



UNIVERSIDAD DE
VALLADOLID



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Mecánica

Análisis de los parámetros que afectan sobre la viabilidad de una planta de producción de pellets.

Autor:

Paredes Asensio, Nuria

Tutor:

Velasco Gómez, Eloy

Departamento de

Ingeniería

Energética y

Fluidomecánica

Valladolid, Septiembre 2014

Quiero comenzar dando las gracias a mis padres, Miguel A. e Inmaculada, por todo el apoyo que me han otorgado y por haber sufrido estos años tanto o más que yo. Por intentar educarme de la mejor manera posible y conseguir que jamás me faltase nada.

A mi Director Eloy pues es el padre que todo alumno quiere en la escuela.

A mis grandes compañeras de Universidad María, Marina y Rocío, pues en los momentos complicados nos teníamos entre nosotras.

A mi más María, por decirme las cosas claras y animarme cuando quería incluso tirar la toalla.

Por último, quiero dar las gracias a todos los míos, tanto a los que están como a los que recientemente he perdido.

A todos vosotros, muchas gracias.

“Mi ambición ha sido siempre hacer realizables los sueños.”

Bill Gates.

RESUMEN

En este TFG, se presentan varias posibles alternativas a una planta autosuficiente, productora de pellets (modelo), para finalmente ver cuales resultan viables frente a las irrealizables.

Se experimentó suplantar la materia prima del modelo por biomásas, tales como la paja o el sarmiento, pues su coste en relación al poder calorífico resultaban ser atractivos. La elección de forrajes como biomasa, se ha debido a su uso, en tiempos remotos, como principal fuente de calor, por otro lado, el tomar sarmiento, se debe a dotarle de un uso energético, pues en muchos casos es quemado tras su poda. Se plantea, además, si sigue siendo rentable producir nuestra propia electricidad o adquirirla del suministro.

Los resultados observados nos muestran la posible explotación de la paja como medio para fabricar pellets, no solo por sus costes más reducidos en instalación, comparándolo con el modelo, sino por resultarle más económico al consumidor.

Palabras clave: biomasa, viabilidad, pellet, paja, sarmiento

Abstract

In this degree final project, there are four alternatives to a self-sufficient plant which makes pellets. The aim is to verify if these alternatives are viable or not.

The inform studied to change the wood for straw or branch owing to their relationship between the cost and the calorific value. The election of the straw is because of his use how heat source. The branch is choosing for checking if it is possible other uses because it is burnt when it is cut. Moreover, another objective is tested if it is better to buy the electricity or make it.

The results show straw's exploitation is possible due to reduced cost of building installation and more affordable for the consumer.

Keyword: biomass, viability, pellet, straw, branch

ÍNDICE

RESUMEN	I
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
CAPÍTULO 2.....	VII
CAPÍTULO 3.....	VII
CAPÍTULO 4.....	VIII
ANEXO IV.....	VIII
ANEXO VI.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
CAPÍTULO 2.....	IX
CAPÍTULO 3.....	IX
CAPÍTULO 4.....	X
ANEXO V.....	XI
CAPÍTULO 1: OBJETIVOS Y CONTENIDOS.....	1
1.1 Objetivos	3
1.2 Antecedentes y Justificación	3
1.3 Estructura del TFG y contenido de los capítulos.....	4
CAPÍTULO 2: INTRODUCCIÓN.....	7
2.1 La energía	9
2.2 Energías Renovables.....	10
2.1.1 La biomasa.....	10
2.1.1.1 Fuentes y evaluación de biocombustible.....	11
2.1.1.2 Ventajas e inconvenientes de la utilización de la biomasa	11
2.1.1.3 Nuevas políticas. Europa y España	12
2.1.2.1 Pellets	25
2.1.2.2 Caracterización de los combustible.	26
2.1.2.1.1 Características químicas.....	26
a) Análisis inmediato	27
b) Análisis elemental	32
d) Caracterización energética.....	35

ÍNDICE

2.1.2.1.2 Características físicas.	38
a) Densidad	38
a) Tamaño y forma	39
b) Durabilidad.....	41
2.1.2.1.3 Normativa.....	43
CAPÍTULO 3: PROCESO DE PARTIDA	49
3.1 Descripción del proceso	51
3.2 Cálculos	56
3.2.1 Cálculo del flujo másico.....	57
3.2.2 Características del biocombustible empleado.....	57
3.2.3 Necesidades térmicas de la planta.	58
3.2.3.1 Temperatura de los humos en la parrilla de la caldera.....	58
3.2.3.2 Temperatura de los humos hacia el secadero.....	58
3.2.3.3 Energía de salida de la caldera al secadero	58
3.2.3.4 Energía de salida de la caldera al ORC.....	59
3.2.4 Necesidades eléctricas de la planta.....	59
3.2.4.1 Potencia eléctrica máxima necesaria en la planta.....	59
3.2.4.2 Potencia suministrada por el ORC	59
3.2.5 Coeficiente de Simultaneidad	59
3.2.5.1 Disipación del calor saliente del ORC	60
3.3 Análisis económico	61
3.3.1 Listado precios descompuestos.....	61
3.3.2 Presupuesto ejecución material.....	61
3.3.3 Presupuesto ejecución por contrata	61
3.4 Estudio del retorno de la inversión.....	61
3.4.1 Gastos fijos	61
3.4.2 Ingresos.....	62
3.4.3 Cálculo del retorno de la inversión.....	62
CAPÍTULO 4: ALTERNATIVAS CONSIDERADAS	63
4.1 Alternativa 1	65
4.1.1 Descripción del proceso.....	65
4.1.2 Marco económico y social de la materia prima empleada.....	68

INDICE

4.1.3 Características de la biomasa tratada.....	69
4.1.4 Cálculos.....	70
4.1.4.1 Pérdidas en el proceso productivo.....	70
4.1.4.2 Necesidades eléctricas de la planta.....	71
4.1.4.3 Obtención de un coeficiente de simultaneidad.....	71
4.1.5 Análisis económico “Alternativa 1”.....	72
4.1.5.1 Listado precios descompuestos.....	72
4.1.5.2 Presupuesto general.....	76
4.1.5.3 Total presupuesto ejecución material.....	78
4.1.5.4 Total presupuesto de ejecución por contrata.....	78
4.1.6 Estudio del retorno de la inversión “Alternativa 1”.....	78
4.1.6.1 Gastos fijos.....	79
4.1.6.2 Ingresos.....	80
4.1.6.3 Tiempo necesario de amortización.....	80
4.1.7 Excel de “Alternativa 1”.....	82
4.2 Alternativa 2.....	84
4.2.1 Descripción del proceso.....	84
4.2.2 Marco económico y social de la prima empleada.....	85
4.2.3 Características de la biomasa tratada.....	86
4.2.4 Cálculos.....	87
4.2.4.1 Pérdidas en el proceso productivo.....	87
4.2.4.2 Necesidades eléctricas de la planta.....	87
4.2.4.3 Necesidades eléctricas de la planta.....	88
4.2.5 Análisis económico “Alternativa 2”.....	88
4.2.3.1 Listado precios descompuestos.....	88
4.2.3.1 Presupuesto general.....	89
4.2.3.1 Total presupuesto ejecución material.....	91
4.2.6 Estudio del retorno de la inversión “Alternativa 2”.....	92
4.2.6.1 Gastos fijos.....	92
4.2.6.2 Ingresos.....	92
4.2.6.3 Tiempo estimado en obtener amortización.....	93
4.2.7 Excel de “Alterativa 2”.....	93
4.3 Alternativa 3.....	95

ÍNDICE

4.3.1 Descripción del proceso	95
4.3.2 Marco económico y social de la materia prima empleada	96
4.3.3 Cálculos	96
4.3.3.1 Pérdidas en el proceso productivo.....	96
4.3.3.2 Necesidades eléctricas de la planta.....	96
4.3.3.3 Cálculo de los parámetros del ORC	97
4.3.4.3 Obtención de un coeficiente de simultaneidad	98
4.3.4 Análisis económico “Alternativa 3”	100
4.3.4.1 Total presupuesto ejecución material	100
4.3.4.2 Total presupuesto de ejecución por contrata	101
4.3.5 Estudio del retorno de la inversión “Alternativa 3”	101
4.3.5.1 Gastos fijos	101
4.3.5.2 Ingresos	102
4.3.5.3 Tiempo estimado en realizar amortización	102
4.3.7 Excel de “Alternativa 3”	103
4.4 Comparativa	105
“Alternativa 1” frente a “Alternativa 3”	107
“Alternativa 2” frente a “Alternativa 3”	110
“Alternativa 1” frente a “Planta modelo”	112
“Alternativa 2” frente a “Planta modelo”	114
“Alternativa 3” frente a “Planta modelo”	116
Cumplimiento de los pellets de paja de las Normativas Europeas.....	117
Cumplimiento de los pellets de sarmiento de las Normativas Europeas	
118	
Comparativa entre pellets de paja y de sarmiento.	119
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES	121
CAPÍTULO 6: DESARROLLOS FUTUROS.....	127
BIBLIOGRAFÍA.....	131
ANEXO I. INFORME DE CONFORMIDAD PARA PRODUCTORES DE PELLETS.	
ANEXO II. INFORME DE CONFORMIDAD PARA COMERCIALIZADORES DE PELLETS.	

ANEXO III. LISTA DE COMPROBACIONES DE UNA ENTREGA.

ANEXO IV. TORRES DE ENFRIAMIENTO.

ANEXO V. ÍNDICE DE CALIDAD DE LOS PELLETS DE PAJA DE CEREAL Y DE
MADERA.

ANEXO VI. FLUCTUACIONES EN EL MERCADO DE LA PAJA.

ÍNDICE DE FIGURAS

CÁPITULO 2

Figura 2.1 Empleo de la biomasa en los países miembros de la U.E.	11
Figura 2.2 Distribución del consumo de energía primaria en Castilla y León para 2007.	12
Figura 2.3 Detalle del consumo de energías renovables en Castilla y León para 2007.	12
Figura 2.4 Curva termogravimétrica cualitativa para el análisis inmediato de un combustible.	25
Figura 2.5 Bomba calorimétrica.	34
Figura 2.6 Método de calibración para el diámetro y la longitud.	38
Figura 2.7 Curva de distribución granulométrica tipo.	39
Figura 2.8 Instrumentación necesaria para realización del ensayo.	40
Figura 2.9 Instrumentación necesaria para la realización del ensayo.	40
Figura 2.10 Realización del ensayo de durabilidad.	40

CAPÍTULO 3

Figura 3.1 Proceso de producción de planta autosuficiente.	47
Figura 3.2 Secadero de banda.	48
Figura 3.3 Molino de martillos.	49
Figura 3.4 Máquina de pelletizado.	49
Figura 3.5 Caldera de aceite térmico alimentada por biomasa.	50
Figura 3.6 Interior de la caldera.	50

ÍNDICE

Figura 3.7 Sistema ORC.	51
Figura 3.8 Diagrama T-s de un ORC y esquema básico del circuito.	52
Figura 3.9 Análisis de flujos másicos.	54

CAPÍTULO 4

Figura 4.1 Instalación característica de “alternativa 1” (materia prima: paja de cebada).	63
Figura 4.2 Paca prismática de cebada.	64
Figura 4.3 Puente grúa usado en “alternativa 1” (materia prima: paja de cebada).	64
Figura 4.4 Separador de balas de paja.	65
Figura 4.5 Pelletizadora.	66
Figura 4.6 Flujos másicos que atraviesas la planta de pellets de “Alternativa 1”.	82
Figura 4.7 Instalación característica de “Alternativa 2”.	82
Figura 4.8 Sarmiento formando paquetes prensados.	82
Figura 4.9 Instalaciones características de “Alternativa 3” (materia prima: paja de cebada; instalación autosuficiente).	92

ANEXO IV

Figura IV.1 Torre de enfriamiento atmosférica.	II
Figura IV.2 Torre de enfriamiento de tiro natural.	III
Figura IV.3 Torre de enfriamiento de tiro forzado.	IV
Figura IV.4 Torre de tiro inducido en contracorriente.	V
Figura IV.5 Torre de tiro inducido en flujo cruzado.	VI

ANEXO VI

Figura VI.1 Punto de equilibrio en un mercado.	II
Figura VI.2 Evolución del precio de la forraje (Cereal) según la demanda.	III

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 2

Tabla 2.1 Previsiones de biomasa forestal potencial en Castilla y León.	13
Tabla 2.2 Previsiones de biomasa forestal fácilmente valorizables.	14
Tabla 2.3 Previsiones de cultivos energéticos herbáceos fácilmente valorizables en Castilla y León.	16
Tabla 2.4 Producción potencial de restos agrícolas en Castilla y León.	17
Tabla 2.5 Previsiones de restos agrícolas en Castilla y León.	18
Tabla 2.6 Evolución del consumo de madera en Castilla y León.	19
Tabla 2.7 Evolución prevista de los residuos de construcción y demolición y residuos de parques y jardines en Castilla y León.	20
Tabla 2.8 Síntesis de producción potencial y fácilmente valorizable para el 2015 en Castilla y León.	21
Tabla 2.9 Síntesis de producción potencial y fácilmente valorizable para el 2020 en Castilla y León.	22
Tabla 2.10 Análisis inmediato en % en peso, en b.s.	26
Tabla 2.10 Análisis inmediato y elemental en % en peso sobre base seca. .	32
Tabla 2.11 Análisis inmediato y elemental en % en peso sobre base seca. .	35
Tabla 2.12 Coste energético para diferentes materias primas.	35
Tabla 2.14 Especificaciones para pellets siguiendo normativa ÖNORM M 7135.	41
Tabla 2.14 Propiedades siguiendo normativa DIN 51731.	42
Tabla 2.15 Propiedades siguiendo normativa DIN Plus.	42
Tabla 2.16 Valores límite para los parámetros más importantes de los pellets según la norma EN-Plus 14961-2.	43
Tabla 2.17 Tipos de madera permitidos en la producción de pellet según la norma EN-PLUS 14961-2.	44

CAPÍTULO 3

Tabla 3.1 Gastos fijos anuales.	59
Tabla 3.2 Tiempo de recuperación frente al precio de compra.	60

CAPÍTULO 4

Tabla 4.1 Análisis de la caracterización de la paja cereal.	68
Tabla 4.2 Potencias máximas de la maquinaria (KW).	70
Tabla 4.2 Gastos fijos anuales.	80
Tabla 4.3 Precios madera y tiempo de recuperación de la inversión.	81
Tabla 4.4 Análisis de la caracterización del sarmiento.	84
Tabla 4.5 Gastos fijos anuales “Alternativa 2”.	90
Tabla 4.8 Potencia máxima de la maquinaria proyectada.	94
Tabla 4.9 Producción máxima horaria por máquina (Kg/h).	96
Tabla 4.10 Coeficientes de producción frente al separador de balas.	96
Tabla 4.11 Gastos fijos anuales.	99
Tabla 4.12 Precio de la paja y tiempo de recuperación de la inversión (Ciclo O.R.C).	100
Tabla 4.13 Precios paja y coste de la energía necesaria en el proceso (ciclo ORC).	103
Tabla 4.14 Precios paja y coste de la materia prima necesaria para producir energía más el mantenimiento de la instalación (ciclo ORC).	104
Tabla 4.15 Coste anuales y beneficios (Para la planta amortizada) “Alternativa 1”.	105
Tabla 4.16 Coste anuales y beneficios (Para la planta amortizada) “Alternativa 3”.	105
Tabla 4.17 Coste anual tras amortizar (Sin tener en cuenta salarios) “Alternativa 3”.	107
Tabla 4.18 Costes de “Planta modelo” una vez amortizado.	110
Tabla 4.19 Costes y beneficios anuales de la “Planta modelo” (Amortizado).	112
Tabla 4.20 Comparación de las características de los pellets de paja con algunas normas de pellets en países europeos.	115
Tabla 4.21 Comparación de las características de los pellets de paja con algunas normas de pellets en países europeos.....	117

INDICE

ANEXO V

Figura V.1 Resultados de las características propias de las materias primas a estudiar.. IV

CAPÍTULO 1: OBJETIVOS Y CONTENIDOS



1.1 Objetivos

El objetivo de este trabajo es analizar la viabilidad de las posibles alternativas a una planta productora de pellets (autosuficiente), donde la materia prima es la corteza de pino, por su alto poder calorífico.

El análisis consta de diferentes etapas en las que se procede a:

- Plantear las posibles vías eficientes, es decir, alternativas al proyecto antecedente tomado, las cuales nos permitan obtener el mismo producto final: el pellet.
- Explicar las analogías y diferencias de todas las alternativas estudiadas, en cuanto a procesos productivos se refiere. Señalar que, no todas las materias primas requieren el mismo proceso de adecuamiento, marcándose aquí la primera y mayor diferencia económica entre los casos planteados.
- Estudiar sus costos en inversión inicial, mantenimiento e ingresos y finalmente comparar entre ellas, distinguiéndose los casos en los que la instalación no es rentabilizada de los que si lo es.

El fin es llegar a la amortización estimada para cada caso, y ver cual resulta más viable teniendo en cuenta además, que el consumidor aceptará el producto que le sea más rentable económicamente.

1.2 Antecedentes y Justificación

Los antecedentes que hay que seguir son las líneas de investigación del departamento de Termotecnia en lo que a energías renovables se refiere.

En la sección de Termotecnia se han realizado diferentes proyectos utilizando las energías renovables, principalmente encaminados a la empleabilidad de la energía solar como efluente térmico. Dentro de las líneas específicas de la

biomasa, se han realizado diversos proyectos de instalaciones donde se emplea y ya concretamente, el proyecto de Cálculo y dimensionamiento de una planta de producción de pellet autosuficiente.

El hecho de barajar diferentes opciones de planta recae en, la necesidad de diseñar instalaciones con costos inferiores y poder ver si el consumidor podría optar por usar pellets formados por materias primas más económicas que repercuten directamente en el precio del producto final.

1.3 Estructura del TFG y contenido de los capítulos

El presente proyecto se divide en 6 capítulos. Los contenidos que se incluyen en cada capítulo de forma resumida son los siguientes:

CAPÍTULO 1. Objetivos y contenidos

Es el presente capítulo, en el que se realiza una breve presentación de los objetivos que enmarca el trabajo realizado, los antecedentes desde los que se parten y estructura del mismo.

CAPÍTULO 2. Introducción

En este capítulo se enmarca la biomasa dentro de las posibles fuentes de energía renovables, y se presenta la situación actual tanto de Europa, como de España y más concretamente, de Castilla y León. Se concreta para el caso de los pellets, explicando sus características químicas, físicas y la normativa que han de cumplir.

CAPÍTULO 3. Descripción del proceso

En este capítulo se presenta el proyecto del que se parte para buscar futuras alternativas. Se muestra el proceso, los cálculos y los gastos de realización, así como el tiempo de amortización

CAPÍTULO 4. Alternativas consideradas

En el cuarto capítulo se incluyen las posibles alternativas a la planta de producción de pellet autosuficiente empleando corteza de pino. Se busca emplear materias primas de un similar comportamiento calorífico. Finalmente se busca comparar las más viables económicamente.

Capítulo 5. Conclusiones

En este, se darán las conclusiones obtenidas con la realización del trabajo.

Capítulo 6. Líneas futuras

Finalmente, se relatan posibles estudios que continúen con el proyecto.

Las figuras y las tablas se han numerado con dos números, el primero hace referencia al capítulo donde se encuentra y el segundo corresponde al número de orden en el mismo.

Para la numeración de las ecuaciones el criterio elegido es enumerarlas entre paréntesis, anteponiendo la letra “e” en la enumeración, utilizando para tal efecto dos números, el primero hace referencia al capítulo donde se encuentra y el segundo corresponde al número de orden en el mismo.

Las referencias bibliográficas se han numerado por orden de aparición en el texto, indicándose en el texto el número al que se corresponde (entre corchetes). La referencia a páginas web se ha hecho de la misma forma pero anteponiendo la letra “W” al inicio del corchete, al igual que con las normativas antepondremos la letra “N”. En el capítulo correspondiente a la bibliografía se han ordenado las referencias en orden de aparición pero por tipos, es decir, primero las referencias de libros, seguido de los proyectos, las Normas, por último las páginas web visitadas.



CAPÍTULO 2: INTRODUCCIÓN

2.1 La energía

La energía se define de forma general como toda causa capaz de producir un trabajo. Resulta ser un elemento clave de toda la actividad humana, ya sea industrial, de transporte o vivienda y es la base del desarrollo de la sociedad. De este modo, se entiende que los países desarrollados consuman tres cuartas partes de toda la energía primaria (obtenida de ella misma) producida en el planeta. Ésta se produce en diferentes fuentes y almacena de distintas formas (las fuentes secundarias son aquellas que recurren a otra). También se pueden clasificar en renovables o no renovables, según que su energía se siga produciendo en la actualidad y su consume sea repuesto, o que se agoten. A este segundo tipo, pertenecen las reservas fósiles: petróleo, carbón y gas natural, las cuales tras la crisis del petróleo de los años 70, aumentaron su precio y llevaron a una búsqueda necesaria de alternativas, que cubrieran las necesidades energéticas de la sociedad, las cuales se veían incrementadas continuamente.^[1] Por otro lado, planteaban una dependencia energética con respecto a los países explotadores de las mismas. De hecho, en la actualidad, en torno al 75% de la energía que utilizamos proviene de energías fósiles, casi un 13% de la energía nuclear y en torno al 12% la obtenemos de las energías Renovables. Al tener un porcentaje tan alto, en torno al 88%, del uso de energía no renovable nos lleva a tener en cuenta importantes implicaciones medioambientales y una gran dependencia, como ya se dijo.^[2]

En este sentido, se plantea como solución a todos estos problemas, la mejora en el rendimiento de las tecnologías existentes, la búsqueda de nuevas energías (fusión nuclear, pilas de combustibles...) y el desarrollo e implantación de las energías renovables, puesto que su principal característica es que no se encuentran en una cantidad limitada. Esta toma de conciencia ante el agotamiento de los recursos fósiles y el impacto ambiental que producen, por parte de los países industrializados, está originando un cambio en la política energética del mundo, surgiendo el concepto de desarrollo sostenible. ^[1]

2.2 Energías Renovables

Como ya se introdujo, las energías Renovables engloban bajo su nombre, un gran número de tecnologías de obtención de energía a partir de fuentes energéticas diversas, como el sol, el aire, la tierra y el agua. Se pueden definir como aquellas fuentes que, de forma periódica, se ponen a disposición del hombre y que éste es capaz de aprovechar y transformar en energía útil para satisfacer sus necesidades. Es decir, se renuevan de forma continua tomando como base el ciclo humano, al contrario que los combustibles fósiles, de los que existen unas disponibilidades limitadas en un plazo más o menos largo. En este grupo se incluyen la llamada energía biomasa, la energía solar, o hidráulica, entre otras. ^[1]

2.1.1 La biomasa

La biomasa puede definirse como las sustancias orgánicas que tienen su origen en los compuestos de carbón formados en la fotosíntesis, es decir, la biomasa es una forma de obtención de energía que, a corto plazo puede ser muy importante o incluso básica para nuestra sociedad, tanto desde el punto de vista energético y del medio ambiente, como para el desarrollo socioeconómico de las zonas rurales de un país. Este grupo de energías, consideradas como renovables, incluimos los residuos de aprovechamientos forestales y cultivos agrícolas, residuos de industrias agroforestales, cultivos con fines energéticos, residuos de origen animal o humano, etc. ^[4]. Es más, si miramos al pasado, este modo de energía, ha sido empleado antiguamente ya que se usaba la paja como fuente de calor, tras haber sido trillada.

AENOR, 2011 (Asociación Española de Normalización y Certificación) emplea la definición de la Especificación Técnica Europea CEN/TS 14588^[N-1] catalogando la biomasa como todo materia de origen biológico con exclusión del carbón, gas y petróleo. Su combustión no contribuye al aumento del efecto invernadero porque el carbono que se libera es el que absorben las plantas durante su crecimiento.

2.1.1.1 Fuentes y evaluación de biocombustible

Se pueden considerar tres grandes grupos en cuanto a las posibles fuentes de biomasa para su aprovechamiento energético: [3]

1) Biomasa natural

Producida en la naturaleza sin intervención humana, (bosques, matorrales, etc...) resulta aprovechable si proviene de partes muertas (para no fomentar la erosión o degradación). Se ha de respetar la estabilidad del ecosistema, teniendo en cuenta la productividad del medio.

2) Biomasa residual

Generada tras una actividad humana, principalmente en los procesos productivos de los sectores agrícolas, forestales o ganaderos, donde su utilización ofrece, en principio, perspectivas atractivas, teniendo en cuenta que la descontaminación que se produce es provechosa.

3) Biomasa producida en plantaciones energéticas

Los cultivos energéticos, realizados con la finalidad de producir biomasa transformable en combustible (en lugar de producir alimentos, como ha sido tradicional). Tales cultivos pueden ser la colza, la caña de azúcar o la maíz.

2.1.1.2 Ventajas e inconvenientes de la utilización de la biomasa

Se presentan las posibles ventajas e inconvenientes que presenta la empleabilidad de este recurso energético considerado como renovable: [3], [4]

Ventajas

- Energía renovable
- Aprovechamiento completo
- No requiere de nuevas tecnologías
- Reduce el deterioro del medio ambiente

- Proporciona puesto de trabajo y mejora socioeconómicamente las áreas rurales.
- Ahorra divisas y disminuye la dependencia energética de la que se ha hablado con anterioridad.
- Disminución de las emisiones de azufre.
- Disminución de las emisiones de partículas.
- Emisiones reducidas de contaminantes como CO, HC y NO_x.
- Ciclo neutro de CO₂, lo que contribuye al no aumento del efecto invernadero.
- Reducción de riesgos de incendios forestales y de plagas de insectos.
- Aprovechamiento de residuos agrícolas, evitando así su quema en el terreno.
- Posibilidad de utilización de tierras de barbecho con cultivos energéticos.

Inconvenientes

- Dispersión
- Producción estacional
- Baja densidad energética
- Necesidad de acondicionamiento o transformación para su utilización.
- Coste de recolección, transporte y almacenamiento.

1.1.1.3 Nuevas políticas. Europa y España

Ante la situación de escasez y agotamiento de los recursos fósiles y problemas medioambientales derivados del uso de los mismos, los gobiernos de los países desarrollados están tratando de reorientar sus políticas energéticas a fin de asegurar un suministro de energía seguro, sostenible y competitivo.

Estas políticas tienen como objetivos diversificar la producción de energía hacia fuentes de diferentes orígenes, preferiblemente renovables para reducir la dependencia de los recursos fósiles, reducir el impacto medioambiental, desarrollar investigaciones sobre nuevas tecnologías y reducir el consumo energético mejorando la eficiencia energética.

Actualmente, la política energética se refleja en la directiva 2012/27/UE, donde se establece el marco común de medidas para el fomento de la eficiencia energética, en la UE, dentro del marco de la Estrategia 2020. Su aplicación pretende reducir el consumo de energía en un 20% en la U.E. para 2020 con respecto de 2007. Es decir, se pretende que el consumo de energía primaria en la Unión Europea no sea superior a 1474 Mtpe y el de energía final a 1078 Mtpe para el año 2020.^[6] Dicha directiva derroga la anterior (2006/32/CE).

Como consecuencia de esta directiva, en España se ha elaborado el Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020 (Continuación del Plan de Acción de la estrategia de Ahorro y eficiencia energética 2008-2012), con lo que se pretende conseguir un ahorro de energía final de 17,842 Mtep a 35,585 Mtep con base a 2007.

Europa

Viendo el marco Europeo de forma más detallada, la energía primaria que proviene de la biomasa es del 54% respecto a las energías renovables aunque esta cifra solo supone un 4% del total de energía. Dentro de este porcentaje, el 85% tiene fines térmicos, mientras que el restante es empleado en producir energía eléctrica. Alemania encabeza la lista de países europeos que producen biomasa, seguidos de Francia y de los países escandinavos (considerados como los líderes, ya que, por ejemplo, Finlandia cubre el 50% de sus necesidades térmicas). ^[3](Queda reflejado en la Figura 2.1). La mejora en este mercado tiene su principal potencial en la aparición de los pellets (detallado a continuación) por su alta densidad y fácil transporte. ^[W-1]

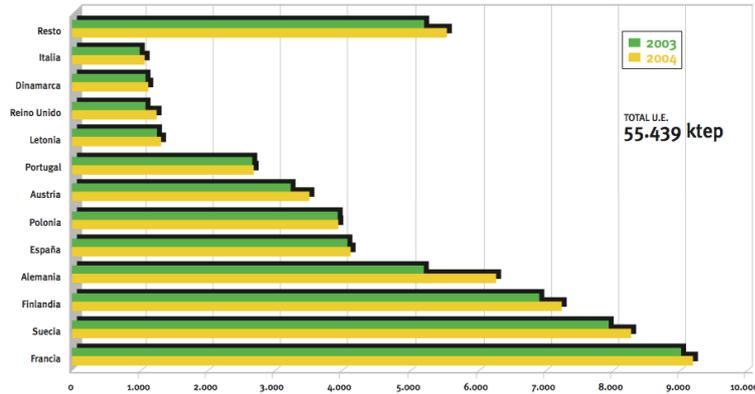


Figura 2.1 Empleo de la biomasa en los países miembros de la U.E. [W-1]

España

Como se ve en la figura anterior, España se sitúa en sexta posición en cuanto al uso de la energía proveniente de la biomasa, representando esto el 36% de la energía renovable (representa el 4,2 % de la energía total primaria). [3]

Castilla y León

En la actualidad en Castilla y León, el consumo de energía primaria es cercano a 10,5 Mtep cada año. Más del 90% se basa en fuentes fósiles, mientras que el 7% es renovable. El porcentaje de fuentes fósiles se debe al uso de carbón en centrales térmicas y de petróleo en transporte. Esta distribución queda expresada en la Figura 2.2 y Figura 2.3, donde se representa el consumo energético, de las energías fósiles y de las renovables.[6]

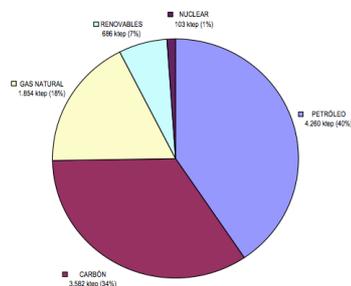


Figura 2.2 Distribución del consumo de energía primaria en Castilla y León para 2007. [6]

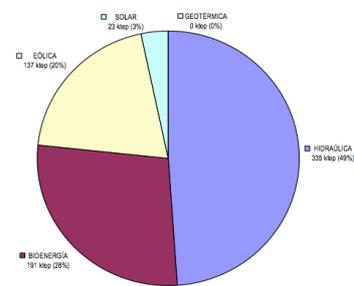


Figura 2.3 Detalle del consumo de energías renovables en Castilla y León para 2007. [6]

Así, teniendo esto en cuenta, para llevar a cabo las medidas de sostenibilidad deseadas, la Junta de Castilla y León, presentó el Plan regional de ámbito sectorial de la biomasa en Castilla y León (PBCyL), donde situar y estimar los tipos de biomásas que podrían servir como materia prima para la obtención de biomasa densificada.

a) Biomasa forestal

En este subgrupo encontramos cualquier vegetal procedente de terrenos forestales, que sean aptos para producir energía. Se trata de una acepción que extiende la definición de este tipo de biomasa a su máxima amplitud, esto es a todo el recurso forestal de los montes de Castilla y León. (Quedan incluidas matas, árboles completos, parte de árboles y tocones)

El PBCyL realiza varias clasificaciones: en función del proceso de obtención y el destino final, establece la biomasa forestal en producto forestal o en subproducto; en función del tamaño del recurso, como fracción maderable o fracción leñosa. Además, establece diferentes tipologías.^[6]

Castilla y León es la Comunidad Autónoma con mayor capital forestal en España. Un 52% del territorio de Castilla y León es forestal y, más concretamente, un 32% corresponde a superficie arbolada.

A continuación se presenta la Tabla 2.1 con estimaciones hasta 2030 de las siguientes variables: ^[6]

- Existencias del volumen maderable.
- Existencias del total de material vegetal, tanto en materia anhidra como en verde (50% de humedad en base húmeda).
- Crecimiento medio anual del volumen maderable.
- Biomasa potencial o crecimiento medio anual del total de material vegetal, tanto en materia anhidra como en verde.
- Energía primaria de la biomasa potencial, tanto de la materia anhidra como en verde.

Tabla 2.1 Previsiones de biomasa forestal potencial en Castilla y León. [6]

			2020	2025	2030	
EXISTENCIAS	Volumen maderable ($10^3 \text{ m}^3/\text{año cc}$)		199.790	211.103	220.000	
	Biomasa total	Materia anhidra (10^3 t/año)	261.809	276.634	291.179	
		Materia en verde (t/año)	523.618	553.267	582.357	
POTENCIAL EXISTENCIAS	Crecimiento medio de volume madera ($10^3 \times \text{m}^3/\text{año cc}$)		9.360	9.890	10.410	
	Biomasa potencial total	Materia anhidra	t/año	12.266	12.961	13.642
			Ktep/año	5.600	5.900	6.200
		Materia en Verde	t/año	24.532	25.921	27.284
			Ktep/año	5.000	5.00	5.500

Pero debido a las limitaciones tecnológicas, económicas y ambientales, el aprovechamiento máximo de biomasa forestal será inferior al estimado. Así, establecemos una estimación más realista de la biomasa fácilmente valorizada. (Tabla 2.2)

Tabla 2.2 Previsiones de biomasa forestal fácilmente valorizables. [6]

			2020	2025	2030
Biomasa forestal fácilmente valorizable ($10^3 \times \text{t/año en verde}$)	Fracción leñosa	Restos de tratamientos servícolas	60	60	60
		Restos de aprovechamiento por el sistema tradicional	124	123	133
		Copas aprovechables de forma integral	494	490	529
		Total	678	673	722

		Coníferas	474	632	829
		Fronosas	1.025	1.135	1.223
		Total	1.499	1.767	2.052
	TOTAL		2.177	2.440	2.774
Energía Primaria anhidra de la biomasa forestal fácilmente valorizable (ktep/año)	Fracción leñosa	Restos de tratamientos servícolas	14	14	14
		Restos de aprovechamiento por el sistema tradicional	28	28	30
		Copas aprovechables de forma integral	111	110	119
		Total	153	152	153
	Fracción maderable	Coníferas	159	194	230
		Fronosas	178	203	223
		Total	337	397	452
	TOTAL		490	549	625

b) Cultivos energéticos

Se entiende por cultivo energético aquellos que se enmarca bajo la definición establecida tras la reforma de la PAC de 2003, y más concretamente, la establecida en la Directiva 2003/30 CE. Se trata de aquellos cultivos no alimentarios destinados a la producción de energía, que se utilizan fundamentalmente en la producción de biocarburantes o energía térmica y eléctrica producida a partir de la biomasa.

Atendiendo a la clasificación respecto a su aprovechamiento de la biomasa, se pueden distinguir los cultivos oleaginosos (colza, girasol...), cultivos alcohólicos (patatas, remolacha...), cultivos lignocelulósicos (chopo, eucalipto...). Clasificamos también si son cultivos tradicionales (Cebada, trigo, centeno, triticale, girasol, colza...) o nuevos (Cardo, pataca...)

Una vez clasificados, señalamos que los principales cultivos energéticos en Castilla y León destinados a la producción energética suelen ser oleoginosas o cereales, pues otros como la remolacha o la patata suelen estar destinados al mercado alimenticio, salvo alguna excepción. Las ayudas concedidas por la PAC a este grupo de cultivos son escasas y no permiten el despunte de este cultivo en Castilla y León (sin olvidar que existe un desconocimiento por parte del agricultor).

Todo ello hace que las estimaciones de futuro sean inciertas, aún así, el PBCyL presenta una estimación fácilmente valorizable de las superficies y de la producción hasta el año 2030. (Tabla 2.3).

Tabla 2.3 Previsiones de cultivos energéticos herbáceos fácilmente valorizables en Castilla y León. ^[6]

Origen de la producción		2020	2025	2030	
SECANO	Superficie secano potencial (barbecho incluido)	2.897.347			
	Fácilmente valorizable	% fácilmente valorizable	15%	16%	17%
		Superficie de secano (ha)	434.802	434.802	492.549
		Producción en verde (10 ³ xt/año)	1.021	1.089	1.157
		Producción anhidra (t/año)	888.544	947.780	1.007.016
		E. primaria anhidra (Ktep/año)	356	379	403
REGADÍO	Superficie regadío potencial (ha)	510.000			
	Fácilmente valorizable	% fácilmente valorizable	8%	9%	11%
		Superficie de regadío (ha)	40.800	45.900	56.100
		Producción en verde (t/año)	204.00	229.500	280.500
		Producción anhidra (t/año)	177.480	199.665	244.035
		E. primaria anhidra (ktep/año)	71	80	98
TOTAL	Superficie (ha)	475.402	509.476	548.649	
	Producción (10 ³ xt/año)	1.066	1.147	1.251	
	E. primaria anhidra (ktep/año)	429	459	501	

c) Restos agrícolas

Esta categoría engloba todos aquellos cultivos energéticos los cuales aprovechan el resto de la planta, en lugar del grano. El PBCyL clasifica los residuos agrícolas atendiendo a su constitución, distinguiendo los herbáceos (paja de cereal, restos de coseña de colza...) y los leñosos (vid, olivos y frutales). La superficie de estos cultivos queda reflejada en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4 Producción potencial de restos agrícolas en Castilla y León. [6]

		Superficie (ha)	Producción potencial de restos agrícolas				
			t/ha en verde	t/año en verde	Hum (%)	t/año en anhidro	ktep/año en anhidro
HERBÁCEOS	Cereal (s.)	1.684 (x10 ³)	2	3.369(x10 ³)	13	2.931(x10 ³)	1.173
	Cereal (r.)	179(x10 ³)	3	538(x10 ³)	13	468(x10 ³)	187
	Maíz	103.299	15	1.549(x10 ³)	20	1.239(x10 ³)	496
	Remolacha	34.262	5	171(x10 ³)	20	137.048	55
	Leguminosa	134.583	-				
	Girasol	243.614	2	487.228	9	443.377	177
	Colza	6.852	2	13.704	9	12.471	5
	Patata	23.237	1,5	34.856	15	29.627	12
	Total s.	2.069.883	2	3.871(x10 ³)	12,5	3.388(x10 ³)	1.355
	Total r.	340.000	6,75	2.293(x10 ³)	18,3	1.874(x10 ³)	750
	TOTAL HERBÁCEO	2.410(x10³)	2,7	6.163(x10³)	14,7	5.261(x10³)	2.105
LEÑOSOS	Vid	72.000	3	216(x10 ³)	14,7	5.261(x10 ³)	2.105
	Frutales	6.125	-	-	5	205.200	82
	Olivo	7.818	2,6	20.327	5	19.310	-
	TOTAL LEÑOSO	85.943	2,8	236.327	5	225(x10³)	82
TOTAL BARBECHO	745.934	2	1.491(x10³)	12	1.312(x10³)	525	
TOTAL RESIDUOS AGRÍCOLAS	3.241(x10³)	-	7.891(x10³)	-	6.798(x10³)	2.712	

s.: secano

r.: regadío

Hum.: Humedad

Hay que considerar que el potencial de estos restos es elevado pero, se ha de exponer un escenario más realista con la estimación fácilmente valorizable (Tabla 2.5).

Tabla 2.5 Previsiones de restos agrícolas en Castilla y León. [6]

		2020	2025	2030		
HERBÁCEOS SECANO	Potencial	Superficie	2.069.883			
		t/ha y año, en verde	2			
		t/año, en verde	4.139.766			
		E. primaria anhidra (ktep/año)	1.455			
	Prod. valorizable	Restos fácilmente valorizables (%)	12	13	13	
		t/año, en verde	496.772	538.170	538.000	
		t/año, anhidra	437.159	437.589	473.500	
		E. primaria anhidra (ktep/año)	174.9	189,4	189,4	
	Barbecho (prod. potencial cereales ha/año)		300.000			
	Producción potencial en verde (t/año)		600.000			
Energía primaria anhidra (ktep/año)		240				
HERBÁCEOS REGADIO	Potencial	Superficie	510.000			
		t/ha y año, en verde	6,75			
		t/año, en verde	3.442.500			
		t/año, anhidra	2.857.275			
	E. primaria anhidra (ktep/año)		1.058			
	Prod. valorizable	Restos fácilmente valorizables (%)	12	12	13	
		t/año, en verde	413.100	447.525	447.525	
		t/año, anhidra	324.873	371.446	171.437	
E. primaria anhidra (ktep/año)		137	149	69		
LEÑOSOS	Producción potencial	Superficie	85.943			
		t/ha y año, en verde	2,8			
		t/año, en verde	240.640			
		t/año, anhidra	214.856			
		E. primaria anhidra (ktep/año)		86		
	Prod. valorizable	Restos fácilmente valorizables (%)	8	10	11	
		t/año, en verde	19.251	24.064	26.470	
		t/año, anhidra	17.188	21.486	23.634	
		E. primaria anhidra (ktep/año)		6,9	8,6	9,5
		TOTAL fácilmente valorizable (incluye barbecho)	t/año, en verde	1.296.842	1.609.759	1.612.165
E. primaria anhidra (ktep/año)	612		644	645		
TOTAL fácilmente valorizable (sin barbecho)	t/año, en verde	929.123	1.009.759	1.021.155		
	E. primaria anhidra (ktep/año)	372	404	405		

c) Industria de la madera

Este subgrupo recoge los residuos generados en la actividad industrial de la madera y que se pueden revalorizar energéticamente. Se incluyen también los rollos de madera importada y reciclada que pueden ser aprovechados energéticamente.

Atendiendo a las características físico-químicas de los subproductos generados por las industrias de la madera y valorizables energéticamente, estos pueden clasificarse en restos procedentes de la industria de primera transformación (aserraderos, industrias de desenrollo y fábricas de tablero), de la industria de segunda transformación (carpinterías y fábricas de muebles) y de residuos procedentes de la industria de la pasta de papel.

En el PBCyL, se ha elaborado una modelización al objeto de estimar la previsible evolución del flujo de madera en Castilla y León hasta el 2030. Estimaciones reflejadas en la Tabla 2.6

Tabla 2.6 Evolución prevista del consumo de madera en Castilla y León. [6]

			2020	2025	2030
SUBPRO. DE TRANSFORMACIÓN INDUSTRIAL (RESTOS+CORTEZA+LEJÍAS NEGRAS)	RESTOS (Sin corteza)	t/año anhidro	303.000	345.000	390.000
		t/año humedad en origen	424.000	483.000	546.000
		Ktep/año anhidro	136	155	175
	CORTEZA	t/año anhidro	89.000	93.000	115.000
		t/año humedad en origen	169.000	177.00	218.000
		Ktep/año anhidro	42	45	55
	TOTAL	t/año anhidro	392.000	438.000	505.000
		t/año humedad en origen	593.000	660.000	764.000
		Ktep/año anhidro	178	200	230
OTRAS FRACCIONES	IMPORTACIÓN MADERA EN ROLLO	t/año anhidro	25.000	30.000	34.000
		t/año humedad en origen	50.000	59.000	68.000
		Ktep/año anhidro	11	13	15
	MADERA REICLADA	t/año anhidro	91.000	116.000	148.000
		t/año humedad en origen	102.000	130.000	166.000
		Ktep/año anhidro	41	52	67

		2020	2025	2030
TOTAL	t/año anhidro	508.000	584.000	687.000
	t/año humedad en origen	745.000	849.000	998.000
	Ktep/año anhidro	230	265	312

d) Origen urbano y de otras industrial

Engloba todos aquellos residuos catalogados como urbanos y que, por su contenido orgánico, pueden ser valorizados energéticamente. Por otro lado, se incluyen a mayores, a aquellos residuos industriales no peligrosos que son biodegradables y no proceden de las industrial de la madera y agroalimentarias (plantas de depuración de aguas residuales, madera procedente de la construcción y demolición y residuos de envases de madera).

En la Tabla 2.7, se recogen las estimaciones previstas realiza con el PBCyL para el grupo tratado en este apartado.

Tabla 2.7 Evolución prevista de los residuos de construcción y demolición y residuos de parques y jardines en Castilla y León. ^[6]

				2020	2025	2030
Materia de residuos de construcción y demolición.	Producción total	Obras	t/año	90.000	100.000	
		Total anhidro	t/año	85.500	95.000	
			Ktep/año	35,9	39,9	
	Producción fácilmente valorizable	Obras	t/año	90.000	100.000	
		Total anhidro	t/año	85.000	95.000	
			Ktep/año	35,9	39,9	
Residuos de podas y jardines	Producción total	Obras	t/año	26.021	26.541	27.072
		Total anhidro	t/año	18.215	18.579	18.950
			Ktep/año	8,1	8,2	8,4
	Producción fácilmente valorizable	Obras	t/año	19.516	19.906	20.304
		Total anhidro	t/año	13.265	13.934	14.213
			Ktep/año	5,9	6,2	6,3

e) Síntesis

Finalmente, se presentan en la Tablas 2.8 y 2.9 de forma resumida y sistemática, la producción potencial y fácilmente valorizable estimada para Castilla y León según el PBCyL (2015 y 2010; respectivamente)

Tabla 2.8 Síntesis de producción potencial y fácilmente valorizable para el 2015 en Castilla y León. [6]

2015			BM POTENCIAL			BM FACILMENTE VLORIZABLE			
			Recurso en origen (t/año)	Superficie (ha/año)	Energía primaria (ktep/año)	Recurso en origen (t/año)	Superficie (ha/año)	Energía primaria (ktep/año)	
BM forestal	Fracción leñosa		14.000.000	-	3.157	523.000	41.900	117	
	Fracción maderable		8.875.000	-	1.997	1.143.000	21.600	257	
	TOTAL		22.875.000	3.000.000	5.154	1.666.000	63.500	374	
BM agrícola	C. Energéticos	Herbáceos	Regadio	2.550.000	510.000	1.020	114.750	22.950	40
		Herbáceos	Secano	6.827.534	2.897.347	2.512	748.964	318.708	261
		Leñoso		15.300.000	510.000	3.519	127.000	4.2000	29
		TOTAL		24.677.534	-	7.051	990.714	345.858	330
	R. Agrícolas	Herbáceos	Regadio	2.550.000	510.000	1.058	309.825	45.900	103
			Herbáceos	Secano	4.139.766	2.669.883	1.457	372.579	186.289	131
		Leñoso		226.164	92.612	97	11.308	4.631	5
		TOTAL		6.915.930	3.272.495	2.612	693.712	266.820	239
	TOTAL		31.593.464	-	9.663	1.684.426	-	569	
	BM INDUSTRIA	INDUSTRIAL DE LA MADERA		1.590.000	-	468	507.000	-	156
INDUSTRIAL AGROALIMENTARIAS		977.367	-	115	186.693	-	22		
TOTAL		2.567.367	-	583	693.693	-	178		
BM URANA	MADERA DE RESIDUOS CONSTRUCCIÓN-DEMOLICIÓN		80.000	-	32	56.000	-	22	
	RESIDUOS PODAS DE CALLES Y JARDINES		25.511	-	8	19.133	-	6	
	TOTAL		105.511	-	40	75.133	-	28	

Tabla 2.9 Síntesis de producción potencial y fácilmente valorizable para el 2020 en Castilla y León. [6]

2015		BM POTENCIAL			BM FACILMENTE VLORIZABLE				
		Recurso en origen (t/año)	Superficie (ha/año)	Energía primaria (ktep/año)	Recurso en origen (t/año)	Superficie (ha/año)	Energía primaria (ktep/año)		
BM forestal	Fracción leñosa		15.000.000	-	3.381	678.000	45.500	153	
	Fracción maderable		9.500.000	-	2.139	1.499.000	28.300	337	
	TOTAL		24.500.000	3.000.000	5.520	1.666.000	63.500	490	
BM agrícola	C. Energéticos	Herbáceos	Regadio	2.550.000	510.000	1.020	114.750	73.800	71
			Secano	6.827.534	2.897.347	2.512	748.964	40.800	355
		Leñoso		15.300.000	510.000	3.519	127.000	434.000	45
		TOTAL		24.677.534	-	7.051	990.714	6.700	471
	R. Agrícolas	Herbáceos	Regadio	2.550.000	510.000	1.058	309.825	45.900	102
			Secano	4.139.766	2.669.883	1.457	372.579	186.289	195
		Leñoso		226.164	92.612	97	11.308	4.631	8
		TOTAL		6.915.930	3.272.495	2.612	693.712	266.820	305
	TOTAL		31.593.464	-	9.663	1.684.426	-	776	
	BM INDUSTRIA	INDUSTRIAL DE LA MADERA		1.869.000	-	547	507.000	-	230
INDUSTRIAL AGROALIMENTARIAS		994.904	-	117	186.693	-	27		
TOTAL		2.863.904	-	664	693.693	-	257		
BM URANA	MADERA DE RESIDUOS CONSTRUCCIÓN-DEMOLICIÓN		90.000	-	36	56.000	-	36	
	RESIDUOS PODAS DE CALLES Y JARDINES		26.021	-	8	19.133	-	6	
	TOTAL		116.021	-	44	109.516	-	42	

2.1.2 Biombustibles sólidos

Se aquellos productos derivados de la biomasa sólida que son susceptibles de utilización directa pues no tienen propiedades homogéneas en cuanto a tamaño, una elevada humedad o una baja densidad, luego requieren transformaciones previas, generalmente de naturaleza física, para otorgarles de unas buenas características que nos permitan su posterior empleo como fuente de energía.^[W-2]

De todas las características mencionadas con anterioridad, una de las más destacables es la densidad, la cual requiere ser mejorada pues no solo permite una mayor fuente de energía sino un más fácil transporte, una mayor manejabilidad y almacenaje. Estos biocombustibles densificados son las briquetas y los pellets.^[W-3]

Debido a que el presente trabajo trata sobre el análisis y la viabilidad de la producción de pellet empleando distintos métodos y materias primas, es conveniente profundizar algo sobre este tema.

2.1.2.1 Pellets

Tomando la definición de la CEN/TS 14588^[N-1], el pellet es un biocombustible densificado hecho de biomasa pulverizada con o sin aditivos, usualmente con forma cilíndrica, longitud aleatoria típicamente entre 3,15 mm y 40 mm y extremos rotos.

El objetivo de aumentar la densidad de partida del material es mejorar su almacenaje y transporte, así como abaratarlo. Estas materias primas de partida pueden ser residuos de la industrial maderera como serrines y virutas, o también residuos forestales, agrícolas, agroindustriales y de los cultivos energéticos. El comité Europeo para la Normalización CEN/TC 335^[2] de los biocombustibles sólidos ha preparado especificaciones técnicas para los métodos de análisis, donde se distinguen los siguientes tipos de biomasa según su procedencia:

- Biomasa procedente de la madera.

- Biomasa herbácea.
- Biomasa procedente de la fruta.
- Mezcla de las tres anteriores.

Y así poder clasificar de acorde a ello los pellets en:

- Pélets de madera: su procedencia se encuentra en la biomasa leñosa del monte, de una plantación o de otra madera virgen, en los subproductos y residuos de la industria del procesado de la madera, o en la madera usada.
- Pélets no leñosos: son obtenidos de la biomasa herbácea, de la biomasa de frutos o conjuntos y de mezclas de biomasa.

Esta clasificación nos darán diversas calidades que permitirán establecer su precio en el mercado y definir su comportamiento en los procesos de conversión energética indispensable para optimizar el diseño de los equipos energéticos y definir sus especificaciones técnicas.

2.1.2.2 Caracterización de los combustible.

Una caracterización completa aporta información para determinar si un combustible es susceptible de ser empleado en sistemas y equipos de combustión. Para evaluar las posibilidades de aprovechamiento energético es determinante analizar sus propiedades físicas, químicas y energéticas.^[7]

2.1.2.1.1 Características químicas

Los parámetros que aportan la descripción química del combustible se determinan mediante el análisis inmediato y el análisis elemental.

Con el análisis inmediato se obtienen los contenidos de humedad, volátiles, cenizas y carbon fijo de la biomasa, expresados en porcentaje en peso. Los compuestos volátiles y el carbono fijo almacenan la energía de la biomasa mientras que la humedad y las cenizas son la fracción inerte.

Con el análisis elemental se establece el porcentaje en masa de carbono (C),

hidrógeno (H) nitrógeno (N), oxígeno (O), azufre (S) y cloro (Cl). A excepción del cloro, todos ellos intervienen en las reacciones de oxidación y, por tanto, definen el potencial calorífico del biocombustible.

a) Análisis inmediato

Cuando se produce el calentamiento progresivo de una particular de biomasa, el material va desprendiendo en primer lugar la humedad, posteriormente las sustancias volátiles, después se produce la quema de carbono fijo presente y finalmente queda un residuo sólido que se corresponde con las cenizas. Cada una de las fracciones se obtiene a una temperatura distinta, bajo condiciones atmosféricas diferentes y supone una pérdida de peso concreta del material.

Los analizadores termogravimétricos registran la pérdida de peso que experimenta una muestra mientras es calentada en unas condiciones controladas de temperatura velocidad de calentamiento y atmósfera. La figura 2.4 muestra la rampa de temperaturas de un ensayo termogravimétrico y una curva típica de la evolución del peso de la muestra. [8]

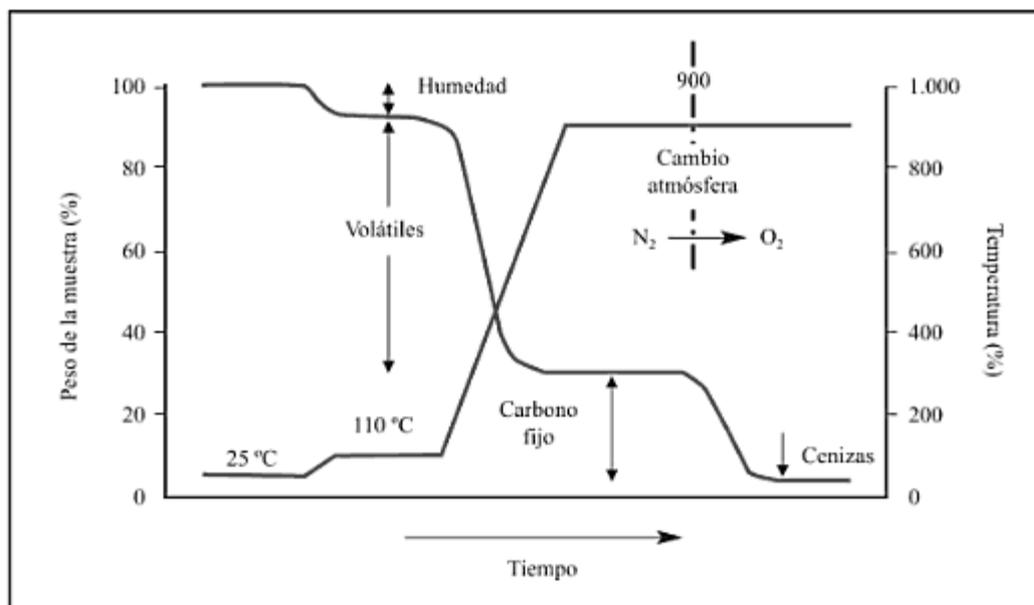


Figura 2.4 Curva termogravimétrica cualitativa para el análisis inmediato de un combustible. [8]

En base seca, los biocombustibles sólidos suelen contener entre el 70 y el 90% en peso de compuestos volátiles, entre el 10 y el 30% de carbono fijo y entre el 1 y el 20% de cenizas. El contenido en agua de la biomasa suele ser muy variable.

En la Tabla 2.10 se muestra el análisis inmediato de varios tipos de biomasa con distintas procedencias.

Tabla 2.10 Análisis inmediato en % en peso, en b.s. [8]

Biomasa	Carbono fijo (% b.s)	Volátiles (% b.s)	Cenizas (% b.s)
Residuo forestal	13,60	82,40	4,00
Chopo	24,20	73,00	2,80
Serrín de trigo	14,40	85,00	0,60
Paja de trigo	17,71	75,27	7,02
Tallos de alfalfa	15,81	78,92	5,27
Paja de Arroz	15,86	65,47	18,67
Cáscaras de almendra	20,71	76,00	3,29
Huesos de oliva	16,28	82,00	1,72
Orujillo	21,30	72,40	6,30

A continuación, se abordan cada una de las fracciones tratadas y lo que implica en el aprovechamiento energético del material.

Humedad

La Norma UNE EN 14774^[N-3] establece el método de ensayo mediante el secado en estufa. En él se somete a la muestra a una temperatura de 105 °C hasta que la masa se mantenga constante.

La humedad es un factor muy variable en los biocombustibles sólidos ya que depende de la especie, de la zona geográfica, del tiempo que haya transcurrido desde su recolección y de las condiciones ambientales existentes durante su almacenaje.

Generalmente el porcentaje de humedad de la biomasa se expresa en base húmeda (% *b.h.*) aunque en algunas ocasiones este dato se proporciona en base seca (% *b.s.*).

A continuación, se presentan las ecuaciones 2.1 y 2.2 para el cálculo de la humedad en ambas bases:

$$W_{bh}(\%) = 100 \times \frac{\text{Peso inicial muestra} - \text{Peso muestra seca}}{\text{Peso inicial muestra}} \quad (\text{ec. 2.1})$$

$$W_{bs}(\%) = 100 \times \frac{\text{Peso inicial muestra} - \text{Peso muestra seca}}{\text{Peso inicial muestra}} \quad (\text{ec. 2.2})$$

donde

W_{bh} : es la cantidad de humedad en base húmeda. [%]

W_{bs} : es la cantidad de humedad en base seca. [%]

La cantidad de humedad que presenta la biomasa establece que tecnologías se han de fijar para reconvertirla a biocombustibles sólidos. Así, cuando es inferior al 50% (*b.h.*) se pueden llevar a cabo tecnologías de combustión o gasificación, mientras que para casos con una humedad superior al 50% (*b.h.*), se han de llevar a cabo procesos de bioconversión.

Volátiles

Siguiendo la Norma UNE EN 15148 ^[N-4], la material volátil se determina mediante la pérdida de masa que experimenta la muestra menos la debida a la pérdida de humedad, cuando el biocombustible sólido se calienta durante 7 minutos a 900 °C, aproximadamente, sin contacto con el aire, es decir, en ausencia de oxígeno. El denominado carbono fijo es la fracción que permanece después de haberse desprendido todos los compuestos volátiles

(orgánicos e inorgánicos) y se estima por diferencia tras determinar el contenido de humedad, material volatiles y cenizas, es decir siguiendo la ecuación 2.2:

$$V_{bs} = \left[100 \cdot \frac{m_{mc}}{m_{om}} - M_{bs} \right] - \left(\frac{100}{M_{bs}} \right) \quad (\text{e.2.2})$$

donde

V_{bs} : es la material volatiles de la muestra en base seca. [%]

m_{mc} : es la masa inicial de la muestra. [g]

m_{om} : es la masa de la muestra calentada. [g]

M_{bs} : es el contenido de humedad en base seca. [%]

Cenizas

Las cenizas es un residuo sólido procedente de la materia prima biomásica al someterla a un proceso de combustión que se produce para su aprovechamiento energético.

Para determinar el contenido en cenizas, se recurre a la Norma UNE EN 14775^[N-5]. Esta trata de calentar una muestra del biocombustible en aire bajo condiciones estrictamente controladas de tiempo y peso a una temperatura controlada de 550 °C aproximadamente. Con ello se produce una pérdida de masa en la muestra a partir de la cual se contabiliza el contenido de cenizas.

De tal forma que el contenido de cenizas en base seca queda expresado como muestra la ecuación 2.3:

$$A_{bs} = \frac{m_c}{m_{om}} \cdot 100 \cdot \frac{100}{100 - M_{bs}} \quad (\text{e. 2.3})$$

donde

A_{bs} : es el contenido en cenizas en base seca. [%]

m_c : es la masa de cenizas. [g]

m_{0m} : es la masa inicial de la muestra. [g]

M_{bs} : es el contenido de humedad en base seca. [%]

Como consecuencia del contenido de cenizas en el combustible se obtiene una reducción de la energía disponible. Es decir, a mayor cantidad de cenizas menor es el aprovechamiento energético disponible en el combustible y por tanto peor es su calidad como tal.

El tratamiento posterior que recibe la ceniza suele ser en forma de residuo, aunque otras veces, puede ser empleado como fertilizante del suelo.

Carbono fijo

El carbon fijo, se define como la fracción que permanece después de haberse desprendido todos los compuestos volátiles (orgánicos e inorgánicos) y se estima por diferencia tras determinar el contenido de humedad, material volátil y cenizas. Este se determina con la ecuación 2.4, que se expresa a continuación:

$$\% \text{ Carbono Fijo} = 100 - (\% \text{ Humedad} + \% \text{ Volátiles} + \% \text{ Cenizas}) \quad (\text{e.2.4})$$

donde

% Carbono fijo: expresa el porcentaje en carbono fijo. [%]

% Humedad: expresa la cantidad de humedad de la muestra. [%]

% Volátiles: expresa la cantidad de volátiles de la muestra. [%]

% Cenizas: expresa la cantidad de cenizas de la muestra. [%]

b) Análisis elemental

Exceptuando la fracción correspondiente a la humedad y las cenizas, la biomasa está formada por compuesto de carbón (C), Hidrógeno (H), Nitrógeno (N), Oxígeno (O), Azufre (S) y Cloro (C), principalmente. El análisis elemental proporciona las cantidades relativas de dichos elementos químicos. Así, este análisis permite estimar a partir del balance de material la cantidad de productos que se generan en su combustión y la cantidad de comburente necesaria en cada caso.

El Nitrógeno procede exclusivamente de los constituyentes orgánicos de la biomasa. Interviene en la formación de los óxidos de nitrógeno (NO_x) luego el interés por conocer la cantidad elemental del Nitrógeno (N) radica en saber la cantidad de contaminantes desprendidos.

El carbón y el Nitrógeno se encuentran presentes en forma de compuestos hidrocarbonados y su contenido se determina calentando una muestra de biomasa, previamente estabilizada al aire, con una corriente de oxígeno y recolectando el dióxido de carbono (CO_2) y el agua (H_2O) producidos, siendo el primero de ellos de relevancia importancia desde el punto de vista ambiental (como ocurre con el Nitrógeno)

Los ensayos que se han de aplicar así como los resultados obtenidos se encuentran en la Norma UNE-EN 15104. ^[N-6]

Los resultados se expresan en base seca y como porcentaje en masa. Se toman las ecuaciones 2.5, 2.6, 2.7 para los cálculos:

- Contenido en carbon en base seca, C_{bs} :

$$C_{bs} = C_d \cdot \frac{100}{100 - M_d} \quad (\text{e.2.5})$$

- Contenido en carbon en base seca, N_{bs} :

$$N_{bs} = N_d \cdot \frac{100}{100 - M_d} \quad (\text{e. 2.6})$$

- Contenido en carbon en base seca, H_{bs} :

$$H_{bs} = (H_d - M_d/8,937) \cdot \frac{100}{100-M_d} \quad (\text{e. 2.7})$$

donde

M_d es el contenido de humedad de la muestra para el análisis general cuando se realiza

Respecto a los contenidos en azufre y cloro son variables en los combustibles sólidos y su determinación es significativa pues generalmente se transforman en óxidos de azufre y cloruros, los cuales fomentan la corrosión y la emisiones de contaminantes.

Al igual que se hizo en los anteriores, se calcula el contenido de cada uno de ellos en las ecuaciones 2.8 y 2.9:

- Contenido en cloro, Cl_{bs} :

$$Cl_{bs} = \frac{(c-c_0) \cdot V}{m} \cdot 100 \cdot \frac{100}{100-M_d} \quad (\text{e. 2.8})$$

donde

c concentración de cloruro en la disolución. [mg/l]

c_0 concentración de cloruro en la disolución del ensayo. [mg/l]

V es el volume de la disolución. [l]

m es la masa de la porción de ensayo utilizada. [mg]

M_d contenido de humedad de la muestra para el análisis general cuando se realiza.[%]

- Contenido en azufre, S_{bs} :

$$S_{bs} = \frac{(c-c_0) \cdot V}{m} \cdot 0,3338 \cdot 100 \cdot \frac{100}{100-M_d} \quad (\text{e.2.9})$$

c	concentración de sulfato en la disolución. [mg/l]
c_0	concentración de sulfato en la disolución. [mg/l]
V	volumen de la disolución. [l]
m	masa de la porción de ensayo utilizada. [mg]
0,3338	relación estequiométrica de las masas molares relativas del azufre y sulfato.
M_d	contenido de humedad de la muestra para el análisis general cuando se realiza. [%]

En cuanto al porcentaje de oxígeno se calcula como la diferencia entre el 100% y la suma de cada componente anteriormente expresada en la ecuación 2.10:

$$O_{bs} = 100 - C_{bs} - N_{bs} - H_{bs} - S_{bs} \quad (\text{e.2.10})$$

donde

O_{bs} es el contenido de oxígeno en base seca. [%]

Así en la Tabla 2.10, aparece el análisis elemental de diferentes materias primas.

Tabla 2.10 Análisis inmediato y elemental en % en peso sobre base seca.^{[5],[8]}

	C	H	N	S
Algodón (residuo campo)	47,16	6,35	1,12	0,07
Arroz (cascarilla)	42,70	5,29	0,46	0,04
Chopo (astilla)	49,85	6,11	0,34	0,03
Eucalipto (astilla)	49,29	6,46	0,17	0,02
Girasol (residuo campo)	45,43	6,19	0,92	0,07
Haya (taco)	48,67	5,99	0,13	0,01
Olivo (hueso aceituna)	50,44	5,75	0,19	0,07
Olivo (orujillo)	48,99	5,91	1,56	0,15
Olivo (pulpa aceituna)	50,58	6,11	1,77	0,12
Olivo (ramas de poda)	49,53	6,09	0,28	0,05
Pino Insignis (astilla)	50,10	6,33	0,33	0,02
Pino Insignis (corteza)	54,86	5,58	0,30	0,02
Pino Pinaster (acículas)	52,25	6,61	0,84	0,16
Roble (serrín)	49,04	5,88	0,18	0,01
Trigo (paja)	47,75	6,18	0,47	0,08
Vid (sarmientos)	46,56	5,84	0,46	0,01
Residuo forestal	52,40	4,80	1,07	0,11
Cáscara de almendra	50,72	6,90	0,79	0,05

d) Caracterización energética

Cuando se precisa determinar la cantidad de un combustible dado, necesario en una instalación para obtener cierta potencia, se recurre al dato de su capacidad energética por unidad de masa, o también conocido como poder calorífico. El poder calorífico es el principal parámetro de caracterización energética de un biocombustible, pero existen otros, como por ejemplo: la reactividad, la capacidad de autoignición, el calor específico y la conductividad térmica. ^[8]

El poder calorífico superior (PCS) se define como la máxima cantidad de calor que somos capaces de obtener de una reacción de combustión cuando el agua resultante se encuentra en estado líquido. Este PCS permite conocer la energía contenida en la biomasa estudiada incluyendo aquella que se consumirá en evaporar el agua producida en la combustión, este PCS se obtiene en laboratorios especializados experimentalmente, pero puede ser evaluado a partir de la composición elemental del combustible.

La energía realmente aprovechable es aquella que considera al agua aportada o producida en la combustión como vapor en los humos. A esta energía se la denomina poder calorífico inferior (PCI) y se puede calcular a partir del agua contenida en los humos y el calor latente de cambio de fase del mismo. La determinación de la humedad en la biomasa es fundamental ya que influye en la disminución del poder calorífico y en el aumento del consumo de combustible. [3]

El poder calorífico superior puede ser obtenido experimentalmente a partir de la combustión de una muestra del combustible en una bomba calorimétrica. Este ensayo está normalizado por la CEN/TS 14918^[N-7].

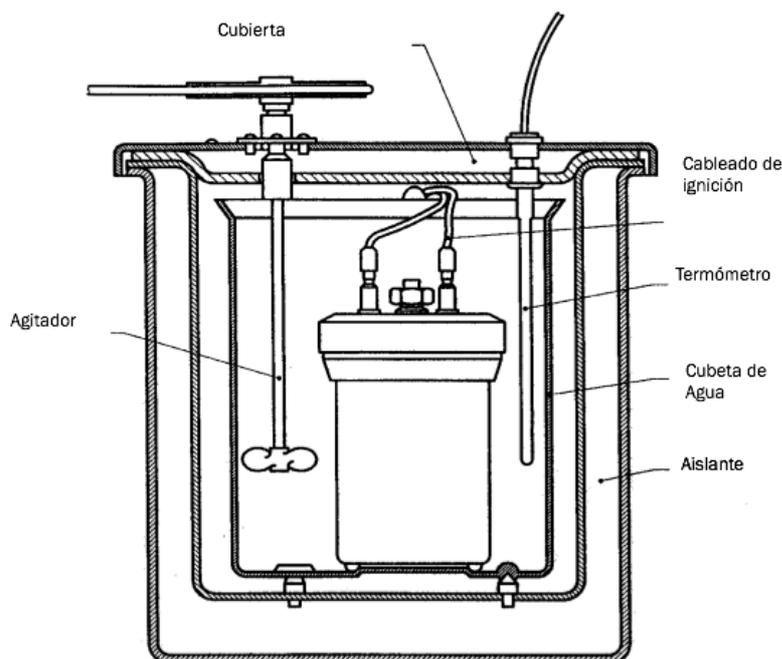


Figura 2.5 Bomba calorimétrica. ^[N-7]

La energía aportada por el combustible durante su oxidación genera un aumento de la temperatura del fluido (agua) que rodea a la bomba de combustión. Con ese incremento de temperatura se calcula el poder calorífico superior a volumen constante y en base húmeda, $PCS_{v,bh}$.^[8]

La Tabla 2.11 se recogen los poderes caloríficos superiores en base seca de diferentes tipos de biomasa.

Tabla 2.11 Análisis inmediato y elemental en % en peso sobre base seca.^[3]

	PCS (kJ/kg)		PCS (kJ/kg)
Chopo (astilla)	19.409	Girasol(residuo)	16.986
Roble (serrín)	19.260	Maíz (zuros)	18.532
Eucalipto (cort.)	18.960	Vid (sarmientos)	19.580
Pino Pinaster (acículas)	21.373	Vid (ramilla de uva)	19.408
Pino Insignis (serrín)	20.087	Vid (orujo de uva)	20.420
Pino Insignis (astilla)	19.855	Olivo (ramas poda)	19.584
Pino Insignis (corteza)	21.120	Olivo (hueso)	20.329
Arroz (cascarilla)	17.007	Olivo (pulpa)	20.749
Algodón (residuo)	18.939	Olivo (orujillo)	20.341

Por ultimo, nos parece oportuno calcular el coste energético que tienen algunas de estas materias primas. Esto lo situamos en la Tabla 2.12.

Tabla 2.12 Coste energético para diferentes materias primas.

COMBUSTIB	PCI(KJ/kg)	PCI (kW·h)	Precio€/kw*h
CORT. PINO	16.896	4,6933	0,03944
PAJA	14.514	4,0317	0,0298
SARMIENTO	15.664	4,3511	0,0425

2.1.2.1.2 Características físicas.

Las características físicas de la biomasa son muy variables y están relacionadas con la especie a la que pertenecen o bien con su proceso de obtención.

Conocer de las características físicas de la biomasa resulta necesario a la hora de evaluar las condiciones de transporte y del almacenamiento o los posibles pretratamientos a los que se va a someter el material desde la recolección hasta su transformación. Además, estas mismas características nos podrán dar información a cerca del tiempo de residencia necesaria y sobre la superficie específica de la particular donde tendrán lugar la reacciones entre el combustible sólido y el gas que lo rodea. [7]

Seguidamente, se presentan las principales características empleadas en el aprovechamiento termoquímico de los combustibles sólidos.

a) Densidad

Se distinguen dos tipos de densidades: la densidad aparente y la densidad de la partícula. La densidad aparente es la efectiva, es decir, es la densidad de un material cuando se considera tanto el volumen ocupado por la fase sólida como el debido a la fase fluida que incorpora, que por lo general, en el caso de la biomasa, es aire. La densidad de partícula considera los poros propios del material pero no los huecos de entre partículas, es decir, solo considera el volumen del sólido. [8]

La densidad aparente se evalúa siguiendo la Norma CEN/TS 15103 [N-8], mediante la pesada de un recipiente (con volumen normalizado) lleno del material a analizar. Distinguiendo en este estudio los combustibles de alta densidad, (donde se requiere menor volumen de material para la misma potencia) de los de baja densidad (necesitan mayor volumen de almacenamiento y transporte, y algunas veces presentan problemas de fluidez mediante gravedad).

El dato de densidad aparente de un material varía en función del grado de

compactación del material, de su contenido en humedad, de su nivel de degradación u otros aspectos. Fijándonos en como afecta la humedad, vemos que aumenta tanto su volumen como su peso conforme crece esta misma.

En cuanto a la densidad de partícula (también llamada densidad real), tiene en cuenta, como se anticipó anteriormente, los poros propios del material y hace por tanto que se tenga en cuenta la partícula media.

Es importante para evaluar la conductancia térmica y la descomposición térmica, parámetros que se han de tener en cuenta a la hora de estudiar la combustión del material.

La densidad de partícula se evalúa siguiendo la Norma UNE EN 15150 ^[N-9], donde se pesa primeramente un grupo de pellets al aire y, tarando el instrumental empleado en la medición, se vuelven a pesar, pero esta vez sumergidos en líquido. La diferencia de ambas mediciones determinará la flotabilidad del material que junto a la densidad del líquido empleado nos permitirá calcular finalmente el volumen ocupado. Para el cálculo analítico, se emplea la ecuación 2.10.

$$\rho_M = \frac{m_a}{m_a - m_l} \cdot \rho_l \quad (\text{e.2.10})$$

donde

ρ_M densidad analizada con un contenido de humedad M. [g/cm³]

m_a masa de la muestra en aire (incluye humedad). [g]

m_l masa de la muestra en el líquido (incluye humedad). [g]

ρ_l densidad del líquido empleado. [g/cm³]

a) Tamaño y forma

Tan importante son las propiedades químicas y energéticas de la biomasa

como el estado morfológico de las partículas, tales como el tamaño y la forma en las que se inyecte al reactor. Con este motivo, la Norma UNE EN 14961-2 [N-10] determina las especificaciones necesarias para el caso de los pellets y la Norma UNE EN 14961-6 [N-11] quien determina las clases de calidades de los combustibles y las especificaciones de pellets no leñosos para el uso no industrial.

En primer lugar, el tamaño de particular, caracterizado generalmente por el diámetro equivalente de la partícula.

Para determinar la longitud y el diámetro, hay que seguir la Norma UNE EN 16127 [N-12] donde se describe el método aplicable. Consiste en la realización de mediciones de tanto la longitud como el diámetro mediante un calibre. La longitud se mide paralelo al eje mientras que el diámetro será perpendicular al mismo. En la figura 2.6 se puede ver el proceso de medida.

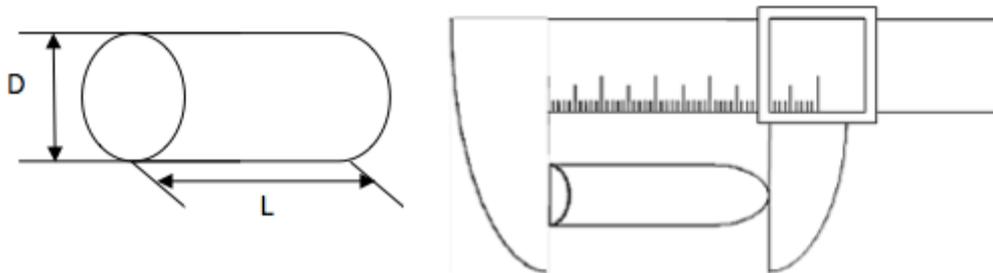


Figura 2.6 Método de calibración para el diámetro y la longitud [N-12]

La distribución de tamaños, o distribución granulométrica, de un material se determina midiendo el porcentaje en peso de las partículas que pasan a través de una serie de tamices con apertura de malla decreciente. El resultado obtenido se presenta en una curva como la presentada en la figura 2.7, donde se referencia el tamaño de malla a partir del cual pasaría el 80% del material.

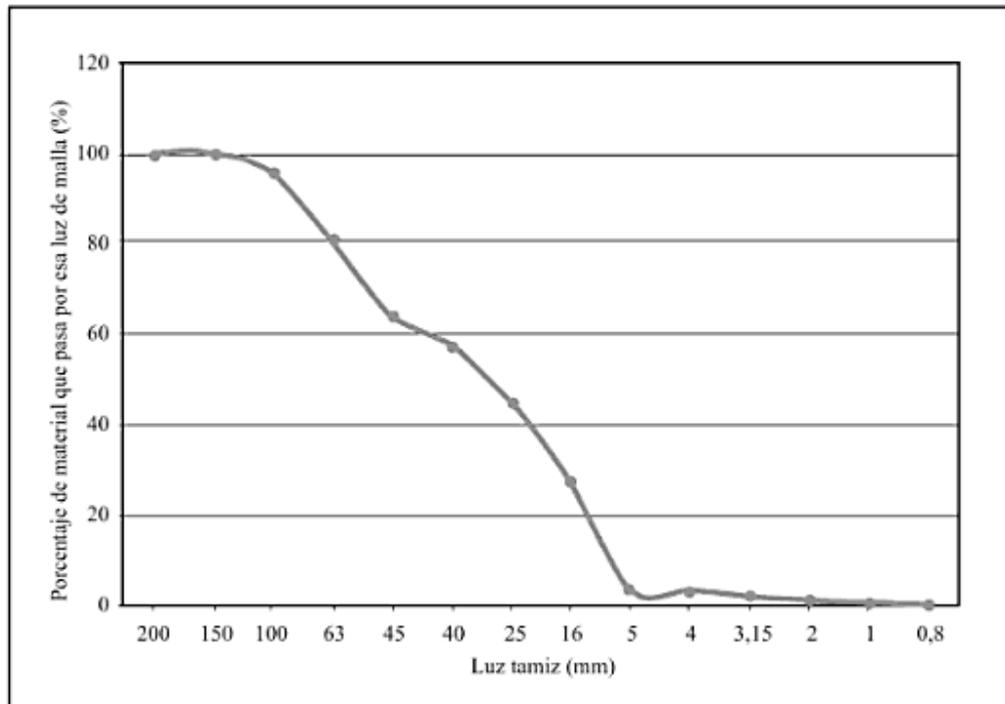


Figura 2.7 Curva de distribución granulométrica tipo.^[8]

El resultado que se obtiene tras el análisis granulométrico va a depender del astillado, desfibrado o molienda.

La fracción de sólidos de menor tamaño (menor de 3,15 mm según la norma UNE EN 14961-1:2011 ^[N-13]), llamada fracción de finos, impone que sea inferior al 1%, ya que estas partículas general problemas respiratorios.

Por otra parte, la facilidad de fluir de un material, que depende tanto del tamaño y la forma como de las características de la superficie del mismo, es un factor a tener en cuenta en el diseño de los equipos de transporte neumático y almacenamiento. ^[8]

b) Durabilidad

La durabilidad, o friabilidad, se define siguiendo la Norma UNE EN 15210 ^[N-14] como la medida de la resistencia de los combustibles densificados a los golpes y/o abrasión con consecuencia de los procesos de manejo y

transporte.

Dicha norma establece, a su vez, el método de ensayo para determinar la durabilidad mecánica de una muestra, la cual es sometida a golpes controlados mediante la colisión de los pellets entre ellos mismos y contra las paredes de una cámara de ensayo rotatoria definida. Tras el ensayo, se podrá calcular al separar las partículas finas erosionadas y rotas, mediante la ecuación 2.11.

$$DU = \frac{m_A}{m_E} \cdot 100 \quad (\text{e.2.11})$$

donde

DU	durabilidad mecánica. [%]
m_A	masa de pellets anteriores al volteo. [g]
m_E	masa de pellets cribados tras el volteo. [g]

En las Figuras 2.8, 2.8 y 2.10 podemos ver como se efectúa dicho ensayo y cómo son las herramientas empleadas.



Figura 2.8
Instrumentación
necesaria para la
realización del
ensayo

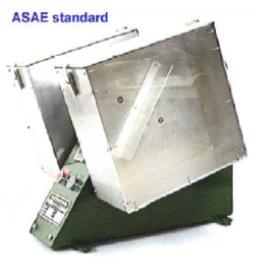


Figura 2.9
Instrumentación
necesaria para la
realización del
ensayo



Figura 2.10
Realización del
ensayo de
durabilidad

2.1.2.1.3 Normativa

La existencia de normas, en la caracterización de los biocombustibles es imprescindible para asegurar al consumidor la calidad o propiedades del producto (tanto para uso domestico como industrial). A pesar del uso de la biomasa, como combustible en muchas regiones europeas, no será hasta el 2005 cuando se regulen sus caracterizaciones con normativa.^[8] Así, se implantó en Austria tres normativas con respecto a los pellets: la Norma ÖNORM M 7135^[N-15]; que trata sobre las especificaciones de los pellets y briquetas de madera con y sin corteza (Tabla 2.13), la Norma ÖNORM M 7136^[N-16]; que abarca ambitos relacionados con la calidad de la logística y el transporte de los pellets de madera y la Norma ÖNORM M 7137^[N-17]; que recoge los requerimientos de calidad del almacenamiento del consumidor final de pellets de madera.

Tabla 2.13 Especificaciones para pellets siguiendo normativa ÖNORM M 7135^[N-15].

Propiedades	Pellets de madera	Pellets de Corteza
Diámetro (mm)	4-10	4 - 10
Longitud (mm)	< 5* diámetro	< 5* diámetro
Densidad (kg/m)	< 1,12	< 1,12
Humedad (% masa)	< 10	< 18
Durabilidad (Lignotest)	2,3	2,3
Cenizas (%masa)	< 0,5	< 6
Poder calorífico (MJ/kg)	> 18	> 18
Azufre (%masa)	< 0,04%	< 0,08%
Nitrógeno (%masa)	< 0,3%	< 0,6%
Cloro (%masa)	< 0,02%	< 0,04%
Aditivos (%masa)	< 2%	< 2%

En Suecia, hacen uso de la Norma SS 18 71 20, ^[N-18] que especifica tres clases de pellets en función del tamaño y de la cantidad de cenizas que generan. En Alemania, está vigente la Norma DIN 51721, ^[N-19] de pellets y briquetas (Tabla 2.14) y la Norma DIN Plus^[N-20], que es de uso específico para pellets empleados en calderas, cuyos requerimientos son de alta calidad (Tabla 2.15).

Tabla 2.14 Propiedades siguiendo normativa DIN 51731^[N-18].

Propiedades	Pellets de Madera
Diámetro (mm)	4-10
Longitud (mm)	< 5
Densidad (kg/m)	1 - 1,4
Humedad (% masa)	< 12
Cenizas (%masa)	< 1,5
Poder calorífico (MJ/kg)	17,5 - 19,5
Azufre (%masa)	< 0,08%
Nitrógeno (%masa)	< 0,3%

Tabla 2.15 Propiedades siguiendo normativa DIN Plus^[N-20].

Propiedades	Pellets de Madera
Diámetro (mm)	Indicar
Longitud (mm)	< 5·Diámetro
Densidad (kg/m)	>1,2
Humedad (% masa)	< 10
Cenizas (%masa)	< 0,5
Poder calorífico (MJ/kg)	>18
Azufre (%masa)	< 0,04
Nitrógeno (%masa)	< 0,3

En Italia, la Norma CTI R04/05^[N-21] establece los parámetros de calidad de los pellets de biomasa con fines energéticos. Establece 4 categorías en función del origen.

Hoy en día, el Comité Europeo para la Normalización CEN/TC 335^[N-2] ha preparado especificaciones técnicas en materia de biocombustibles sólidos a través de la Norma UNE EN 14961, también denominada EnPlus, donde se unifican los criterios de referencia para toda Europa, garantizando los aspectos de certificación del producto. En ella se establecen tres clases de pellets: ENplus-A1, ENplus-A2 y EN-B, diferenciándose por el origen de la madera, los tratamientos recibidos y el contenido en cenizas, Nitrógeno y Cloro, basándonos en la Norma UNE EN 14961-2^[N-22] (La cual trata sobre los biocombustibles sólidos, las especificaciones y clases de combustibles). Los fabricantes de estos productos, además han de realizar un informe de conformidad (Anexo I), y los comerciantes otro (Anexo II) así como una comprobación de la entrega (Anexo III). Todo esto en base a la normativa vigente.

Algunas de las características que los pellets han de cumplir, han quedado reflejadas en la Tabla 2.16.

Tabla 2.16 Valores límite para los parámetros más importantes de los pellets según la norma EN-Plus 14961-2. ^[N-22].

Parámetro	Unidades	ENplus-A1	Enplus-A2	EN-B
Diámetro	[mm]	6 ≤ d ≤ 8		
Longitud	[mm]	3,15 ≤ L ≤ 40		
Humedad	[% masa, b.h]	≤ 10		
Cenizas	[%masa]	≤ 0,7	≤ 1,5	≤ 3,0
Durabilidad mecánica	[%masa]	≥ 97,5		≥ 96,5
Finos (>3,15 mm)	[%masa]	< 1		
Poder calorífico	[MJ/kg]	16,5 ≤ Q ≤ 19	16,5 ≤ Q ≤ 19	16,5 ≤ Q ≤ 19
Densidad aparente	[kg/m³]	≥ 600		
Nitrógeno	[%masa]	≤ 0,3	≤ 0,5	≤ 1,0
Sulfuro	[%masa]	≤ 0,03		≤ 0,04
Cloro	[%masa]	≤ 0,02		≤ 0,03
Fusibilidad cenizas ⁽¹⁾	°C	≥ 1200	≥ 1100	

(1) Temperatura de Deformación, preparación de la muestra a 815°C

En cuanto a los tipos de madera indicados para poder emplear en la obtención de pellets, se sigue la Norma ENplus- 14961-1^[N-13], los cuales se adjuntan en la Tabla 2.17

Tabla 2.17 Tipos de madera permitidos en la producción de pellet según la Norma EN-Plus 14961-2. ^[N-13].

ENplus-A1	Enplus-A2	EN-B
1.1.3 Madera del fuste	1.1.1 Árboles enteros sin raíces	1.1 Forestal, plantaciones y otras maderas no usadas ni tratadas
1.2.1 Residuos de la industria de la madera no tratados químicamente	1.1.3 Madera del fuste	1.2.1 Residuos y sub-productos de la industria de la Madera no tratados químicamente
	1.1.4 Residuos de tala	
	1.1.6 Corteza	1.3.1 Madera reciclada no tratada químicamente
	1.2.1 Residuos y sub productos de la industria de la Madera no tratados químicamente	

Está prohibido el uso de madera tratada químicamente, lo cual representa una divergencia con respecto a la norma antes mencionada. La única excepción a esta premisa es la madera que haya sido tratada externamente con conservantes para madera contra ataques de insectos (ej., lineatus) que no se clasifican como madera tratada químicamente ^[N.22]

Por ultimo, la Norma también alude a los aditivos permitidos. Definiendo este término, se diría que es un material que se ha introducido intencionadamente para la producción del pellet con el fin de mejorar la

calidad del combustible, reducir emisiones o aumentar la eficiencia de la combustión.

El límite máximo de adicción permitido está en el 2 % (de la masa total de los pellets). La cantidad de aditivos en la producción debe estar limitada a 1,8% (% masa) y la cantidad de aditivos añadidos después de la producción (por ejemplo aceites de recubrimiento) deben ser limitados a 0,2 (% masa) de los pellets. Excluimos al agua y al vapor, pues no son considerados aditivos.

Destacamos el uso del almidón, la harina de maíz, la harina de patata, el aceite vegetal, etc., pueden provenir solamente de productos forestales y agrícolas primarios que no estuvieran alterados químicamente. En el caso de que se demuestre que la adicción de cierta sustancia provoca problemas operativos en el funcionamiento de la caldera, ha de ser demostrado por la empresa, quien es el encargado de demostrar la inofensividad o los beneficios de dicha adicción.



CAPÍTULO 3: PROCESO DE PARTIDA



El proceso inicial en el que nos basamos produce de pellets tomando como materia prima la corteza de pino, por su alto valor energético (ver tabla 2.11 del Capítulo 2). La planta es autosuficiente (se emplea un ciclo ORC) y puede ser situada en cualquier emplazamiento siempre que el coste de la materia prima sea razonable: es independiente del suministro eléctrico.^[9]

3.1 Descripción del proceso

El proceso se conforma con la secuencia de fases a las que es forzada a pasar el flujo másico, el cual se enumera a continuación (y puede verse el croquis del proceso en la Figura 3.1) y se explica de forma más detallada:

- Secadero de banda.
- Molino.
- Pelletizadora.
- Almacenamiento final de materia prima.
- Caldera aceite térmico alimentada por biomasa.
- Sistema de cogeneración (ORC).
- Torre de enfriamiento.

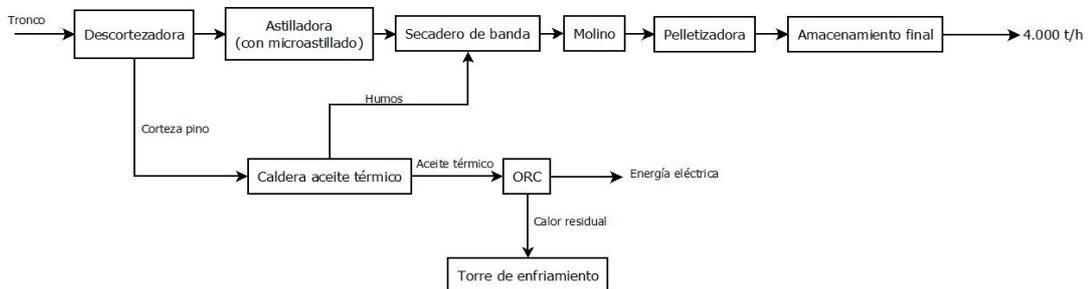


Figura 3.1 Proceso de producción de planta autosuficiente.

Secadero de banda

El secadero de banda forma parte imprescindible del proceso pues, a menos humedad mayor valor energético obtenido del producto; además es en esta fase dónde se produce una mayor eliminación del peso del mismo al eliminar el agua que contiene la materia prima; a la entrada del secadero se tiene una humedad del 50% reduciéndose a la salida a un valor del 10%, ambos valores en base húmeda. (El proceso usa dos líneas de secado para agilizar, las cuales se identifican en la Figura 3.2).

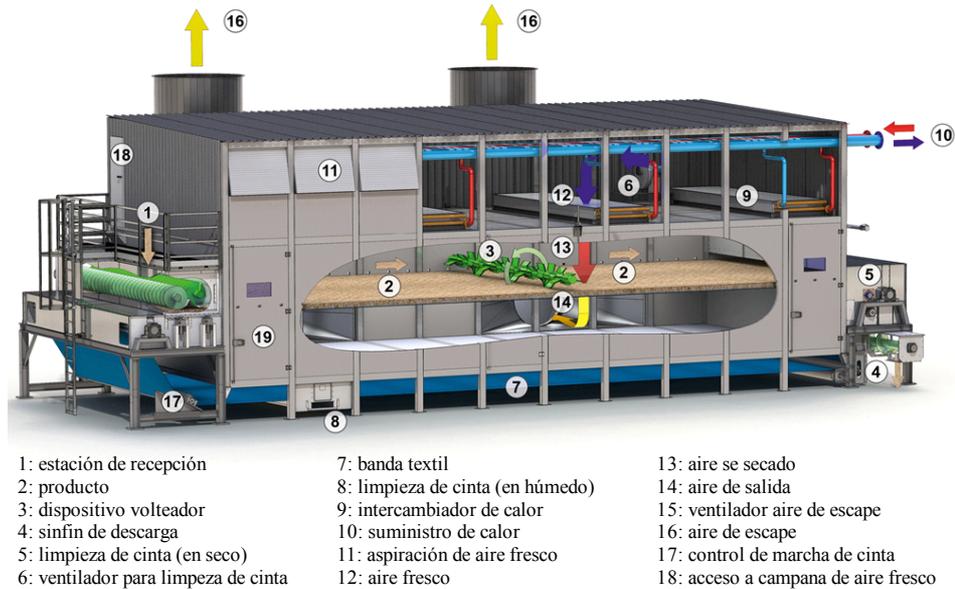


Figura 3.2 Secadero de banda.^[9]

El secado es producido por el flujo de aire caliente que se obtiene del quemado de un porcentaje de materia prima en una caldera a la cual se la hace referencia en este mismo capítulo.

Molino de martillos

El molino de martillos tiene la característica de no tener pérdidas de materia prima pues ésta no sale del interior de la instalación hasta no tener el tamaño deseado (la Figura 3.3 representa cómo es esta maquinaria).



Figura 3.3 Molino de martillos. ^[9]

Pelletizadora

El gasto másico de salida, es decir, la cantidad de pellets producidos será de un valor total de 4.000 t/h (con unas pérdidas que ascienden al 0,02%). En la Figura 3.4 se muestra la máquina de pelletizado.

Caldera

Se define una caldera según la norma UNE-9-001-87^[N-23] como aquel aparato presión en donde el calor procedente de cualquier fuente de energía se transforma en utilizable, en forma de calorías, a través de un medio de transporte en fase líquida o vapor. En la siguiente figura (Figura 3.5) se muestra la caldera de aceite térmico alimentada por biomasa.

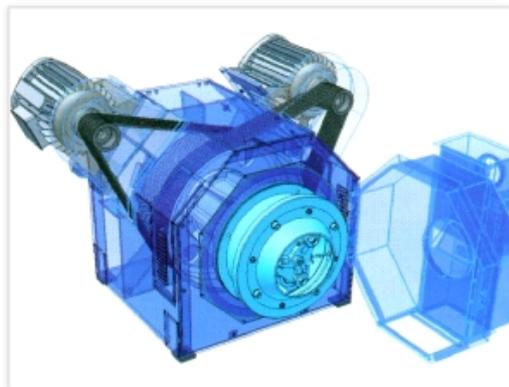


Figura 3.4 Máquina de pelletizado. ^[9]



Figura 3.5 Caldera de aceite térmico alimentada por biomasa. ^[9]

La caldera de aceite térmico es usada debido a las altas temperaturas de operación, al no emplear como fluido el agua. En la Figura 3.6 se muestra un pequeño esquema del interior de una caldera.

1. Plato de combustión
2. Anillo de post combustión
3. Domo de post combustión
4. Sensor de nivel de combustible
5. Sinfín cenizas
6. Contenedor de cenizas
7. Intercambiador de calor
8. Controlador tubular
9. Motor de limpieza
10. Ventilador
11. Sistema de extinción
12. Módulo de control
13. Encendido automático
14. Sinfín para carga
15. Maquinaria de control general
16. Caja de cambios
17. Tapa del contenedor
18. Limitador de temperatura

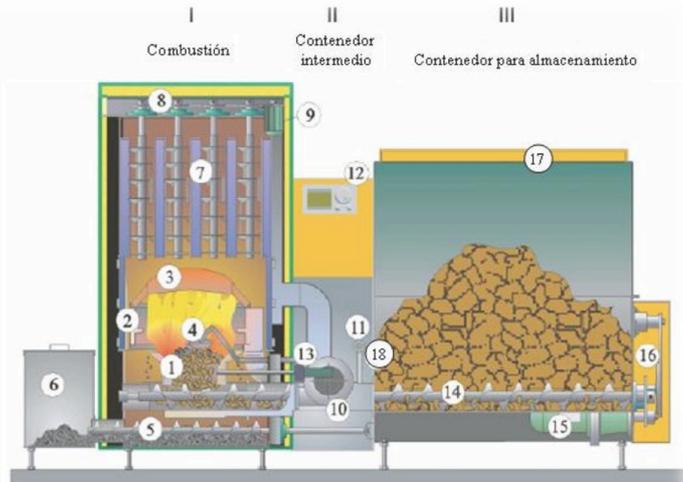


Figura 3.6 Interior de la caldera. [9]

ORC

Como se dijo al principio del capítulo, la planta es autosuficiente gracias a la implantación de un sistema ORC, cuyo principio de funcionamiento es similar a un ciclo Rankine, pero sustituyendo el vapor de agua por fluidos orgánicos de elevada presión de vapor. En la Figura 3.7 se presenta el ORC que se acopla a la caldera de biomasa.

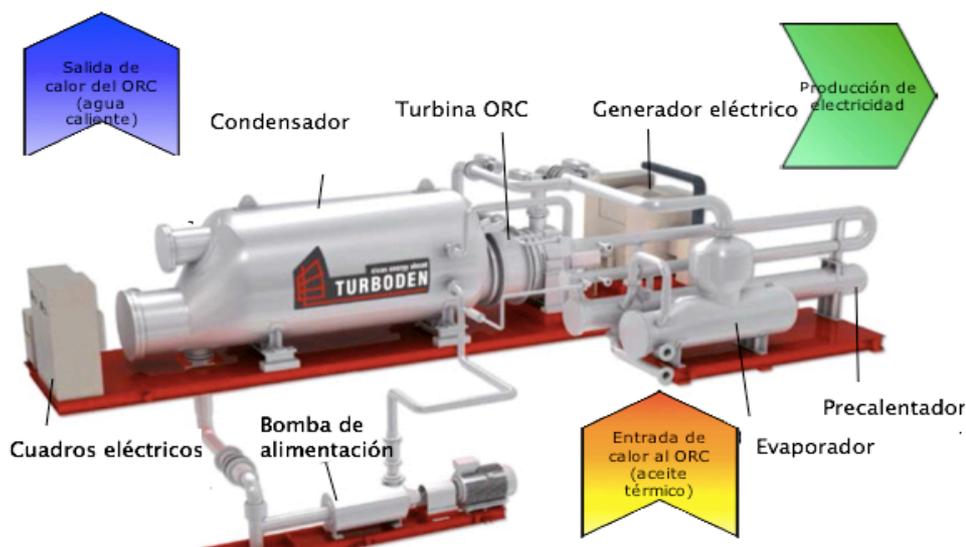


Figura 3.7 Sistema ORC.[9]

El emplear fluidos orgánicos nos permite obtener temperaturas de ebullición inferiores a los 100 °C, consiguiéndose con menor cantidad de energía su vaporización en el evaporador. El fluido orgánico en fase vapor se expande en la turbina y luego se condensa en el condensador. La condensación se puede realizar utilizando agua de refrigeración proveniente de las torres de refrigeración o a través de aire (aerocondensador). El fluido orgánico condensado se bombea nuevamente hacia el evaporador cerrando de esta forma el ciclo termodinámico.

Las fuentes de enfriamiento y calentamiento no están directamente en contacto con el fluido de trabajo. Para las aplicaciones de alta temperatura (por ejemplo, plantas de biomasa para producir calor y energía eléctrica), se suelen utilizar aceites térmicos de alta temperatura como fluido orgánico. La regeneración consiste en extraer parte del vapor que se expansiona en la turbina con el fin de mezclarlo con el agua saliente del condensador y ahorrar así parte de la energía empleada en calentarla. Se consigue por tanto una reducción del calor aportado al fluido en la caldera, a costa de una pequeña reducción del trabajo de expansión producido por la turbina.

En la Figura 3.8 se presenta el diagrama temperatura-entropía de un ciclo orgánico Rankine y un esquema básico del circuito.

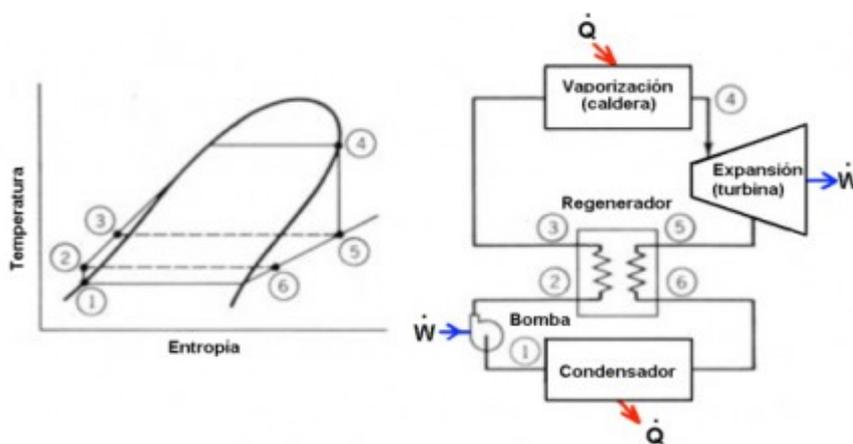


Figura 3.8 Diagrama T-s de un ORC y esquema básico del circuito. [9]

Describiendo el ciclo (de la Figura 3.8):

- En el evaporador el aceite térmico se utiliza para precalentar y evaporar el fluido orgánico de trabajo (3→4).
- El vapor orgánico se expande en la turbina (4→5) que está conectada al generador eléctrico.
- El vapor pasa a través del regenerador (5→6) y de esta forma se precalienta el fluido orgánico (2→3) antes de su entrada en el evaporador.
- El fluido orgánico en fase vapor condensa por medio del agua de refrigeración (6→1).
- El líquido orgánico es impulsado por medio de una bomba (1→2) hacia el regenerador y de aquí al evaporador, completando de este modo la secuencia de operaciones en el circuito cerrado.

Torres de enfriamiento

Se requiere hacer uso de las denominadas torres de enfriamiento, para disminuir la temperatura del flujo. Se impone una torre de enfriamiento de tipo mecánico pues en ellas se puede tener un mayor control del caudal de aire suministrado. Se muestra en el Anexo IV, las características de la elección tomada y de las otras posibles alternativas.

3.2 Cálculos

Para analizar y dimensionar la planta, fueron necesarios los cálculos que permitieran obtener el tiempo de retorno de la inversión. Para ello, se calculó primeramente, los costes en materia prima para producir el producto deseado y perseguido. Posteriormente, se calcularon los gastos de instalación inicial. Prosiguiendo, se obtuvieron los gastos fijos de personal y materia prima; para poder calcular finalmente el tiempo de retorno de la inversión.

3.2.1 Cálculo del flujo másico

Teniendo en cuenta las pérdidas que se producen en cada fase:

- 20% en la descortezadora.
- 1,5% en la combinación de astilladora y microastilladora.
- 50% humedad en BH a la entrada del secadero y 10% a la salida.
- 0% en el molino de martillos.
- 0,02% en el pelletizado.

El flujo másico que atraviesa cada fase se puede ver en la Figura 3.9.

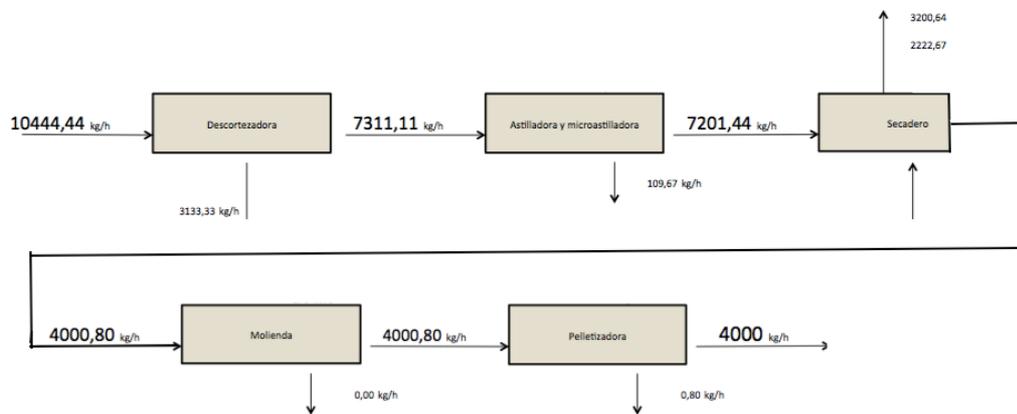


Figura 3.9 Análisis de flujos másicos. [9]

3.2.2 Características del biocombustible empleado

Obtención del PCI de la corteza de pino

Se requiere conocer su valor del PCI, dato que se obtiene del análisis elemental de la biomasa resultando un valor de $PCI_{biomasa} = 16.986 \text{ kJ/kg}$.

Obtención del C_p de la corteza de pino

Para obtener el valor de la C_p se recurre también al análisis elemental de la materia prima y con el valor C_p de cada elemento obtenemos el total. Para este caso $C_p(\text{medio}) = 1,0405 \text{ kJ/kgK}$.

Cantidad de humos generados en la combustión.

Para obtener la cantidad de humedad que se genera en la combustión de la corteza delegida. Empleamos la ecuación 3.1, que sigue a continuación:

$$m_{humos} = PdeC + inertes + aire\ aportado - oxígeno\ estequimétrico \quad (e.3.1)$$

donde:

m_{humos} :	Masa de humos. [kg/kg de biomasa]
$PdeC$:	Productos de la combustión. [kg/kg de biomasa]
$Inertes$:	Elementos que no se queman. [kg/kg de biomasa]

Así, la masa de humos es: $m_{humos} = 19,68560$ kg de humos/kg de biomasa

3.2.3 Necesidades térmicas de la planta.

3.2.3.1 Temperatura de los humos en la parrilla de la caldera.

Con los datos del PCI, los humos y el C_p medio de la corteza y definiendo el rendimiento térmico de la caldera (40%), el rendimiento de combustión de la corteza en la caldera (85%) y la temperatura de entrada de la corteza en la caldera (20 °C) se puede obtener la temperatura de los humos en la parrilla. Para estos datos particulares: $T_{parrilla} = 724,88$ °C.

3.2.3.2 Temperatura de los humos hacia el secadero.

Con el valor de la temperatura en la parrilla, definimos la que tienen en la salida del secadero, que en este caso es: $T_{salida\ humos\ del\ secadero} = 193,47$ °C.

3.2.3.3 Energía de salida de la caldera al secadero

Calculamos la energía que sale de la caldera hacia el secadero, aplicando un balance de energético en la caldera. Así tenemos que:

$$E_{real\ al\ secadero} = 3.931,67 \text{ kJ/kg.}$$

Esta energía real que se ha obtenido es mayor que la que se necesita para secar la astilla por lo que se asegura en todo momento que se va a producir el secado de la misma.

3.2.3.4 Energía de salida de la caldera al ORC

Es necesario calcular la energía que sale de la caldera y se dirige a producir energía eléctrica, es decir, que va al ciclo ORC. Esta es:

$$E_{\text{destinada a cogeneración}} = 10.506,08 \text{ kJ/kg}$$

3.2.4 Necesidades eléctricas de la planta

3.2.4.1 Potencia eléctrica máxima necesaria en la planta

Calculando la potencia que consume para componente de la instalación tenemos que la potencia máxima que necesita para desarrollar sus funciones es: $P_{\text{máxima}} = 1.705,1 \text{ kW}$

3.2.4.2 Potencia suministrada por el ORC

Teniendo el valor de la potencia necesaria es necesario conocer si es capaz el ciclo ORC de suministrárselo. Para este caso tenemos que el ciclo nos produce: $P_{\text{eléctrica saliente del ORC}} = 1.769,11 \text{ kW}$, que por tanto es mayor que la necesaria siendo viable este sistema.

3.2.5 Coeficiente de Simultaneidad

Se estudió si era posible tomar coeficientes de simultaneidad para que fuera inferior la potencia que debía producirse en el ciclo ORC. Esto se realiza tomando la producción mínima de todas las máquinas que participan en el proceso, entre las producciones de cada una de las fases. Así:

- Descortezadora:

$$\text{Coeficiente}_{\text{DESCORTEZADORA}} = \frac{3.552}{3.552} = 1$$

- Astilladora y microastilladora

$$\text{Coeficiente}_{\text{ASTILLADORA}} = \frac{3.552}{7.000} = 0,51$$

- Secadero

$$\text{Coeficiente}_{\text{SECADERO}} = \frac{3.552}{7.000} = 0,51$$

- Molino de martillos

$$\text{Coeficiente}_{\text{MOLINO DE MARTILLOS}} = \frac{3.552}{4.000} = 0,89$$

- Pelletizadora

$$\text{Coeficiente}_{\text{PELLETIZADORA}} = \frac{3.552}{4.000} = 0,89$$

Estos resultados permiten disminuir la potencia eléctrica saliente del ORC al valor de: $P_{\text{eléctrica saliente del ORC (nueva)}} = 1.554,06 \text{ kW eléctricos}$, donde la potencia destinada al ciclo ORC será: $P_{\text{destinada al ORC (nueva)}} = 6.216,24 \text{ kW térmicos}$. Variando las temperaturas del ciclo de la caldera al alcanzar esta menores temperaturas debido a la menos demanda por parte del ciclo ORC

3.2.5.1 Disipación del calor saliente del ORC.

Finalmente, la planta ha de disipar el calor producido por su propio generador de energía eléctrica. Esto se realiza con la implantación de una torre de enfriamiento, que sea capaz de disipar la potencia térmica que asciende al valor de 4537 kW, con un caudal de refrigeración: $\text{Caudal} = 260,55 \text{ m}^3/\text{h}$. Así, con este tratamiento de la temperatura se ha de garantizar la no condensación en el interior del secadero, que queda corroborada con la recalculación de la temperatura de los humos del secadero, que no es otra que: $T_{\text{salida humos del secadero (final)}} = 177,28 \text{ }^\circ\text{C}$.

3.3 Análisis económico

3.3.1 Listado precios descompuestos

Parte	Coste monetario (€)
Línea de descortezado	78.347,11
Línea de astillado y microastillado	406.453,72
Línea de secado y almacenamiento en seco	480.466,12
Línea de molienda	126.401,65
Línea de pelletizado	445.567,77
Almacenamiento, carga y despacho	176.400,83
Generación de energía térmica y eléctrica	3.189.603,31
Instalación eléctrica y control de maquinaria	265.619,84
Montaje integral de toda la maquinaria	45.454,55

3.3.2 Presupuesto ejecución material

TOTAL PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL	5.214.314,90€
2% Beneficio industrial	104.286,30€
TOTAL PARCIAL	5.318.601,20€
21% IVA	1.116.906,25€

3.3.3 Presupuesto ejecución por contrata

TOTAL PRESUPUESTO EJECUCIÓN POR CONTRATA **6.435.507,45€**

3.4 Estudio del retorno de la inversión.

3.4.1 Gastos fijos

Los gastos fijos que engloban la inversión inicial, los salarios, el mantenimiento (10% de la inversión inicial) y la compra de la materia prima son reflejados en la Tabla 3.1:

Tabla 3.1 Gastos fijos anuales. ^[9]

Gastos	Importe (€)
Inversión inicial	6.435.507,45
Salario trabajadores grupo 5 (anual)	4 x 17.380,68 = 69.522,72
Salario trabajadores grupo 6 (anual)	5 x 16.723,31 = 83.616,55
Mantenimiento (anual)	64.355,07
Precio compra de la madera (€/kg)	0,029

3.4.2 Ingresos

En este apartado sólo se incluirán los ingresos percibidos por la venta de la producción efectuada en la planta. (precio del pellet: 0,185 €/kg).

3.4.3 Cálculo del retorno de la inversión

Se calcula el tiempo de amortización de la inversión en función del precio de la materia prima (Variable). La Tabla 3.2 recoge esas oscilaciones:

Tabla 3.2 Tiempo de recuperación frente al precio de compra. ^[9]

Precio de la madera (€/kg)	Tiempo en recuperar (años)
0,029	1,94
0,038	2,57
0,042	2,95
0,048	3,80
0,054	5,32
0,058	7,46
0,067	60,77
0,077	No se amortiza

CAPÍTULO 4: ALTERNATIVAS CONSIDERADAS



Se plantean múltiples alternativas para estudiar la posible viabilidad de la instalación. Estudiaremos la empleabilidad de la paja y el sarmiento como principales sustituyentes a la corteza de pino, los cuales tienen unas propiedades similares, carentes de humedad; luego se presentará la principal distinción con respecto a la instalación de la que se parte y es que no existe secadero. Ambas instalaciones recibirán la energía procedente del suministro eléctrico. Por otro lado, también plantearemos la autosuficiencia con la paja como materia prima. Viendo las alternativas planteadas, se señala que la alternativa que emplee sarmiento y sea autosuficiente no se estudiará, pues el coste de la materia prima como veremos más adelante es muy elevada, y sumando el mayor coste en la instalación, la hacen inviable. Los cálculos han sido realizados con Excel y son mostrados al final de cada apartado de las tres alternativas estudiadas.

4.1 Alternativa 1

4.1.1 Descripción del proceso

Empleamos como materia prima la paja de la cebada. La principal distinción de la instalación radica en los componentes que forman el ciclo, el cual sigue el patrón marcado en la Figura 4.1:



Figura 4.1 Instalación característica de “Alternativa 1” (materia prima: paja de cebada).

Donde vemos que este ciclo dista del patrón que tomamos por referencia, en que no requiere la descortezadora y la astilladora (en comparación con la

planta autosuficiente del proceso de partida-Capítulo 3-) pues los paquetes que forma la paja (Figura 4.2) solo requieren ser desempaquetados y molidos.



Figura 4.2 Paca prismática de cebada. [W-4]

Recepción de la materia prima

Antes de producirse la separación de las balas de paja, que nos indica la Figura 1, hemos de recibir la materia prima y calibrar su estado, permitiendo la recepción o en su debido defecto, denegar su entrada. Para ello, se hace uso de un puente grúa (Figura 4.3) el cual realiza el tado de la mercancía, midiendo su humedad y peso.



Figura 4.3 Puente grúa usado en “Alternativa 1” (materia prima: paja de cebada).[W-5]

Separador de balas de paja

El separador de balas o destrozador está equipado con un alimentador de balas. Está diseñado para la molienda y separación de la paja cuando ha sido presionada para formar los paquetes. Consta de dos partes; la primera de ellas, elimina los cuerdas que mantienen presionada la paja; la segunda parte, se conforma por molinos, los cuales reducen el tamaño de la materia prima que ingresa en el proceso. El molino, desmenuza por medio de golpes



Figura 4.4 Separador de balas de paja.^[W-6]

la paja con cierta velocidad (regulable) para variar el tamaño final. Los martillos son fijos y pivotantes y se encuentran encajados en una carcasa, la cual tiene en la parte baja un tamiz fijo o intercambiable, quien determinará el tamaño de las partículas salientes.^[W-6] La Figura 4.4 ilustra la máquina que realiza el proceso señalado.

Pelletizadora

La función de la pelletizadora es compactar la materia prima; obteniendo la forma final deseada, que en este caso ha de ser cilíndrica de pequeño tamaño y altura (Figura 4.5). En estas máquinas se pueden diferenciar 3 etapas: El alimentador, el acondicionador y la prensa.

El alimentador es, un tornillo sin fin que se encarga de transportar el material desde la entrada de la pelletizadora hasta el acondicionador a velocidad variable. El acondicionador es, un transportador de paletas, dentro del cual se inyecta vapor para



Figura 4.5 Pelletizadora.^[W-7]

augmentar la humedad del polvo y darle luego la textura necesaria para que se forme el pellet. Por último, la prensa está compuesta principalmente por un dado con agujeros, por donde, saldrán los pellets y dos rodillos fijos en su interior para prensar el material en dichos agujeros. La potencia queda requerida par funcionar correctamente.

Almacén

Es necesario almacenar las productos obtenidos y para ello se requiere una instalación adecuada con unas temperaturas tolerables que permitan la plena conservación del pellets, es decir, temperaturas inferiores a los 30°C, con ausencia de humedad y excasa luz. Para facilitar el transporte y el orden del almacén, los pellets se almacenarán en sacas de 1000 kg.

4.1.2 Marco económico y social de la materia prima empleada

Sin embargo, no debemos olvidar que la paja es un producto estacional, y la variabilidad de su disponibilidad cada temporada de recogida; teniendo años con abundante material prima, mientras que otros puede ser escasa y insuficiente. Consecuentemente, nos da variaciones en el precio a la hora de estimar los cálculos de la amortizaciones de la instalación (véase Anexo V). Por otro lado, tampoco debemos olvidar su extrema relación con el sector alimenticio, ya sea para alimentar al ganado o para acondicionar el lugar donde habitan las reses. Usabilidad que no debe ser sustituida por la producción energética.

También conviene recordar, que como ya se indrodujo en la introducción, estas forrajes ya tienen historia en cuanto a forma de producción de calor, luego su uso ya viene con anterioridad.

4.1.3 Características de la biomasa tratada.

La materia prima empleada resulta ser forraje del cereal, la cual, por motivos de calidad a la hora de formar el producto final (el pellet) se toma de la cebada. (Ver Anexo V)

Las características en las que nos basamos son las presentadas en el Capítulo 2, a mayores, la Tabla 4.1, recoge el método en el que nos basamos para su análisis.

Tabla 4.1 Análisis de la caracterización de la paja del cereal. [W-8]

Parámetro	Método/ Norma	Valor		Unids.	
		B/Seca	B/húmeda		
Humedad	UNE-EN 14774-1 [N-3]	--	8,40	% (masa)	
M. Volátiles	UNE-EN 15148 [N-4]	73,81	67,61	% (masa)	
Carbono fijo	Cálculo por diferencia.	20,58	18,85	% (masa)	
Cenizas	UNE EN-14775 [N-5]	5,61	5,14	% (masa)	
ANÁLISIS ELEMENTAL	Carb.	UNE-EN 15104 [N-6]	46,39	42,49	% (masa)
	Hidr.		5,74	6,20	% (masa)
	Nitr.		1,32	1,21	% (masa)
	Azufre	UNE-EN 15289 [N-26]	0,15	0,14	% (masa)
	Cloro	UNE-EN 15289 [N-26]	0,65	0,60	% (masa)
	Oxíg.	Cálculo por diferencia	40,14	44,22	% (masa)
ANÁLISIS ENERGÉTICO	PCS	UNE-EN 14918 [N-7]	4,304	3,943	Kcal/kg
	PCI	Cálculo interno	4,002	3,617	Kcal/kg

4.1.4 Cálculos.

4.1.4.1 Pérdidas en el proceso productivo

Para calcular las pérdidas y así el flujo másico de materia prima que tenemos que introducir al separador de balas de paja, partiremos de la producción final necesaria, que en este caso asciende a 4000 kg/h. (Figura 4.6).

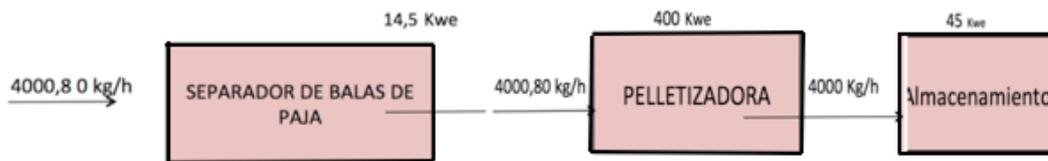


Figura 4.6 Flujos másicos que atraviesas la planta de pellets de “*Alternativa 1*”.

Pelletizadora

Lo primero que se ve al salir del almacenamiento es la máquina de pelletizar, a su salida tendremos la producción final (4.000 kg/h) y a su entrada tendremos un 0,02% más que ésta cantidad de salida, entonces la materia prima que llega a la máquina de pelletizar será de 4.000,80 kg/h.

Molino de martillos

La siguiente etapa en el proceso inverso que se efectúa es la molienda de la materia prima (paja). Como esta fase se interpreta con pérdidas despreciables, la entrada del flujo másico es de 4.000,80 kg/h.

Desempaquetadora

La Desempaquetadora, o también conocida como separador de balas de paja, surja para producir la descompactación de las pacas de paja que se toman como materia prima del proceso, estos separadores no son otra cosa que unos tornillos desmenuzadores, para continuar el proceso ya despresado. En este proceso, no se considera que haya pérdidas de materia prima, pues solo

procede a separar la paja que se encuentra presada, así, por tanto, el flujo másico permanece invariable al calculado en la etapa precedente en el proceso inverso.

4.1.4.2 Necesidades eléctricas de la planta

Potencia eléctrica máxima necesaria en la planta

Lo primero que requerimos conocer son las necesidades eléctricas de la planta, para ello realizaremos la suma de potencia que requiere cada proceso. Esto queda reflejado en la tabla 4.2.

Tabla 4.2 Potencias máximas de la maquinaria (kW).

Potencias (kW)	
Separador de balas de paja	14,5
Pelletizadora	400
Almacenamiento	45

Sumando todas las potencias anteriores obtenemos las necesidades energética de la planta, que en este caso serán suministradas por la red eléctrica:

$$P_{m\acute{a}xima} = 459,5 \text{ kW}$$

4.1.4.3 Obtención de un coeficiente de simultaneidad

El coeficiente de simultaneidad que se halla en el proceso de partida, no puede plantearse en esta alternativa, pues la energía en este caso proviene del suministro eléctrico, luego necesitamos siempre la máxima potencia exigida por la suma de máquinas.

4.1.5 Análisis económico “Alternativa 1”

A continuación, se presentará el presupuesto necesario para el montaje de la planta correspondiente a la “*Alternativa uno*” en lo que a maquinaria se refiere; no se tendrá en cuenta el valor de la nave donde deberá ir ubicada dicha planta de producción, pues queda lejos de los campos en los que se esta proyectando este estudio.

4.1.5.1 Listado precios descompuestos

Línea de recepción y transporte de paja

Nº ORDEN	DESCRIPCIÓN	UDS.	IMPORTE (€)	
			SUBTOTAL	TOTAL
1.01	Puente grúa con control de humedad de la materia prima.	3	11559,33	34678
1.02	Analizador de las dimensiones de la paja (peso, características físico-químicas...).	1		28965
TOTAL				63643

Línea de desempaqueado y molienda

Nº ORDEN	DESCRIPCIÓN	UDS	IMPORTE (€)	
			SUBTOTAL	TOTAL
2.01	Cinta transportadora.	1	5.909,09	5.909,09
2.02	Discos cortadores de cuerdas.	4	2.543,00	10172
2.03	Extractor de cuerdas	4	987,00	3948
2.04	Molino de martillos. Superficie de criba 0,90m ² .	1	29.461,98	29.461,98
2.05	Entrada molino de martillos, con plancha magnética, separador de pesados, canal de succión, etc.	1	5300,58	5.300,58
2.06	Paro de llamas despresurización con avisador de presión.	1	1.438,02	1.438,02
2.07	Ventilador 4,00kW.	1	2.603,31	2.603,31
2.08	Depósito de extracción con forma octogonal y mezclador de doble aleta, (inoxidable)	1	13.500	13500
2.10	Sinfín de tubo RS380 de 6,50m.	1	6.755,37	6.755,37
2.11	Asistente	1	11.157,02	11.157,02
TOTAL				88.245.37

Línea de pelletizado

Nº ORDEN	DESCRIPCIÓN	UDS	IMPORTE (€)	
			SUBTOTAL	TOTAL
3.01	Sinfín tipo cubeta TS250 de 2,50m para variador.	2	3.748,76	7.497,52
3.02	Condicionador de acero de 7,50kW, conexión para agregar vapor y agua con trampilla lateral de inspección.	2	13.107,44	26.214,88
3.03	Dosificación de agua	2	768,60	1.537,20
3.04	Prensa pelletizadora, ejecución con embrague de sobrecarga para eje principal, puerta de prensa de acero inoxidable A seleccionar, matriz de anillo rotativa con propulsión directa por correas hasta 220,00kW, sistema con 3 rodillos, superficie de trabajo de matriz de 2.800,00cm ² con diámetro interior de 700,00mm y ancho de trabajo de 100,00mm. Preparada con conexión central para sistema eléctrico y engrase de rodillos y soportes de rotor.	2	75.929,75	151.859,50
3.05	Armazón elevadizo.	2	3.677,69	7.355,38
3.06	Rodillos (1 juego = 3 piezas).	2	4.115,70	8.231,40
3.07	Motor de 90,00kW.	4	9.070,25	36.281,00
3.08	Control de temperatura para eje principal mediante sensores térmicos	2	400,83	801,66
3.09	Engrase eléctrico.	2	3.615,70	7.231,40
3.10	Alimentación forzada con motor.	2	7.107,44	14.214,88
3.11	Matriz 6x85	2	2.231,40	4.462,80
3.12	Criba vaivén doble piso para pellets tipo ASS300D para cribar finos así como pellets después del refrigerador.	1	12.892,56	12.892,56
3.13	Paso de prensa	2	702,42	1.404,96
3.14	Sinfín tipo cubeta de 7,50m de acero inoxidable.	1	9.567,77	9.567,77
3.15	Trampilla motórica, acero inoxidable.	1	3.109,92	3.109,92
3.16	Refrigerador de pellets 24x24 para capacidad de 6-8t/h con sobre estructura de acero inoxidable 1.4301. Termostato para medir aire de salida, cuerpo refrigerador de acero inoxidable 1.4301, puerta de mantenimiento, con mirilla y dos avisadores de nivel.	1	24.628,10	24.628,10

Nº ORDEN	DESCRIPCIÓN	UDS	IMPORTE (€)	
			SUBTOTAL	TOTAL
3.17	Pedestal sobre hormigón	2	1.652,0	3.350
3.18	Sinfín de tubo RS230, retorno polvo de 4,00m.	1	3.405,79	3.405,79
3.19	Dosificación de almidón sinfín (Ø100,00mm, largo 3,00m), sin motor y con tolva de entrada con tolva reducida.	1	1.942,15	1.942,15
3.20	Motor de 1,10kW.	1	785,12	785,12
3.21	Control de revoluciones.	1	190,08	190,08
3.22	Armazón	1	2.603,31	2603,31
3.23	Filtro de impulso de 16.000,00m ³ /h de gas tipo polvo de madera. Superficie de filtro 140,00m ² , consumo de aire comprimido 1,00Nm ³ /h. Presión en filtro 6,00bares	1	29.095,04	29.095,04
3.24	Silenciador y aislamiento.	1	12.142,98	12.142,98
3.25	Célula de rueda con motor de 1,10kW.	1	2.245,45	2.245,45
3.26	Control de revoluciones.	1	190,08	190,08
3.27	Ventilador con motor de 30,00kW, 16.000,00m ³ /h.	1	6.009,92	6.009,92
3.28	Tuberías, refrigerador-filtro, filtro-ventilador y ventilador-silenciador-cabezal de soplado.	1	6.611,57	6.611,57
3.29	Central avisadora de chispas.	1	4.540,50	4.540,50
3.30	Avisador de chispas para molino de martillos con caja de bornes y extinción automática.	2	1.859,50	3.719,00
3.31	Avisador de chispas para prensa, protegidos contra luz con adaptador y caja de bornes.	4	1160,74	4.642,96
3.32	Avisador de chispas para conducto de filtro con caja de bornes y extinción automática.	2	731,82	1.463,64
3.33	Avisador de chispas después de secador con caja de bornes y extinción automática.	2	1.057,85	2.115,70
3.34	Equipo para aumentar presión con depósito de presión de 300,00l, bomba, interruptor de presión de trabajo, control de fluido y depósito de reserva.	1	6.614,88	6.614,88
3.35	Asistencia en montaje y puesta en marcha.	1	24.669,42	24.669,42
3.36	Transportes.	1	11.983,47	11.983,47
TOTAL				445.567,77

Almacenamiento, carga y despacho

Nº ORDEN	DESCRIPCIÓN	UDS.	IMPORTE (€)	
			SUBTOTAL	TOTAL
4.01	Elevador de cangilones después de pelletizado de 17,80m con cangilones de acero.	1	12.223,14	12.223,14
4.02	Transportador de cangilones a silo de 7,70m.	1	4.922,31	4.922,31
4.03	Elevador de cangilones al silo de 19,70m, cangilones de material artificial.	1	19.545,45	19.545,45
4.04	Silo redondo metálico de 320,00m³.	1	31.396,69	31.396,69
4.05	Montaje de silo.	1	14.759,50	14.759,50
4.06	Avisador de llenado por radar.	1	2.852,96	2.852,96
4.07	Esclusa de salida motorizada.	1	1.198,35	1.198,35
4.08	Transportador de cangilones de 6,00m.	1	6.487,60	6.487,60
4.09	Silo de carga	1	47.727,27	47.727,27
4.10	Criba para polvo.	1	8.181,82	8.181,82
4.11	Esclusa de salida motorizada.	1	1.198,35	1.198,35
4.12	Fuelle de descarga con motor de 0,55kW e interruptor final de huesillo.	1	6.198,35	6.198,35
4.13	Sinfin de tubo de 10,00m.	1	5.867,77	5.867,77
4.14	Asistencia en montaje y puesta en marcha.		8.429,75	8.429,75
4.15	Transportes.		5.371,90	5.371,90
TOTAL				176.400,83

Instalación eléctrica y control de maquinaria

Nº ORDEN	DESCRIPCIÓN	UD S	IMPORTE (€)	
			SUBTOTAL	TOTAL
5.01	Instalación eléctrica	1	29.669,42	29.669,42
5.02	Cuadros eléctricos, programación y puesta en marcha triturado.	1	30.991,74	30.991,74
5.03	Instalación eléctrica pelletizado, no incluidos medios de elevación.	1	81.404,96	81.404,96
5.04	Cuadros eléctricos, programación y puesta en marcha pelletizado.	1	104.958,68	104.958,68
5.05	Instalación eléctrica secado, no incluidos medios de elevación.	1	18.595,04	18.595,04
TOTAL				265.619,84

Montaje integral de toda la maquinaria

Nº ORDEN	DESCRIPCIÓN	UDS	IMPORTE (€)	
			SUBTOTAL	TOTAL
6.1	Coordinador supervisor jefe de los diferentes equipos de montaje de la diferente maquinaria. Una persona en obra durante la duración del montaje (máx. 23 semanas), a razón de 3-4 días por semana. Gastos de dietas y desplazamientos incluidos.	1	45.454,55	45.454,55
TOTAL				45.454,55

4.1.5.2 Presupuesto general

Línea de recepción y transporte de la paja

TOTAL PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL DE
LA LÍNEA DE RECEPCIÓN Y TRANSPORTE **63.643,00€**

Asciende el presupuesto de ejecución material a la expresada cantidad de
Sesenta y tres mil doscientos cuarenta y cinco euros con treinta y siete céntimos

Línea de desempaquetado y molienda

TOTAL PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL DE
INSTALACIÓN DE LA LÍNEA DE DESEMPAQUETADO **88.245,37€**

Asciende el presupuesto de ejecución material a la expresada cantidad de
Ochenta y ocho mil doscientos cuarenta y cinco euros con treinta y siete céntimos.

Línea de pelletizado

TOTAL PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL DE

INSTALACIÓN DE LA LÍNEA DE PELLETIZADO **445.567,77€**

Asciende el presupuesto de ejecución material a la expresada cantidad de **cuatrocientos cuarenta y cinco mil quinientos sesenta y siete euros con setenta y siete céntimos.**

Línea de montaje de toda la maquinaria

TOTAL PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL
DEL MONTAJE DE TODA LA MAQUINARIA **45.454,55€**

Asciende el presupuesto de ejecución material a la expresada cantidad de **cuarenta y cinco mil cuatrocientos cincuenta y cuatro euros con cincuenta y cinco céntimos.**

Instalación eléctrica y control de la maquinaria

TOTAL PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL DE
INSTALACIÓN ELÉCTRICA Y CONTROL **265.595,04€**

Asciende el presupuesto de ejecución material a la expresada cantidad de **Doscientos sesenta y cinco mil quinientos noventa y cinco euros con cuatro céntimos.**

Almacenamiento, carga y despacho

TOTAL PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL DE
INSTALACIÓN DE ALMACENAMIENTO, CARGA Y DESPACHO **176.400,83€**

Asciende el presupuesto de ejecución material a la expresada cantidad de **ciento setenta y seis mil cuatrocientos euros con ochenta y tres céntimos.**

4.1.5.3 Total presupuesto ejecución material

TOTAL PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL **1.084.806,56€**

Asciende el presupuesto de ejecución material a la expresada cantidad de
**UN MILLÓN OCHENTA Y CUATRO MIL OCHOCIENTOS SEIS EUROS
CON CINCUENTA Y SEIS CÉNTIMOS.**

2% Beneficio industrial	21.696,1312€
TOTAL PARCIAL	1.106.502,69€
21% IVA	232.365,565€

4.1.5.4 Total presupuesto de ejecución por contrata

TOTAL PRESUPUESTO EJECUCIÓN POR CONTRATA **1.338.868,26€**

Asciende el presupuesto de ejecución por contrata a la expresada cantidad de
**UN MILLÓN TRESCIENTOS TREINTA Y OCHO MIL OCHOCIENTOS
SESENTA Y OCHO EUROS CON VEINTISEIS CÉNTIMOS.**

4.1.6 Estudio del retorno de la inversión “Alternativa 1”

A continuación, se realizará el estudio necesario para hallar el tiempo de retorno de la inversión realizada. En él, se tendrá en cuenta el precio de compra de la paja (el cuál se variará para presentar las diferentes opciones), el presupuesto de ejecución de la planta (sin tener en cuenta la nave donde irá ubicada), las nóminas de los trabajadores, el número de trabajadores necesarios en una planta de este tipo y el precio de venta del pellet y un importe anual dedicado al mantenimiento de la maquinaria.

4.1.6.1 Gastos fijos

Se hace la estimación de que la planta produce durante las 24 horas del día (3 turnos de 8 horas) los 7 días de la semana, durante todo el año, a excepción de un único mes, destinado a labores de mantenimiento. Así, se requieren 9 personas, enmarcadas en el convenio de la madera y derivados, de la provincia de Valladolid, de estas cuatro pertenecerán al grupo 5 y las cinco restantes al grupo 6; realmente tratamos de buscar situaciones similares a las del proyecto de partida para poder comparar con más rigor. Los datos salariales se han obtenido de las tablas publicadas en el BOP (27 de Septiembre de 2013.^[W-9]

Se ha estimado que, el importe destinado a mantenimiento, al año, será el 1% de la inversión inicial realizada, ya que, al principio el mantenimiento sería prácticamente nulo pero irá aumentando con el paso de los años.

La inversión inicial es la que se obtuvo en la página 80 del tomo; por otro lado, la cantidad de madera que se ha de comprar para poder ofrecer la producción deseada se obtuvo en este mismo capítulo y es de 4000,8 kg/h. Todos estos gastos y sus respectivos importes se mostraran en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2 Gastos fijos anuales.

Gastos	Importe (€)
Inversión inicial	1.338.868,26
Salario trabajadores grupo 5 (<i>anual</i>)	4 x 17.380,68 = 69.522,72
Salario trabajadores grupo 6 (<i>anual</i>)	5 x 16.723,31 = 83.616,55
Mantenimiento (<i>anual</i>)	13.388,88
Precio compra de la paja (€/kg)	Variable (ver Anexo V)
Coste eléctrico (€)	517213,2

4.1.6.2 Ingresos

En este apartado sólo se incluirán los ingresos percibidos por la venta de la producción efectuada en la planta. De este modo, el precio del pellet (siendo la materia prima la paja), es de 0,12 €/kg.

4.1.6.3 Tiempo necesario de amortización

Debido a la variabilidad, se calculan las posibles amortizaciones en función del precio variable de la materia prima. Así, para obtener el retorno de la inversión aplicaremos la Ecuación 4.1, donde se igualan los gastos a los ingresos, para los años estimados (en amortizar).

$$\begin{aligned} & \text{inversión inicial} + N * \text{mantenimiento} + N * \text{salarios} + N * \text{precio madera} * \\ & * \text{cantidad madera} = N * \text{precio venta pellet} * \text{cantidad pellets} \quad (\text{e.4.1}) \end{aligned}$$

donde:

N : Número de años. [años]

Los datos usados son los correspondientes a la Tabla II.1 del Anexo V, para los cuales tenemos una variación en el tiempo estimado. Estos datos de la variación experimentada con relación al precio, se expresan en la Tabla 4.3, donde en la columna izquierda se muestran los precios y en la derecha el tiempo necesario para recuperar la inversión (tiempo de amortización)

Tabla 4.3 Precios madera y tiempo de recuperación de la inversión

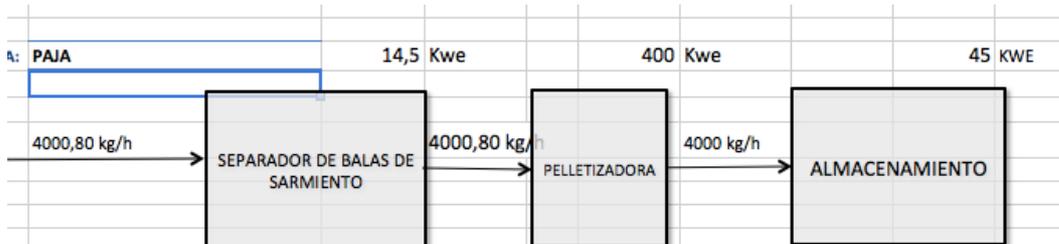
Precio de la Paja (€/TON)	Tiempo de recuperación (años)
15,008	0,495044
25,008	0,561883
30,008	0,60255
38,008	0,68147
50,008	0,84810
60,008	1,06513
70,008	1,43143
80,008	2,18174
90,008	4,58509
100,008	NO VIABLE

Se puede observar que aún para precios muy elevados, la planta sigue resultando viable, debido a carecer del ciclo ORC.

4.1.7 Excel de “Alternativa 1”

Como se ha dicho con anterioridad, los cálculos han sido realizados en una hoja de Excel, y es mostrada a continuación.

Cálculos del flujo másico de la instalación:



Cálculo de los gastos anuales de la instalación:

Gastos fijos	COSTE
Numero de trabajadores grupo 5	4
Numero de trabajadores grupo 6	5
Salario grupo 5 (4 trabajadores)	17380,68
Salario grupo 6 (5 trabajadores)	16723,31
TOTAL SALARIO	153139,27
Inversion inicial	1.338.868,26
Mantenimiento	13388,6826
Precio de compra de BIOMASA (€/kg)	0,038
Cantidad de sarm HORARIA (kg/h)	4000,80
Cantidad de sarm_ ANUAL (kg/año)	32166432,00
Coste materia prima	1222324,416
Coste energético (anual)	517213,2
Precio luz	0,14 €
COSTE ENERGÉTICO + MANTENIMIENTO	530601,8826 €/kW

Cálculo de los beneficios anuales:

Beneficios	
Producción (kg/h)	4000
Producción (kg/año)	32160000
VENTA TOTAL (€)	3859200
precio medio (Invariable)	0,120

Cálculo de la Rentabilidad de la instalación:

G	H	I
Años en recuperar la inversión		
TOTAL	0,68147611	

En este caso, como la paja tiene un precio variable, se calcula en función del precio de la biomasa. Concretamente, se muestra el tiempo de amortización para el precio que presenta la paja en el momento que se realizó el estudio.

Cálculo de los costes energéticos:

COMBUSTIB	POD. CALOR	PCI (kWh..)	Pre	Unidades
	KJ/kg	kW*h	kW	
CORT. PINO	16.896,00	4,6933333333	0,039417614	€/kw*h
PAJA	14.513,97	4,031657778	0,029764431	€/kw*h
SARMIENTO	15.664,00	4,3511111111	0,042517875	€/kw*h
Gasoleo	9,98	kWh/l	0,090180361	€/kw*h
Gas natural	8,18	kWh/m3	0,05727	€/kw*h
Butano	12,78	kWh/kg	0,109546166	€/kw*h

4.2 Alternativa 2

4.2.1 Descripción del proceso

Esta alternativa emplea como materia prima los residuos agrícolas, de la poda de la vid, es decir, el conocido sarmiento. Este caso sigue un proceso similar al desarrollado en la alternativa 1, pues como veremos en este capítulo, la humedad de la materia prima es mínima. El proceso a seguir, queda reflejado en la Figura 4.7:



Figura 4.7 Instalación característica de “Alternativa 2”.

Vemos como, la implantación de este proceso es idéntica a la “Alternativa 1”, donde resulta que lo que se pretende estudiar en ambos casos es la diferencia entre el precio de sus materias primas correspondientes. En este caso, la materia prima también viene formando paquetes como vemos en la Figura 4.8, pero de un menor tamaño.



Figura 4.8 Sarmiento formando paquetes prensados ^[W-10]

Separador de balas de paja

El separador de balas o destrozador está equipado con un alimentador de balas. Está diseñado para la molienda y separación del sarmiento mediante, una criba, acta para los paquetes que el sarmiento forma.

Consta, al igual que se describió en la “Alternativa 1”, de las mismas fases, las cuales tienen similares funciones a las descritas con anterioridad. La máquina será igual que la que se ilustro en la Figura 4.4.^[W-6]

Pelletizadora

La función de la pelletizadora es, compactar la materia prima, obteniendo la forma final deseada, que en este caso ha de ser cilíndrica de pequeño tamaño y altura. Esta máquina consta de las fases que hemos descrito en el apartado anterior. (Alimentador, acondicionador y prensa). La Figura 4.4 lo representa.

Almacén

La conservación del producto final, ha de ser en un lugar fresco, sin luminosidad, y que respete las temperaturas aptas para el almacenaje del pellet.

4.2.2 Marco económico y social de la prima empleada

El sarmiento es el residuo de la poda de la vid, operación realizada durante los meses estivales de invierno (Enero o Febrero). Según los estudios realizados por el Anuario de Estadística Agroalimentaria del M.A.P.A. de 2004 recoge una superficie nacional de viñedos de 1.172.797 ha, de las cuales 66.909 ha. Pertenecen a Castilla y León (comunidad donde se realiza este estudio), luego la producción española de esta biomasa asciende a 500.000 toneladas/año.^[W-11] Esta biomasa cubriría el 0,12% de la demanda energética española, es decir, el 3,46% de la correspondiente a la biomasa. Por otro

lado, el precio de esta material prima, es fijo, y se estima en este trabajo que es de 150 €/Ton.

4.2.3 Características de la biomasa tratada.

En esta segunda alternativa, como ya se ha presentado, empleamos sarmiento como materia prima. Al igual que se hizo en la “*Alternativa uno*”, presentamos la Tabla 4.4 donde se recogen las características tras el estudio de los parámetros

Tabla 4.4 Análisis de la caracterización del sarmiento. ^[W-8]

Parámetro	Método/ Norma	Valor		Unids.	
		B/Seca	B/húmeda		
Humedad	UNE-EN 14774-1:2009	--	8,48	% (masa)	
Materias Volátiles	UNE-EN 15148:2009	75,46	69,06	% (masa)	
Carbono fijo	Cálculo por diferencia	21,62	19,79	% (masa)	
Cenizas	UNE EN-14775:2009	2,91	2,67	% (masa)	
ANÁLISIS ELEMENTA	Carb.	UNE-EN 15104:2011	48,62	44,50	% (masa)
	Hidr.		5,83	6,28	% (masa)
	Nitr.		0,81	0,74	% (masa)
	Azufre	UNE-EN 15289:2011	0,07	0,06	% (masa)
	Cloro	UNE-EN 15289:2011	0,02	0,02	% (masa)
	Oxíg.	Cálculo por diferencia	41,73	45,73	% (masa)
ANÁLISIS ENERGÉ	PCS	UNE-EN 14918:2009	4,537	4,153	Kcal/kg
	PCI	Cálculo interno	4,230	3,822	Kcal/kg

Vemos en este caso que, la humedad no es superior al 10%, y que por tanto, como habíamos introducido con anterioridad, no se requiere de un secadero, luego nuestra instalación tiene unos costes inferiores.

4.2.4 Cálculos

4.2.4.1 Pérdidas en el proceso productivo

Para calcular las pérdidas y así el flujo másico de materia prima que tenemos que introducir al separador de balas de sarmiento, partiremos de la producción final necesaria, que en este caso asciende a 4000 kg/h.

Pelletizadora

Al igual que en la alternativa anterior, las pérdidas ascienden al 0,02%, luego la materia prima que ha de entrar a la pelletizadora es de 4.000,80 kg/h.

Molino de martillos y desempaquetadora

La siguiente etapa en el proceso inverso que se efectúa es la molienda de la materia prima (sarmiento). Como ya hemos fijado, a la pelletizadora acceden de la etapa precedente un flujo de masa de un total de 4.000,80 kg/h, luego como las pérdidas en esta fase se consideran despreciables, a la entrada de la misma accede la misma cantidad de flujo másico (4000,80 kg/h).

4.2.4.2 Necesidades eléctricas de la planta

Potencia eléctrica máxima necesaria en la planta

Al igual que se hizo con la “*Alternativa 1*”, obtenemos el valor de demanda energética de la planta, que en este caso como las fases son idénticas, Lo primero que requerimos conocer son las necesidades eléctricas de la planta, que serán la suma de cada máquina que compone el proceso (como veíamos en la tabla 4.1) y que toman un valor de:

$$P_{m\acute{a}xima} = 459,5 \text{ kW}$$

4.2.4.4 Necesidades eléctricas de la planta

Al igual que ocurría en la “Alternativa 1”, no hemos de calcular un coeficiente de simultaneidad, pues al depender del suministro eléctrico, necesitamos tener contratada la máxima potencia que pueden necesitar las máquinas.

4.2.5 Análisis económico “Alternativa 2”

Continuando, se presentan las necesidades económicas que tiene la planta estudiada, tanto para el montaje de la planta correspondiente a la “Alternativa 2” de la maquinaria, como a la propia maquinaria. Sin embargo, a parte de estos costes iniciales (montaje, pelletizadora, separador de balas de paja o instalación eléctrica), no se tendrá en cuenta el valor de la nave donde deberá ir ubicada dicha planta de producción, ni todo aquello relacionado con los costes de construcción de la misma, oficinas, temas sanitarios...

4.2.5.1 Listado precios descompuestos

Línea de recepción y transporte de paja

Nº ORDEN	DESCRIPCIÓN	UDS.	IMPORTE (€)	
			SUBTOTAL	TOTAL
1.01	Puente grúa con control de humedad de la materia prima.	3	11559,33	34678
1.02	Analizador de las dimensiones del sarmiento (peso, características físico-químicas...).	1		28965
TOTAL				63643

Línea de desempaqueado y molienda

El coste de esta línea es idéntico que para la “Alternativa 1”, luego asciende a un total de:

TOTAL 88.245.37€

Línea de pelletizado

El coste de esta línea es idéntico que para la “*Alternativa 1*”, luego asciende a un total de:

TOTAL 445.567,77€

Almacenamiento, carga y despacho

El coste de esta línea es idéntico que para la “*Alternativa 1*”, luego asciende a un total de:

TOTAL 176.400,83€

Instalación eléctrica y control de maquinaria

El coste de esta línea es idéntico que para la “*Alternativa 1*”, luego asciende a un total de:

TOTAL 265.619,84€

Montaje integral de toda la maquinaria

El coste de esta línea es idéntico que para la “*Alternativa 1*”, luego asciende a un total de:

TOTAL 45.454,55€

4.2.5.2 Presupuesto general

Línea de recepción y transporte de paja

TOTAL PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL DE LA LÍNEA DE RECEPCIÓN Y TRANSPORTE 63.643,00€

Asciende el presupuesto de ejecución material a la expresada cantidad de **Sesenta y tres mil doscientos cuarenta y cinco euros con treinta y siete céntimos**

Línea de desempaquetado y molienda

TOTAL PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL DE INSTALACIÓN DE LA LÍNEA DE
DESEMPAQUETADO **88.245,37€**

Asciende el presupuesto de ejecución material a la expresada cantidad de
**Ochenta y ocho mil doscientos cuarenta y cinco euros con treinta
y siete céntimos.**

Línea de pelletizado.

TOTAL PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL DE INSTALACIÓN DE LA LÍNEA DE
PELLETIZADO **445.567,77€**

Asciende el presupuesto de ejecución material a la expresada cantidad de
**cuatrocientos cuarenta y cinco mil quinientos sesenta y siete
euros con setenta y siete céntimo**

Línea de montaje de toda la maquinaria

TOTAL PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL DEL MONTAJE DE TODA LA
MAQUINARIA **45.454,55€**

Asciende el presupuesto de ejecución material a la expresada cantidad de
**cuarenta y cinco mil cuatrocientos cincuenta y cuatro euros con
cincuenta y cinco céntimos.**

Instalación eléctrica y control de la maquinaria

TOTAL PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL DE INSTALACIÓN ELÉCTRICA Y
CONTROL **265.595,04€**

Asciende el presupuesto de ejecución material a la expresada cantidad de

Doscientos sesenta y cinco mil quinientos noventa y cinco euros con cuatro céntimos.

Almacenamiento, carga y despacho

TOTAL PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL DE INSTALACIÓN DE
ALMACENAMIENTO, CARGA Y DESPACHO **176.400,83€**

Asciende el presupuesto de ejecución material a la expresada cantidad de **ciento setenta y seis mil cuatrocientos euros con ochenta y tres céntimos.**

4.2.5.3 Total presupuesto ejecución material

TOTAL PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL **1.084.806,56€**

Asciende el presupuesto de ejecución material a la expresada cantidad de **UN MILLÓN OCHENTA Y CUATRO MIL OCHOCIENTOS SEIS EUROS CON CINCUENTA Y SEIS CÉNTIMOS.**

2% Beneficio industrial	21.696,1312€
TOTAL PARCIAL	1.106.502,69€
21% IVA	232.365,565€

4.2.5.4 Total presupuesto de ejecución por contrata

TOTAL PRESUPUESTO EJECUCIÓN POR CONTRATA **1.338.868,26€**

Asciende el presupuesto de ejecución por contrata a la expresada cantidad de **UN MILLÓN TRESCIENTOS TREINTA Y OCHO MIL OCHOCIENTOS SESENTA Y OCHO EUROS CON VEINTISEIS CÉNTIMOS.**

4.2.6 Estudio del retorno de la inversión “Alternativa 2”

A diferencia de la situación existente en la “Alternativa 1”, o en el proceso de referencia, para este caso, el precio de la materia prima es constante, luego no tendremos que calcular posibles casos de amortización en función del precio del mercado de la materia prima.

4.2.6.1 Gastos fijos

Al tratarse de una instalación apta para las dos primeras alternativas, los gastos son los mismos, a excepción del precio de la materia prima (tomamos el precio del mercado a día 28 de Julio). El número de trabajadores y el grupo al que pertenecen es idéntico al de la alternativa precedente, es decir, 9 empleados, enmarcados en el convenio de la madera de la provincia de Valladolid, ^[W-9] Así como las horas de trabajo de la fábrica y el periodo destinado a mantenimiento. Queda recogido en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5 Gastos fijos anuales “Alternativa 2”.

Gastos	Importe (€)
Inversión inicial	1.106.502,69
Salario trabajadores grupo 5 (anual)	4 x 17.380,68 = 69.522,72
Salario trabajadores grupo 6 (anual)	5 x 16.723,31 = 83.616,55
Mantenimiento (anual)	11.065,02
Precio compra del sarmiento(€/kg)	0,15
Coste eléctrico (€)	517213,2

4.2.6.2 Ingresos

En cuanto a ingresos se refiere, sabiendo que la producción es de 4.000 kg /h, teniendo un total de 32160000 kg pellets/año. Suponemos que el precio total asciende a 0,185 €/kg pellet producido, que es el mismo que se toma para al “Alternativa 1”

4.2.6.3 Tiempo estimado en obtener amortización

Para los cálculos, tomamos que precio de la materia prima que se ha anticipado anteriormente, permanece estable. Así haciendo uso de la ecuación e1, tenemos que el tiempo de retorno es:

$$\text{Tiempo de amortización} = 2,965059751 \text{ años}$$

O sea, la instalación se amortiza en casi tres años.

4.2.7 Excel de “Alterativa 2”

Se presenta la hoja de cálculo empleada para esta segunda alternativa.

Cálculo de los gastos:

Gastos fijos	COSTE
Numero de trabajadores grupo 5	4
Numero de trabajadores grupo 6	5
Salario grupo 5 (4 trabajadores)	17380,68
Salario grupo 6 (5 trabajadores)	16723,31
TOTAL SALARIO	153139,27
Inversion inicial	1.338.868,26
Mantenimiento	13388,6826
Precio de compra de BIOMASA (€/kg)	0,150
Cantidad de sarm HORARIA (kg/h)	4000,80
Cantidad de sarm_ ANUAL (kg/año)	32166432,00
Coste materia prima	4824964,8
Coste energético (anual)	517213,2
Precio luz	0,14 €
COSTE ENERGÉTICO + MANTENIMIENTO	530601,8826, €/kWh

Cálculo de los beneficios:

D	E
Beneficios	
Producción (kg/h)	4000
Producción (kg/año)	32160000
VENTA TOTAL (€)	5949600
precio medio (Invariable)	0,185

Cálculo del tiempo de amortización:

G	H
Años en recuperar la inversión	
TOTAL	2,96337097

En este caso el coste de la materia prima es fija, luego solo obtenemos un tiempo de recuperación.

4.3 Alternativa 3

4.3.1 Descripción del proceso

Empleamos como materia prima la paja de la cebada, sin embargo dotamos a la instalación de un ciclo ORC, es decir, la hacemos autosuficiente, para así comparar con la “Alternativa 1”, pues el resto del proceso será idéntico. La instalación entonces queda en los componentes que forman el ciclo, el cual sigue el patrón marcado en la Figura 4.9:

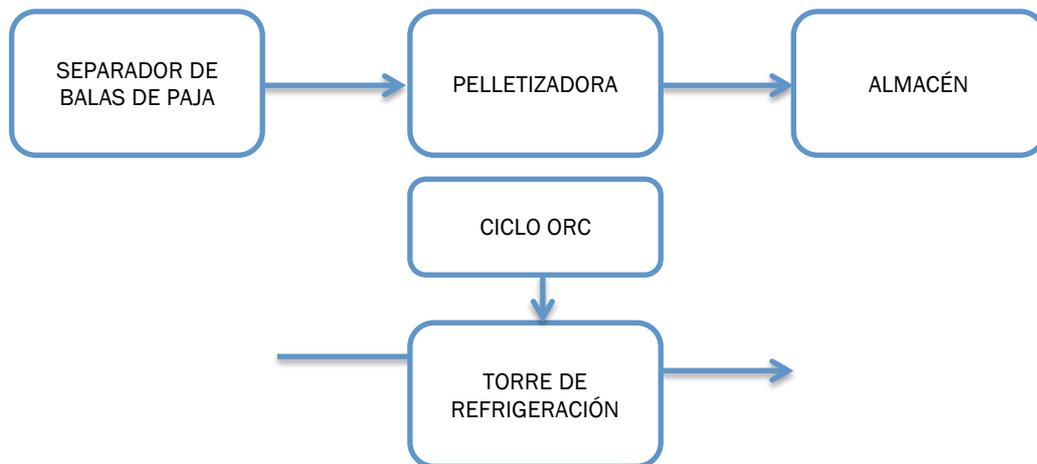


Figura 4.9 Instalación característica de “Alternativa 3” (materia prima: paja de cebada; instalación autosuficiente).

Donde al compararla con la instalación de referencia autosuficiente, vemos que, dista en que no tiene descortezadora, astilladora y caldera (para obtener humos), pero sí tiene el ciclo que le permite producir la energía eléctrica demandada. Luego sólo explicaremos el ciclo ORC y la torre de enfriamiento pues las otras fases ya se han visto.

4.3.2 Marco económico y social de la materia prima empleada

Como ya se dijo en la “*Alternativa 1*”, la material prima ha de tener prioridades alimentarias, luego de ante mano debemos tener en cuenta que el usar un ciclo ORC supone emplear más materia prima, que en el caso de crisis mundiales, por falta de alimento, esta materia prima ha de tener una alternativa también con carácter viable.

4.3.3 Cálculos

4.3.3.1 Pérdidas en el proceso productivo

Como el proceso es idéntico al expuesto en la “*Alternativa 1*”, nos limitaremos a marcar los flujos másicos que atraviesan cada fase del proceso. Esto queda representado en la Figura 4.9.

4.3.3.2 Necesidades eléctricas de la planta.

Potencia eléctrica máxima necesaria en la planta

Las necesidades energéticas serán las de la “*Alternativa 1*”, más la energía requerida por la caldera de biomasa y el ciclo Rankine, teniendo en cuenta que, éste, ha de tener además un refrigerador, para poder realizar el ciclo correctamente, con la temperatura deseada. En este caso, al igual que se hace en la propuesta de la planta autosuficiente usando corteza de pino, impondremos 3 torres de refrigeración, para tener una correcta evacuación del calor. (Tabla 4.8)

Tabla 4.8 Potencia máxima de la maquinaria proyectada.

Potencias (kW)	
Separador de balas de paja	14,5
Pelletizadora	400
Almacenamiento	45
Caldera de biomasa	120
ORC	37
Torre de enfriamiento	3 x 7,5

Así, tomando todos estos valores, la potencia necesaria será:

$$P_{m\acute{a}xima} = 639,9 \text{ kW}$$

4.3.3.3 Cálculo de los parámetros del ORC

Se procede a calcular el gasto másico que cumpla la demanda energética que tiene la planta, donde sabemos que la $P_{el\acute{e}ctrica \text{ saliente del ORC}} \geq 650 \text{ kW}$, luego despejando de la ecuación 4.2, obtendremos la $P_{destinada \text{ al ORC}}$ (Suponemos un valor de 700kW). La caldera, únicamente, se usa para quemar esa biomasa y usarla en el ciclo Rankine, luego deberemos usar la ecuación 4.11, para sacar la energía destinada de ese ciclo a la cogeneración.

$$P_{el\acute{e}ctrica \text{ saliente del ORC}} = \frac{\%ORC \text{ destinado a electricidad}}{100} \times P_{destinada \text{ al ORC}} \quad (e.4.2)$$

Según el catálogo de los fabricantes, se supone que el 25% de la $P_{destinada \text{ al ORC}}$ será destinada a la producción energética, mientras que el 73% irán destinado a la producción térmica (habrá un 2% en pérdidas por distribución). Por lo que la energía que se destina a cogeneración será:

$$P_{destinada \text{ al ORC}} = 2.800 \text{ kW}$$

Luego podemos calcular la $P_{caldera}$, de despejar como se hizo anteriormente tal parámetro, de la ecuación 4.3.

$$P_{destinada\ al\ ORC} = P_{caldera} \times \frac{\%Caldera\ destinado\ a\ ORC}{100} \times (1 - pérdidas\ ORC_{distribución}) \quad (e-4.3)$$

Donde se ha suponer el % que se emplea en la parte térmica (40%) y en calentar el aceite térmico para posteriormente usarlo en el ciclo ORC (50%); sin olvidarnos de las pérdidas debidas a la distribución del aceite en su interior. Así, la $P_{caldera} = 5714,28\ kW$

Así, finalmente, podremos obtener el valor del flujo másico (m_{paja}) necesario para cubrir la demanda energética de dicha alternativa. Lo calcularemos despejándolo de la ecuación 4.4.

$$P_{caldera} = \eta \cdot combustión\ paja \cdot m_{paja} \cdot \frac{PCI}{3.600} \quad (e.4.4)$$

Donde supondremos un $\eta_{combustión\ paja}$ de 0,85 y el PCI tomará el valor de 18.142,46 KJ/kg (Tabla 4.1, de este mismo capítulo, llevada a KJ/kg), así obtendremos finalmente que el incremento de materia prima toma un valor de 1333,98 kg/s, que se corresponde a incrementar un 125% el valor de biomasa inicial, con sus consecuentes repercusiones económicas

4.3.3.4 Obtención de un coeficiente de simultaneidad

A diferencia de los otros dos casos anteriores, aquí sí se puede calcular un coeficiente de simultaneidad, el cual, se obtendría a partir de las máximas producciones horarias de cada máquina. Lo que se trata de ver, es si es posible en el transcurso de una hora (unidad de tiempo elegida en el proceso), se podría parar alguna máquina, disminuyendo así la potencia máxima requerida. Las máximas producciones horarias se exponen en la Tabla 4.9.

Tabla 4.9 Producción máxima horaria por máquina. (kg/h)

Producción horaria (kg/h)	
Separador balas paja	4800
Pelletizadora	4000

Cada una de estas producciones horarias han sido consultadas en los catálogos de las máquinas proporcionados por los fabricantes.

Teniendo en cuenta estas producciones hay que saber que la que menos produce es la que tiene que estar en funcionamiento toda la hora, en este caso se trata de la pelletizadora. Por esto, se le dará un coeficiente de valor 1 mientras que a la otra máquina se le dará un valor que se obtendrá de calcular su producción entre la que menos produce. Así obtenemos la Tabla 4.10, donde se ven ambos los coeficientes de simultaneidad.

Tabla 4.10 Coeficientes de simultaneidad.

	Prod.min/prod.maq	Coeficiente
Separador de balas de paja	4.000/4800	0.833
Pellitizadora	4.000/4.000	1

Como se puede ver en la tabla anterior, la máquina que se toma por referencia ha de estar trabajando constantemente, mientras que el separador de balas solamente tendría que estar trabajando un 83% de ese tiempo total. De esta forma lo que se conseguiría es disminuir la potencia eléctrica demandada por la planta, y por lo tanto, el coste energético. Recalculando la potencia total necesaria, tendríamos que la nueva potencia necesaria por la instalación sería:

$$P_{\text{máxima}}(\text{nueva}) = 617 \text{ kW eléctricos}$$

Luego no se va a aplicar el coeficiente de simultaneidad, pues la disminución de energía es del 3%, en el supuesto de que pasásemos a usar 2 de las tres torres de refrigeración.

4.3.4 Análisis económico “Alternativa 3”

El análisis económico coincide con el planteado en las dos alternativas anteriores más el coste del ciclo ORC que nos generará el suministro eléctrico. Luego se adjunta en este apartado únicamente a mayores, lo que supone ese exceso debido a la generación eléctrica:

Generación de energía térmica y eléctrica

Nº ORDEN	DESCRIPCIÓN	UDS.	IMPORTE (€)	
			SUBTOTAL	TOTAL
7.1	ORC.	1	979.623,14	979.623,14
7.2	Caldera de biomasa de aceite térmico y componentes.	1	2.157.748,76	2.157.748,76
7.3	Asistencia en montaje y puesta en marcha.	1	22.975,21	22.975,21
7.4	Conexión eléctrico al resto de la planta.	1	14.793,39	14.793,39
	Transportes.	1	14.462,81	14.462,81
TOTAL				3.189.603,31

4.3.4.1 Total presupuesto ejecución material

TOTAL PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL 4.274.409,87€

Asciende el presupuesto de ejecución material a la expresada cantidad de **CUATRO MILLONES DOSCIENTOS SETENTA Y CUATRO MIL CUATROCIENTOS NUEVE EUROS CON OCHENTA Y SIETE CÉNTIMOS.**

2% Beneficio industrial	85.488,20€
TOTAL PARCIAL	4.359.898,07€
21% IVA	915.578,59€

4.3.4.2 Total presupuesto de ejecución por contrata

TOTAL PRESUPUESTO EJECUCIÓN POR CONTRATA **5.275.476,66€**

Asciende el presupuesto de ejecución por contrata a la expresada cantidad de **CINCO MILLONES DOSCIENTOS SETENTA Y CINCO MIL CUATROCIENTOS SETENTA Y SEIS EUROS CON SESENTA Y SEIS CÉNTIMOS.**

4.3.5 Estudio del retorno de la inversión “Alternativa 3”

A continuación, se realizará el estudio necesario para hallar el tiempo de retorno de la inversión realizada. En él, se tendrá en cuenta el precio de compra de la paja (el cual variará y será mayor que el realizado en el caso anterior, pues parte de ese flujo másico va por el ciclo Rankine), el presupuesto de ejecución de la planta (sin tener en cuenta la nave donde irá ubicada), las nóminas de los trabajadores, el número de trabajadores necesarios en una planta de este tipo y el precio de venta del pellet y un importe anual dedicado al mantenimiento de la maquinaria.

4.3.5.1 Gastos fijos

El coste salarial será el mismo que para todos los casos estudiados con anterioridad. A mayores, continuamos supuniendo un coste de mantenimiento del 1% con respecto a la inversión inicial, a sabiendas de que en este caso, este variará al presentar la caldera de biomasa y el ciclo ORC con torres de refrigeración). Además, no debemos olvidar que para esta alternativa, se requiere un incremento de la materia prima empleada, pues con su quema se obtendrá la energía necesaria para calentar el fluido que recorre el ciclo Rankine, luego el flujo másico total será la suma del que pasa por las fases que producen los pellets (4000,8 kg/h) más lo necesario para la combustión en la caldera (1333,3 kg/h). Todos estos gastos y sus respectivos importes se mostraran en la tabla 4.11.

Tabla 4.11 Gastos fijos anuales.

Gastos	Importe (€)
Inversión inicial	5.275.476,66€
Salario trabajadores grupo 5 (anual)	4 x 17.380,68 = 69.522,72
Salario trabajadores grupo 6 (anual)	5 x 16.723,31 = 83.616,55
Mantenimiento (anual)	527.754,76
Precio compra de la paja (€/kg)	Variable (Ver Anexo V)

4.3.5.2 Ingresos

En este apartado sólo se incluirán los ingresos percibidos por la venta de la producción efectuada en la planta. Tomamos la misma producción horaria que para los casos anteriores (4.000 kg/h) y un precio de venta de 0,12 €/kg de *pellets*. Esta estimación supone una venta total de los productos.

4.3.5.3 Tiempo estimado en realizar amortización

Debido a las oscilaciones presentes en el precio de cotización de la materia prima, realizamos una estimación de la variabilidad del tiempo necesario en amortizar, en función del precio de la materia prima. Hacemos uso de la ecuación 4.1 y tenemos (Tabla 4.12):

Tabla 4.12 Precios paja y tiempo de recuperación de la inversión (ORC).

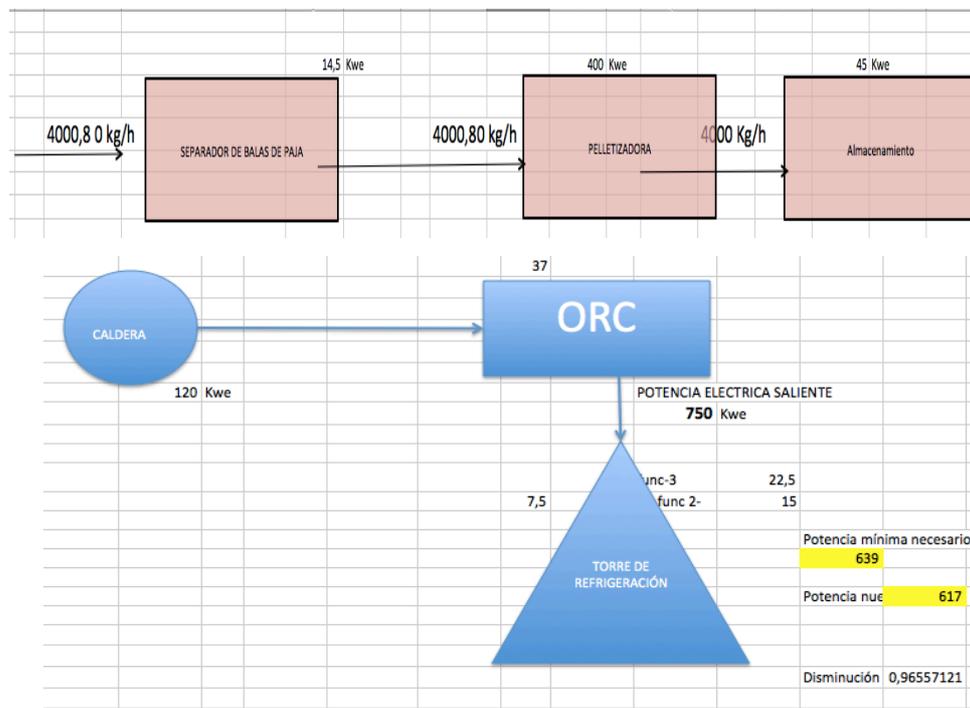
Precio de compra de Paja (€/TON)	Tiempo en recuperar la inversión (años)
15,008	1,726
25,008	2,008
30,008	2,186
38,008	2,549
50,008	3,392
60,008	4,684
70,008	7,565
80,008	19,648
90,008	NO VIABLE
100,008	NO VIABLE

Donde observamos que debido al incremento del coste en la materia prima, la planta no es viable en tan pronto tiempo, y como para el precio de la paja actual (38 €/toneladas) requeriríamos 2,5 años frente a menos de 1 año si tomásemos la energía eléctrica del propio suministro.

4.3.7 Excel de “Alternativa 3”

Al igual que se hizo en las dos alternativas anteriores, se presenta la hoja de Excel que se ha empleado para la realización de los cálculos necesarios.

Ciclo de “Alternativa 3”:



Donde se calcula también la potencia tras aplicar el coeficiente de simultaneidad (El cual se desprecia).

Cálculo de los gastos:

A	B	C
Gastos Fijos	Column2	
Numero de trabajadores grupo 5	4	
Numero de trabajadores grupo 6	5	
Salario grupo 5	17380,68	
Salario grupo 6	16723,31	
Inversion inicial	5.275.476,66	
MANTENIMIENTO	52754,7666	
precio de compra de la paja (€/kg)	0,100	(Variable)
	Prod. Pellets	Ciclo ORC
Cantidad de paja (kg/h)	4000,80	1333,3
Cantidad de paja (kg/año)	32166432,00	10719732,00
Coste materia prima (€)	3216900,531	1072058,958

Donde se calcula por un lado la cantidad de paja necesaria para la producción de pellets y por otro lado la destinada a producir la energía eléctrica (ciclo ORC).

Cálculo de los beneficios:

Beneficios	Coste
producción (kg/h)	4000
producción (kg/año)	32160000
precio medio (€/kg)	0,12

Cálculo del tiempo de amortización:

Años en recuperar la inversion	
TOTAL	2,548893

4.4 Comparativa

A continuación, se presentan las múltiples comparativas entre las alternativas estudiadas (entre ellas y con el modelo). Para el caso de la “Alternativa 4”, como se vio su inviabilidad, se ha adejado a parte. Presentamos la “Alternativa 1” frente a la “Alternativa 2”, la “Alternativa 1” frente a la “Alternativa 2”, la “Alternativa 2” frente a la “Alternativa 3” y por último cada una de estas alternativas frente al modelo.

Por otro lado, se compara las características de ambos pellets obtenidos con algunas de las normas europeas.

- “Alternativa 1” frente a “Alternativa 2”

Queda claro que, a primera instancia, difieren del biocombustible empleado (forraje y sarmiento, respectivamente) pero no solo las diferencias radican en esto. Para el caso de la “*Alternativa 1*”, el precio de la materia prima presenta importantes oscilaciones en función de cómo cotice en el mercado, mientras que el sarmiento se sitúa estable. Esto tiene sus pros, y sus contras. Destacable pues, nuestras amortizaciones no son “fruto del destino”, es decir, diferirán poco los resultados que se experimenten de lo calculado en este trabajo, sin embargo, la cantidad de residuo producida no es tan elevada (notar que el sarmiento, hoy en día es incinerado tras la poda, en el mismo viñedo), y que como se ha dicho ya en este trabajo supone un 0,12% de la demanda energética española. Fuera a parte, si supusiéramos que contamos con la misma cantidad de ambas materias primas y que el mercado de las forrajes se sitúa a 42 €/toneladas (correspondientes a la media de los diez años tratados en este trabajo), tendríamos que el tiempo de amortización para el caso de la “*Alternativa 1*” se corresponde a 0,68 años mientras que para la “*Alternativa 2*” el tiempo de amortización se estima en 2,97 años. Vemos entonces que, la diferencia entre ambos dista algo más de 2 años, que nos hace prever que, aunque la paja fluctúe excesivamente, será más viable la primera instalación. Por otro lado, mirando el precio que ha de tener la paja para tener una amortización próxima a los 3 años, vemos que, se ha

de situar su cotización próxima a los 90€/tonelada, aproximada; precio poco frecuente si observamos la Figura VI.2 (perteneciente al Anexo VI)

Los costes iniciales de inversión en estas comparativa son iguales, pues la maquinaria es idéntica

Comparando desde el lado del consumidor, tomaremos los datos de la Tabla 2.12 (Capítulo 2), que hacer referencia al coste de los kWh que nos proporciona la paja y el sarmiento; así estos son 0,029 y 0,042 €/kW·h, respectivamente. Resulta que para el consumidor, le es mucho más barato emplear pellets de paja que pellets de sarmiento.

Aunque está lejos de entre trabajo, se compararán estos valores con los costes energéticos para el caso de emplear: gasóleo, gas natural y butano (0,0901; 0,057 y 0,109 kW·h; respectivamente). Si empleamos como biocombustible el sarmiento, la diferencia entre el gas natural y éste, es muy pequeña, aunque sea mayor para el caso del primero, sin embargo, para las otras dos fuentes de energía no renovables nombradas, el coste es muy superior de cara a la factura que finalmente el consumidor pagará. En contraposición, empleando como biocombustible la paja, la comparación con las otras tres fuentes no renovables da una diferencia más abismal. Y ya por último, comparado con el coste energético de la planta modelo, veíamos que este toma un valor de 0,0394 kW·h, algo menor que el coste del sarmiento, debido a que la materia prima de este segundo es muy superior al de la corteza de pino.

No se plantea la posibilidad de estudiar el hipotético caso de que ambas instalaciones hayan sido amortizadas, ni los beneficios conseguido esta amortización, pues resulta a la vista, mucho más rentable emplear paja, ya que el coste del sarmiento es por media, 4 ó 5 veces mayor

- “Alternativa 1” frente a “Alternativa 3”

En este caso estamos planteando dos posibles vías, las cuales emplean la misma materia prima, luego no resultará un punto a favor o en contra la calidad del pellet y el valor energético que este proporciona en cuanto a su precio, pero si queda evidenciado que la “Alternativa 1” tiene una inversión inicial de 1.338.868,26€ frente a los 5.275.476,66€ que suponen plantear la “Alternativa 3”, debido al ciclo ORC.

En cuanto al tiempo de amortización, vemos claro que es más eficaz para el caso de la “Alternativa 1”, independientemente de cómo cotice la paja, pues se emplea en ambas alternativas. La caldera de biomasa presenta un precio muy elevado que hace que junto al ciclo ORC y las tres torres de refrigeración, aumentemos la inversión inicial de a 5.275.476,66€.

Si partimos del supuesto de que ambas instalaciones hayan sido ya amortizadas, compararemos el coste fijo anual para ambas. Para el caso de la “Alternativa 1”, se ha tomado para hacer los cálculos el coste energético de 0,14 €/kWe (referencia estadística más elevada entre los posibles datos recogidos), resultando alcanzar un importe aproximado de 500.000€, mientras que para el caso de la “Alternativa 3”, el valor de esa energía variará de acuerdo a las posibles fluctuaciones producidas en el mercado. Así, se adjunta en la Tabla 4.13 dichas oscilaciones, donde podemos comprobar como a partir de cierto coste en materia prima (50 €/tonelada) resulta más beneficioso adquirirlo de forma externa. A mayores, como esta instalación tiene un coste mayor en mantenimiento, se incluye en la segunda columna los gastos que el mantenimiento supondrá. (Este es mayor pues el coste de la instalación es mayor).

Tabla 4.13 Precios paja, coste de la energía necesaria en el proceso (ciclo ORC) y coste en mantenimiento de la “Alternativa 3”.

Precio compra de Paja (€/TON)	Coste materia prima empleada en producir energía (€)	Coste variable de instalación con ORC (€)
15,008	160.881,74	213.636,51
25,008	268079,06	320.833,83
30,008	321.677,72	374.432,49
38,008	407.435,57	460.190,34
50,008	536.072,36	588.827,13
60,008	643.269,68	696.024,44
70,008	750.466,90	803.221,76

Comprobándose finalmente que deja de ser viable con precios algo más inferiores, en cuanto a materia prima se refiere (40 €/tonelada), lo que nos permite concluir que la “Alternativa 1” es más viable energéticamente pues el precio marcado si lo cotiza con frecuencia. En contraposición, cuando la paja se encuentre con valores inferiores a los 40 €/tonelada, si resultará beneficioso plantear la “Alternativa 3”, pues el coste de la energía obtenida de forma externa se mantendrá invariable (el valor de adquirir la energía más mantener la instalación propuesta en la “Alternativa 1” alcanza el valor de 530.601,8826 €)

De cara al consumidor, no notará implemento en el coste alguno, pues el precio será el mismo en ambos casos (el biocombustible para ambos casos es el mismo: paja).

Planteando los beneficios que tendrán ambas alternativas cuando hayan sido amortizadas, tendremos las Tablas 4.14 y 4.15, donde en las primeras columnas ⁽¹⁾ se muestran los costes totales (considerando el salario); en la segunda columna ⁽²⁾, se muestran los beneficios de la venta completa de dichos pellets.

Tabla 4.14 Coste anuales y beneficios (planta amortizada) “*Alternativa 1*”.

Preciopaja (€/kg)	COSTE TOTAL ANUAL ⁽¹⁾ (€)	BENEFICIOS ⁽²⁾
15,008	1.166.494,96	2.692.705,1
25,008	1.488.159,28	2.371.040,7
30,008	1.648.991,44	2.210.208,6
38,008	1.906.322,90	1.952.877,1
50,008	2.292.320,08	1.566.879,9
60,008	2.613.984,40	1.245.215,6
70,008	2.935.648,72	923.551,3
80,008	3.257.313,04	601.887,1
90,008	3.578.977,36	280.222,6
100,008	3.900.641,68	-41.441,74

Tabla 4.15 Coste anuales y beneficios (planta amortizada) “*Alternativa 3*”.

Precio paja (€/kg)	COSTE TOTAL ANUAL ⁽¹⁾ (€)	BENEFICIOS ⁽²⁾) (€)
15,008	849.528,77	3.009.671,32
25,008	1.278.391,22	2.580.808,78
30,008	1.492.822,05	2.366.377,95
38,008	1.835.911,36	2.023.288,64
50,008	2.350.545,33	1.508.654,67
60,008	2.779.406,97	1.079.793,03
70,008	3.208.268,61	650.931,39
80,008	3.637.130,25	222.069,75
90,008	4.065.991,89	-206.791,89
100,008	4.494.853,53	-635.653,53

Donde podemos ver como para el caso de la “*Alternativa 1*”, los beneficios son menores para costes de paja baratos pues resultará más atractivo producirnos nuestra propia energía ya que supondrá un coste inferior al que nos proporciona el suministro, mientras que para precios en la materia prima normales en cuanto a cotización, resultará mejor la “*Alterntiva 1*”

- “Alternativa 2” frente a “Alternativa 3”

En este caso como la materia prima es diferente, se deberá tener en cuenta, que de cara al consumidor, les saldrá más rentable emplear pellets de paja.

De cara a la amortización de la industria, para el caso de la “Alternativa 2” la rentabilidad se estima en casi 3 años mientras que la “Alternativa 3” varía. Al igual que se hizo en la comparación anterior, tomamos la media de los datos recogidos (42 €/ton) estimando la viabilidad de la planta en 3 años aprox., donde no debemos olvidar que, a mayores, nuestra inversión inicial así como el mantenimiento, resultan mayores para el caso de la “Alternativa 3”.

Debido a que se trata del mismo periodo de amortización, trataremos también, el posible caso de haber amortizado, ocurriendo que (recordar que, la materia prima es diferentes, luego no solo habrá que tener en cuenta el coste que cubre la demanda energética, sino también, el valor que permite obtener la producción de pellets estipulada -4000 kg/h-); para el caso de la “Alternativa 2”, el coste de materia prima, mantenimiento y coste energético asciende al valor de 5.355.824,014 €, mientras que para el caso de la “Alternativa 3”, se adjuntan en la Tabla 4.16.

Tabla 4.16 Coste anual tras amortizar (sin tener en cuenta salarios) “Alternativa 3”.

Precio paja (€/TON)	Coste energía y mantenimiento ⁽¹⁾ (€)	Coste materia prima ⁽²⁾ para producir pellet(€)	Coste total anual (sin salarios) ⁽³⁾ (€)
15,008	213.36,5045	482.753	696.389,50
25,008	320.833.824	804.418,13	1.125.251,95
30,008	374.432,4845	965.250,29	1.339.682,78
38,008	460.190,3405	1.222.581,75	1.682.772,09
50,008	588.827,1245	1.608.578,93	2.197.406,06
60,008	696.024,4445	1.930.243,25	2.626.267,70
70,008	803.221,7645	2.251.907,57	3.055.129,34
80,008	910.419,0845	2.573.571,89	3.483.990,98
90,008	1.017.616,404	2.895.236,21	3.912.852,62
100,008	1.124.813,724	3.216.900,53	4.341.714,26

En la tabla podemos ver: en la primera columna ⁽¹⁾ el coste monetario de lo que supone la materia prima necesaria para producir la demanda energética; en la segunda columna ⁽²⁾, el coste de la materia prima destinada a producir la demanda de pellets y por último ⁽³⁾, el coste total anual estimado en la planta, sin tener en cuenta el salario de los trabajadores, pues será el único gasto que se mantendrá en ambas alternativas.

Vemos como ni aún cuando la paja alcanza sus valores máximos históricos, tiene un coste mayor que el dado en la “*Alternativa 2*”, y esto se debe, principalmente, a que el precio del sarmiento tiene un coste mucho más elevado que el de la paja.

Aún así, vamos a calcular los beneficios que se presentan en cada caso, para barajar todos posibles estudios. Tenemos entonces que; para la “*Alternativa 2*”, los beneficios estimando la total venta del producto desarrollado asciende a 440.636,72€, mientras que para la “*Alternativa 3*”, han sido presentados en la Tabla 4.15

Vemos como, se obtienen más beneficios para el caso de la “*Alternativa 3*”, siempre que el precio de la materia prima no supere los 80 €/ton aprox., precio que no suele alcanzar salvo situaciones excepcionales. Esto se debe, principalmente, a que los gastos de compra en sarmiento son superiores. Esta situación se preveía ya, cuando se vieron que los gastos sin tener en cuenta salario eran muy superiores para la segunda de las alternativas.

- “Alternativa 1” frente a “Planta modelo”

Se plantea comparar la “*Alternativa 1*”, donde la materia prima es la paja y el coste inicial de la instalación es inferior con la “*Planta Modelo*”, donde la materia prima es la madera de pino y la planta se define como autosuficiente, debido a la presencia de un ciclo OCR

Visualizando la Tabla 3.3 (Capítulo 3) y la Tabla 4.3 (Capítulo 4) vemos como el tiempo mínimo de amortización para el caso de la madera de pino se estima en 2 años aproximadamente, mientras que ese tiempo de amortización se produciría en el caso de que la “*Alternativa 1*” cotizase a 80 €/tonelada, situación que no suele ser frecuente (ver anexo VI), haciendo menos viable a la “*Planta Modelo*”.

Por otro lado, el coste de la inversión inicial es muy superior para el caso en el que la planta se autoabastezca (6.435.507,45€), frente a los 1.338.868,26€ de la “*Alternativa 1*”.

Estudiando la perspectiva de vista desde el lado del consumidor, tomando los datos de las potencias proporcionadas por cada biocombustible estudiado, (ver Tabla 4.12) tenemos que el coste energético para el caso de emplear paja es de 0,02976 €/kW·h, mientras que para el caso de la corteza de pino, será 0,03941 €/kW·h. (1,32 veces superior). Aunque en ningún caso llegarán a asemejarse al coste que supone usar gasoil o butano (0,0901 y 0,109 €/kW·h; respectivamente).

Suponiendo por último, que la instalación ha sido amortizada, planteamos los costes fijos que se producirían anualmente en cada alternativa. Para el caso de obtener la energía eléctrica del suministro eléctrico, nuestras únicos gastos son los producidos por los salarios (mismos en ambos casos), el mantenimiento y el coste eléctrico, es decir, 530.601,8826 €, mientras que por el otro lado, pasamos a plantear la Tabla 4.17 donde se recoja la variabilidad, fruto de la cotización que presente la madera.

Tabla 4.17 Costes de “Planta Modelo” una vez amortizado.

Precio de compra de madera (€/kg)	Coste total de la materia prima (€)	Coste total (Sin salarios) (€)
0,029	2.435.225,26	2.499.580,34
0,038	3.190.984,83	3.255.339,90
0,042	3.526.877,97	3.591.233,04
0,048	4.030.717,67	4.095.072,75
0,054	4.534.557,38	4.598.912,46
0,058	4.870.450,52	4.934.805,60
0,067	5.626.210,09	5.690.565,16
0,077	6.465.942,94	6.530.298,01

Concluyendo que el mantenimiento anual, también es muy superior para el caso de la “Planta Modelo”. Esto nos hace ver que esta última encarece la inversión inicial, los costes anuales, y aumenta el tiempo de amortización. Aunque no debemos olvidar la ventaja de no depender del suministro eléctrico, permitiéndonos ubicar la planta en cualquier emplazamiento.

Comparando los beneficios de ambas, tendríamos los resultados expuestos en la Tabla 4.14 correspondientes a la “Alternativa 1” frente a los que se presentan en la Tabla 4.18.

Tabla 4.18 Costes totales y beneficios de “Planta Modelo” una vez amortizado.

Precio de compra de la madera (€)	Coste total (con sueldo) (1)	BENEFICIOS (2)
0,029	2.652.719,61	3.296.880,39
0,038	3.408.479,17	2.541.120,83
0,042	3.744.372,31	2.205.227,69
0,048	4.248.212,02	1.701.387,98
0,054	4.752.051,73	1.197.548,27
0,058	5.087.944,87	861.655,13
0,067	5.843.704,43	105.895,57
0,077	6.683.437,28	-733837,28

Vemos como, los beneficios son superiores para la alternativa propuesta en el caso de que el precio de las materias prima fuesen la media de los datos estudiados. Esto se debe a que sus gastos son inferiores. Para el caso de que ambas materias primas se situasen en los precios más bajos tratados, los beneficios serían mayores para el caso del modelo, pero sólo en ese caso, luego se suprime ese punto a favor, para el resto de los casos, los beneficios son mayores para la “*Alternativa 1*”.

- “*Alternativa 2*” frente a “*Planta modelo*”

En este caso, tampoco estamos empleando los mismos biocombustibles ni las instalaciones son semejantes, pues la planteada en la “*Alternativa 2*”, como ya se ha ido estudiando con anterioridad, es dependiente del suministro eléctrico, mientras que, la otra es autónoma (al presentar el ciclo ORC).

Para el caso de la “*Alternativa 2*”, el periodo de amortización se estima en 3 años aproximadamente, mientras que la “*Planta Modelo*” presentará las variaciones que quedan visibles en la Tabla 3.3 (Capítulo 3), donde tomamos el precio mínimo de la materia prima, que se corresponde con una amortización próxima a los 4 años, es decir algo superior, aunque esto sería variable, luego es un dato menos fiable, dotado con cierta incertidumbre. No olvidamos que, al igual que ocurría en el caso anterior, el coste de la inversión inicial es muy superior para el caso en el que la planta se autoabastezca (6.435.507,45€), frente a los 1.338.868,26€ de la “*Alternativa 2*”.

Posicionándonos desde el punto de vista del consumidor, tomando los datos de las potencias proporcionadas por cada biocombustible estudiado, (ver tabla 2.12, del capítulo 2) tenemos que el coste energético para el caso de emplear sarmiento es de 0,04251 €/kW·h, mientras que para el caso de la corteza de pino, será 0,03941 €/kW·h. (1,32 veces superior). Aunque en ningún alcanzará el coste que supone usar gasoil o butano (0,0901 y 0,0109; respectivamente).

Suponiendo por último, que la instalación ha sido amortizada, planteamos, al igual que se hizo anteriormente, los costes fijos que se producirían anualmente en cada alternativa. En el caso de la “Alternativa 2”, los costes fijos se deberán al mantenimiento y al coste eléctrico, es decir, 530.601,8826 € (no incluimos el coste laboral al ser igual en ambos supuestos y no presentar importancia en las comparaciones), mientras que por el otro lado, retomamos la Tabla 4.16, donde vemos como el mantenimiento para la instalación modelo es superior. Sin embargo, al igual que se dijo en la anterior comparativa, no hay que olvidar que la “Planta Modelo” es ventajosa en ciertas circunstancias cuando el suministro eléctrico no accede hasta el emplazamiento en el que situamos la planta.

En cuanto a los beneficios de una y otra cuando ambas hayan sido amortizadas tenemos que para el caso de la “Alternativa 2” los beneficios ascienden a 440.636,72 €, mientras que para la “Planta Modelo”, se presentaron en la Tabla 4.18. Donde concluimos, que los beneficios obtenidos tras amortizar la “Planta Modelo” son mayores, pues el precio del sarmiento es superior.

- “Alternativa 3” frente a “Planta modelo”

Esta última comparativa planteada, emplea biocombustibles diferentes pero es una instalación similar, pues es independiente del suministro eléctrico, debido al sistema ORC.

Retomamos la Tabla 4.12 (Capítulo 4) y la Tabla 3.3 (Capítulo 3) para comparar sus respectivas amortizaciones, vemos entonces que ambas difieren poco, luego esto no servirá para descartar una u otra opción. Viendo las inversiones iniciales para ambos casos vemos como en este casi si tenemos un implemento superior para la “Planta Modelo” (6.435.507,45 €) frente al de la “Alternativa 3” (5.275.476,66 €).

Desde el punto de vista del consumidor, el coste energético de emplear la paja (0,0297 €/kW-h) es inferior al de emplear la corteza de pino (0,0394 €/kW-h), luego es un punto a tener en cuenta de acuerdo a la venta futura de pellets.

Suponiendo por último, que la instalación ha sido amortizada, planteamos, como se ha venido haciendo, los costes fijos que se producirían anualmente en cada alternativa. En el caso de la “Alternativa 3”, tomando la Tabla 4.15, vemos como los costes son variables, pero para realizar nuestra comparativa, tomamos el precio medio estadístico recogido en “La Lonja de Salamanca” (42 €/tonelada), lo cual nos supone unos gastos fijos próximos a los 2.000.000 €, mientras que haciendo la misma operación para la “Planta Modelo”, y mirando la Tabla 4.17, el coste medio se establece en los 4.250.000 €, aproximadamente. Esto nos lleva a ver que cuando planteamos la idea de diseñar una planta autosuficiente, siempre es mejor usar como materia prima el forraje del cereal.

En cuento a los beneficios mostrados en las Tablas 4.18 y 4.15, vemos que son prácticamente iguales, luego esto no nos dará una idea de por cual decantarnos, pero sí lo harán costes que se nos producirían

- Cumplimiento de los pellets de paja de las Normativas Europeas

Con relación a los pellets de paja, se va a proceder a estudiar de forma comparativa el cumplimiento de algunas de las normas que vigentes en la U.E. Para ello se toma la Tabla 4.19 situando en la primera de las columnas las características del pellets y en las restantes, las normativas con las que queremos realizar las comparaciones.

Tabla 4.19 Comparación de las características de los pellets de paja con algunas normas de pellets en países europeos.

	PELLET PAJA		ÖNORM M 7135 ^[N-15]	Cumple	DIN 51731 ^[N-19]	Cumple	DIN PLUS ^[N-16]	Cumple	SS18, 71, 20 G1 ^[N-18]	cumple	CEN TS 14961 ^[N-10]	Cumple
Diám. [mm]	6		4 - 10	✓	4 - 10	✓	No especific	✓	<25	✓	6±0,5 - 8±0,5	✓
Long [mm]	20		<5- diám	✓	<5- diám	✓	<5- diám	✓	<4 x diám	✓	<(5-4)x diám	✓
ANÁLISIS	S/S	S/H										
HUMEDAD	0,00	8,4	< 10	✓	< 12	✓	< 10	✓	< 10	✓	< 10	✓
Cenizas [%]	5,61	5,14	<0,5	✗	<1,5	✗	<0,5	✗	<0,7	✗	<0,7	✗
N [%]	1,32	1,21	< 0,3%	✗	< 0,3%	✗	< 0,3%	✗	< 0,3	✗		
S [%]	0,15	0,14	< 0,04%	✗	< 0,08%	✗	< 0,04%	✗	< 0,08	✗	< 0,05	✗
Cl [%]	0,65	0,60	< 0,02%	✗	< 0,03%	✗	< 0,02%	✗	< 0,03	✗	< 0,03	✗
PCI (-10°)	4	3,6	>4.299	✗	4200-4680	✓	>4.320	✗	>4.039	✓	>4.039	✓
Aditivos	0		< 2%	✓	< 2%		< 2%	✓	<2	✓		✓
Durabilidad	0,97								>0,97	✓	>0,97	
D.Aparente	716								620-720	✓		
Ar [%]	n.d				<0,8	✓	<0,8	✓				
Cd [%]					<0,5	✓	<0,5	✓				
Cr [%]					<8	✓	<8	✓				
Cu [%]					<5	✓	<5	✓				
Hg [%]					<0,05	✓	<0,05	✓				
Pb [%]					<10	✓	<10	✓				
Zn [%]					<100	✓	<100	✓				

n.d.: no detectado

Se comprueba que el contenido en cenizas es más elevado que lo que la norma permite o recomienda, así como el contenido en Cloro, Nitrógeno y Azufre, los cuales están por encima de los máximos permitidos, luego podrían ocasionar problemas de corrosión en la parrilla, en la caldera o en la chimenea, sin embargo, están dentro de los límites que aceptan estas instalaciones. En cuanto al poder calorífico, las normas noruega y alemana, no permitirían ese límite de poder calorífico, mientras que para las restantes sí estaría aceptado.

Cumplimiento de los pellets de sarmiento de las Normativas Europeas

Como se hizo en el apartado anterior, se presenta la comparativa de los pellets de sarmiento frente a las distintas normativas existentes (Tabla 4.20)

Tabla 4.20 Comparación de las características de los pellets de sarmiento con algunas normas de pellets en países europeos

	PELLET SARMIENTO		ÓNORM M 7135 ^[N-15]	Cumple	DIN 51731 ^[N-19]	Cumple	DIN PLUS ^[N-18]	Cumple	SS18, 71, 20 G1 ^[N-18]	cumple	CEN TS 14961 ^[N-10]	Cumple
Diám. [mm]	6		4 - 10	✓	4 - 10	✓	No especific	✓	<25	✓	6±0,5 - 8±0,5	✓
Long [mm]	20		<5- diám	✓	<5- diám	✓	<5- diám	✓	<4 x diám	✓	<(5-4)x diám	✓
Análisis	S/S	S/H										
Humedad	0,00	8,8	< 10	✓	< 12	✓	< 10	✓	< 10	✓	< 10	✓
Cenizas [%]	3,2	2,9	<0,5	✗	<1,5	✗	<0,5	✗	<0,7	✗	<0,7	✗
N [%]	1,42	1,1	< 0,3%	✗	< 0,3%	✗	< 0,3%	✗	< 0,3	✗		
S [%]	0,05		< 0,04%	✗	< 0,08%	✓	< 0,04%	✗	< 0,08	✗	< 0,05	✗
Cl [%]	0,01	0,01	< 0,02%	✓	< 0,03%	✓	< 0,02%	✓	< 0,03	✓	< 0,03	✓
PCI(x10 ³)	4,23	3,82	>4.299		4200-4680	✓	>4.320	✗	>4.039	✓	>4.039	✓
Aditivos	0	0	< 2%	✓	< 2%		< 2%	✓	<2	✓		✓
Durabilidad	0,97	0,97							>0,97	✓	>0,97	
D.Aparente	716								620-720	✓		
Ar [%]	n.d				<0,8	✓	<0,8	✓				
Cd [%]					<0,5	✓	<0,5	✓				
Cr [%]					<8	✓	<8	✓				
Cu [%]					<5	✓	<5	✓				
Hg [%]					<0,05	✓	<0,05	✓				
Pb [%]					<10	✓	<10	✓				
Zn [%]					<100	✓	<100	✓				

n.d.: no detectado.

D. Aparente: Densidad Aparente

Vemos que el contenido en volátiles es elevado, como suele ser típico en la mayoría de biomásas y el contenido en cenizas fue también alto, en comparación con los pellets de madera. En cuanto al Cloro, vemos como sí cumple con cualesquiera de las normativas, mientras que el Nitrógeno o el Azufre no, que nos podría ocasionar problemas de corrosión en la parrilla o en los intercambiadores de las calderas. Sin embargo estos valores se aproximan a datos propios de residuos forestales, luego entran dentro de los

límites permitidos, sin ocasionar problemas derivados en las instalaciones empleadas.

Es destacable como se aumenta la densidad desde el trituración hasta el compactado, pasando de los 198 kg/m³ hasta los 716 kg/m³.

Sí es perjudicial el alto contenido en óxido de potasio (álcalis), que podría tener un efecto perjudicial, produciéndose la fusibilidad de las cenizas y consigo, el ensuciamiento de los intercambiadores, sin embargo, los estudios realizados en la Fundación CARTIF (parque tecnológico de Boecillo, Valladolid) han demostrado que no se presentan problemas, pues los problemas ocurrirían cuando las temperaturas alcanzasen los 1.400 °C. Sin embargo, lo que sí es destacable es la temperatura de la combustión, que trae consigo la adherencia de las cenizas a la caldera, forzando a que se realicen labores de limpieza y mantenimiento. [7]

- Comparativa entre pellets de paja y de sarmiento.

Como se ha visto en las Tablas 2.19 y 2.20, los contenidos en Nitrógeno y Azufre no están dentro de los intervalos permitidos en ninguna de las dos biomásas. Observando el Cloro, el sarmiento presenta un pequeño porcentaje mientras que la paja sí supera los límites marcados; situación que nos produce un efecto catalítico, que conlleva a una disociación de los materiales del acero de las tuberías, fomentando la corrosión (Se produce cuando la relación molecular Cl/S es mayor de dos, siendo aquí 4,3).^[10] Las cenizas también son más elevadas para el caso de la paja que para el sarmiento, lo que también fomentará la corrosión y los problemas de formación de escorias en la parrilla. El poder calorífico, como era de esperar, también es algo inferior para el caso de la paja, pero esto no supondrá problema alguno de cara al consumidor, pues, los pellets de paja tendrán un menor coste, lo que consecuentemente, les saldrá mas rentable económicamente.



CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES



Con la realización de este TFG, el cual analiza las posibles alternativas a una planta modelo autosuficiente que produce pellets, se ha podido concluir que:

1. La materia prima empleada en cada una de las alternativas tiene un poder calorífico inferior, al que posee la biomasa propia de la planta modelo. Estos valores son: 16.896 *KJ/kg*, 14.514 *KJ/kg* y 15.664 *KJ/kg*; para el caso de la corteza de pino (25% humedad), el sarmiento (10% humedad) y la paja (10% humedad) respectivamente.
2. El coste de la energía final, olvidando los valores propios del PCI, será de: 0,03942 €/kW·h; 0,0298 €/kW·h y 0,0425 €/kW·h; para el caso de la corteza de pino, la paja y el sarmiento; respectivamente. Siendo el menor de ellos, el de la paja, haciéndola finalmente más rentable.
3. Comparando a su vez los costes energéticos de cada una de las alternativas propuestas, con los que posee el gasóleo C, el Gas natural y el Butano (0,0902; 0,05727; 0,1095 €/kW·h; respectivamente), se tiene que para el caso del gasóleo para calefacción, el coste necesario para emplear esta fuente de energía y obtener los mismos resultados caloríficamente, se incrementa 5 veces.
4. De las cuatro posibles alternativas a estudiar nos desprenderemos de una de ellas: “Planta autosuficiente que produce pellets empleando sarmiento”, pues resulta mucho más cara la materia prima, que junto con los costes superiores propios de un ciclo ORC, la hacen inviable. De las tres alternativas restantes, resulta que:
 - Todas ellas requieren un proceso más corto de adecuación de la materia prima para producir el producto final: los pellets (en comparación con nuestra planta modelo).

- La “*Alternativa 1*” resulta tener un coste en instalaciones iniciales inferior así como un menor tiempo de amortización.
 - La “*Alternativas 1*” y la “*Alternativa 3*” emplean como materia prima la paja, que resulta rentable siempre que su precio no se encuentre dentro de los máximos históricos estadísticos que el mercado de cotizaciones presenta.
 - La “*Alternativa 2*” rentabilizará antes, siempre que el coste de la forraje sea elevada, pero a la hora de mirar beneficios anuales una vez amortizado, estos serán inferiores sea cual sea el precio de la paja (salvo que cotice con precios raramente alcanzados).
 - La “Planta modelo” presenta unos beneficios similares a los que obtendríamos en las alternativas primera y tercera (supuestas instalaciones amortizadas), sin embargo los costes que tendríamos anualmente para la modelo son muy superiores. Lo que nos hacen concluir que en el caso de querer llevar a cabo una planta autosuficiente, la materia prima que nos produciría unos costes más inferiores sería la forraje. En caso de comparar con la “*Alternativa 2*”, la modelo resulta más rentable económica debido al alto coste del sarmiento.
5. En cuanto a los costes de inversión inicial, para la “*Alternativa 1*” y la “*Alternativa 2*”, ascienden a 1.338.868,26 € mientras que para la “*Alternativa 3*” este valor es de 5.275.476,66 €, luego esto conlleva a un mayor coste en mantenimiento para este último caso.
6. En cuanto a las amortizaciones, tomando como precio de la paja, la media de todos los datos estudiados, tenemos lo siguiente:

- “*Alternativa 1*”: 0,69 años.
- “*Alternativa 2*”: 3 años.
- “*Alternativa 3*”: 2,55 años.

Recapitulando las anteriores conclusiones, podemos afirmar que la alternativa que menos costes tiene, en cuanto a inversión inicial se refiere, y que más pronto amortizamos es la primera, sin embargo, la idea de producir la energía que se requiera resulta atractiva cuando el coste de la materia prima es muy baja, mientras que, se hace llamativa la segunda de las alternativas cuando el forraje está muy por encima de la media histórica. Estas ideas, debido a que la instalación necesaria para adecuar la materia prima es la misma para los tres casos, nos podrían permitir introducir la biomasa que más nos rentabilizase, sin olvidar que si inversión inicial puede ascender a la requerida por la tercera de las alternativas, podríamos generarnos nuestra propia energía cuando la paja cotizase con bajo precio.



CAPÍTULO 6: DESARROLLOS FUTUROS

Sería posible realizar los cálculos con otras materias primas que no se han empleado en este trabajo, ya sean el hueso de aceituna u otras.

Otra línea a seguir sería, intentar reducir los costes de instalación de cualquiera de las alternativas tratadas, para tener un menor tiempo en amortización.

Se sabe que la calidad de los pellets de paja o sarmiento no cumple con las normativas de ENPlus, marcadas por Europa, luego, otra posible vía de investigación sería ver como poder aumentar la calidad de esos pellets, introduciendo aglomerantes que no perjudiquen altamente los resultados finales o mezclarles con otras biomásas para así, conseguir que cumplan con todas las normativas existentes, marcadas por Europa.



BIBLIOGRAFÍA



ESUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

Análisis de los parámetros que afectan sobre la viabilidad de una planta de producción de pellets.
Bibliografía

LIBROS

- [1] Sardón de J., J. M^a. “Energías renovables para el desarrollo”. Editorial ITES-Paraninfo. Madrid 2002
- [2] Bermúdez T., V.. “Tecnología energética”. I.S.B.N.: 84-7721-868-4. Valencia 2000
- [3] IDAE. “Energía de la biomasa”. Madrid 2007.
- [4] Ciemat. “La biomasa como fuente de energía y productos para la agricultura y la industria”, Volumen I. Editorial Ciemat. ISBN 84-7834-067-X. Madrid 1990.
- [5] Diario Oficial de la Unión Europea, “Directiva 2012/27/UE del parlamento europeo y del consejo de 25 de octubre de 2012”, 14 de Noviembre de 2012.
- [6] Plan Regional de Ámbito Sectorial de la Bioenergía de Castilla y León (Decreto 2/2011, de 20 de enero, BOCyL no 17 de 26 de enero de 2011).
- [8] Sebastián N., F.. “Energía de la Biomasa (volumen I)”. Universidad de Zaragoza, 2010.
- [10] Neilsen, H. P., Frandsen, F. J., Dam-Johansen, K. and Baxter, L. L. “The implications of chlorine-associated corrosion on the operation of biomass-fired boilers” Prog. Energy and Combustion Science, 2000.
- [12] Rosales, O. J., “Elementos de Microeconomía”. UNED. 2000

ENSAYOS Y ARTÍCULOS

- [7] González B., I.. “Aprovechamiento energético de sarmiento en calderas de biomasa mediante peletizado”. Agricultura no 901. Noviembre, 2007.
- [9] Arribas M., M.. Proyecto fin de carrera: “Cálculo y dimensionamiento de una planta de producción de pellets

energéticamente suficiente”. Valladolid, 2014.

- [11] Marcos M., F., Relova D., I.. “Estudio de pellets de paja de cereal para generar calor en usos domesticos”

NORMAS

- [N-1] CEN/TS 14588: Definición de los biocombustibles.
- [N-2] CEN/TC 335: Biocombustibles sólidos.
- [N-3] UNE EN 14774:2010. Biocombustibles sólidos. Determinación del contenido de humedad. Método de secado en estufa. Parte 1.
- [N-4] UNE EN 15148:2010. Biocombustibles sólidos. Determinación del contenido en materias volátiles.
- [N-5] UNE-EN 14775:2010. Biocombustibles sólidos. Método para la determinación del contenido en cenizas.
- [N-6] UNE-EN 15104:2010. Biocombustibles sólidos. Determinación del contenido total de carbono, hidrógeno y nitrógeno. Métodos instrumentales.
- [N-7] CEN/TS 14918:2005. Solid biofuels. Method for the determination of calorific value.
- [N-8] CEN/TS 15103: 2007. Solid biofuels - Methods for the determination of bulk density.
- [N-9] UNE EN 15150:2012. Biocombustibles sólidos. Determinación de la densidad de partículas.
- [N-10] UNE EN 14961-2:2012. Biocombustibles sólidos. Especificaciones y clases de combustibles. Parte 2: Pélets de madera para uso no industrial.
- [N-11] UNE EN 14961-6:2012. Biocombustibles sólidos. Especificaciones y clases de combustibles. Parte 6: Pélets no leñosos para uso no industrial.
- [N-12] UNE EN 16127:2012. Biocombustibles sólidos. Determinación de la longitud y el diámetro de pellets.

- [N-13] UNE EN 14961-1:2011. Biocombustibles sólidos. Especificaciones y clases de combustibles.
- [N-14] UNE EN 15210:2010. Biocombustibles sólidos. Determinación de la durabilidad mecánica de pélets y briquetas. Parte 1: Pélets.
- [N-15] ÖNORM M 7135:2000. Compressed wood and compressed bark in natural state – Pellets and briquettes
- [N-16] ÖNORM M 7136:2010. Requerimientos de calidad de la logística y transporte de los pellets de madera.
- [N-17] ÖNORM M 7137: Requerimiento de calidad del almacenamiento del consumidor final de pellets de madera.
- [N-18] SS 187120:1998. Solid biofuels and peat – Pellets- Clasificación
- [N-19] DIN 51721:2010. Standard of wood pellets.
- [N-20] DIN Plus.
- [N-21] CTI R04/05:2004. Caracterizzazione del pellet a fini energetici.
- [N-22] UNE EN 14961-2:2012. Biocombustibles sólidos. Especificaciones y clases de combustibles. Parte 2: Pélets de madera para uso no industrial.
- [N-23] UNE 9-001: 1987. Calderas. Términos y definiciones.
- [N-24] UNE EN 15289:2010. Biocombustibles sólidos. Determinación del contenido total de azufre y cloro.

WEB

- [W-1] <http://www.eurobserv-er.org/pdf/baro212biomass.pdf>. Último día 11/08/2014
- [W-2] <http://www.greenplus.com.pa/es/productos/biocombustible-solido>. Último día 4/08/2014.
- [W-3] http://www.pfeifergroup.com/fileadmin/user_upload/PDFs/Datenblaetter_12-2012/Pfeifer%20Pellets%20Briketts%20ESP.pdf. Último día 4/08/2014.
- [W-4] <http://www.apea.com.es>. Último día 29/07/2014

- [W-5] <http://www.accion-energia.es>. Último día 11/08/2014
- [W-6] http://energipelletgarulo.com/separador_balas_paja.php.
Último día 11/08/2014
- [W-7] <http://www.pelletproductionline.es/pellet-mill.html>.
Último día 11/08/2014
- [W-8] <http://www.cartif.com/laboratorios-acreditados/>
Último día 11/08/2014
- [W-9] [http://www.cve.es/cve2011/wp-content/uploads/2011/05/
TABLAS-SALARIALES-2012-CCP-DE-LA-INDUSTRIA.pdf](http://www.cve.es/cve2011/wp-content/uploads/2011/05/TABLAS-SALARIALES-2012-CCP-DE-LA-INDUSTRIA.pdf)
Último día 28/07/2014
- [W-10] [http://www.bioenergyinternational.es/noticias/News/show/
sarmientos-de-vina-aprovechamiento-energetico-194](http://www.bioenergyinternational.es/noticias/News/show/sarmientos-de-vina-aprovechamiento-energetico-194)
Último día 30/07/2014
- [W-11] [https://www.mixbiopells.eu/Best_practice_pelletising
_PRO_ES.pdf](https://www.mixbiopells.eu/Best_practice_pelletising_PRO_ES.pdf)
Último día 30/07/2014
- [W-12] <http://1additiqigrupod.wordpress.com/2009/10/>
Último día 13/08/2014
- [W-13] [http://epsem.upc.edu/~intercanviadorsdecalor/
castella/torres_refredament.html](http://epsem.upc.edu/~intercanviadorsdecalor/castella/torres_refredament.html)
Último día 13/08/2014
- [W-14] <http://ecoingenieria.homestead.com/files/tiroforzado.htm>
Último día 13/08/2014
- [W-15] <http://www.dipsanet.es/lonja/>
Último día 28/07/2014

ANEXOS

ANEXOS

ANEXOS

ANEXO I:
INFORME DE CONFORMIDAD
PARA PRODUCTORES DE
PELLETS

Entidad Certificadora:	Fecha de la inspección:
Productor de Pellet Certificado	
Compañía:	Dirección:
Instalación(Fábrica):	Dirección:
ENplus ID:	Director Calidad:
Producto	
Marcas . . . . .	. . . . .
comerciales: . . . . .	. . . . .
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Clases de	ENPlus-A1 ENPlus-A2 EN-B Otros
Calidad:	
Producción (año pasado):A1: t(tn métricas) A2: t B/otros: t	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pellets ensacados:	sí no → adjuntar una reproducción o foto de cada diseño del saco
Huella de carbono:	g CO ₂ /kg pellets
Materia prima	
Origen: . . . . .	. % madera virgen (1.1) % Sub-prod (1.2) % madera
. . . . .	. . . . . reciclada (1.3)
Sostenibilidad: . . . . .	. % de (1.1) de orígenes % de (1.2) de Cadena de Custodia
. . . . .	. certificados
Especies: . . . . .	. % abeto % pino % frondosa % otra materia
Aditivos:	p-% de pellets Tipo de Aditivos:
Almacenaje y reparto	
Cap. De almacén de pellet: A1: . . . . .	. tn métricas <input type="checkbox"/> silo <input type="checkbox"/> nave
.	A2:
. . . . .	. tn métricas <input type="checkbox"/> silo <input type="checkbox"/> nave
Reparto directo a clientes finales:	sí no
Quejas (clientes):	número: aceptadas: rechazadas:

Resultado de la auditoría	
Organización de Inspección :	Auditor:
No-conformidades graves:	<input type="checkbox"/> sí <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> solventadas
Descripción de las no-conformidades y medidas tomadas:	
No-conformidades leves:	<input type="checkbox"/> sí <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> solventadas
Descripción de las no-conformidades y medidas tomadas:	
<hr/>	
La producción de la presente instalación es conforme a los requerimientos del sistema de certificación ENplus® tal y como se especifican en el manual ENplus®.	
<input type="checkbox"/> sí	<input type="checkbox"/> no
_____	_____
(lugar y fecha)	(firma y sello de la empresa)
Anexos	
<input type="checkbox"/> resultados del laboratorio	(uno por cada clase de calidad de pellets ensacados y a granel)
<input type="checkbox"/> facsímiles de sacos	(uno por cada diseño de saco)
- Enviar al Representante Nacional o EPC -	

ANEXO 2:
INFORME DE CONFORMIDAD
PARA COMERCIALIZADORES DE
PELLET

Entidad Certificadora:	Fecha de la inspección:			
Productor de Pellet Certificado				
Compañía:	Dirección:			
Instalación(Fábrica):	Dirección:			
ENplus ID:	Director Calidad:			
Producto				
Marcas			
comerciales:			
Clases de	ENPlus-A1	ENPlus-A2	EN-B	Otros
Calidad:				
Producción (año pasado):A1: t(tn métricas)	A2: t	B/otros: t		
Pellets ensacados:	sí	no	Cantidad comercializada t	
con Id. propio				
(año pasado)				
Suministro pellets				
Proveedores:	prod. Certificados	comerc. Certificados	vend. No-certificados	
ENplus-IDs de los			
Proveedores			
Almacenaje y reparto				
Cap. De almacén de pellet: A1: . . . . .	. tn métricas	silos	nave	
A2: . . . . .	. tn métricas	silos	nave	
Quejas (clientes):	número:	aceptadas:	rechazadas:	
Causas de las quejas:	finos:	% de quejas	sobre-medida:	% quejas
	olor:	% de quejas	durabilidad:	% quejas
	otras:			

Resultados de la auditoría

Organización de Inspección: _____ Auditor: _____

No-conformidades graves: sí no solventadas

Descripción de las no-conformidades y medidas tomadas: _____

No-conformidades leves: sí no solventadas

Descripción de las no-conformidades y medidas tomadas: _____

El presente comercializador de pellets es conforme a los requerimientos del sistema de certificación ENplus® tal y como se especifican en el manual ENplus®.

sí no

_____ (lugar y fecha) _____ (firma y sello de la empresa)

Anexos

- listado de almacenes (operador, dirección, capacidad) → *marcar los verificados en la auditoría*
- listado de vehículos de reparto (propietario, matrícula, localización) → *marcar los verificados en la auditoría*
- listado de sub-licencias (Nombre de compañía, fecha contrato)

- Enviar al Representante Nacional o EPC -

ANEXO III:
LISTA DE COMPROBACIONES DE
UNA ENTREGA



ANEXO III

En referencia la Norma UNE EN 14961, ésta marca la necesidad de que exista un documento informativo de comprobación de entrega de mercancía, donde se marque tanto como es el almacenaje como la entrega de los mismos. Uno de los posibles ejemplos a complementar es el que se expone en este tercer anexo.^{[N-10],[N-11]}

No. Matrícula del Vehículo de entrega: _____

Cliete: _____

Dirección: _____

Cantidad contratada: _____

Calidad ENplus® certificada: A1 A2 B Diámetro ___ mm.

ENplus® ID: _____ Referencia de la muestra: _____

Almacenamiento

Tipo de silo: de obra textil container silo enterrado
 otro: _____

Capacidad: _____ tns métricas Cantidad restante: _____ tns métrica

Calidad de la cantidad restante: buena media mala

Conformidad: almacén de acuerdo a la guía ENplus alfombras impacto

Ventilación en el almacén: tapa ventilada otro tipo ventilación no

Inspección del sistema de calefacción: apagado encendido

Sistema descarga: succión tornillo otro

Entrega

Estado de la caldera: apagado encendido

Longitud de la manguera de llenado: ___ m. N.. de codos de la manguera: ___x 45° ___x 95°

Longitud de la tubería entre el conector y el almacén: _____ m.

Curvas en la tubería de soplado: sí / número: _____ no

Presión de soplado: _____ bar Tiempo soplado: _____ minutos

Silos completos después de llenado: sí no

Posibilidad de tráiles: sí no

Comentarios: _____

Sólo se utilizarán pellets en los sistemas de combustión aprobados de acuerdo con las especificaciones del fabricante y de acuerdo a la legislación vigente - Los pellets deberán ser almacenados en un lugar seco - Las instalaciones de almacenamiento deben estar bien ventiladas.

(Fecha y lugar)

(Firma Conductor)

(Firma consumidor)

Nota: El espacio de almacenamiento del silo debe ser el adecuado para el llenado con un camión cisterna. Puede ocurrir un exceso de presiones y bajas presiones. Dado que no tenemos ninguna influencia sobre el estado del espacio de almacenamiento, no se hace responsable de los daños que se producen durante el proceso de soplado. De acuerdo con los conocimientos adquiridos en los últimos años, se recomienda un vaciado completo y limpieza del espacio de almacenamiento después de cada entrega, a más tardar el segundo.

ANEXO IV:

TORRES DE

ENFRIAMIENTO

Las torres de enfriamiento son estructuras utilizadas para refrigerar principalmente agua a temperaturas próximas a las ambientales. Se emplean principalmente para la disminución de la temperatura del agua de refrigeración utilizada en plantas de generación de energía y en otras instalaciones. Usando las torres de enfriamiento se obtienen las temperaturas más bajas que se pueden dar con el ambiente. Se tienen diferentes tipos de torre de enfriamiento, a continuación se explican cada uno de ellos.^[W-11]

IV.1 Torres de circulación natural

IV.1.1. Torres atmosféricas

Estas torres realizan el proceso de enfriamiento mediante un flujo cruzado del agua y de la corriente de aire. La corriente de aire es totalmente natural, depende de las condiciones de viento que se den en ese momento en el exterior de la torre y su única regulación consiste en unos deflectores que orientan la corriente de aire, pudiendo impedir su paso si es necesario. Estas torres tienen un buen funcionamiento cuando se dan las condiciones atmosféricas adecuadas, es decir, buenas condiciones de viento. En la Figura IV.1 se muestra un esquema de una torre de enfriamiento atmosférica.

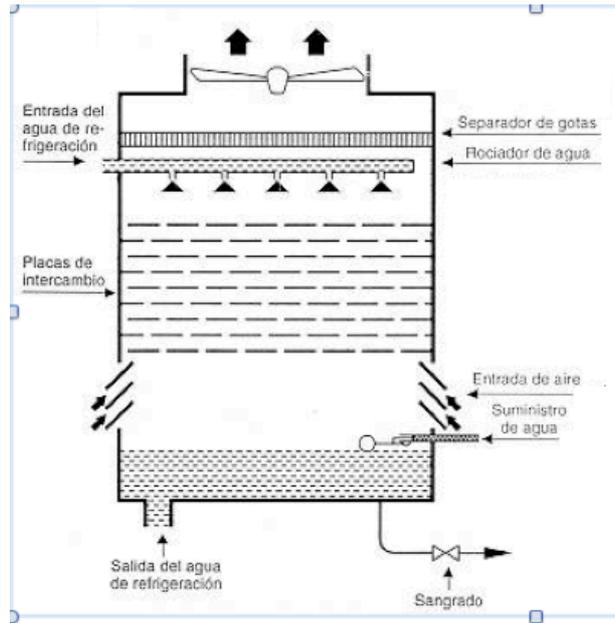


Figura IV.1 Torre de enfriamiento atmosférica.

IV.1.2 Torres de tiro natural

En estas torres el flujo necesario se obtiene como resultado de la diferencia de densidades; entre el aire más frío del exterior y húmedo del interior de la torre. Utilizan chimeneas de gran altura para obtener el tiro deseado. La presión es directamente proporcional a la altura y la densidad. En la Figura IV.2 se presenta una torre de enfriamiento de tiro natural. ^{[W-11],[W-12]}

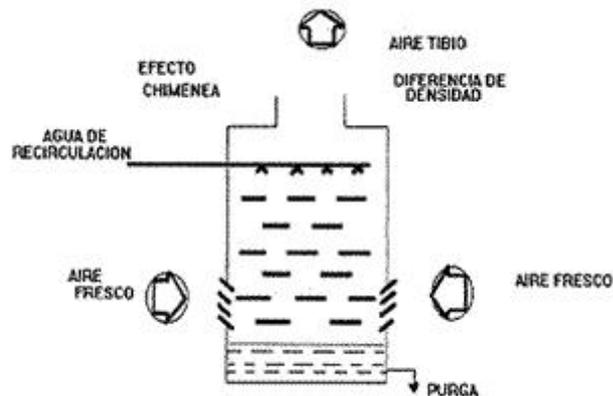


Figura IV.2 Torre de enfriamiento de tiro natural. ^[W-12]

IV.1.3 Torres de tiro mecánico

El agua caliente que llega a la torre puede distribuirse por boquillas aspersoras o compartimentos que dejan pasar hacia abajo el flujo de agua a través de unos orificios.

El aire usado para enfriar el agua caliente es extraído de la torre en cualquiera de las tres formas siguientes, en los tres casos se utilizan ventiladores para mover el aire que atraviesa la torre.

IV.2 Torres de tipo forzado

En estas torres, los ventiladores se encuentran situados a la entrada de las mismas y sólo impulsan el aire. Este tipo de torres presentan el inconveniente de que, en ellas, se suele producir recirculación del aire caliente y húmedo (expulsado previamente), lo que hace que se disminuya su eficacia. En la Figura IV.3 se muestra una torre de enfriamiento de tiro forzado.

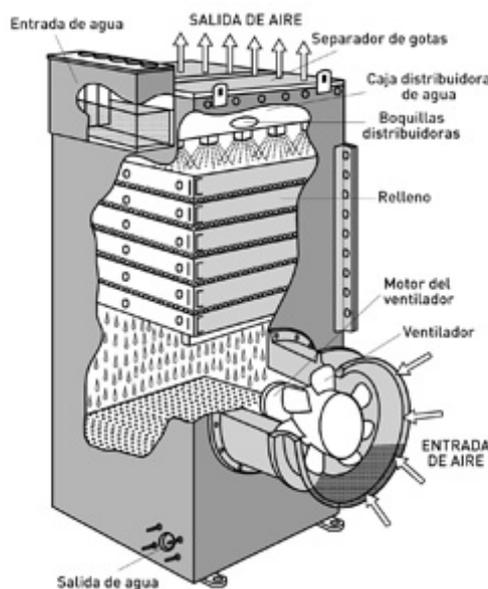


Figura IV.3 Torre de enfriamiento de tiro forzado.^[W-11]

IV.2.1 Torres de tiro inducido en contracorriente

El flujo a contracorriente significa que el aire se mueve verticalmente a través del relleno, de manera que los flujos de agua y de aire tienen la misma dirección pero sentido opuesto (Figura IV.4). La ventaja que tienen este tipo de torres es que el agua más fría se pone en contacto con el aire más seco, lográndose un máximo rendimiento. En éstas, el aire puede entrar a través de una o más paredes de la torre, con lo cual se consigue reducir en gran medida la altura de la entrada de aire. Además, la elevada velocidad con la que entra el aire hace que exista el riesgo de arrastre de suciedad y cuerpos extraños dentro de la torre. La resistencia del aire que asciende contra el agua que cae se traduce en una gran pérdida de presión estática y en un aumento de la potencia de ventilación en comparación con las torres de flujo cruzado.

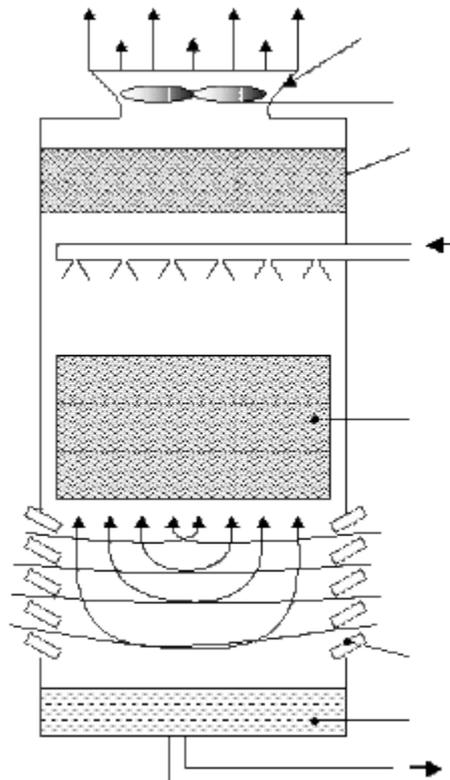


Figura IV.4 Torre de tiro inducido en contracorriente.^[W-14]

IV.2.1 Torres de tiro inducido tipo cruzado

Debido a su configuración este tipo de torres presenta un tamaño inferior al de las torres en contracorriente además de tener un mantenimiento más económico. Requieren el empleo de ventiladores especiales para su correcto funcionamiento, entrando el aire por los lados horizontales. Las corrientes de aire laterales se unen en una cavidad interna y dejan la torre por su parte superior, haciéndose necesario más flujo de aire, el cual tiene una mayor velocidad. La figura IV.5 muestra una torre de enfriamiento de tiro inducido en flujo cruzado.

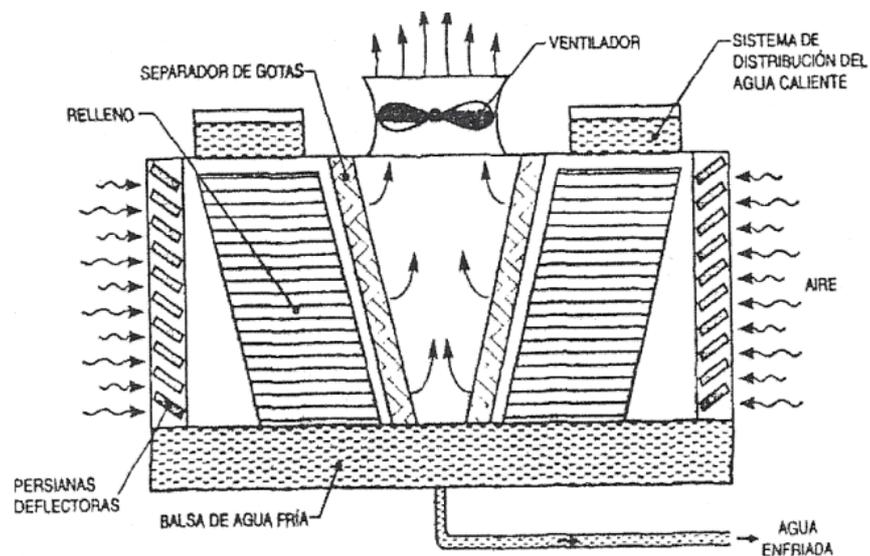


Figura IV.5 Torre de tiro inducido en flujo cruzado. [W-14]

ANEXO V:

ÍNDICE DE CALIDAD DE LOS PELLETS DE PAJA DE CEREAL Y DE MADERA



ANEXO V

En este anexo se calcula el índice de calidad de algunos pellets, cuyas materias primas son diferentes.

Previamente, se ha de recordar como las características que definen a un pellet varían con las propiedades de la materia prima: ^[11]

- i) Aumenta con su poder calorífico superior, es decir, a igualdad de masa y humedad (0%), cuanto mayor es la energía desprendido en la combustión, mejor es el pellet.
- ii) Aumenta con su densidad, es decir, cuanta más materia mineral tenga el pellet su combustión
- iii) Disminuye con su contenido en materia mineral, es decir, cuanta más materia mineral tenga el pellet, su combustión producirá más cenizas que habrá que retirar.
- iv) Disminuyen con su friabilidad, es decir, con su facilidad a desmenuzarse. Dicho de otro modo, cuanta menos presión tienen los componentes que lo conforman.

Con estas premisas, se define el índice de calidad energética del pellets (ecuación i.1) como:

$$ICP_M = (K_1 \cdot PCS + K_2 \cdot D + K_3 \cdot (1 - M)) / ((1 - H_h) \cdot FR) \quad (\text{e.v.1})$$

donde:

K_1 : primera constante con valor 1/18.810. [Kg/MJ]

PCS: poder calorífico superior. [kg/KJ]

- K_2 : segunda constante de valor 1. [dm^3/kg]
- D : densidad [kg/dm^3]
- K_3 : tercera constante de valor uno. [Adimensional]
- M : es el tanto por en materia mineral
- H_h : humedad en base húmeda [Adimensional]
- FR : friabilidad calculada como $FR = N_f / N$, donde son, respectivamente el número de pellets al final y al inicio del ensayo, dejando caer los mismos desde cierta altura. [Adimensional]

Con todo esto, calculado el índice de calidad, se tiene lo que se puede ver en la Tabla V.1.

Tabla V.1. Resultados de las características propias de las materias primas a estudiar. ^[11]

		PAJA DE CEREALES				MADERA
VARIABLE	UNIDAD	TRIGO	CEBADA	AVENA	MEDIO	MEDIO
PCS	Kcal/kg	4.867	4.752	4.506	4.708	4.732
DENSIDAD	Kg/dm^3	1,095	1,051	1,079	1,075	1,075
MAT.MINERAL	%1	0,077	0,050	0,050	0,046	0,035
HUMEDAD	%1	0,078	0,047	0,054	0,060	0,060
FRIABILIDAD	%1	1,353	1,259	1,759	1,457	1,06
ICP_M	Adimensional	2,492	2,548	1,822	2,287	2,751
$ICP_{M \text{ RELATIVO}} (*)$	Adimensional	1,368	1,398	1,000	....	....

(*) Se toma como referencia el ICP_M de la avena

Observamos que el índice de calidad de las materias primas estudiadas es mayor para el caso de la cebada (obviamos el caso de la madera, que como es de esperar es aún mayor). De entro todos los parámetros ensayados,

destacamos que el que más poder calorífico tiene es el trigo, pero como la humedad es menor para el caso de la cebada, y este parámetro forma parte del denominador, nos produce un resultado mayor para este último. La avena ha sido tomada como referencia pues es la que menor valor toma entre todos. Por otro lado, ambos presentan un índice inferior al de la madera, principalmente, por su mayor friabilidad, característica que puede ser mejorada para el caso de la paja gracias a la adicción de conglomerantes naturales, que no introduzcan variaciones en la composición mineral de las que parten dichas las materias primas que formarán los pellets, es decir, que no se consideren contaminantes.

ANEXO V: FLUCTUACIONES EN EL MERCADO DE LA PAJA

Como sabemos, los mercados se rigen por la ley de la oferta y la demanda, las cuales varían de acuerdo a las funciones que las describen. Definiendo el término demanda diremos que; son las distintas cantidades alternativas de un bien o servicio que los consumidores están dispuestos a comprar a los distintos precios, manteniendo todos los demás determinantes constantes en un tiempo determinado. Luego señalamos que la ley de la demanda varía en relación inversa al precio, manteniendo invariables los otros determinantes (recta que se gráfica). Por otro lado, en lo que a oferta se refiere, lo definiremos como las distintas cantidades de un bien o servicio que los productores están dispuestos a llevar al mercado a distintos precios, manteniéndose los demás determinantes invariables. Así, la ley de la oferta variará de forma directa con el precio (recta que también se grafica)

Ambas leyes son representadas en la Figura V.1, la cual tiene un punto de intersección que representa la situación del mercado (precio del producto y cantidad ofrecida en el mismo) [12]

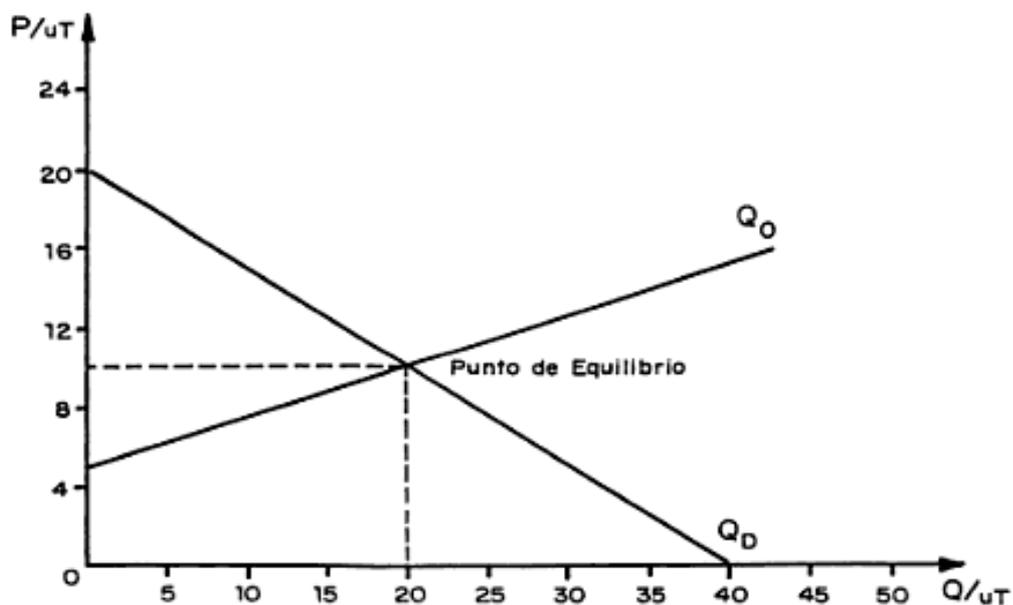


Figura V.1 Punto de equilibrio en un mercado.[12]

Extrapolando esta teoría expuesta al mercado de las forrajeras, podemos ver como las variaciones van en función de la oferta existente, protagonizada principalmente por periodos de sequía o escasas de lluvias. Así, en la Figura V.2, podemos ver como quedan recogidas esas oscilaciones en las cotizaciones, en un periodo de diez años atrás, en la Lonja de Salamanca. [W-15]

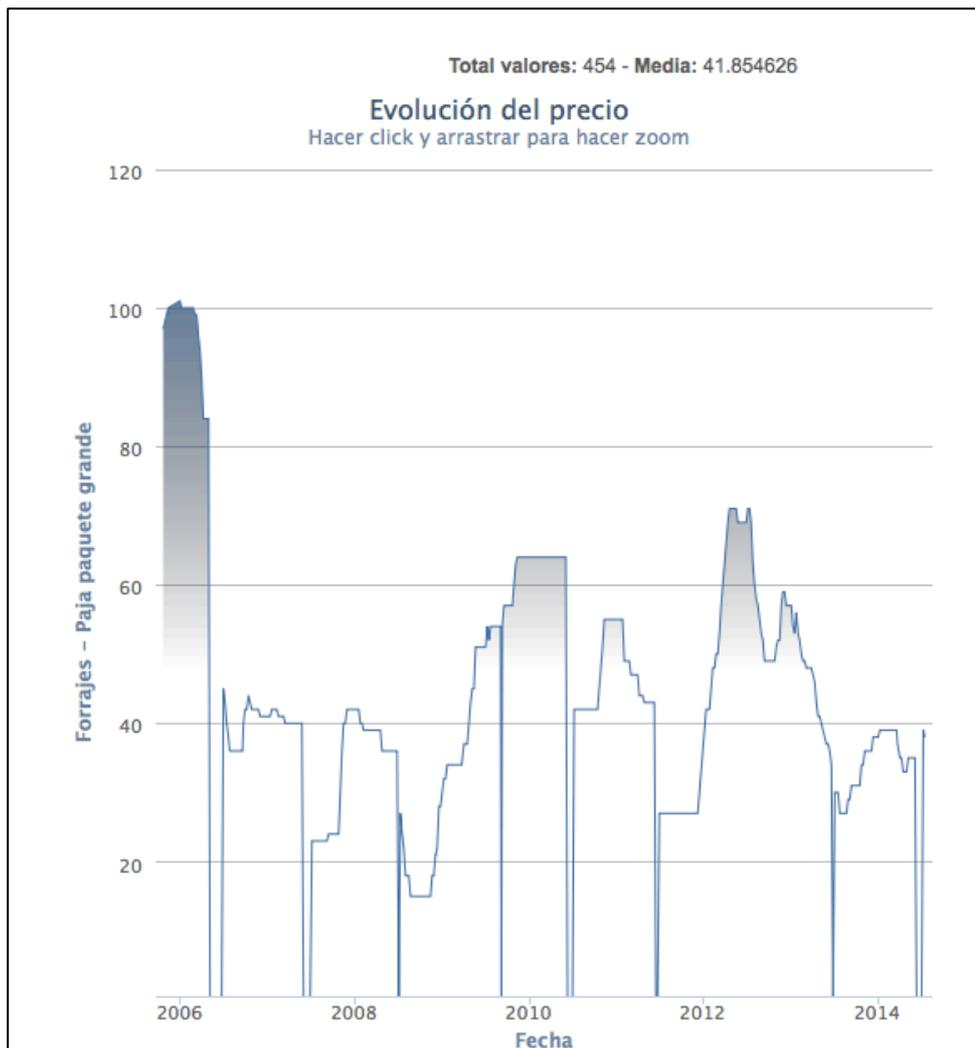


Figura V.2 Evolución del precio de la forraje (cereal) según la demanda. [W-15]

A fecha de hoy, la paja se sitúa en 38 €/tonelada, en un mercado que cotiza a la baja, con importantes variaciones en función de la demanda que ofrezca la sociedad y la oferta que puedan establecer los productores. Su usabilidad

se sitúa a caballo entre ser fuente alimentaria para el ganado y la apertura de puertas futuras en el sector energético renovable, si bien no debemos olvidar su principal funcionalidad.

