civil.
- Real Decreto 1254/1999, de 16 de julio, por el que se aprueban las medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas. BOE de 20 de julio de 1999.
- RD 407/1992, Norma básica de Protección Civil.
- REAL DECRETO 1196/2003, de 19 de septiembre, por el que se aprueba la Directriz básica de protección civil para el control y planificación ante el riesgo de accidentes graves en los que intervienen sustancias peligrosas. BOE núm. 242 de 9 de octubre.
- Guía Técnica: Metodologías para el análisis de riesgos. Visión general.
- Guía Técnica: Métodos cualitativos para el análisis de riesgos.
- Guía Técnica: Métodos cuantitativos para el análisis de riesgos

8.13. ABASTECIMIENTO DE AGUAS

- Real Decreto 314/2006, del 17 de marzo de 2006, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. (Documento DB-HS-Salubridad).



9. Resumen del presupuesto

RESUMEN DE PRESUPUESTO

CAPITULO	RESUMEN	EUROS	%
6	Seguridad y salud	150.000,00	0,59
2	Urbanización	232.500,00	0,92
3	Edificios	2.893.250,00	11,44
4	Equipos y sistemas principales.....	17.332.800,00	68,52
5	Instalaciones auxiliares.....	3.305.000,00	13,07
6	Seguridad y salud	150.000,00	0,59
7	Estudios y trabajos complementarios	720.000,00	2,85
TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL		24.783.550,00	
	13,00 % Gastos generales	3.221.861,50	
	6,00 % Beneficio industrial	1.487.013,00	
SUMA DE G.G. y B.I.		4.708.874,50	
	16,00 % I.V.A.	4.718.787,92	
TOTAL PRESUPUESTO CONTRATA		34.211.212,42	
TOTAL PRESUPUESTO GENERAL		34.211.212,42	

Asciende el presupuesto general a la expresada cantidad de TREINTA Y CUATRO MILLONES DOSCIENTOS ONCE MIL DOSCIENTOS DOCE EUROS con CUARENTA Y DOS CÉNTIMOS

, a 12 de septiembre de 2016.

El promotor

La dirección facultativa



10. Conclusiones

Para concluir, remarcar que el presente proyecto ha conseguido presentar una solución técnica viable para el problema del tratamiento y aprovechamiento del aumento de residuos agrícolas hortofrutícola en Almería.

Dicha solución tiene un coste de treinta y cuatro millones doscientos once mil euros.