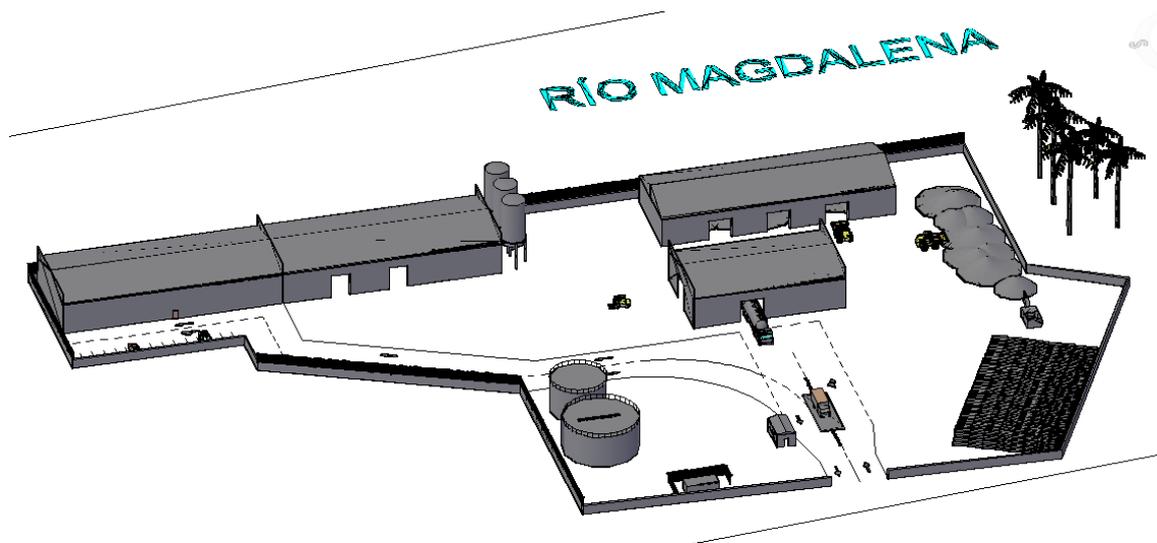




ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA CREACIÓN Y EXPLORACIÓN DE UNA PLANTA DE PROCESAMIENTO DE BIOMASA EN COLOMBIA.

VIABILITY STUDY FOR BUILDING AND OPERATING A BIOMASS PROCESSING PLANT IN COLOMBIA.



Autor	<i>Raúl González San Emeterio</i>
Titulación	<i>Grado en Ingeniería de los Recursos Energéticos</i>
Tutores	<i>Pablo Castro Alonso y Juan Manuel Calvo Holguín</i>



RESUMEN

El empleo de la biomasa como combustible es una solución energética ya implantada en la sociedad, pudiendo encontrar multitud de productos obtenidos a través de este recurso por medio de diferentes procesos termoquímicos o bioquímicos en ambientes específicos. Del mismo modo, en este campo se pueden incluir los combustibles sólidos con fines térmicos, como el pellet proveniente de los desechos de biomasa.

El objeto del estudio será determinar la viabilidad para la creación y explotación de una planta de procesamiento de biomasa en Colombia. Se pretende producir pellet a partir de los recursos de biodiversidad del país sudamericano para su posterior comercialización.

Tras un exhaustivo análisis del país, se ha encontrado en la Región Andina, más concretamente en el departamento del Santander, un municipio llamado Puerto Wilches, que reúne las condiciones óptimas para situar la planta de procesamiento de biomasa.

Puerto Wilches posee un motor de desarrollo económico basado en la explotación de las plantaciones de *Palma de Aceite Africana*, que es una planta arbórea oleaginosa para la obtención del aceite de palma. Dicho producto resulta de gran valor comercial debido a la multitud de aplicaciones que posee, fundamentalmente en la industria alimentaria. Además de encontrar en las inmediaciones de Puerto Wilches hasta 11000 hectáreas de recurso disponible, el municipio se encuentra a orillas del Río Magdalena, un imponente río navegable que permitirá la distribución del pellet producido hasta el puerto de Barranquilla, del que saldrá marítimamente hacia el continente europeo.

La materia prima será adquirida de forma gratuita gracias a la colaboración con las asociaciones de palmicultores de la zona. Éstos permitirán la extracción del recurso a coste cero una vez se haya cumplido el ciclo de explotación del mismo, situado en 20 años. Transcurrido este tiempo se procederá a la tala y replantación para un nuevo ciclo.

El pellet es un combustible sólido producido a partir de la compactación del serrín producido a partir de la trituración y molienda de recursos arbóreos, ya sean tratados o no. En su producción encontramos diversas etapas, que dependiendo de la correspondiente consideración con las que sean atendidas, supondrán la calidad final del producto.

Además de la elección del recurso o materia prima a emplear y el producto a obtener, el desarrollo del proyecto supone el propio diseño infraestructural y distributivo de la planta de procesamiento, la elección de maquinaria y materiales de



construcción, la elección del proceso productivo y logístico empleado, un análisis del abastecimiento energético necesario y disponible, y un paréntesis dedicado a las posibles mejoras de futuro. A fin de sintetizar este anejo se realiza una breve descripción de los aspectos más relevantes:

- Se ha seleccionado una parcela de aproximadamente 18000m² en la que se requiere de un acondicionamiento del suelo y una obra civil para la creación de las siguientes zonas:
 - o Vallado perimetral, módulo de seguridad y báscula para pesaje de camiones.
 - o Zona de almacenamiento primario y trituración inicial.
 - o Nave de desecación previa.
 - o Nave de la línea de producción
 - o Nave de oficinas y vestuarios
 - o Nave de almacenamiento de productos.
 - o Otras (taller, zona de vehículos, Centro de transformación...).
- Se establecerán las principales características técnicas del recurso, como la densidad y el poder calorífico, valoradas en 635 kg/m³ y 5,23 kWh/kg respectivamente. Los rangos de producción se situarán en 2Tn/h, con una producción ininterrumpida durante todo el año.
- Atendiendo a las diferentes etapas relacionadas con la producción del pellet, se ha seleccionado, entre otros elementos de enlace, la siguiente maquinaria:
 - o Triturador/Astilladora de martillos.
 - o Silo de almacenamiento.
 - o Secador de tambor.
 - o Peletizadora.
 - o Enfriador de pellet.
 - o Ensacadora.
- La maquinaria y vehículos implicados en la logística operacional de la planta están representados por los camiones para la carga y transporte de material, el vehículo auto procesador forestal para tala de árboles, las palas cargadoras, y la maquinaria manual de corte y desbroza.
- La materia prima serán los troncos de la palma, que se transportarán íntegramente hasta la planta, desechando la pre-trituración en campo por la alta densidad del material.
- El producto se presentará comercialmente en dos formatos: Sacos de 15 kg y Big-Bag de 1 Tn.
- La distribución del producto se realizará mensualmente contenedores marítimos de 40 pies, lo que supondrá entre 1000 y 1500 Tn de producto. Una barcaza los transportará a través del Río Magdalena hasta el puerto marítimo de Barranquilla.
- Colombia, y más concretamente el Departamento de Santander, cuenta con la electrificadora ESSA, para suministrar energía eléctrica a la fábrica.



- Como posibles mejoras de futuro se han ideado varias vías: creación de un cargadero fluvial propio y creación de una planta piloto de pirolisis para la generación de otros productos.

El presupuesto necesario para la realización de este proyecto se ha desglosado en tres vertientes, obteniendo el resumen económico final del presupuesto que se muestra a continuación:

Presupuesto de ejecución	
Etapa previa	91 500 , 00 €
Obra civil	759 702, 00 €
Maquinaria	358 286 , 50 €
Total	1 209 488 , 50 €

Del mismo modo, se han establecido los costes de mantenimiento u operación de la planta una vez sea puesta en marcha. Éstos permitirán obtener estimaciones acerca del retorno de capital y los beneficios netos de la planta. El coste de mantenimiento mensual obtenido es:

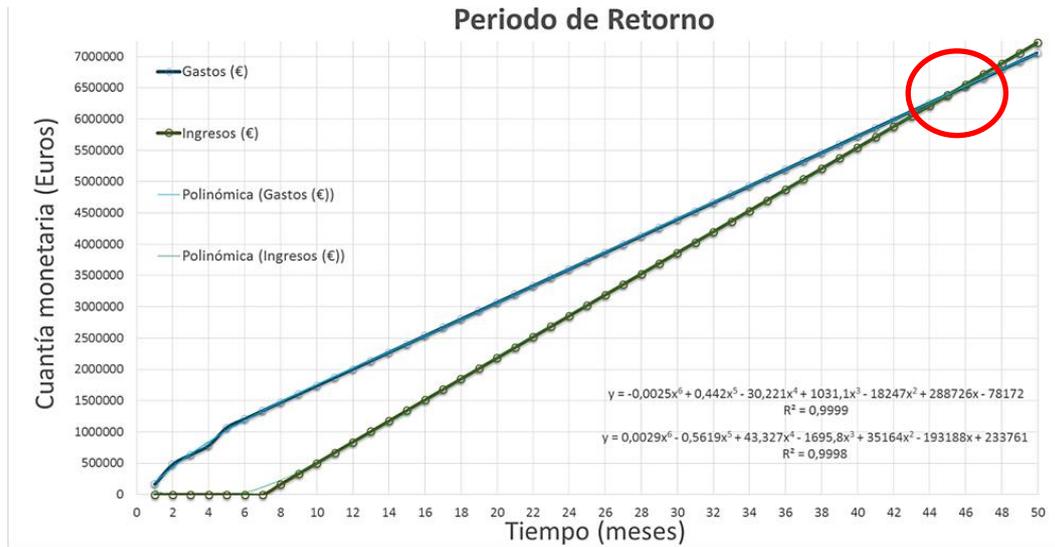
Costes de mantenimiento u operación (mensual)	
Costes de operación	132 887 , 00 €

Una vez realizado el diseño y establecida la estrategia y necesidades operacionales de la fábrica, se pasará a determinar la viabilidad final de la misma, siendo el aspecto más importante a tener en cuenta a la hora de dar validez a la ejecución del proyecto. Se subdividirá la viabilidad en varios ámbitos, descritos a continuación:

- Viabilidad operacional, entendiéndolo como tal la disponibilidad asegurada del recurso. Es decir, se ha determinado el abastecimiento asegurado de materia prima durante la explotación de la planta de procesamiento. Para ello se han utilizado datos tales como la superficie de plantaciones de palma, la densidad de plantación, el ritmo de producción y el ciclo de vida de las palmas. Se ha obtenido que la viabilidad para tal aspecto es favorable, al disponer de recursos suficientemente abundantes para asegurar el aporte continuado de materia prima.
- Viabilidad Técnica. Se estudiarán varias vías de viabilidad técnica, siendo las más importantes:
 - o La logística operacional de la zona, o más concretamente la posibilidad que se tiene de ejecutar el proyecto en el municipio de Puerto Wilches. Para ello se determinará la viabilidad sobre la distribución del producto a través del Río Magdalena o aspectos relativos a la geografía y



- geomorfología, tratando de esclarecer las condiciones del suelo o la presencia de seísmos en la zona.
- Seguidamente se estudiará la competitividad técnica del producto en el mercado, definida como viabilidad comercial del producto. El pellet comercial presenta unos valores técnicos de calidad que responden a unos estándares impuestos por la UE a través de la institución ENplus. Por las características de la materia prima empleada y el proceso utilizado se determina la certeza de que se podrá producir un pellet de alta calidad. Además, pese a realizar la producción en Colombia, a partir de la web ENplus europea, se podrá obtener el sello de certificación de calidad.
 - Otro aspecto, quizá el más importante a nivel técnico, es la obtención de unas garantías del suministro eléctrico. Para estudiar este aspecto se ha realizado un cálculo estimado de la potencia requerida por la planta. Se ha tenido en cuenta la maquinaria de la línea de producción, que representa el grupo de mayor consumo, y a continuación se ha hecho una estimación para el resto de equipos consumidores de energía. Se ha obtenido un parámetro final de potencia requerida de 420kW. El problema radica además en las distintas tensiones y frecuencia de servicio de los equipos. El conjunto de la maquinaria de producción trabajará en trifásica, 380V/50Hz, mientras que el resto de equipos lo hará en monofásico, 230V/50Hz. Por el contrario, los valores de red colombianos, se sitúan en 110V/60Hz. Todo ello se corregirá mediante la instalación de un centro de transformación adecuado para las características demandadas por el proyecto.
- Viabilidad económica. Finalmente se atenderá a la variante económica para la determinación de la rentabilidad final del proyecto. Se realizará un estudio de mercado del producto para establecer unos precios competitivos para la comercialización del pellet, en cualquiera de los formatos de presentación elegidos y a continuación se podrá realizar el cálculo de retorno de ingresos. De un modo conservador, y teniendo en cuenta la posibilidad de no vender todo el producto distribuido, se ha obtenido una cantidad mensual de 168000€. Gracias a este valor se puede calcular el periodo de retorno de capital, que se producirá la primera quincena del noveno mes del tercer año. Para ello se realizará una gráfica que enfrenta a una recta relacionada con los gastos del proyecto acumulados con otra que relaciona los ingresos acumulados (ambas respecto a un eje temporal mensual). En el punto de corte de ambas se producirá la amortización de la inversión, y a partir de ese momento se empezarán a generar ingresos netos, resultado de la diferencia entre los ingresos mensuales y los costes de mantenimiento, obteniendo un beneficio mensual de 35113€.



Representación gráfica de las rectas de Gastos/Tiempo e Ingresos/Tiempo. También se representan las líneas y ecuaciones polinómicas de ambas rectas.

Para concluir, a modo de resumen y cierre final se obtendrán una serie de conclusiones que analizarán fundamentalmente el anejo de viabilidad, así como otros aspectos surgidos durante la elaboración del estudio.



SUMMARY

The looking for of the new sustainability energy resources is a fact. Since the last years and with future vision too, renewable technologies are being develop, refusing the fossil fuel use.

The use of biomass as a fuel is a current solution that the society already employ. There are many products obtained through this resource. For this, several technologies are used, like thermochemical or biochemical processes. At the same, we can include solid biofuels for thermal use like the biomass pellet.

The project object will be determinate the viability for building and operating a biomass processing plant in Colombia. We pretend create pellet from Colombian biodiversity resources and commercialize it later.

After we made an analysis for the South American country, we have found a small village called Puerto Wilches on the Santander depart, in the Andine Region. Puerto Wilches has the optimal conditions to place the biomass processing plant.

Puerto Wilches has an economic power based on agriculture of oil palms for obtain palm oil. This product has a great market value due to it has several applications at food industry. In addition, to have near Puerto Wilches thousands hectares of resource, this village is on the shore of Magdalena River. The Magdalena River allows navigating and carrying the pellet from Puerto Wilches to Barranquilla's port, to navigate over the ocean to Europe.

The raw material will be obtain free due to the association with palms owners, who let our cut the trees when its cycle of life ends. This cycle has a duration of 20 years. After this time, they replant it.

The pellet is a solid fuel created from pressed sawdust, produced in the mill machine. There are several phases in the process. Depending on these phases, and the quality of resources, the product obtained will have different qualities. The products quality must have some standard ranges that are defining in different estates, such as ISO rules. ENplus institution regulates this.

In addition to resource choice, the raw material that we will use and the product that we will make, the project develop includes infrastructural design, the process design, machine choice, materials, operating system choice, and finally logistics strategy. Other things to considerate are energy feeding system and the possible future improvements. To sum up this part, we will describe the main points:

- The place selected is a great surface in Puerto Wilches, to shore Magdalena River. It has 18 000 m² approximately. We will need work in this surface to create all factory zones, that are described next:



- Perimeter fence, vehicle accesses, security module and truck weight machine.
- Raw resource storage and first mill zone.
- Natural pre-drying ship.
- Production line ship.
- Office and changing rooms ship.
- Products storage ship.
- Others (workshop, vehicle zone, transformation center ...)
- Technical characteristics are 635 kg/m³ for density resource and 5,23 kWh/kg for calorific power. Production range is 2 Tn/h, operating full time.
- Different machine have been selected for all process stages. The main elements are the next:
 - Wood chipper; Hammer mill.
 - Drum dryer.
 - Wood Pellet Mill (pellet machine).
 - Pellet Cooler.
 - Bag Pellet packing machine.
- The operating extraction logistics are the vehicles and machines employed for obtain raw material. These elements operate at the extraction process and carry raw material. It will be the palms cutter vehicle, storage and carry trucks, excavator, brush cutter...
- Raw material will be palm stems that will be carried fully from extraction place to biomass plant. Afterward, these stems will be pre-milled and them it will pass to natural pre-drying ship.
- The market presentation will be in two forms. On the one hand bags of 15 kg. On the other hand will have Big-Bag of 1Tn.
- For carry the products, we will use a half hundred of maritime containers about 40 feet. It will let carry about 1,000-1,500 Tn per month. A great platform ship will carry the pellet over Magdalena River to Barranquillas' port.
- The Santander department in Colombia has ESSA like Electricity Company that it will give power to biomass processing plant. Electrical ranges required will be obtained due to building a transform center into plant surface. In addition, a renewable power source, as photovoltaic solar panels will be probably use.
- Other possible future improves are the construction of own river port and container charge system, and the creating of a pyrolysis pilot plant.

For obtain the budget, we put attention in the different building stages and costs associates to the biomass plant. We will assume three main groups. Firstly, a budget to the previous stage. Secondly, design and building process, and thirdly a budget to machinery. The estimated budget is:

Performance Budget	
Previous stage	91, 500. 00 €



Design and building process	759, 702. 00 €
Machinery	358, 286. 50 €
Total	1, 209, 488. 50 €

In the same way, we will calculate the budget for operating costs. These will let us obtain the return period and net revenue for biomass processing plant. The monthly operating cost obtained is:

Operating cost (monthly)	
Operating cost	132, 887 . 00 €

When the design and strategy has been done, we will pass to determine the final study of viability. This part is the most important episode to consider in the project run. We will subdivide the viability in several terms, that they will be the next:

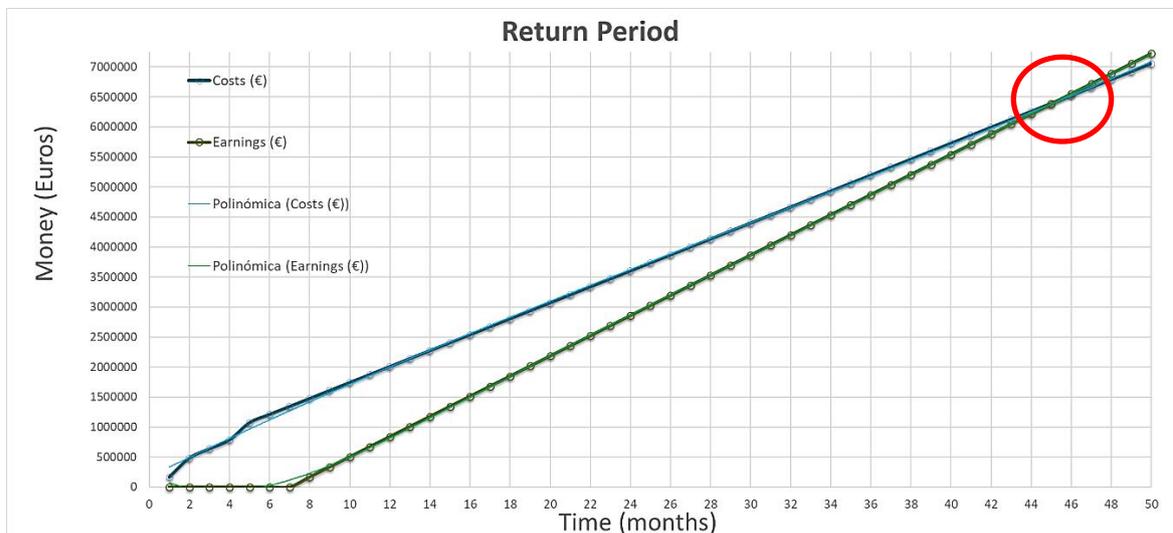
- *Operating viability.* Or in other words, the continuous availability of resources has been proven. For this estimate we have used several data which palm planting density, planting surface, the production rhythm and the palm cycle of life. We have obtain that the viability for this is favorable. We have enough resource for continuous raw material feed.
- *Technical viability.* For this, we will study several ways of technical viability.

The most importants are show next:

- o Firstly, the logisticts operation for work in this zone of Puerto Wilches. Por this, we have determinate the viability for product carries through Magdalena's River and other aspects like earthquakes and floor conditions.
- o Next, we have studied the technical parameters about the pellet to obtain a high quality for the market competitiveness. ENplus (for Europe) has standard technical values for the pellet quality. For our production process and raw material, we will ensure this quality guarantee. In addition, despite manufacturing in Colombia, ENplus Europa web let us obtain quality guarantee stamp.
- o Another fact, perhaps the most important, is to make sure you get the necessary and continuous power supply. To study this fact, we have to estimate the power that the plant needs. First, we deal with the production line machinery, which is the one that consumes the most energy. Next we will make another estimate list power need with the rest of electrical consumers elements. A final power parameter has been obtained. It's 420kW. On the other hand, we have several parameter services to operate. Production machines It works in three-phase system, 380V / 50Hz, while the rest of the elements will do it in a single-phase system, 230V / 50Hz. The problem is that the values of the Colombian electricity grid are 110V / 60Hz. The solution will be to install

a suitable electrical transformation center to obtain the electrical parameters required for this project.

- *Economic viability.* Finally we will study the economical aspect. The goal is to determinate the final rent to this project. First, we will make a market study to establish pellet prices. Next we can perform the calculation to return period. For this we need to know the value of the monthly net income. This is € 168,000. Then we can get the return period, estimated for the ninth month of the third year. In the axis graphic below, we have time (monthly), and money (Euros). The lines show the line of accumulated costs and acumulated earnings. The point where it crosses, will be de return period. From this moment we will obtain net gains, relating this with operating costs. The net profit value obtained monthly is € 35,113.



Graphic lines representation about costs/time and earnings/time. Polynomial equations are also included.

To sum up we will use the viability study, and other ideas happened during the study making, to obtain the final conclusions.



ÍNDICE GENERAL

Documento 1. Memoria

Documento 2. Planos



ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA CREACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE UNA PLANTA DE
PROCESAMIENTO DE BIOMASA EN COLOMBIA.

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE MINAS Y ENERGÍA



DOCUMENTO 1. Memoria



5.3.4	Almacén del producto.....	83
5.3.5	Distribución.....	85
5.3.5.1	Marítima.....	86
5.3.5.2	Terrestre.....	92
5.4	Energía.....	92
5.4.1	Distribución eléctrica.....	92
5.4.1.1	Centro de transformación.....	94
5.4.2	Planteamiento de una Solución energética eficiente mediante aprovechamiento solar.....	95
5.4.3	Combustible líquido.....	95
5.5	Propuestas de mejora futuras.....	96
5.5.1	Cargadero fluvial propio.....	96
5.5.2	Planta de pirolisis.....	96
5.5.3	Posibles problemas de continuidad productiva.....	97
6.	Presupuesto.....	98
6.1	Consideraciones previas.....	99
6.2	Presupuesto de ejecución.....	99
6.2.1	Etapa previa.....	100
6.2.2	Obra civil.....	100
6.2.3	Maquinaria.....	102
6.3	Costes de operación.....	104
6.4	Resumen.....	105
7.	Viabilidad.....	106
7.1	Viabilidad operacional.....	107
7.2	Viabilidad técnica.....	109
7.2.1	Viabilidad técnica comercial. Calidad del producto.....	113
7.2.2	Viabilidad técnica del suministro eléctrico.....	119
7.2.3	Viabilidad técnica del sistema de aprovechamiento solar fotovoltaico	123
7.3	Viabilidad económica.....	124
7.3.1	Periodo de Retorno; VAN Y TIR.....	130
8.	Conclusiones.....	136
9.	Bibliografía.....	141



Índice de figuras y tablas.

1. INTRODUCCIÓN.

<i>Fig1. Esquema de las energías renovables.....</i>	<i>19</i>
<i>Fig. 2. Extracto de la primera hoja del BOC, de la orden INN/28/2016, que establece las bases de subvenciones a actuaciones de energías renovables y ahorro y eficiencia energética en Cantabria.....</i>	<i>20</i>
<i>Fig. 3. Regiones y departamentos de Colombia.....</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 1. Algunos datos de interés sobre Colombia (Wikipedia).....</i>	<i>25</i>
<i>Fig. 4. Decreto 2143 de 4 de noviembre, aplicable a partir de febrero de 2016, por el que se establecen incentivos tributarios para promover las fuentes no convencionales de energía.....</i>	<i>26</i>
<i>Fig. 5. Titulares del portal portafolio.co.....</i>	<i>27</i>

3. ESTADO DEL ARTE.

<i>Tabla 2. Algunos ejemplos de los numerosos modelos disponibles en el mercado.....</i>	<i>35</i>
<i>Fig. 6. Caldera domestica de pellet, en la que se muestra la necesidad de apilar el combustible. Fuente (ecologismos.com).....</i>	<i>37</i>
<i>Fig. 7. Estufa de biomasa, que utiliza Pellet como combustible. Fuente (Media Markt).....</i>	<i>37</i>
<i>Fig. 8. Pellets (Fuente: Palser.eu).....</i>	<i>38</i>
<i>Fig. 9. Obtención del pellet al paso por la matriz (http://millingandgrain.co).....</i>	<i>39</i>
<i>Fig. 10. A la Izda. se muestra el ensacado y a la Dcha. la carga telescópica. (Fuente: Pelletsasturias.com).....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 3. Evolución de precios del pellet en España hasta el primer trimestre del 2016. Fuente (Bioenergy International).....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 4. Ventajas e inconvenientes del pellet.....</i>	<i>41</i>

4. LOCALIZACIÓN.

<i>Fig. 11. Situación de los diferentes núcleos palmeros, diferenciada cromáticamente por regiones. Las zonas palmeras son reconocidas por Fedepalma y/o el Registro Nacional Palmicultor. (Fuente: Fedepalma).....</i>	<i>47</i>
<i>Fig. 12. Río Magdalena. (Fuente: El Heraldo).....</i>	<i>48</i>
<i>Fig. 13. Mapa político de Colombia, en el que se distingue la división en departamentos, destacando el departamento de Santander. (Fuente: essa.com).....</i>	<i>49.</i>



Fig. 14. Mapa político del Departamento de Santander, en el que se distingue la división en provincias. Señalado el municipio de Puerto Wilches. (Fuente: Emaze.com).....50.

Fig. 15. Ortofoto de puerto Wilches donde aparece sombreada la parcela que se ha elegido para situar la planta. (Fuente:GoogleMaps).....51

5. DESARROLLO.

Fig. 16. Planta de palma de aceite africana en sus primeros años de vida. (Fuente: etawau.com).....54

Fig. 17 . Cultivo de la palma africana, en el que se puede apreciar la altura que va alcanzando la planta con los años de explotación. (Fuente: <http://tropical.theferns.info>).....54

Fig. 18. Racimos de fruto apilados tras su recogida. (Fuente: Fedepalma)55

Fig. 19. Ortofoto de una explotación palmera en la zona central de Colombia, más concretamente en el departamento de Santander (junto al municipio de Puerto Wilches). Se añade una medición de la distancia longitudinal, 2km en total, que se representa en la imagen. (Fuente: GoogleMaps).....55

Fig. 20. Explotación de palma de aceite africana en el departamento de Santander. (Fuente: Fedepalma)..... 56

Fig. 21 . A la izquierda se muestra un pallet de sacos de 15kg apilados y en fase de embalaje para ser distribuidos. En la imagen derecha se observa el aspecto final del Big-bag de 1tn. (Fuente:Googleimages).....58

Tabla 5. Parámetros del recurso y su disponibilidad en los campos de explotación.....58

Tabla 6. Rangos iniciales de producción previstos.....59

Fig. 22. Representación gráfica de las Zonas ideadas dentro de la parcela de las instalaciones.....60

Fig. 23 . Proceso de construcción de una nave industrial prefabricada por la unión modular. (Fuente: Normatel).....64

Tabla 7. Producción del pellet. Sistema de descortezado y astillado. (Fuente: abc Machinery)...66

Tabla 8. Producción del pellet. Sistema de secado. (Fuente: abc Machinery).....67

Fig. 24. Silo de almacenamiento con cinta transportadora y descarga por gravedad. (Fuente: lippel.com.br).....68

Fig 25 . Planta de peletizado prediseñada (Fuente: woodsims.es).....69

Tabla 9. Producción del pellet. Sistema de peletizado. (Fuente: abc Machinery).....70

Tabla 10. Acabado del pellet. Sistema de enfriamiento. (Fuente: abc Machinery).....72

Tabla 11. Acabado del pellet. Sistema de ensacado. (Fuente: abc Machinery).....72

Tabla 12. Sistemas de transporte y control numérico. (Fuente: abc Machinery).....74



<i>Fig 26 Procesadora forestal. (Fuente: Kurosu.com)</i>	76
<i>Fig. 27. Trituradora móvil por medio de remolque, de martillos oscilantes y cuchillas de trituración secundaria. Descarga por cinta transportadora hasta 4,5 m de altura. (Fuente: Agroforestaediciones.com)</i>	79
<i>Fig. 28. Sistema de descortezado elegido para la planta. (Fuente: abc Machinery)</i>	79
<i>Fig. 29. Pinza cargadora de troncos y retoexcavadora. (Fuente: DirectIndustry)</i>	80
<i>Fig 30. Nave existente en la parcela donde se ubicará la planta de biomasa. (Fuente: Fotos propias(ECAN Energía S.L.))</i>	81
<i>Fig. 31. A la izda. aparece representado y acotado el palé europeo. A la dcha. aparece de igual modo el estándar. (Fuente: custombroker.es)</i>	83
<i>Fig. 32. Croquis representativo de los tipos de carga a los que se ven expuestos los palés en su almacenamiento y transporte. (Fuente: Rotom.es)</i>	84
<i>Tabla 13. Tabla de precios sobre uso del Río Magdalena. En negrita el grupo al que pertenece el proyecto</i>	87
<i>Fig. 33. Transporte de contenedores por el Río Magdalena. (Fuente: Pikas producciones)</i>	87
<i>Fig. 34. Ficha técnica de un contenedor de 20 pies seco. (Fuente. Sutrimex España)</i>	88
<i>Fig. 35. Ficha técnica de un contenedor de 40 pies seco. (Fuente. Sutrimex España)</i>	88
<i>Fig. 36. Logotipo corporativo de ESSA y el Grupo epm.(Fuente: essa.com)</i>	93
<i>Tabla 14. Tabla de precios por litro del diésel en Colombia para el 22 de enero de 2018 (Fuente: GlobalPetrolPrices.com)</i>	96

6. PRESUPUESTO.

<i>Tabla 15. Presupuesto de ejecución. Etapa previa</i>	100
<i>Tabla 16. Presupuesto de ejecución. Obra civil</i>	102
<i>Tabla 17. Presupuesto de ejecución. Maquinaria</i>	103
<i>Tabla 18. Costes de operación o mantenimiento</i>	104
<i>Tablas 19. Resumen del presupuesto</i>	105

7. VIABILIDAD.

<i>Fig. 37. Esquema representativo de la operación de la planta de procesamiento de biomasa, relacionando el recurso disponible con producción. (Fuente: Elaboración propia)</i>	108
<i>Fig. 38. Infografía del curso del Río Magdalena en la que se muestran sus puertos principales y secundarios. (Fuente: Legiscomex.com / Elaboración propia.)</i>	110
<i>TFG, Grado en Ingeniería de los Recursos Energéticos.</i>	16
<i>Raúl González San Emeterio</i>	



Tabla 20. Tabla representativa de los mayores sismos registrados en Bucaramanga, en el departamento de Santander. (Fuente: marcoavirama.com).....111

Fig. 39. Sello certificador ENplus e ID de ejemplo de un productor de origen belga. (Fuente: Manual ENplus, Parte2: Procedimiento de certificación.).....114

Fig. 40. Sello certificador ENplus con la ID un productor español, combinado con el logotipo de calidad A1 (Fuente: pelletsasturias.com).....114

Tabla 21. Valores umbral de los parámetros más importantes de los pellets. (Fuente: Manual ENplus. Parte 3 – Requisitos de los pellets.).....114

Tabla(s) 22. Relación de potencias unitarias demandadas por cada elemento de la maquinaria.....116

Tabla 23. Relación de potencias unitarias demandadas por otros elementos eléctricos de la fábrica.....119

Tabla 24. Cálculo de la potencia total final tras la aplicación de los coeficientes de mayoración.....120

Tabla 25. Relación de Valores de P.V.P del saco de Pellet en grandes centros comerciales físicos en España, así como las características técnicas de éste.....121

Tabla 26. Valores de P.V.P de Palés de Sacos de Pellet de 15kg, así como las características técnicas del combustible.....125

Tabla 27. Valores de P.V.P del Pellet en Big-Bag, así como sus características técnicas.....126

Tabla 28. Resumen numérico de los datos relativos al envío de la mercancía en contenedores y P.V.P de los formatos.....127

Tabla 29. Representación mensual acumulada de los gastos realizados para la creación y mantenimiento del proyecto y los ingresos brutos obtenidos. Se ha destacado la fila a partir de la cual los ingresos superan a los gastos.....128

Tabla 30. Diagrama que relaciona las principales actividades presupuestadas y el periodo temporal en el que se afrontarán.....129

Fig. 41. Representación gráfica de las curvas de Gastos/Tiempo e Ingresos/Tiempo. También se representan las líneas y ecuaciones polinómicas de ambas rectas.....131

Tabla 31. Cuadro de ingresos y gastos junto con el flujo de caja para los 8 primeros años del proyecto.....132

8. CONCLUSIONES.

Tabla 32. Resumen de algunas de las cifras significativas obtenidas en la realización del proyecto.....140



1



. INTRODUCCIÓN

1. Introducción.

1.1. Energías renovables.

El diccionario de la Real Academia de la Lengua Española define la energía renovable como:

“Energía cuyas fuentes se presentan en la naturaleza de modo continuo y prácticamente inagotable, p. ej., la hidráulica, la solar o la eólica.”

En primer lugar, se ha de tener presente que cualquier tipo de fuente de energía renovable es derivada del Sol. Las reacciones que tienen lugar en el astro son las causantes de la vida tal y como la conocemos. Además de permitir la vida, que en cualquiera de sus formas y procesos biológicos produce la biomasa, provoca o permite la existencia del conjunto de factores atmosféricos (viento → energía eólica; radiación → energía solar; ciclo del agua → energía hidráulica) y la propia existencia de la Tierra, con las leyes físicas que la rigen. La ley de la gravedad nos permite usar la energía potencial en cinética y a su vez en mecánica en los saltos de agua, ya sea en presas o en sistemas mareomotrices. Las corrientes marinas, o la energía geotérmica que nos ofrece el “Planeta Azul” son otras formas de aprovechamiento energético.

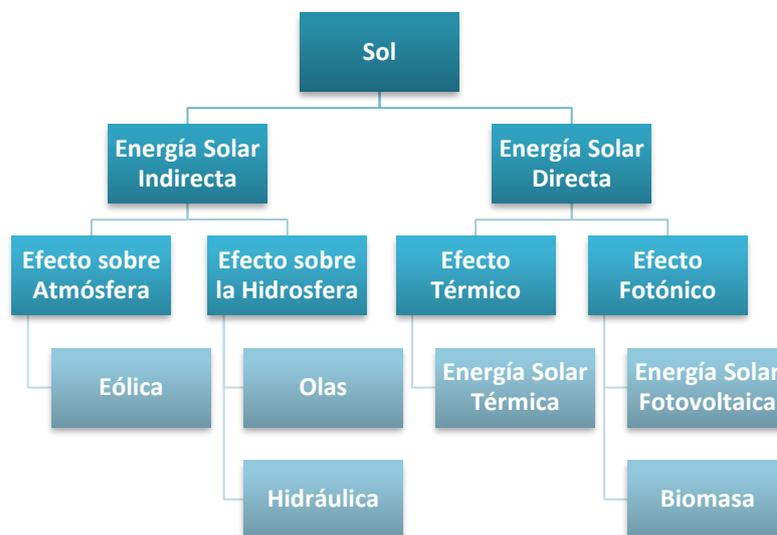


Fig. 1. Esquema de las energías renovables.

En los últimos años se ha creado un especial interés por la potenciación del aprovechamiento de este tipo de recursos ante la crisis energética que plantea el desolador futuro de los combustibles fósiles. Además de poseer esperanzas de vida relativamente bajas, las fuentes de energía no renovables contribuyen a los procesos de contaminación global y problemática medioambiental.



Los recursos fósiles por excelencia, carbón, gas natural y petróleo, poseen estimaciones de agotamiento tempranas, que en el caso de los dos últimos es inferior al siglo. No se ha podido establecer aun con rigurosa exactitud científica, pero todos los estudios apuntan a la curva de Hubbert como certera. Dicha curva fue pronunciada por el científico estadounidense, y establece que la producción mundial de petróleo llegará a su cenit y después declinará tan rápido como creció, limitando la extracción por la energía requerida para tal fin, y no por su coste económico. Es decir, si para obtener un barril de petróleo se necesitan cantidades de energía equivalentes a las de ese barril o más, no resultaría rentable la operación.

El auge de las renovables...

Los motivos del auge de las fuentes de energía renovables van más allá de la imperiosa necesidad de encontrar alternativa a las fuentes de energía predominantes hasta la fecha. La idea de conseguir combustible ilimitado a bajo coste hinundan las ilusiones de los consumidores, empresarios y gobiernos. Por ello se está llevando a cabo una carrera tecnológica por desarrollar las tecnologías que las sustituirán. El objetivo pasa por maximizar los rendimientos de los recursos energéticos renovables con objeto de exprimir al máximo su potencial hasta poder dejar de ser dependientes de los recursos fósiles. Además, existen incentivos económicos proporcionados por la administración pública para tal fin. Por ejemplo, el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, IDAE es un organismo adscrito al ministerio de Energía español, encargado de “contribuir a la consecución de los objetivos que tiene adquiridos el país en materia de mejora de la eficiencia energética, energías renovables y otras tecnologías bajas en carbono”, “llevando a cabo acciones de difusión y formación, asesoramiento técnico, desarrollo de programas específicos y financiación de proyectos de innovación tecnológica”. Así mismo, “el Real Decreto-ley 20/2012, de 13 de julio, de medidas para garantizar la estabilidad presupuestaria y de fomento de la competitividad, amplía las funciones de IDAE para dar apoyo a las tecnologías orientadas a la descarbonización de la generación eléctrica”.



Fig. 2. Extracto de la primera hoja del BOC, de la orden INN/28/2016, que establece las bases de subvenciones a actuaciones de energías renovables y ahorro y eficiencia energética en cantabria.



Vistas, a grandes rasgos, las causas que justifican la búsqueda de nuevos proyectos de inversión en el sector energético renovable, se puede enfocar el estudio a la fuente de energía con la que se pretende trabajar: La Biomasa. Como se verá a continuación, el empleo de esta fuente de energía representa un modelo alternativo de combustible.

1.1.1. Biomasa

Del mismo modo que con las energías renovables, se puede extraer de la RAE que la biomasa es:

“Materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía.”

La explicación a esta definición se encuentra en la división que la clasifica en tres ramas que dependerán de su procedencia:



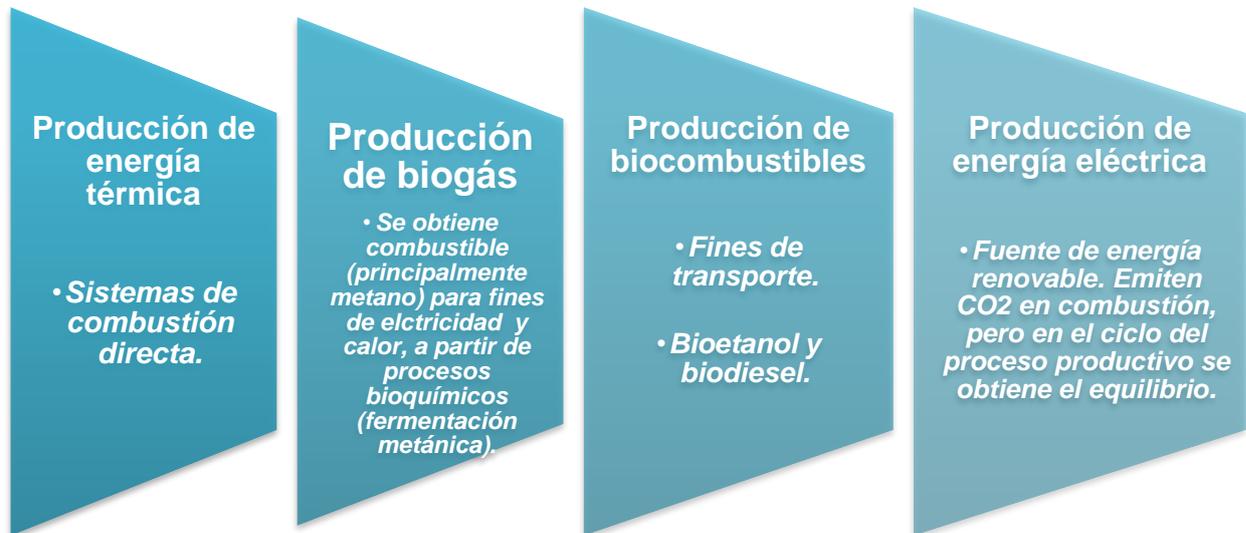
La gran ventaja de la biomasa se fundamenta en la conversión de desechos en recursos, lo que supone un aumento del reciclaje y una reducción de los residuos. Además, el ciclo de vida del proceso supone un balance cero de emisiones contaminantes a la atmósfera, pudiendo catalogar este tipo de energía de renovable.

La combustión de la biomasa es tecnológicamente más complicada que la de cualquier combustible convencional, debido a la composición heterogénea que presentan las diversas remesas, la posibilidad de albergar elementos contaminantes, su transporte o la composición de cenizas. Además, la granulometría suele ser por lo general inadecuada para alimentar directamente a la caldera, debiendo ser triturada y homogeneizada (factor clave para el presente proyecto).

1.1.1.1. El papel de la biomasa en el sector energético

Mientras que otros combustibles solo se utilizan para la producción eléctrica, la biomasa energéticamente juega con varias vías de aprovechamiento. Este recurso añade los biocombustibles y el aprovechamiento térmico, pasando por simples calderas domésticas hasta sofisticados sistemas de calefacción industrial como la cogeneración.

De un modo genérico, se pueden establecer los usos de la biomasa como:



En lo que a producción de electricidad se refiere, de un total de 21.431 TWh producidos en el año 2010 a nivel mundial (IEA, 2012b), la biomasa participaba con la producción de 331 TWh, es decir con aproximadamente un 1,5% de ese total (IEA). Para 2013 tal generación ascendió a los 405 TWh (REN21), habiendo crecido en un 22% en tan solo tres años. El empleo de la biomasa en calefacción ha elevado de forma progresiva, desde hace más de una década, la energía producida total de este recurso.

Por otro lado, la producción mundial de bioetanol aumentó en un 8% para el año 2005, mientras que el biodiesel aumentó un 85%, convirtiéndose en la energía renovable de mayor crecimiento en ese año. Son datos de hace más de una década, pero sin duda significativos.

Si nos remontamos a hace apenas un lustro, Estados Unidos fue el país que lideró la generación de electricidad a partir de biomasa, con una producción de 59,9 TWh (IEA) en 2013, cifra que representa tan solo el 1,5% de su producción (igual al promedio mundial). En segundo lugar, el país en producir mayor número de GWh al año a partir de biomasa fue Alemania, con 47,9 TWh en 2013, cifra que representó un 8,0% de su consumo final de electricidad para tal año. Entre tanto, Brasil está muy a la par con Alemania en lo que a la participación interna del recurso se refiere, con una porción del 8,1% (REN21).

Al considerar tanto los usos tradicionales como los usos modernos de la biomasa, su participación en el mix energético mundial asciende al orden de poco más del 10%, teniendo en cuenta que en países como Finlandia, Suecia y Estonia esta fuente supera el 25% (REN21).

1.1.1.2 Ventajas e inconvenientes de utilizar la biomasa como fuente de energía.



Su utilización para generar calor o electricidad tiene diversas ventajas, pero también presenta una serie de inconvenientes que dificultan su desarrollo y son clave para comprender su estancamiento como energía renovable.

Ventajas

- Es una energía renovable.
- Diversificación energética.
- Contribuye a la independencia energética.
- Reduce las emisiones de CO₂ en el ciclo de producción.
- Fomenta el desarrollo tecnológico.
- Crea empleo.
- Valoriza los residuos que suponen un problema medioambiental muy grave (R.S.U, etc).
- La utilización de los recursos forestales como combustible contribuye a mantener limpios los bosques, reduciendo el riesgo de incendios o plagas.

Inconvenientes

- Tiene un poder calorífico considerablemente inferior al de los combustibles convencionales.
- Su gestión (recogida, transporte, preparación, etc) es costosa.
- Es muy difícil asegurar su abastecimiento a largo plazo (superior a 10 años).
- El precio de compra es muy inestable.
- La legislación es cambiante.
- Necesidad de disponer de una amplia zona para almacenar la biomasa durante un periodo mínimo de 3 a 4 meses, lo que encarece la instalación.
- La generación de energía eléctrica mediante biomasa es la que proporciona mayor valor añadido, pero es una tecnología muy cara, con rendimientos energéticos bajos.

1.2. Colombia

El proyecto se sitúa en Colombia. Es por tanto considerado oportuno dedicar, en las próximas líneas, un espacio a conocer aspectos de dicho país.

Colombia es una República democrática de América del sur, dividida geográficamente en 5 regiones (a la que se puede añadir la insular) y organizada políticamente en 32 departamentos y el distrito capital de Bogotá, en el que se establece la sede del gobierno central. La constitución, que establece las normas, derechos y obligaciones a cumplimentar por los ciudadanos y ramas del poder político (legislativa, ejecutiva y judicial), es la de 1991.



Fig. 3 . Regiones y departamentos de Colombia.

El país, que posee costa con los océanos Atlántico y Pacífico (además del mar Caribe) es atravesado por la Cordillera de los Andes y la Llanura Amazónica. Limita al este con Venezuela y Brasil, al sur con Perú y Ecuador y al noroeste con Panamá.

La región Caribe comprende las llanuras costeras del Caribe colombiano y los grupos montañosos de los Montes de María y la Sierra Nevada de Santa Marta. En esta región se encuentran importantes destinos turísticos como Cartagena de Indias, Santa Marta o Barranquilla y cuenta con Parques Nacionales Naturales como El Parque Tayrona o el Parque Nacional Natural Corales del Rosario.

La costa Pacífica es una de las regiones más húmedas del planeta, con lluvias constantes todo el año. En la zona norte posee una zona selvática de gran biodiversidad, mientras que el sur, más plano y surcado por caudalosos ríos, se caracteriza por los acantilados y playas bordeadas de manglares.



La región Andina, es posiblemente la que mayor importancia tiene para todos los sectores del país, en la cual se concentra el mayor número de habitantes en Colombia con casi un 75% de la población. Es una región con una gran variedad climática, pues comprende zonas desde las proximidades al nivel del mar hasta montañas de más de 5000 metros.

La Orinoquía es una inmensa llanura, recorrida por infinidad de ríos que van a desembocar al Orinoco, entre los que se destacan el Meta, el Vichada y el Casanare. El clima es cálido y seco, originando una vegetación de sabana y pastos naturales, además de una rica y variada fauna. Sin embargo, la población es escasa. La Orinoquia colombiana, conocida como "Llanos Orientales", ocupa 310263 km², 27,2% del territorio nacional.

Por último, la región Amazónica, presenta un clima cálido, y las copiosas lluvias ecuatoriales permiten el crecimiento de la selva tropical. El área amazonesa equivale al 39.7% del área de América del Sur, y su densidad de población es de 0,6 habitantes por km², indicativa de una extensión deshabitada.

El territorio colombiano posee gran variedad de recursos naturales debido a su diversidad topográfica. Adicionalmente, Colombia cuenta con un gran potencial de recursos energéticos (carbón, principalmente en la Guajira). La explotación petrolífera es una de las actividades principales de la economía nacional y generadora de gran cantidad de divisas. Entre los recursos naturales de exportación se encuentran el oro, el níquel, el cobre, la plata, el platino y las esmeraldas. La larga variedad de pisos térmicos permite que exista una importante producción agrícola y ganadera. La industria forestal y la pesca también son importantes.

La flora y fauna autóctonas de Colombia son tan variadas como la topografía. Actualmente cuenta con 45.000 especies de plantas. A lo largo de la costa del Caribe crecen manglares y cocoteros. Las zonas montañosas del interior están cubiertas de bosques, en los que se encuentran árboles comercialmente aprovechables como: caoba, palosanto, roble, nogal, cedro, pino y algunas variedades de bálsamo. Las plantas tropicales también producen hule (caucho), chicle, quina, vainilla, zarzaparrilla, jengibre, goma de copal, ipecacuana, haba tonca y frijol castor.

Algunos datos de interés:

Superficie continental	1 141 748 km ²
Superficie marítima	988 000 km ²
Tasa de Ocupación	64,5%
Tasa de desempleo	11,9%
Población	48 747 632 hab
Salario mínimo	781 242, 00 pesos

Tabla 1. Algunos datos de interés sobre Colombia (Wikipedia)

1.2.1 Situación energética y previsiones para la biomasa.

Hasta el momento se ha abordado el marco energético desde una visión global, valiéndonos también de las referencias propias del territorio español, válidas para comenzar a conocer el funcionamiento del sector. Sin embargo, la localización del proyecto obliga a centrarse en la situación del país latinoamericano.

El Gobierno Colombiano ha puesto de manifiesto su interés por la impulsión de las energías renovables, aprobando incentivos tributarios para promoverlas. Según Pw Magazine, en un comunicado del ministerio de Energía se indica que con los beneficios tributarios "se busca aumentar la rentabilidad de los proyectos, permitiendo que sean atractivos para la inversión". Por otro lado, también se indica que esta iniciativa es "parte de un paquete de medidas a corto, mediano y largo plazo que el Gobierno Nacional implementa para garantizar el abastecimiento de energía eléctrica a todas las familias del país, incluso en circunstancias de climatología difícil".

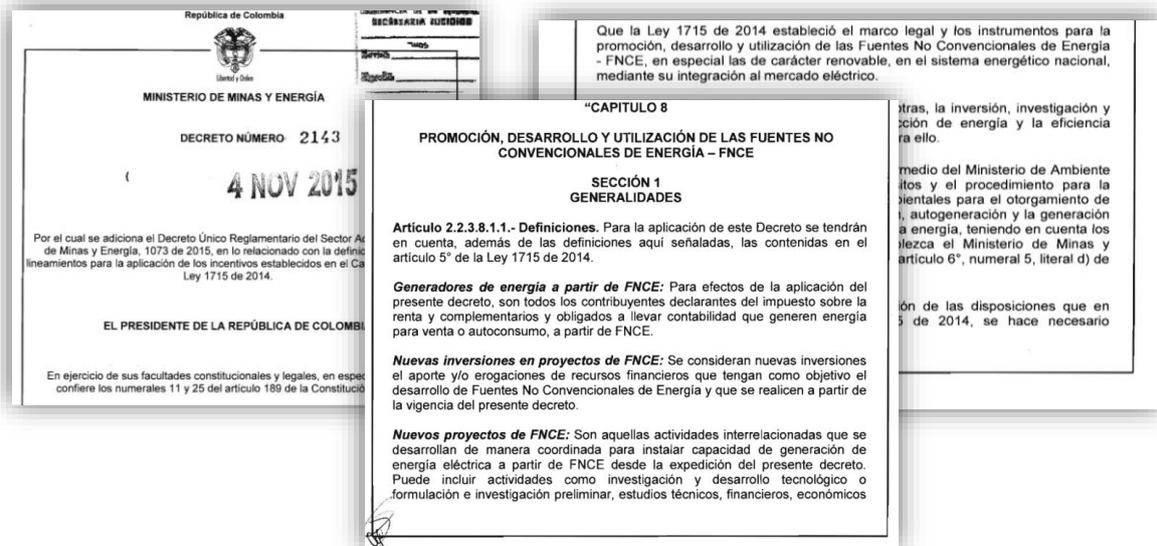


Fig 4. Decreto 2143 de 4 de noviembre de 2015, aplicable a partir de febrero de 2016, por el que se establecen incentivos tributarios para promover las fuentes no convencionales de energía.

En Colombia la distribución energética se encuentra dominada por la energía hidráulica, con el 67% de la producción y en un segundo escalón la energía térmica, con el 27%. No obstante, el potencial del país en nuevas tecnologías de energía renovable (principalmente eólica, solar y biomasa) apenas ha sido explorado. De aproximadamente 62200 GWh de electricidad producidos en 2013, únicamente el 1,3% de tal generación correspondieron al uso de biomasa, o más concretamente al uso energético de la caña de azúcar.



Entre tanto, el uso de la biomasa para la producción de calor en la industria, especialmente representado por la leña, el carbón vegetal y otros residuos (como los de la palma de aceite y el arroz, utilizados generalmente para producción exclusiva de calor), representa aproximadamente un 11% del total.

Ya se ha puesto de manifiesto el gran potencial de la biomasa como fuente energética en Colombia. En este sentido, un importante sector productivo para el país son los usos de las palmeras, contando con 58 núcleos palmeros distribuidos en las cuatro zonas palmeras (la zona norte la componen la Costa, el Cesar, Bucaramanga y Norte de Santander; la zona oriental está compuesta por el Meta y Casanare; y el suroccidente abarca Tumaco y Caquetá) y cerca de 500000 hectáreas sembradas en palma de aceite. La industria del aceite de palma es actualmente líder a nivel mundial en la provisión de aceites y grasas y uno de los sectores con mayor potencial por la versatilidad de usos y aplicaciones de sus productos, tales como aceite de cocina, grasas especiales, sustitutos de manteca de cacao y de grasas animales, margarinas, productos de aseo, jabones, detergentes, cosméticos, cremas dentales, velas, lubricantes, pinturas, biocombustibles y energía eléctrica, entre muchos otros.

Colombia, cuarto productor de aceite de palma en el mundo

El apoyo decidido del Gobierno ha permitido estructurar una política de biocombustibles para viabilizar este renglón fructífero.

Colombia apuesta al millón de hectáreas de palma de aceite

La razón es que es el cultivo oleaginoso más importante del mundo, y su aceite vegetal, el más consumido.

Fig 5. Titulares del portal portafolio.co



2



. **OBJETO Y ALCANCE**



2. Objeto y Alcance.

El vigente estudio determinará la posibilidad de instaurar y explotar una planta de procesamiento de biomasa residual en Colombia. País con gran potencial en dicho sector, albergando una inmensa capacidad forestal y cultivada de especies propensas para este aprovechamiento.

Dicha planta será encargada de la gestión y logística de biomasa para usos térmicos, siendo el objeto final la comercialización del producto final, el pellet, en cualquiera de sus presentaciones: sacos o a granel.

La idea nace como una propuesta empresarial que acota la ejecución del proyecto a suelo colombiano, teniendo como punto de partida el presente estudio. A partir de ahí se determinará el emplazamiento óptimo, adquiriendo este apartado en concreto un peso de gran importancia en la viabilidad final, debiendo atender a numerosas variables, siendo las redes de comunicación, la cercanía a la materia prima empleada y las limitaciones económicas y legales algunos de los más importantes.

El desarrollo del proyecto conlleva el estudio, entre otros, de aspectos tales como:

- Materias primas empleadas. Análisis técnico (rendimientos, densidades, poder calorífico...) y económico (coste de extracción, transporte...) de los recursos para obtener las estrategias óptimas.
- Rangos de producción en toneladas al año, disponibilidad del recurso...
- Procesos productivos y análisis de mercado de la maquinaria empleada en función de los rendimientos, potencias, o materias primas requeridas.
- Dimensionamiento estructural de la planta, así como la distribución interna de la parcela y de las estaciones de trabajo.
- Logística. Entendiéndose como tal la del propio proceso productivo con el transporte, acopio, transformación, empaquetado y almacenamiento del producto, y la comercialización de dicho producto finalizado.
- Estudio de la potencia eléctrica instalada para determinar la posibilidad de abastecimiento.

Durante los primeros meses de investigación, de acuerdo con la idea de mejora continua que representa el ciclo de vida de todo proyecto, surgió la propuesta de aprovechar los núcleos palmeros como fuente de obtención de materia prima. Como se detallará más adelante, las zonas palmeras están ampliamente extendidas en Colombia, siendo uno de los grandes sectores de enriquecimiento del país gracias a la extracción del aceite de palma para diversos usos. El interés que ha despertado este



recurso para la elaboración del proyecto consiste en la posibilidad de obtener la materia prima a coste cero, gracias al ciclo de vida productivo de la palma, produciéndose la muerte palmera (entendiendo como tal el momento en el cual no se puede seguir rentabilizando la explotación) y siendo preciso replantar la zona para dar comienzo a un nuevo ciclo. El recurso explotado resulta inservible para la industria palmera, y es necesaria su deforestación y limpieza, siendo en este caso aprovechable para reutilizar como fuente energética en forma de biomasa.

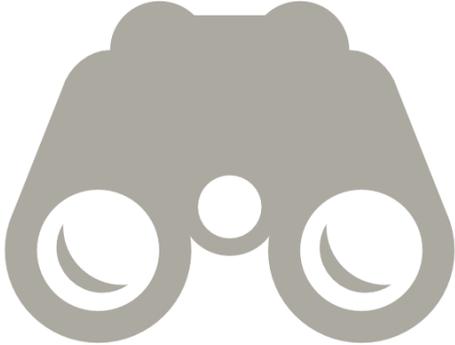
Seguidamente se ha de llevar a cabo el estudio económico (presupuesto), que, junto a otra serie de herramientas de análisis, determinará la viabilidad del proyecto. El estudio de la viabilidad adquiere pues un peso importante en el proyecto, y se tratarán de alcanzar una serie de observaciones que concluyan la solución final a la cuestión de la condición favorable o desfavorable para la ejecución de este proyecto empresarial.

El alcance final pasa por la gestión del transporte del producto en el ámbito nacional e internacional. Las exportaciones internacionales se realizarán por vía marítima, por lo que se ha de prestar especial atención a las políticas y limitaciones legales y económicas portuarias.

Por lo tanto, lo que comenzó siendo una amplia idea de explotación de los potenciales recursos del país, con todo por decidir, ha tomado forma, y se encamina hacia un modo operacional concreto. No obstante, al igual que se ha expuesto anteriormente, se han de establecer los aspectos que determinarán la viabilidad del proyecto, buscando siempre la opción óptima, y siendo ahora la vía a seguir el tratamiento de la palma de aceite para la obtención de pellet.



3



. ESTADO DEL ARTE



3. Estado del Arte

3.1 Biomasa. Evolución tecnológica de su aprovechamiento

La biomasa, cuya visión desprende pensamientos de modernidad y fuente de energía presente y futura, en realidad, si nos remontamos unos cuantos miles de años, se viene usando desde la prehistoria, con una simple hoguera de leña que aportase calor para calentarse o cocinar. Es así como el uso tradicional de la biomasa participa hoy con un porcentaje del consumo mundial de energía a la altura del resto de renovables y usos modernos de la biomasa.

No obstante, a lo largo de tantos años de evolución tecnológica, en nuestros días existen diversos procesos químicos que permiten la extracción de la energía contenida en la biomasa de un modo más eficiente, pudiendo generar dicha conversión a partir de procesos termoquímicos (utiliza el calor para transformar la biomasa, siendo de interés los materiales de menor humedad) y bioquímicos (utilizando diferentes microorganismos que degradan las moléculas. Para biomasa de alto contenido en humedad).

Se pueden distinguir los siguientes tipos de transformaciones:

- **Procesos Termoquímicos**

El modo más básico para transformar la energía de la biomasa es la combustión. Se presenta cuando se quema la biomasa en presencia de aire, alcanzando temperaturas de entre 600 y 1.300°C. En este proceso salen gases calientes para producir calor y poderlo utilizar en casa, en la industria o para producir electricidad en centrales de generación. Al realizar la combustión, se producen diferentes compuestos químicos como el monóxido de carbono (CO), el dióxido de carbono (CO₂), el hidrógeno (H) o el metano (CH₄).

La pirólisis es otro proceso termoquímico de transformación que descompone la materia biodegradable de la biomasa utilizando el calor (a unos 500°C), pero en esta ocasión en ausencia de oxígeno (anaerobio). A través de este proceso se obtienen gases formados por hidrógeno, óxidos de carbono e hidrocarburos, líquidos hidrocarbonatos y residuos sólidos carbonosos. De este modo se obtiene el conocido carbón vegetal.

Cuando la biomasa se transforma en un gas combustible hablamos de gasificación. Esto se produce mediante una serie de reacciones que ocurren en presencia de un agente gasificante. Según se utilice aire u oxígeno (agente gasificante), se crean dos procedimientos de gasificación distintos. Por un lado, el gasógeno o "gas pobre" y por otro el gas de síntesis. La importancia de este último, reside en que se puede transformar en combustibles líquidos (metanol y gasolinas). Por eso se está tendiendo a mejorar el proceso de gasificación con oxígeno.



Por último, la Co-combustión consiste en la utilización de la biomasa como combustible de ayuda mientras se realiza la combustión de carbón en las calderas. Con este proceso se reduce el consumo de carbón y se reducen las emisiones de CO₂ (entendidas como el carácter renovable que supone la combustión de la biomasa, ya que toda combustión completa supone la liberación de este compuesto).

- **Procesos bioquímicos**

Estos tratamientos se realizan utilizando diferentes microorganismos que degradan las moléculas.

La fermentación alcohólica es la técnica que consiste en la fermentación de hidratos de carbono que se encuentran en las plantas y en la que se consigue un alcohol (etanol) que se puede utilizar para la industria.

Por otro lado, la fermentación metánica es la digestión anaerobia de la biomasa, donde la materia orgánica se descompone (fermenta) y se crea el biogás.

A su vez, el compostaje es un proceso controlado de fermentación de biomasa en condiciones aeróbicas. Consiste básicamente, en la transformación de la materia orgánica presente en los residuos para la obtención de un producto fertilizante denominado compost (comercialmente más conocido como abono o sustrato).

3.2 Calderas de Biomasa. Generalidades, funcionamiento, combustibles, modelos...

Centrándonos en el sector específico para el cual se establece este estudio, se destacarán las calderas de biomasa, pues nuestra planta de tratamiento las proveerá de combustible.

Haciendo un breve repaso por la evolución de estos elementos, se puede distinguir entre dos grandes grupos: las calderas atmosféricas, y su evolución, las calderas estancas. Las atmosféricas poseen la cámara de combustión en contacto con el aire de la sala en la que se encuentre, absorbiéndolo de la estancia y al mismo tiempo liberando a la misma los gases producidos. Es por ello que se ordenó su sustitución (en nuevas instalaciones y renovaciones) a las estancas, que además presentan mejores rendimientos. En una caldera estanca la combustión se realiza totalmente aislada del ambiente del local, en una cámara debidamente acondicionada, que extrae los gases de la combustión a través de un conducto forzado.

Dentro de estas últimas encontramos las de condensación, siendo las más eficientes al utilizar la energía desprendida al condensar el vapor de agua producido en la combustión, con el consiguiente ahorro de combustible y emisión de gases.

Estas calderas se presentan en el mercado en una amplia gama de potencias, dimensiones, precios... que se han de adecuar a las especificaciones del cliente.



Fundamentalmente utilizan como fuente de energía combustibles naturales como los pellets. Sin embargo, son perfectamente compatibles con gran variedad de biocombustibles como: huesos de aceituna, residuos forestales, cáscaras de frutos secos, etc. Es por ello que se las considera las calderas más ecológicas del mercado.

O bien generan solo calefacción (como estufas), ya sea por aire, suelo radiante o los propios radiadores, o pueden además generar conjuntamente Agua Caliente Sanitaria (ACS) funcionando del mismo modo que cualquier caldera tradicional, conectada al circuito de una o varias viviendas. El éxito de las instalaciones de biomasa depende del cálculo exacto de la carga calorífica y de tener en cuenta una serie de características específicas del lugar de montaje, por lo que cada sistema con biomasa es diferente, de modo que lo que funciona en un sitio, puede que no funcione en otro.

El combustible, del que destacan características como poder calorífico, contenido en humedad, tamaño de las partículas o propiedades de las cenizas, se selecciona en función de los requisitos tecnológicos y medioambientales del sistema de combustión. Como se ha mencionado anteriormente, la mayor parte de instalaciones de biomasa queman astillas y pellets, aunque también sirven los residuos de la agricultura y los cultivos energéticos. Es por esto que resulta interesante conocer las especificaciones técnicas de la caldera. Mientras que algunas calderas están diseñadas para ser compatibles con varios tipos de combustibles, otros no, y alternar regularmente entre distintos combustibles no es práctico, porque implica la reconfiguración del sistema para que pueda hacer frente a características de combustión diferentes.

El funcionamiento es similar al de cualquier caldera tradicional. El calor generado durante la combustión es transmitido al circuito de agua en el intercambiador incorporado en la caldera, con lo que se obtiene agua caliente para el sistema de calefacción o ACS. Solamente varía el combustible utilizado. Ya sea una caldera o una estufa, el sistema es autosuficiente y permite la alimentación automatizada del combustible en función de la demanda requerida. Por ejemplo, una estufa de leña solo puede regular el fuego ahogándolo, lo cual perjudica mucho el rendimiento. Sin embargo, en las estufas de pellets es la propia estufa la que añade pellets según la demanda de energía. Para optimizar el funcionamiento de la caldera de biomasa, se puede instalar un acumulador, que almacenará el calor de una forma similar a un sistema de energía solar.

Las calderas de biomasa necesitan un contenedor o silo para el almacenaje del biocombustible situado próximo a la caldera. Desde el mismo, un alimentador de tornillo sin fin o de succión, lo lleva a la caldera, donde se realiza la combustión. El combustible tipo pellet debe almacenarse con una inclinación de unos 45° para su correcta inserción en la caldera. A diferencia de otras calderas convencionales, con las de biomasa se debe retirar varias veces al año la ceniza producida en la combustión.

Muchos de los fabricantes disponen de calderas de biomasa de pellets de potencias entre 10 y 35 kW.

Foto	Descripción
	<p>La Ferroli SFL-3 es una caldera de Policombustibles que puede funcionar con leña o carbón y gracias a un kit también puede quemar pellet. Su potencia útil está entre 19 Kw y 22,5 kW según el combustible.</p>
	<p>Kit formado por la Caldera de Biomasa Burnit WBS 25 kW, el Quemador de Pellets y la Tolva de 500 litros para que pueda quemar pellet. Su potencia útil es de 25 kW y puede usar pellets, leña, briquetas y carbón.</p>
	<p>PELLDUOX es una caldera con el quemador automático a la biomasa, con un almacenaje de combustible de 300 litros, permitiendo varios días de autonomía independiente. Usa como único combustible el pellet. Eficiencia térmica: 89-91%. Disponible desde 16kW hasta 50Kw.</p>

Tabla 2. Algunos ejemplos de entre los numerosos modelos disponibles en el mercado.

En definitiva, por ser totalmente automáticas en su funcionamiento, poseer gran autonomía y limpieza, alta tecnología y eficiencia energética y una combustión controlada mediante análisis continuo de los humos, han llegado al mercado para quedarse, presentando una gran alternativa a las calderas convencionales. Además, el desarrollo tecnológico de este sistema ya incorpora la posibilidad de monitorización vía web o de tele-gestión vía móvil (encendido y apagado), lo cual permite, por ejemplo, encender el sistema de calefacción antes de llegar a la vivienda.

Entre las ventajas de instalar este tipo de calderas se encuentra que el precio de la biomasa no depende de mercados internacionales como los combustibles fósiles, por lo que es más estable en el tiempo además de ser más bajo. Requiere mayor inversión inicial, pero a la larga es una energía más barata. La biomasa es el combustible con el precio más competitivo para el usuario, y, por consiguiente, una caldera de biomasa aporta rentabilidad y confort económico. Además, las calderas de biomasa utilizan una tecnología segura y el mantenimiento que requieren es sencillo. El alto poder calorífico de los pellets por unidad de peso, (alcanza rangos mayores a las 4000 kcal/kg) hace de este combustible natural una forma de energía rentable y



renovable, y aporta a la caldera de biomasa unos rendimientos caloríficos que alcanzan el 90%. En adición, ya empiezan a comercializarse calderas de condensación a base de biomasa. Con esta tecnología el rendimiento de la caldera de biomasa aumenta hasta un 105% permitiendo un ahorro de combustible de hasta un 12%.

Se ha visto, en la descripción de las calderas de condensación, cómo éstas aprovechan el calor generado en el cambio de fase. Del mismo modo se ha citado en numerosas ocasiones el término de poder calorífico y su importancia en la elección y determinación de la calidad de los combustibles. Por ello se cree necesario definir este parámetro.

En primer lugar, se han de conocer los productos obtenidos en toda reacción de combustión, que, entre otros gases, siempre se generarán tres elementos básicos: Dióxido de carbono (CO₂), agua (H₂O) y calor.

La importancia a la hora de analizar el poder calorífico que se produce en la combustión de un combustible reside en el agua obtenida, que en el momento de la combustión se encuentra como vapor de agua, y si se produce o no cambio de fase. Es decir, si ese vapor se condensa generará o cederá un calor, que si es añadido al propio de la combustión se obtendrá un poder calorífico mayor, denominado poder calorífico superior (PCS). Por el contrario, si no se produce ese cambio de fase (el agua producida no condensa), el valor del poder calorífico es el denominado poder calorífico inferior (PCI).

Éste último es el que realmente interesa tener en cuenta debido a que es el realmente aprovechable, y es el analizado y tenido en cuenta en los procesos industriales y análisis de la calidad del combustible. Más adelante se mostrará la importancia de este aspecto en la viabilidad final del estudio que determine la calidad del producto. Dicho parámetro se puede presentar en varios sistemas de medida, siendo tres los principales (para un combustible sólido): kWh/kg; MJ/kg; kcal/kg. Al ser un combustible sólido se expresará en función de su masa y no de su volumen.

No vamos a negar la obviedad. Se ha destacado el alto poder calorífico del pellet, pero sigue siendo inferior al de otros combustibles fósiles. Un kilogramo de pellet tiene la mitad de poder calorífico que un litro de gasoil. En una caldera de pellets, necesitaríamos dos kilos de pellet para producir la misma energía que un litro de gasoil. El interés reside en el precio del recurso, o, mejor dicho, el coste de producir esa misma energía, y no en la masa o volumen de recurso necesario.

Otro inconveniente que se presenta en estas calderas reside en la necesidad de un espacio reservado para el almacenaje del combustible y situado próximo a ésta. En ocasiones suele ser un silo, que es recargado de forma periódica por el propio usuario o bien por la empresa dispensadora de biomasa contratada para ello.



Fig. 6. Caldera doméstica de pellet, en la que se muestra la necesidad de apilar el combustible. Fuente (ecologismos.com)

En los párrafos anteriores se ha englobado este uso de calefacción dentro de las calderas, pero en realidad, existen estufas que únicamente pretenden aprovechar la energía térmica de la combustión, requiriendo un trato diferenciado. Si bien hay un tipo de estufa aire/agua que permiten la conexión de la estufa al circuito de agua caliente de los radiadores, disminuyendo la factura de calefacción, la estufa de aire simplemente es el aparato instalado en el interior del hogar, que lo calienta impulsando aire a la estancia en la que se encuentra. En ellas se puede contemplar el fuego generado para aportar calor, de un modo limpio y seguro, ya que se encuentra confinado a un espacio interior de la estufa y estanco a la estancia. Por ello no genera humos ni olores.



Fig. 7. Estufa de biomasa, que utiliza Pellet como combustible. Fuente (Media Markt)

3.3 Pellet. Definición, producción, usos, mercado...

El pellet es, por definición, un producto catalogado de biomasa sólida formado por cilindros muy pequeños, de unos pocos milímetros de diámetro. Están elaborados a partir de serrín natural seco, sin ningún aditivo, ya que se utiliza la propia lignina que contiene el serrín como aglomerante, comprimiendo el serrín a una alta presión para formar el pellet, lo que hace que tengan una composición muy densa y dura, consiguiendo con ello un gran poder calorífico.



Fig. 8. Pellets (Palser.eu)

Producción. Etapas del proceso productivo.

- 1) *Trituración/Molienda.* Supone la primera fase del proceso. Triturar y moler la materia prima es necesario para alcanzar la granulometría adecuada a fin de alimentar la peletizadora. Ésta ha de ser inferior al diámetro del pellet final obtenido, factor clave en las características físicas del combustible. Se trata pues de la fase que algunas de las empresas de mayor peso en el sector conocen como *Pretratamiento de materia prima*: descortezado, astillado,...
- 2) *Almacenamiento primario.* La biomasa triturada hasta la granulometría óptima, es almacenada y limpiada de modo temporal hasta el momento de formar parte de la línea de producción propiamente dicha.
- 3) *Secado.* Se tratará de reducir la humedad presente en la biomasa hasta valores determinados, comprendidos entre el 13 y 15% debido a que los ratios de humedad elevados no son deseables. El secador de tambor rotatorio es una maquina altamente empleada para tal fin, aunque existen otros procedimientos altamente eficientes. Por ejemplo, el secado de banda a baja temperatura donde la materia prima se seca a un máximo de 90°C, respetando su naturaleza y evitando la tostación o quemado. Esta instalación se ha de complementar con una caldera de producción de agua caliente, que generalmente se trata de una caldera de biomasa de aceite térmico. Posteriormente se lleva este recurso "seco" a un almacenamiento intermedio.
- 4) *Alimentación.* Una tolva actúa como depósito regulador, que alimenta de materia prima el proceso según los requerimientos de la planta, evitando posibles paradas. Directamente a través de un conducto conectado a la tolva se alimenta la peletizadora gracias a la rosca de alimentación, que basa su funcionamiento en un tornillo sin fin o en un eje con palas de orientación variable, pudiendo modificar la velocidad de alimentación.
- 5) *Peletizado.* Una prensa realiza el proceso de densificación de la biomasa, haciéndola pasar a través de una matriz (generalmente anular) agujereada con la ayuda de rodillos giratorios que ejercen una presión constante sobre la

matriz. La materia prima atraviesa la matriz al mismo tiempo que se comprime, obteniéndose a la salida un diámetro característico asociado a la matriz empleada. A la salida de la matriz, un dispositivo compuesto de cuchillas, corta los cilindros, aún blandos, a la medida de la longitud deseada. Un dispositivo de descarga de los pellets depositará el producto de tal manera que impida el quiebre del mismo.



Fig. 9. Obtención del pellet al paso por la matriz (<http://millingandgrain.co>)

- 6) *Enfriamiento.* En esta etapa se consigue aumentar la dureza y resistencia del pellet, aportando el acabado característico endurecido del producto, lo que permite evitar problemas en la manipulación de las etapas posteriores. Esto se produce gracias al endurecimiento de la lignina en un ventilador. Tras la peletización, la temperatura del pellet de madera es de unos 60-80 °C, con un contenido en humedad del 15%, por lo que es necesario emplear un ventilador que reduzca la humedad de los pellets en un 3-4% (siendo mayor para climas húmedos).
- 7) *Ensayado.* Por último, los pellets, tras ser enfriados y cribados, son depositados por un elevador de cinta en una de las dos tolvas que alimentan, por un lado, el sistema de pesaje y llenado de sacos de plástico, que se sellan posteriormente con una termo soldadora y, por otro, el sistema de llenado y pesaje de sacos tipo Big-bag. También, para la opción de transporte a granel, se emplea un sistema de carga telescópico para realizar una carga rápida y limpia de camiones de caja cerrada (cisternas) o abierta, en muy poco espacio de tiempo.



Fig. 10. A la Izda se muestra el ensacado y a la Dcha la carga telescópica. (Fuente: Pelletsasturias.com)



Como se ha indicado en el apartado anterior dedicado a las calderas de biomasa, los usos recaen en la generación de energía térmica para el aprovechamiento de calefacción o ACS. Para ello se usan estufas o calderas especiales para pellet, las cuales son muy cómodas y fáciles de usar, ya que los pellets se pueden transportar y usar de la misma forma que cualquier combustible líquido, pero con muchas otras comodidades. Otras aplicaciones del pellet recaen en el uso de camas para animales como caballos.

El suministro normalmente se realiza de dos formas:

- En sacos, generalmente de 15 Kg, que el pequeño usuario puede manejar con comodidad y vaciar en la caldera o estufa para alimentar de combustible el proceso de combustión. Otro sistema de suministro relacionado es el Big-bag, un gran saco con capacidad de 1 Tonelada, lo cual, a la larga, resulta más económico. El otro medio de suministrar grandes cantidades reside en la adquisición directa de un palé provisto de sacos de 15 kg.
- En camión cisterna, pudiendo suministrar directamente el pellet desde el camión hasta el depósito de la caldera mediante la manguera de dicho camión, de forma que el sistema queda automatizado y no es necesario manejar manualmente el pellet en ningún momento.

Presentación	Índice Precio Biomasa	2014	2015	2016 (1T)
Saco 15 kg	Precio medio (€/ton)	290	280,66	265,33
	PIB (%)	2,6	-3,3	-1,5
Palé	Precio medio (€/ton)	280,98	269,88	262,43
	PIB (%)	2,6	-4	-0,1
Granel(Cisterna)	Precio medio (€/ton)	247,18	233,44	229,87
	PIB (%)	1,6	5,6	-3,1
Granel (Volquete)	Precio medio (€/ton)	253,5	245,04	238,81
	PIB (%)	3,6	-3,3	-3,8

Tabla 3. Evolución de precios del pellet en España hasta el primer trimestre del 2016.

Fuente (Bioenergy International)

La calidad energética en la comercialización de pellets se clasifica según la certificación ENplus basada en el estándar internacional ISO 17225-2, referido a los pellets de madera. Para ello se dividen en tres categorías o calidades: A1, A2 y B. Para la primera encontraremos como materia prima madera no tratada químicamente, con bajo contenido en cenizas, nitrógeno y cloro, mientras que para la categoría A2 dichos contenidos aumentan. Respecto a la calidad B, existe mayor tolerancia, pudiendo encontrar madera reciclada y residuos industriales. De cualquier modo, no se aceptarán maderas que de origen se hayan tratado químicamente, así como valores muy estrictos para los metales pesados.

Los derechos de la marca EnPlus están en posesión del European Pellet Council (EPC). En algunos países como España, cede estos derechos a la



licenciataria sectorial nacional. Para el caso español, el encargado de la gestión del sistema ENplus es *Averbiom*, que coordina las solicitudes de certificación de los productores y/o comercializadores.

En España encontramos distribuidas, casi en la totalidad de autonomías, gran cantidad de empresas dedicadas a la gestión y logística de biomasa para usos térmicos y generación eléctrica (hueso de aceituna, astilla de madera, pellets, etc). Actualmente el manual de ENplus versión 3.0 es el que define las normas para el esquema de certificación de calidad de pellets de madera. Dicho manual recoge el procedimiento de certificación, los requisitos de calidad de los pellets, requisitos de sostenibilidad y una lista de tarifas.

En el anejo 7 de *Viabilidad* se desarrollará de un modo más técnico y extenso todo lo relativo a la obtención del certificado como productor (y/o comercializador), en busca de la obtención del sello de calidad para los pellets producidos.

A modo de resumen sobre la versatilidad y ventajas e inconvenientes que presenta el pellet, se ha elaborado la siguiente tabla:

PELLET	
Ventajas	Inconvenientes
No es necesaria la deforestación, basta con el uso de desperdicios de podas, talas, carpinterías... Al ser un recurso reaprovechado resulta un combustible barato, con precios estables.	Solo se aconseja usarlo en estufas o calderas especiales para pellets. Resultan más caros que la leña, pero es un inconveniente a medias, ya que tienen mayor poder calorífico.
Se pueden dosificar. En las estufas de pellets es la propia estufa la que añade pellets según la demanda de energía. Como las estufas de pellets son automáticas se produce mucho menos monóxido de carbono.	El pellet ha de ser de calidad. Si no es así, se pueden dañar la caldera o estufa. Tienen que guardarse en un lugar seco, ya que al contacto con el agua se convierten en serrín, y pierden sus propiedades.
Tamaño de la estufa reducido debido al pequeño calibre del combustible. Debido a este pequeño calibre rellenan mejor el espacio y caben en cualquier recipiente de cualquier forma. Ni cabe decir que ocupan menos que los troncos o ramas. Además, no presentan riesgos en su manipulación.	-
Generan cenizas de origen vegetal (no tóxicas. Ricas en Ca y K) que se pueden aprovechar como abono o suplemento mineral de animales.	-
Más barato que los combustibles tradicionales como el gasóleo y producen menos contaminantes.	-

Tabla 4 . Ventajas e inconvenientes del pellet.



4 . LOCALIZACIÓN

Un icono gris que representa un mapa con un marcador de ubicación, situado a la derecha del número '4'.



4. Localización.

En este capítulo se ha de establecer la localización exacta de la planta. Gracias a la introducción, se han visto las regiones de Colombia, en las que se han descrito, a groso modo, algunas de las características, permitiendo conocer algunos aspectos relevantes a la hora de implantar una fábrica de procesamiento de biomasa. Por ejemplo, la región Pacífica, en la que destaca el clima tan húmedo, es descartable en este tipo de proyecto, donde interesa la biomasa seca, que juega un importante papel a la hora de aprovechar eficientemente el poder calorífico del recurso. Además, mayor humedad implica más peso a la hora del transporte. Otras regiones se excluyen por el simple hecho de poseer redes de comunicación pobres, escasa población y/o recursos, etc.

4.1 Primera elección.

Como se ha puesto de manifiesto en el objeto del presente estudio, la idea nace como una propuesta empresarial que acota la ejecución del proyecto a suelo colombiano. A partir de ahí se comenzó determinando el emplazamiento óptimo, adquiriendo este apartado en concreto un peso de gran importancia en la viabilidad final, debiendo atender a numerosas variables, siendo las redes de comunicación, la cercanía a la materia prima empleada y las limitaciones económicas y legales algunas de las más importantes.

Durante los primeros meses, se desarrollaron las investigaciones pertinentes para designar una ubicación idónea, creyendo válidas las justificaciones aportadas en la elaboración del estudio. Transcurrido este tiempo, se mantuvieron conversaciones con varias compañías palmeras de la región Andina (en la zona sur, próxima a los Llanos orientales), lo cual supuso un paso importante en el desarrollo de este apartado, al disponer de un proveedor de materia prima. En una primera postura no se disponía de comunicación alguna con un proveedor de materia prima, dejando pues, la elección de la localización dependiente de otros factores.

En las próximas líneas se muestra en cinco fases como se llevó a cabo esta primera elección, para posteriormente dar paso a la ubicación final, motivada por la mejora continua inherente a todo proyecto:

- 1ª Fase. Justificación. Para acotar las posibles zonas de emplazamiento, en primer lugar se tuvo en cuenta la previsión futura a la hora de comercializar el producto internacionalmente, siendo de interés el buscar la salida hacia Europa a través del Océano Atlántico, por lo que la región del Caribe fue la más interesante de estudiar, siendo también propicia para el desarrollo de esta actividad, con una climatología cálida y seca, que facilita la ganadería intensiva y el cultivo de arroz, algodón, caña de azúcar y banano, entre otros. Tampoco existen riesgos de catástrofes naturales ni es una zona activa en



seísmos. A partir de ahí se estudiaron varias vías que permitirían obtener la situación geográfica de la planta.

- 2ª Fase. Recursos. El Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual de Colombia, comprende un dossier de mapas, tablas, y gráficos que contienen toda la documentación relativa a la cantidad de biomasa residual producida en Colombia y su correspondiente potencial energético. En nuestro caso, y como se verá en apartados posteriores, trabajamos con la biomasa residual y natural, entre la que destaca la provocada por el sector agrícola. En los mapas referentes a este sector se establecen las zonas de producción, el área cultivada, la cantidad de biomasa residual, el potencial energético y el rendimiento neto de energía, discriminado por los diferentes tipos de cultivos (transitorios y permanentes). Atendiendo a los mapas elaborados en dicho Atlas, se pudo observar un punto de gran potencial, común a todos los diferentes recursos estudiados, situado en las proximidades de la Sierra Nevada de Santa Marta. Es por ello que resultó interesante valerse de la cercanía a esta sierra para abastecerse de materia prima, siendo además una localización muy cercana a tres de los puertos más importantes de Colombia, que de Oeste a Este son: Cartagena de Indias, Barranquilla y Santa Marta.
- 3ª Fase. Comunicaciones exteriores. Tras realizar una primera comparativa de las tasas y tarifas portuarias de los puertos anteriormente mencionados (Cartagena, Barranquilla y Santa Marta), se estableció que ambos puertos disponían de los mismos importes, lo cual significó que el factor económico no es determinante para la selección de cualquiera de ellos. Por ello, se buscaron otros servicios y ofertas que rentabilizasen la elección de uno u otro, como es el caso del servicio de contenedores, carga a granel, descuentos,... (Todo ello será tratado con minuciosidad en el anexo 5, en el apartado de Logística/Distribución). Otro aspecto a tener en cuenta fue la distancia a la planta, para minimizar los costes de desplazamiento del producto al puerto.
-
- 4ª Fase. Accesos y núcleos poblacionales. Resultó de interés situar la planta en una zona empresarial, con suelo industrial donde poder construir, desarrollada y poblada, con buenos accesos e infraestructura y sin problemas de abastecimiento de agua o electricidad. Existen dos grandes vías o carreteras que rodean la Sierra Nevada de Santa Marta y comunican las grandes ciudades costeras con las más importantes del interior. Se trata de la Ruta Nacional 80 y la 45. Esta última atraviesa el país de Norte a sur, sirviendo de vía de comunicación con la capital Bogotá. La ruta 80 por su parte, atraviesa la localidad de Valledupar, un núcleo de población interesante para situar el proyecto.

Los núcleos urbanos más destacables de la zona resultaron:



- **Cartagena de Indias (Departamento de Bolívar).** Distrito Turístico y Cultural. Con 1013454 habitantes, fue históricamente una de las grandes ciudades comerciantes bañadas por el mar Caribe. En la actualidad es la cuarta ciudad en producción industrial de Colombia, contando con 400 hectáreas habilitadas para el uso industrial.
- **Barranquilla (Departamento Atlántico).** Distrito Especial, Industrial y Portuario. Es el principal centro económico de la región Caribe de Colombia. Posee 1223967 habitantes. Entre los productos industriales, se producen grasas vegetales y aceites, productos farmacéuticos, químicos, calzado, carrocerías para buses, productos lácteos, embutidos, bebidas, jabones, materiales para la construcción, muebles, plásticos o cemento.
- **Santa Marta (Departamento de Magdalena).** Distrito Turístico, Cultural e Histórico. 491387 habitantes. Posee una sociedad portuaria de gran interés para la exportación de los productos. Sin embargo, está mucho menos industrializada que las anteriores ciudades.
- **Valledupar (Departamento de César),** a 302km de Barranquilla. Localidad de 443414 habitantes (más los miles añadidos de su área metropolitana). Posee aeropuerto y es un importante centro para la producción agrícola, agroindustrial y ganadera en la región.
- **Fundación (Departamento de Magdalena),** a 136 km de Barranquilla, y con 57 344 habitantes, es un municipio mucho menos desarrollado que Valledupar, pero más cercano a los principales núcleos costeros.

Otros núcleos urbanos destacables de la región del Caribe se alejaban unas centenas de kilómetros de la zona de potencial energético, por lo que fueron descartados.

- 5ª Fase. Primera elección. Después de estudiar las diversas posibilidades, se llegó a la conclusión en los apartados anteriores de situar la planta en la región del Caribe, con acceso a los grandes puertos y clima propicio para el desarrollo del proyecto. Además, se encontró en las inmediaciones a la Sierra Nevada de Santa Marta un lugar rico en recursos de potencial energético donde obtener la materia prima. Con todo ello, se seleccionó para localizar la planta de procesamiento de biomasa las localidades de Valledupar, en el departamento de César, y Santa Marta, en el departamento de Magdalena. En un primer dictamen se optó por Valledupar, siendo las principales causas que justificaban esta elección:

- Suelo industrial disponible para construir la planta de tratamiento de biomasa de forma legalizada en las cercanías de un núcleo poblacional desarrollado, donde se encontraría disponibilidad de servicios como abastecimiento de agua y electricidad, mano de obra, y otros productos y necesidades.



- Cercanía a la materia prima. Valledupar está rodeado por varios focos de potencial energético agrícola, debido a la actividad de la región. Además, la cercanía de la Sierra Nevada de Santa Marta abre la vía de explotación de los recursos forestales.
- Salida del producto facilitada por la ruta 80, que se une con la ruta 45 para realizar el transporte a la costa caribeña, o dirigirse al sur para adentrarse en la Colombia central. Además la ciudad posee aeropuerto, por lo que se estudiarían vías de transporte aéreas para la distribución y abastecimiento de material.
- Gran variedad de materias primas disponibles en las inmediaciones de la planta de tratamiento.

Ante la duda planteada de situar la planta en un lugar cercano al abastecimiento de materia prima frente a la cercanía al puerto para la exportación del producto, se llegó a la conclusión de que resultaba más eficiente situarse cerca de la materia prima, la cual ocupa un volumen mucho mayor que el producto tratado, por lo que se traduce en mayor cantidad de viajes y mayores gastos. En otras palabras, el transporte del producto final, que será el recurso debidamente tratado y aprovechable energéticamente al ser tratado y debidamente acondicionado para su transporte, requerirá menor volumen de ocupación, y ya sea a granel o en palés, resulta más viable que sea dicho producto el que ejecute el viaje más largo y directo al puerto.

Hasta aquí, y por los motivos expuestos anteriormente, se veía en Valledupar un lugar idóneo para localizar el proyecto. Sin embargo, el propio ciclo de vida del proyecto ha supuesto un cambio en el rumbo del mismo, optando, como bien se ha expuesto con anterioridad, por escoger como materia prima elemental la palma, especie más que extendida en el país latinoamericano, al suponer la comercialización del aceite de palma uno de los motores económicos del país, con numerosas áreas palmeras.

“La palmicultura es una de las actividades agrícolas más prometedoras como eje para alcanzar el desarrollo nacional.”

Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite de Colombia.

4.2 Justificación

Tras conversaciones mantenidas con varias asociaciones de palmicultores, se establecieron comunicaciones con varias situadas en la zona central o región andina. Se observó un gran potencial en la posibilidad de abastecimiento de materia prima asegurado y a coste cero. Es decir, la muerte palmera, dentro del ciclo de vida productivo para este aprovechamiento de obtención del aceite, se define como el momento en el cual el recurso deja de ser rentable, y se debe proceder a replantar el área cultivada. Este plazo se estima en 20 años, y la palma, que representa la

biomasa residual, no resulta de interés para estos productores, de modo que permitirían la limpieza y retirada de los restos residuales.

Como se ha mencionado, y por las causas descritas anteriormente, finalmente se ha optado por apostar a esta posibilidad. El estudio determinará, en base al área de plantación, los ciclos de renovación palmera, y los rangos de producción, la viabilidad final de la creación de la planta de procesamiento de biomasa.

4.2.1 Recursos

Según la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite, con la producción de más de un millón de toneladas de aceites de palma (se extrae del mesocarpio del fruto) y de palmiste (se extrae del endocarpio o almendra del fruto), Colombia es el cuarto productor de aceite de palma en el mundo y el primer productor en América. La palma de aceite está presente en cuatro zonas de Colombia: Norte, Oriental, Central y Suroccidente, que abarcan 124 municipios en 20 departamentos alrededor del país, siendo su área sembrada de 500.000 hectáreas aproximadamente.

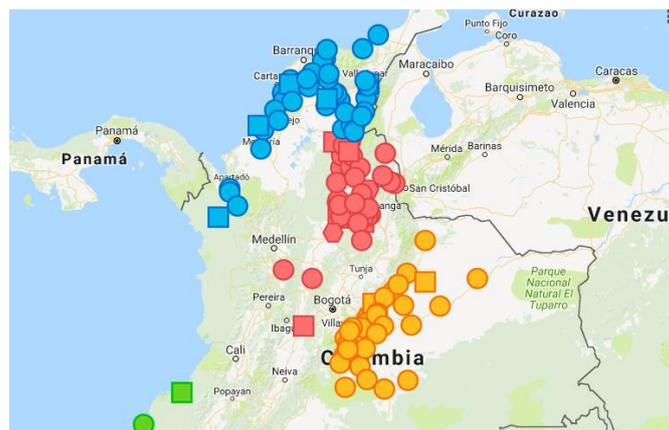


Fig. 11. Situación de los diferentes núcleos palmeros, diferenciada cromáticamente por regiones. Las zonas palmeras son reconocidas por Fedepalma y/o el Registro Nacional Palmicultor. (Fuente: Fedepalma)

En recientes declaraciones de prensa por parte del gobierno, especifican “la inclusión de la palma de aceite en el listado de cultivos que se promoverán dentro del plan Colombia.” Representando el voto de confianza que el gobierno ha dado a esta planta, presente en el país desde hace 60 años, una buena parte de los cuales han transcurrido bajo la orientación de Fedepalma y la investigación de Cenipalma.

En posteriores apartados se detallarán con mayor exactitud los rangos de producción de este recurso, ligados al emplazamiento finalmente escogido. El objeto no será otro que establecer la viabilidad de explotación para la producción de biomasa.

4.2.2 Comunicaciones exteriores

Este aspecto no varía respecto a lo expuesto en la primera etapa de elección primaria, la cual hace referencia a la 3ª Fase, en la que se busca primar las facilidades de exportación exterior. En este caso se seguirá apostando por los tres grandes puertos caribeños, siendo el de Barranquilla el que más peso coge a la hora de realizar los grandes envíos.

En esta ocasión, los departamentos y núcleos palmeros que nos resultan de interés se encuentran atravesados por el imponente río Magdalena, navegable hasta su desembocadura en el mar Caribe, representando un valor añadido para situarse en la zona, puesto que el producto se podrá enviar directamente desde las cercanías de la planta por vía acuática.



Fig. 12. Río Magdalena. (Fuente: El Heraldo)

4.2.3 Accesos y núcleos poblacionales

Se ha referenciado ligeramente (Región Andina e inmediaciones del Río Magdalena) la zona en la que se desea establecer la ubicación. En este apartado se detallarán los posibles núcleos susceptibles de elección que suponen mayor interés operacional. Los accesos, como se ha expuesto anteriormente, se encuentran gobernados por la posibilidad de navegación del río Magdalena. Por vía terrestre, la ruta 45 resulta la más directa y viable para acceder tanto a la zona central, como al norte hasta la costa. Dicha ruta se encuentra en la parte oriental del río, por lo que las localidades occidentales deberían atravesar alguno de los puentes disponibles para tal fin (Se ha encontrado uno debidamente acondicionado en Barrancabermeja).

A continuación se muestra la primera selección de localidades que presentan interés para la ubicación del proyecto. Se trata de cuatro municipios situados a orillas del Río Magdalena:

- **San Pablo.** Extremo Sur del departamento del Bolívar. 35500 habitantes. El clima del municipio de San pablo es cálido seco, con una temperatura promedio de 28 a 30 °C. Los habitantes de esta región se dedican principalmente a la agricultura, ganadería y minería, con sistemas de producción agrícola que registran bajos volúmenes de producción.

- **Cantagallo.** A pocos km de San Pablo, en el mismo departamento del Bolívar, se encuentra Cantagallo, un municipio de 9230 habitantes, en el que la principal actividad económica del municipio es la explotación del petróleo. Destacar que para estos dos municipios, la capital del departamento es Cartagena de Indias, ciudad de Interés para la Exportación del producto.
- **Puerto Wilches.** Pertenece al departamento de Santander, y con 31511 habitantes supone un mayor nivel de desarrollo frente a los anteriores. Las zonas Palmeras de estos municipios se encuentran acreditadas tanto por la Junta Directiva de Fedepalma (en su sesión del 11 de mayo 2011), como por el Registro Nacional Palmicultor.
- **Barrancabermeja,** en el departamento de Santander, y a 52 km de Puerto Wilches, encontramos este municipio, de gran importancia, al suponer un impulso económico gracias a la industria petroquímica. La población alcanza los 191616 habitantes, y es sin duda la ciudad más desarrollada de la zona a excepción de Bucaramanga, capital del departamento de Santander.

Las dos primaras opciones se encuentran situadas en el margen occidental del Río Magdalena, mientras que las otras dos se sitúan al Este. Además, las tres primeras se establecen en un radio muy reducido, siendo Barrancabermeja la que se encuentra ligeramente desplazada. No obstante, todas se sitúan en menos de un centenar de kilómetros.

4.2.4 Elección final

Finalmente se ha optado por ubicar la planta de procesamiento de biomasa en Puerto Wilches. Como se ha visto, todos los municipios estaban próximos, y aunque alguno disponía de mejores servicios que otros, ha sido una decisión conjunta de acuerdo con el análisis de selección realizado y la compañía palmera con la que se estableció relación, la que ha hecho decantarse por esta opción. Puerto Wilches presenta un gran potencial agrícola, siendo el cultivo de palma su principal actividad económica.

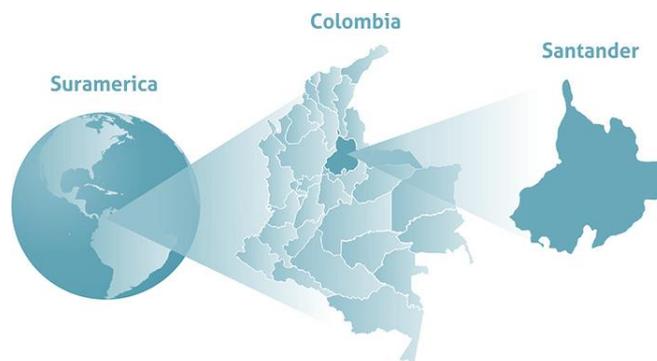


Fig. 13. Mapa político de Colombia, en el que se distingue la división en departamentos, destacando el departamento de Santander. (Fuente: essa.com)

El Departamento de Santander representa una extensión equiparable a la superficie de Bélgica. Está subdividido en 87 municipios, los cuales han sido agrupados en las Provincias de: Comunera, García-Rovira, Guanentá, Mares, Soto y Vélez. Puerto Wilches está constituido como municipio, y se haya ligado a la provincia de Mares, cuya capital es Barrancabermeja.



*Fig. 14. Mapa político del Departamento de Santander, en el que se distingue la división en provincias. Señalado el municipio de Puerto Wilches.
(Fuente: Emaze.com)*

Como se ha señalado, la gran explotación palmera de Puerto Wilches ha sido determinante en su selección. En palabras de su Gobierno, “la actividad económica es fundamentalmente agrícola y gira alrededor del cultivo de la palma de aceite, que es la respuesta a un ejercicio de planeación agro-ecológico efectuado hace más de cuarenta años y se ubica en la zona sur.” En la zona norte se cultiva maíz y plátano.

Además, como se ha destacado en varias ocasiones, el municipio de Puerto Wilches al poseer una vía fluvial de relevancia nacional y gracias a los esfuerzos del gobierno colombiano por impulsar la logística del transporte nacional sirviéndose del río Magdalena, la Sociedad Portuaria de Puerto Wilches adelantó en diciembre de 2014 el proceso de construcción de un terminal de carga, en el que se invertirán cerca de \$22 millones de dólares.

En 2017 se transportaron 3.173.492 de toneladas de carga por el Río Magdalena entre hidrocarburos y carga seca. Esto supone 719.596 toneladas más que el total de carga movilizada el año anterior (2016), cuando se transportaron por el Río Magdalena 2.453.896 toneladas de carga. Datos que confirman la importancia y el gran potencial que representa el Río Magdalena como alternativa eficiente de

transporte de carga en el país. Los estudios de demanda pronosticaban alcanzar esta cifra de los 3 millones de toneladas transportadas para el año 2021, así que haberlo superado ya, sólo ratifica que el Magdalena es un río activo y navegable.

Por último, con el fin de proporcionar mayor información acerca del entorno en el que nos moveremos, se destacarán las ramas de pobreza o salud. En primer lugar, existe una gran inequidad en el municipio de Puerto Wilches, donde la riqueza está altamente concentrada entre quienes invierten en la siembra de palma y la explotación petrolera, distorsionando la economía local. Por ello, la Administración Municipal y la Secretaria de Desarrollo Económico y Social han desarrollado programas para mejorar la calidad de vida de la población más vulnerable. Las tierras aptas para la agricultura fueron ocupadas por las palmas, dificultando a éstos el acceso a alimentos provenientes de cultivo propio. La población del Municipio de Puerto Wilches que se ocupa del cultivo de la palma africana corresponde al 26.06%, quienes representa a la población económicamente activa del Municipio.

En los sucesivos anejos se irán tratando otros aspectos relacionados con el municipio.

4.2.4.1 Geolocalización concreta: parcela seleccionada.

Como última acotación al anejo de Localización del estudio, se hace referencia a la parcela seleccionada dentro del municipio de Puerto Wilches para situar la planta de procesamiento de biomasa. El “centro” de dicha parcela atiende a las siguientes coordenadas de referencia:

7°20'38" N 73°54'17" W



Fig. 15. Ortofoto de puerto Wilches donde aparece sombreada la parcela que se ha elegido para situar la planta. (Fuente:GoogleMaps)



5



DESARROLLO



5. Desarrollo

Llegados a este punto, se han puesto en valor las razones que impulsan la elaboración del presente estudio, ya sea desde el marco de la necesidad económica, técnica, y medioambiental para desarrollar este aprovechamiento, hasta la situación actual, tecnologías y productos predominantes. Además, en el anterior capítulo se ha establecido el emplazamiento de la planta de procesamiento en la localidad de Puerto Wilches, que posee una actividad económica fundamentalmente agrícola, y gira alrededor del cultivo de la palma de aceite.

En este capítulo se dará, a través de los sucesivos apartados, respuesta al grueso del proyecto desde el punto de vista técnico, constructivo, logístico o productivo, entre otros.

5.1 Planteamiento

El estudio técnico para la ejecución de un proyecto de creación de una planta de procesamiento de biomasa con objeto de generar una línea de producción de pellets ha de contener el diseño del mismo, la puesta en obra de la maquinaria, la instalación completa de la planta, y plantear la variable de un mantenimiento futuro que alargue la vida útil del sistema.

El enfoque que se ha diseñado pasa por dar prioridad a la selección del recurso óptimo a emplear. El paso posterior será establecer el producto que representará la línea de trabajo. En función de éste, se necesitará uno u otro diseño de la maquinaria. Dicha maquinaria también dependerá de los rangos de producción, por lo que también han de estimarse.

La siguiente fase será la del propio diseño de la planta: infraestructura, selección de maquinaria, estructuración, etc. Esta etapa dará paso a la última de logística, en la que el objetivo no es otro que establecer el organigrama de funcionamiento con la planta en producción. Es decir, adquisición del recurso, almacenamiento de este, distribución del producto, etc.

5.1.1 Solución adoptada

5.1.1.1 Recursos

Se baraja la utilización de un recurso principal, la palma, procedente de desechos de los núcleos de explotación palmera seleccionados, combinado con otros recursos procedentes de desbrozas forestales, cultivos u otros elementos de interés energético y económico.

5.1.1.1.1 Palma

La materia prima elemental del proyecto es la planta arbórea de la palma. Más concretamente se puede hablar de la palma de aceite africana o simplemente palma africana. Su denominación científica se corresponde con la especie *Elaeis guineensis*. *Elaeia* es el nombre perteneciente al género, que deriva de la palabra *Eleia*, que significa oliva y se relaciona por el vínculo de ambos frutos ricos en aceite. Por su parte, *Guineensis* hace referencia a la zona geográfica de su origen, establecido en Guinea.



Fig. 16. Planta de palma de aceite africana en sus primeros años de vida.
(Fuente: etawau.com)

Es una especie perenne, que en condiciones naturales puede superar los 40 metros de altura y más de un siglo de vida, pero que, bajo cultivo para su explotación, posee una esperanza en torno a los 20 años, al haber logrado su cénit productivo, dejando de ser rentables a causa de la altura alcanzada, presentando una mayor dificultad para recoger los frutos. Éste será el factor determinante para el interés del presente estudio.



Fig. 17. Cultivo de la palma africana, en el que se puede apreciar la altura que va alcanzando la planta con los años de explotación.
(Fuente: <http://tropical.theferns.info>)

Comienza a producir frutos a partir de los dos años y medio tras su siembra. A partir de su fruto se genera el aceite de palma, presente en gran proporción en el mercado al estar implicado en la elaboración de alimentos de uso cotidiano. Según la Federación nacional colombiana de cultivadores de palma de aceite, la palma de aceite es la oleaginosa más productiva del planeta. Una hectárea sembrada produce entre 6 y 10 veces más aceite que las demás. Esto lleva a una gran demanda por parte de grandes industrias de todo el mundo, que impulsa la creación de áreas de explotación palmeras para la producción de aceite. Además, recientemente se le ha comenzado a dar otra finalidad, empleándolo como biofuel.



*Fig. 18. Racimos de fruto apilados tras su recogida.
(Fuente: Fedepalma)*

Se ha ubicado la planta de tratamiento de biomasa en el departamento de Santander, donde la producción de aceite de palma alcanzó en 2015 las 173400 toneladas, que corresponden al 14% de la producción nacional, albergando 74520 hectáreas sembradas en 2016, 7 núcleos palmeros en funcionamiento y 23288 empleos directos e indirectos. Entre los municipios palmeros establecidos en este departamento se encuentra Puerto Wilches.



*Fig. 19 . Ortofoto de una explotación palmera en la zona central de Colombia, más concretamente en el departamento de Santander (junto al municipio de Puerto Wilches). Se añade una medición de la distancia longitudinal, 2km en total, que se representa en la imagen.
(Fuente: GoogleMaps)*



*Fig. 20. Explotación de palma de aceite africana en el departamento de Santander.
(Fuente: Fedepalma)*

Las características técnicas de la palma de aceite africana para aprovechamiento energético se pueden reducir a los rangos de poder calorífico estimados. En función de la parte de la planta que se esté estudiando se podrán encontrar diferentes parámetros. Es decir, se encuentra un potencial energético diferente en base al tipo de residuo. Se puede desglosar la morfología en los siguientes grupos:

- *Tallo o tronco.* No presenta ramificaciones ni utilidad para otros usos. Contiene en su interior los haces vasculares (Floema y Xilema), por donde circula el agua y los nutrientes. En edad adulta, su diámetro es aproximadamente de 1m y a los 20 años su altura estará en torno a los 10m, con cerca de 0.5m de diámetro. Con estos datos cabe esperar un gran potencial volumétrico para la obtención del producto en la planta.
- *Hojas.* En cada palma se generan entre 20 y 40 hojas. El raquis es la columna vertebral de la hoja, que sirve de unión para los diferentes folíolos (se pueden encontrar entre 100 y 200 folíolos en una hoja). Puede alcanzar los 5m de longitud y en la base posee espigas o peciolo de gran dureza.
- *Fruto.* Se encuentra en racimos, al comienzo de las hojas, junto al tronco. Es de color rojizo, de forma ovalada, de 3-6 cm de largo y con un peso de 5-12 g aproximadamente. Tras la envoltura, se encuentra la pulpa o mesocarpio. De éste se obtiene la mayor parte del aceite. El endocarpio o nuez (semilla) representa la parte central, que contiene el cuesco o almendra, de la que se obtiene el aceite de palmiste.
- *Inflorescencia.* Se corresponde con el resto del conjunto implicado en lo relativo a la flor. Ésta aparece al tercer año y puede ser masculina o femenina.

En una primera elección se optó por operar de un modo más cómodo y eficiente, determinando la necesidad de una trituración previa del recurso en campo a la hora de la recogida (este aspecto se detallará en el apartado de Logística/Adquisición de materia prima). Sin embargo, sufriendo dicha decisión una alteración relativa a la



mejora continua, finalmente se ha decidido transportar el tronco directamente a la planta sin trituración en campo.

Únicamente queda a criterio decidir si los diferentes elementos se tratarán por separado o el recurso se tratará como un todo, sin hacer distinciones entre la morfología de la palma. Pensando en la uniformidad de las características técnicas de la materia prima empleada se ha optado por utilizar únicamente el tronco en la producción de pellet. Dicho elemento posee unas características técnicas (densidad, poder calorífico,...) conocidas y atractivas para la obtención de un producto competitivo en el mercado como se verá a lo largo del estudio.

En este punto surge una pequeña problemática al encontrar en el conjunto de ramales un residuo altamente voluminoso e inservible para el proyecto. En primer lugar se ha pensado en reducirlo mediante la trituración por medio de la maquinaria a adquirir, obteniendo un serrín con valor comercial. Por otro lado, se ha sabido que puede presentar otras aplicaciones interesantes, siendo empleado en la obtención de papel por medio de las excelentes propiedades fibrosas (mayor aun en los racimos vacíos), o por ejemplo para la creación de multitud de objetos entrelazando o tejiendo sus hojas. Además, los cuescos se emplean, tras su trituración, en la construcción para formar pavimentaciones, como hormigón, como aislante de humedad...

Otras fuentes de recursos pueden ser la caña de azúcar, el café, maíz, o plátano, entre otras, que suponen miles de toneladas anuales de residuo. En un futuro son susceptibles de estudio para una posible ampliación de la línea de producción de la planta. No Obstante, este estudio se centrará en el uso de la palma.

5.1.1.2 Producto. Pellet.

El producto elegido para gobernar la línea de producción de la planta de tratamiento de biomasa es el pellet. En el anejo representativo del estado del arte, se ha puesto de manifiesto la importancia de este producto en el sector, sus cualidades, sus usos, presencia en el mercado...Es por ello que se ha elegido esta opción como la óptima, descartando otros posibles productos como las briquetas.

La presentación final del producto se realizará en dos formatos. Por un lado se generarán sacos de 15 Kilogramos, de uso principalmente doméstico. Este formato está ampliamente extendido en el mercado, siendo manejable y económico para el usuario. Por otro lado se utilizará el formato del Big-bag de 1 tonelada. Se trata de una saca de gran pesaje para instalaciones de gran demanda. Es necesario disponer de medios para su manipulación y almacenaje, pero económicamente se obtienen mejores resultados, además de asegurar una fuente de combustible duradera.



Fig. 21. A la izquierda se muestra un pallet de sacos de 15kg apilados y en fase de embalaje para ser distribuidos. En la imagen derecha se observa el aspecto final del Big-bag de 1tn.
(Fuente:GoogleImages)

5.1.1.3 Producción

Determinar los rangos de producción esperados para la planta de procesamiento de biomasa es uno de los aspectos más relevantes a la hora de seleccionar el desarrollo de las especificaciones técnicas demandadas. En base a esta estimación se determinará la viabilidad final, el tipo de maquinaria a emplear, la superficie de la planta, etc.

Para comenzar, se han establecido los parámetros de la explotación de palma a los que se tendrá acceso para el abastecimiento de materia prima. Los datos que se han recogido son los siguientes:

	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
EXPLOTACIÓN	Superficie disponible (ha)	11.000
	Nº de plantas por superficie (ud/ha)	143
	Volumen de madera por planta (m3/ud)	2
	Madera de palma (m3)	3.146.000
	Densidad palma blanca seca (kg/m3)	635
	Masa madera seca (Tn)	1.997.710

Tabla 5. Parámetros del recurso y su disponibilidad en los campos de explotación.

Por otro lado, se han determinado de igual modo los rangos de producción iniciales para la fabricación:

FABRICACIÓN	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
-------------	-------------	----------



Producción de pellets por hora (Tn)	2
Horas de funcionamiento diarias	24
Número de días de funcionamiento anuales	365
Producción anual que puede generar la fábrica (Tn)	17.520

Tabla 6. Rangos iniciales de producción previstos.

Combinando la masa de madera seca obtenida en los parámetros establecidos para la explotación, y la producción anual de la planta de procesado de biomasa, todo ello en toneladas, se puede calcular un ciclo de explotación estimado:

Años de explotación ininterrumpida para el recurso estimado	114
--	------------

Este cálculo es meramente orientativo para obtener una idea aproximada de la cantidad de materia prima disponible, que nos transmite una primera oleada de expectativas positivas hacia la viabilidad final del proyecto. Como se ha destacado a lo largo del estudio, cada planta de palma posee un ciclo de vida para su explotación de 20 años, por lo que se han de realizar los cálculos necesarios para estimar la posibilidad de abastecimiento permanentemente disponible. Dichos cálculos se realizarán en el anejo de viabilidad.

5.2 Instalaciones

Es fundamental realizar un análisis lo más detallado posible de la instalación. Ésta contará con una extensión de aproximadamente 18000m² (1,8ha) divididas en distintas zonas de producción. A continuación, se describirá el diseño ideado para la distribución de la planta en dichas zonas:

Zona 1. Báscula calibrada para pesaje y registro de camiones (tanto a la entrada como a la salida de las instalaciones).

Zona 2. Recepción y tratamiento previo de biomasa. En primer lugar, se realizará acopio primario temporal de descarga del recurso arbóreo recibido. Esta zona albergará la primera fase de trituración y la planta de cribado y refinado del material pre triturado, pudiendo separar tierras e inertes y obtener medidas específicas del recurso realmente aprovechable del bruto transportado desde la explotación.

Zona 3. Acopio del material arbóreo pre triturado. Almacenaje seguro y secado natural, con independencia de las condiciones climatológicas. Recogido en el apartado 5.3.3.1 *Planta de desecación previa.*

Zona 3A. Silo de almacenamiento interior de biomasa para consumo a corto plazo, con una capacidad de 1000 m³.

Zona 4. Edificio de tratamiento que albergará la línea de producción. Recogido en el apartado 5.2.2 *Infraestructura*.

Zona 4A. Oficinas y vestuarios. Se trata como una variante de la Zona 4, pero forma parte de la misma infraestructura.

Zona 5. Parque de vehículos y demás maquinaria móvil. Zona de taller para posibles reparaciones y mantenimientos.

Zona 6. Almacén de producto empaquetado y preparado para ser distribuido.

Zona 7. Acopio de materia prima arbórea que asegure el abastecimiento continuo del proceso productivo.

Zona 8. Depósitos de agua para sistema de prevención contra incendios.

Zona 9. Centro de vigilancia perimetral 24/365 días, con cámaras que cubrirán todo el perímetro de la planta.

Zona 10. Centro de transformación.

Dichas zonas se desarrollarán en sus respectivos apartados. Para una visualización general de las zonas establecidas y su ubicación dentro de la parcela de la instalación, se muestra a continuación un primer croquis elemental que representa el conjunto (se mostrará con mayor detalle en el documento perteneciente a los planos):



Fig. 22. Representación gráfica de las Zonas ideadas dentro de la parcela de las instalaciones.



5.2.1 Proceso productivo. Etapas y maquinaria implicada.

El proceso productivo que interviene en una planta de fabricación de pellets de biomasa alberga diversas fases. A groso modo, en primer lugar se llevará a cabo la recepción del recurso o materia prima para seguidamente aplicar un primer tratamiento de limpieza a fin de eliminar el material no deseable (refino) y almacenamiento primario, previo a la primera fase de trituración.

El siguiente proceso en el ciclo productivo implica el secado térmico del material pre-triturado, que favorecerá el correcto desarrollo de las posteriores etapas de fabricación del pellet. Primero se efectúa la molienda y finalmente el peletizado. Tras éste último, el producto obtenido se almacena en silos para su carga a granel en camiones, o bien se produce el ensacado para la distribución en sacos apilados sobre palés. Por último se producirá el transporte para su distribución y venta.

Los pellets se pueden fabricar con una matriz anular o plana, a través de la cual se hace pasar el material por extrusión, adoptando la forma de los orificios. La materia prima es sometida a condiciones de alta presión y temperatura, lo que facilita la aglutinación de las fibras formando los pellets gracias a la lignina natural que contiene la madera. Sin embargo, a veces es necesario agregar durante el proceso productivo aglutinantes adicionales para lograr un mejor aglomerado y aumentar la resistencia del pellet para su posterior transporte. Estos aglutinantes deben ser de origen natural, no contaminantes durante la combustión (generalmente se emplean distintos tipos de almidones y el porcentaje utilizado de los mismos debe ser menor al 2% según Normativa Europea).

En el *Estado del Arte* se han definido las etapas del proceso productivo del pellet y la maquinaria empleada en las mismas. A continuación se hará un breve análisis de dicho aspecto aplicado a la planta de Puerto

Previamente se ha expuesto, en el apartado 5.2 *Instalaciones*, las diferentes zonas o áreas de producción dentro del recinto de la planta. Atendiendo a este aspecto se pueden dilucidar las etapas intervinientes. En este anejo de Desarrollo se tratarán todas las fases por separado. Sin embargo, este apartado hace referencia en concreto al proceso productivo o línea de producción del pellet. Sin embargo, se hará un seguimiento completo del proceso que servirá, en su conjunto, a modo de resumen.

En primer lugar, tras la recepción del recurso, se realizará la trituración y molienda gracias a una trituradora móvil que reducirá la granulometría de la materia prima para favorecer la desecación previa. La biomasa triturada pasará a ser almacenada y limpiada de modo temporal hasta el momento de formar parte de la línea de producción. Este almacenamiento ha de estar ventilado para que los flujos de aire caliente que favorezcan el secado natural del recurso. En esta etapa se pretenderá



extraer la humedad del recurso hasta rangos óptimos. En el caso de poder obtenerla, no hará falta el secador, con el correspondiente ahorro que supondría. En la Viabilidad técnica se definirá la posibilidad de obtener dichos parámetros, que han de ser en torno al 15%.

Unos silos de almacenaje de materia sólida contendrán a corto plazo la materia prima lista para empezar la producción. Un regulador se encargará de proveer a la línea de producción mayor o menor alimentación según la demanda requerida, evitando posibles paradas o atascamientos. Cabe destacar, que antes de pasar a formar parte del peletizado la granulometría del recurso ha de ser de diámetro inferior a la del propio pellet. Si la trituración anterior citada no fuese suficiente se ha de instalar un molino de martillos con tambor rotatorio para tal fin

El peletizado consiste, literalmente, en prensar el “serrín”. Una prensa realiza el proceso de densificación de la biomasa, haciéndola pasar a través de una matriz agujereada. De dichos agujeros dependerá el diámetro característico final del pellet, cuya longitud depende de unas cuchillas situadas a la salida de la matriz. En el momento del corte aún están blandos y quebradizos, por lo que se tratan con delicadeza. Para evitar este inconveniente, y aumentar la dureza y resistencia del pellet se realiza el enfriamiento. Es en esta etapa donde se consigue, por medio de ventiladores, el acabado característico del pellet.

Por último se preparará el producto finalizado para su distribución. Por un lado se dispondrá de la ensacadora, con sistema de pesaje y llenado de sacos de polietileno de baja densidad, que son sellados posteriormente con una termo-selladora. Por otro lado, se dispondrá del sistema de llenado y pesaje de sacos tipo Big-bag.

**El conjunto detallado de la elección final de la maquinaria se establecerá más adelante.*

5.2.2 Infraestructura. Solución adoptada.

Se entenderá como la infraestructura el edificio o conjuntos de edificaciones que albergarán la línea de producción, así como el resto de funciones implicadas en el desarrollo de la gestión de la planta (taller, almacén, servicios, oficinas administrativas, etc.). Su diseño se debe adecuar a los requerimientos demandados por la planta de tratamiento de biomasa.

Se optará por construir una nave industrial cuyas dimensiones vendrán determinadas en gran medida por la línea de producción. En el mercado hay gran variedad de métodos constructivos. No obstante, para la creación de una nave industrial, técnicamente se han de tener en cuenta diversos factores como: el modo en el que descansará sobre su cimentación, las placas de anclaje, los pilares metálicos, las vigas o cerchas de su cubierta, su tipo de cubierta y fachadas, los paneles de



recubrimiento (que podrán ser metálicos o de hormigón) o la resistencia al viento o cargas externas (como la nieve).

Cabe señalar que en la parcela seleccionada en la localidad colombiana de Puerto Wilches existen varias edificaciones. Son varias naves industriales de hormigón en desuso con un grado de degradación a tener en cuenta. Una se empleará para la zona de desecación previa a la línea de producción. El resto, tras analizar su integridad, se ha optado por derruirlo y construir de nuevo, acorde con las necesidades y garantías óptimas estructurales del proyecto.

Se ha estimado una extensión necesaria de aproximadamente 2000m² para garantizar albergar la maquinaria de un modo seguro y eficiente. Además, se realizarán particiones en su interior para separar las oficinas, el taller, y los vestuarios. Se va a construir una nave industrial, y el primer paso es decidir si se hará de hormigón o metálica, con las ventajas e inconvenientes que presenta cada opción. Además, existe la posibilidad en estas edificaciones, de optar por el prefabricado.

Como consecuencia de la actividad que se va a desarrollar y al almacenamiento de productos combustibles sólidos, el riesgo de incendios es elevado, y en base a la seguridad, no prima el daño que puede sufrir la propia industria, sino el daño a las personas o, aunque en este caso no proceda, a otras naves industriales cercanas. En contra de lo que se piensa, la protección contra incendios de las naves industriales no tiene por misión conseguir que el edificio no se vea afectado o que no se derruya por la acción del fuego, sino que se trata de conseguir que permanezca en pie el mayor tiempo posible para dar tiempo a los cuerpos de emergencias a extinguir el fuego y evitar su propagación o para que las personas que se encuentren en su interior puedan evacuar el establecimiento industrial sin sufrir daños. Pasado ese tiempo, no importa, bajo el punto de vista legislativo de seguridad, que el edificio se derrumbe. De hecho, en la gran mayoría de casos de este tipo se acaba derruyendo el edificio. Existe la idea, por parte de los promotores de naves de hormigón, de hacer creer que las naves metálicas no soportan bien el fuego, o que son costosas. Estas afirmaciones no son ciertas, presentando incluso este tipo de construcción otras ventajas del tipo económico y constructivo.

Centrémonos pues, en la solución adoptada para este proyecto. Se ha contactado con una empresa dedicada a la construcción de naves industriales, entre ellas prefabricadas desmontables, que han aportado una interesante solución a nuestro proyecto. Las naves industriales prefabricadas desmontables se realizan mediante la unión de anillos, y esto hace que puedan tener toda la profundidad que el cliente necesite. La rapidez de montaje es una de sus características, haciendo este tipo de naves una solución altamente demandada, además la apariencia exterior e interior es completamente configurable admitiendo un gran abanico de acabados. Existe la posibilidad de adosamientos laterales de naves, incluso entre las de diferentes longitudes y/o alturas, pudiendo conseguir diferentes figuras geométricas.

Se construyen con estructuras metálicas galvanizadas que no necesitan de pilares intermedios que dificulten la distribución interior de la planta o fábrica, siendo de especial interés para usos de logística y almacenamientos. Además, se consiguen grandes alturas de planta y una gran luminosidad.



*Fig. 23. Proceso de construcción de una nave industrial prefabricada por la unión modular.
(Fuente: Normatel)*

Por sus muy diferentes usos y destinos, se ha desarrollado una amplia gama de modelos en función de la anchura y altura requerida. Los anillos tienen una anchura de 2,41m, una altura que oscila entre los 3 y 7 m, y una cubierta a dos aguas con una inclinación del 15%. Dicha cubierta posee una cara superior de chapa galvanizada ($e=0,6$ mm) apoyada y atornillada sobre correas metálicas y un panel translúcido de policarbonato compacto grecado, colocado en cumbre dejando una superficie útil de paso de luz de 2,4 m en cada anillo. Por su parte, los laterales están constituidos por una chapa grecada lacada $e= 0,6$ mm, con la opción de colocación de translúcido en la parte superior de faldón, eliminándolo de cubierta y en igual superficie por anillo.

El aislamiento se realiza en fábrica colocando en la parte interior de todos los paneles, una chapa igual a la exterior. Entre la chapa interior y exterior, se coloca una manta de fibra de vidrio de 80 mm de espesor. El resultado es un panel tipo sándwich chapa-cámara de aire-manta-chapa, de alto coeficiente aislante, en el interior de la nave aislada es completamente diáfano, quedando ocultas las correas de apoyo de la chapa. A lo largo de toda la nave y a ambos lados, se dispone un canalón con recogida de aguas, el cual se fabrica en chapa pre-lacada de 0,6 mm de espesor. En ambos extremos de cada canalón se dispone una bajante de tubo de PVC.

La nave se envía desmontada sobre un camión, hasta el lugar de la instalación. El montaje se realiza con la ayuda de una grúa y una plataforma elevadora. La nave se ancla a la base mediante espárragos roscados de M16 fijados con resina al Hormigón. Estos espárragos se colocan al inicio por los montadores en la posición indicada en un plano de replanteo.



A continuación se expondrá el conjunto de tecnología de materiales, utilizado por la empresa constructora, del sistema a emplear en la nave industrial de la planta de procesamiento de biomasa:

- *Estructura metálica compuesta por perfiles conformados en frío, galvanizados (Sendzimir Z275). Remachados y atornillados con pernos de alta resistencia. Piezas de unión galvanizadas por inmersión.*
- *El perfil que forma el pórtico resistente del anillo es Sigma de 250 mm de alto E=2,5 mm Galvanizado Sendzimir Z275. Calidad del acero S350.*
- *Refuerzos de unión de Sigmas en faldón y cumbrera realizados con chapa de 5mm de alto límite elástico.*
- *Uniones con tornillos de calidad 12,9 de faldón vertical a cubierta y con remaches estructurales de alta resistencia de 8 y 10 mm de diámetro para fijar los refuerzos a las sigmas y las correas de apoyo de cerramiento a las sigmas. El sistema de colocación de los remaches estructurales garantiza su correcta colocación y comportamiento impidiendo que se aflojen con el paso del tiempo y las acciones a que está sometido.*

Consultar la representación gráfica en el documento relativo al conjunto de planos.

5.2.3 Cerramiento exterior.

Aunque no se entiende como un factor determinante en la estrategia empresarial del proyecto, se tendrá en cuenta la necesidad de realizar un cerramiento de la parcela a fin de delimitar la zona industrial de la población y prevenir accidentes a la par que obtener privacidad.

Se ha optado por emplear un cercado metálico con malla simple y postes curvados en el extremo con tres hileras de espino galvanizado. Dicho cercado será anclado a una base formada por un murete de bloques de hormigón armables de dimensiones 20x25x50 cm.

El murete tendrá 4 alturas de bloques, lo que supone una altura total de 0,8 m, a los que se añadirán los 2 m de malla más los 0,3 m de poste inclinado. En total se tendrá un cerramiento de unos 3 m de altura, con alambre de espino en la coronación y un sistema de video vigilancia continuada a lo largo del perímetro.

5.2.4 Maquinaria seleccionada

En función de los rangos de producción se determinará la idoneidad a la hora de seleccionar la maquinaria disponible en el mercado. La producción estimada para el arranque de este proyecto se ha fijado en 2 Tn/h, pudiendo ser ampliada en el futuro si los rangos de viabilidad económica y operativa lo permitiesen.

Se diferenciará entre dos tipos de maquinaria. Por un lado se tratará como maquinaria anexa a la planta, aquella maquinaria que no forme parte directa de la línea de producción de pellet. Es decir, formará parte dentro del proceso productivo de forma indirecta, pero no es parte de la línea de producción como tal explicada en el apartado 5.2.1. En este apartado se expondrá el conjunto de maquinaria seleccionada para desempeñar dicho proceso productivo. La maquinaria anexa a la planta se describirá más adelante en la *Logística*.

El descortezador de madera se utiliza para deshacerse de la piel exterior de la madera, ya que, en la producción de pellets, la corteza aumentará el contenido de cenizas, siendo éste uno de los aspectos finales a tener en cuenta en la ficha de calidad técnica del producto. Tras el astillado, y previo al peletizado, el tamaño ha de ser menor que el calibre del producto final, por lo que si fuera preciso, se requiere de la combinación del astillado con una posterior molienda. Para todo el proceso descrito se ha optado por la selección de la siguiente maquinaria:

1. Producción del pellet de madera. Sistema de descortezado y astillado del bruto.			
Elemento	Descripción técnica	Uds.	Imagen
Sistema de descortezado de madera	Posee dos cintas transportadoras, una para descortezar, y otro para la madera descortezada. El diámetro de la madera puede estar entre 20 y 50cm. Capacidad de procesamiento de 20 Tn/h	1	
Astilladora de madera	Con cinta de alimentación transportadora. Capacidad de 10m ³ /h. No requiere de anclaje al suelo.	1	
Molino de martillos	Incluye la máquina principal, el panel eléctrico y las tuberías y el ventilador de aire.	1	
Selector magnético	Se emplea para separar los restos metálicos existentes en la materia prima.	1	
Cinta transportadora	Anchura de 600mm Longitud de 6000mm Transmisión de cadena Placas de la carcasa hechas de acero de espesor 3.5mm	1	

Tabla 7. Producción del pellet. Sistema de descortezado y astillado. (Fuente: abc Machinery)

Como se ha mencionado en diversas ocasiones, es de vital importancia obtener, previo a la peletización, unos rangos de humedad del recurso idóneos. El mejor contenido de humedad para la peletización es del 12-15%, por lo que se debe considerar el proceso de secado si la humedad de la materia prima es mayor. Este requisito se tratará de conseguir en la planta de desecación previa de un modo natural como se detallará más adelante. En caso de no obtener los parámetros estimados, se requeriría de un secado artificial mediante maquinaria industrial, por lo que se han estimado necesarios para tal cometido los elementos de la siguiente tabla:

1. Producción del pellet de madera. Sistema de secado.			
Elemento	Descripción técnica	Uds.	Imagen
Secador de tambor	Diámetro del tambor: 1,6m Longitud del tambor: 15m Con ventilador y tuberías de aire ciclónico.	1	
Tornillos sin fin de alimentación y descarga	Diámetro: 300mm Longitud: 4000m Espesor de la placa: 3mm Espesor de la paleta: 5mm	2	
	Diámetro: 300 mm Longitud: 1800m Espesor de la placa: 3mm Espesor de la paleta: 5mm	1	
Estufa para inyección aire caliente	Salida de calor de 120×10^4 cal/h	1	

Tabla 8. Producción del pellet. Sistema de secado. (Fuente: abc Machinery)

El secador de tambor elegido para extraer la humedad hasta ese deseado 15% incluye cinco etapas: la primera comprende la alimentación de la materia prima, por lo que se incluye en la tabla el tornillo alimentador. La segunda etapa está relacionada con la estufa para la inyección del aire caliente, que ofrecerá el aire calentado al cuerpo principal del tambor. La tercera supone el propio secador de tambor, que incluye a su vez lo que será la cuarta etapa, albergando el equipo de tuberías, ciclón, válvulas, ventiladores, tuberías... Por último, al igual que ocurría con la alimentación de la materia prima, un tornillo sin fin de descarga se encargará de extraer el material seco.

La materia prima, una vez obtenida en campo, transportada a la planta de procesamiento y tratada (trituración, desecación,...), se encuentra en disposición de comenzar el 'viaje' a través de la línea de producción para transformarla en pellet. Este proceso comienza con el almacenamiento en los silos exteriores de carga a granel para abastecimiento a las peletizadoras a corto plazo (Zona 3A).

Los silos metálicos de carga sólida a granel están concebidos para el almacenamiento y posterior descarga de productos, fundamentalmente los granulados como la astilla de madera. Se suelen usar en instalaciones para función agrícola, fábricas de pienso, harinas, etc. Sus capacidades y dimensiones son muy variables, pudiendo encontrarlos desde 10m³ hasta 2000m³ o más. Pueden ubicarse a ras de suelo o en altura, lo cual facilita la descarga a camiones. El material ha de ser resistente a la corrosión e inclemencias meteorológicas, así como poseer uniones sólidas y estancas que no permitan la filtración de humedad a su interior.

Algunos permiten la instalación de una monitorización de las condiciones de humedad y aireación, lo cual es de gran interés para la calidad final de nuestro producto. Respecto a la carga y descarga del mismo, se emplean diferentes soluciones: ascensor, cinta transportadora, válvulas de by pass, etc.



Fig. 24. Silo de almacenamiento con cinta transportadora y descarga por gravedad.

(Fuente: lippel.com.br)

El tamaño seleccionado ha de ser el correcto para suplir la demanda de la planta. En un principio se hacía referencia a los silos en plural. Sin embargo, con la producción estimada para la primera fase de explotación de la planta y gracias a los volúmenes de carga que permiten, será suficiente con una única unidad.

Una tolva de recepción recoge el material de forma homogénea mediante un tornillo sin fin. La elevación se conseguirá en nuestro caso por medio de una cinta transportadora, aunque también se consigue mediante cangilones. Posee un sistema para ajustar y cribar el tamaño de la astilla o serrín de palma. A priori se ideó la designación de una zona de cribado y refinado del material. No obstante, gracias a este sistema y otros que poseen el conjunto de la maquinaria seleccionada para la planta y que se tratarán en las próximas líneas, no hará falta. Respecto a la descarga, ésta también se consigue de manera homogénea y acorde con la demanda de la fábrica, sin formar atascos ni cuevas en su interior.

La descarga del silo para la alimentación a las peletizadoras supone el paso intermedio entre la preparación de la materia prima y su transformación. Se consigue gracias al sistema de descarga del silo y por medio de unas cintas transportadoras que conducirán el serrín hasta las peletizadoras.

A la hora de seleccionar la maquinaria, disponemos en el mercado de varias opciones de diseño. En primer lugar, se puede optar por adquirir la planta de peletizado completa, es decir, una instalación comercial prediseñada que realiza todo el proceso, desde la astilla seca hasta el ensacado. El sistema incluye todos los elementos necesarios para lograr una producción de gran calidad de forma automatizada.

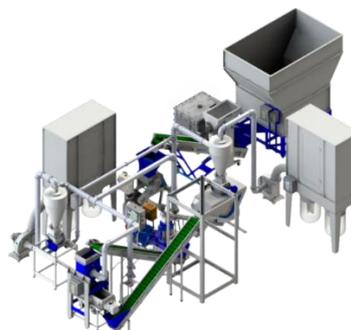


Fig. 25. Planta de peletizado prediseñada. (Fuente: woodsims.es)

Estas plantas prediseñadas y comercializadas varían en los rangos de producción disponibles, pudiendo encontrar parámetros de entre 400 y 700 kg a la hora. La problemática de adquirir este sistema automatizado reside en la necesidad de dividir las líneas de producción, teniendo en la fábrica diversas 'mini-plantas' de procesamiento independientes trabajando por separado para obtener los rangos de

producción deseados (para llegar a las 2Tn/h harían falta 3). En otras palabras, al disponer incluso de ensacadora final propia, se obtendría el producto en varios emplazamientos dentro de la fábrica.

Para optimizar los rendimientos, se opta por disponer de un ensacado general, localizado en un único sector dentro de las instalaciones, así como una única línea de enfriamiento (para esta solución, cada unidad de trabajo automatizada tendría su propia zona de enfriamiento). En esta ocasión el secado no plantearía problemas, debido al diseño de esta planta, que no dispone, en un principio, de secador, introduciendo el recurso astillado en la nave de desecación natural. Como particularidad, cabe destacar que también plantea la posibilidad de obtener el producto en formato Big-Bag.

En resumen, únicamente nos interesaría dividir la producción en la fase de peletizado propiamente dicha, ramificando el proceso en varias líneas de peletización. Por todo ello se ha empezado por recabar información acerca de peletizadoras. En el sector encontramos peletizadoras que llegan a las dos toneladas a la hora estimadas para este proyecto. Sin embargo, en el análisis de mercado realizado se ha tratado de obtener una comparativa respecto a la posibilidad de implantar varias vías de diseño. Por un lado la adquisición de una peletizadora que alcance las 2tn/h, y por otro lado la posibilidad de adquirir varias de menor rango de producción. Resulta obvio que la de menor producción presenta un menor coste, pero surge la necesidad de adquirir varias, por lo que se compensa el gasto. Además, con una única peletizadora reduces los gastos de otros elementos requeridos en el montaje, así como la ganancia de espacio en planta, al necesitar únicamente una cinta transportadora de alimentación y descarga. Como único inconveniente al hecho de disponer de una sola peletizadora respecto a varias, se encuentra el riesgo de parada de la producción a causa del paro forzado de la máquina, ya sea por fallo de la misma, atascamiento, mantenimiento, etc.

Con todo ello, se ha seleccionado para esta planta de procesamiento de biomasa la adquisición del siguiente conjunto de elementos:

1. Producción del pellet de madera. Sistema de peletizado.			
Elemento	Descripción técnica	Uds.	Imagen
Tornillo transportador	Diámetro de 350mm Longitud de 7m Partes de la carcasa hechas de acero de espesor 3,5mm	1	

Peletizadora	Capacidad: entre 1,5 y 2 Tn/h Calibre o diámetro del pellet: 6mm u 8mm	1	
Sistema de refrigeración de la peletizadora	Cámara ventilador de aire de 3kw, tuberías y válvulas de paso de aire, etc. Hecho de placa de acero de 3mm	1	
Transportadora de pellet	Cinta transportadora horizontal de 500mm de anchura y longitud de 10000mm. La cubierta inferior está hecha de acero de 3 mm de espesor.	1	

Tabla 9. Producción del pellet. Sistema de peletizado. (Fuente: abc Machinery)

La máquina de pellets o peletizadora es el elemento principal de la cadena de producción. Es la encargada de transformar el serrín como tal en el característico aspecto del pellet. La maquinaria seleccionada adopta tecnologías que permiten refrigerar la cámara de peletización aproximadamente a unos 90°C. Dicha refrigeración alargará la vida útil de los elementos implicados, tales como la matriz anular. La materia prima ingresa en su interior gracias al alimentador forzado de tornillo y a un sistema de ruedas dentadas y correas se ejerce la presión entre los rodillos y la matriz para obtener el pellet.

El modelo elegido es el KMPM508, que posee una capacidad de 2000kg/h, unas dimensiones de 2,99m x 1,2m x 2,41m y un peso de 4500kg. El modelo anterior del proveedor (KMPM42) posee una capacidad máxima de 1500kg/h.

De acuerdo con lo expuesto en el anejo 3, relativo al *Estado del Arte*, en el que se detalló la tecnología utilizada en la actualidad para la obtención del pellet, se tiene que la siguiente etapa en la cadena de producción corresponde al enfriamiento.

Después del proceso de peletización, la temperatura del pellet es de aproximadamente 60-80°C, con un contenido en humedad del 15. Dicho proceso de enfriamiento se realiza para reducir la temperatura y humedad del pellet (hasta un 3-

4%, adquiriendo este rango gran importancia por poseer la planta un clima húmedo) con el fin de aumentar la dureza y resistencia del pellet, aportando el acabado característico endurecido del producto, lo que permite evitar problemas en la manipulación de las etapas posteriores (almacenamiento y transporte). Para ello se hará circular el producto peletizado a través de un enfriador que permita el endurecimiento de la lignina. En la tabla siguiente se muestra el enfriador seleccionado para la planta de Puerto Wilches:

2. Acabado del pellet de madera. Sistema de enfriamiento.			
Elemento	Descripción técnica	Uds	Imagen
Enfriador de pellets	Enfriador de contra flujo de cama con cubierta de acero de espesor de 3mm con válvula de control de alimentación neumática. Incluye la alimentación de aire, tamiz vibratorio y bolsa colector de polvo.	1	

Tabla 10. Acabado del pellet. Sistema de enfriamiento. (Fuente: abc Machinery)

El enfriador seleccionado utiliza un sistema de enfriamiento del pellet basado en la teoría del contraflujo de cama. El funcionamiento de este proceso se basa en albergar el pellet en un lecho o cama de altura variable y hacer pasar por él un flujo de aire ascendente que traspasa todas las capas para posteriormente ser canalizado hacia un ciclón de finos. El aire caliente es expulsado a la atmósfera por medio de una turbina. La criba vibratoria debajo del enfriador se utiliza para eliminar el sedimento no calificado, que puede devolverse al inicio del proceso para peletizar de nuevo.

Por último, después del enfriado, el pellet debe estar protegido contra la humedad y otros factores. Además, para su posterior distribución y comercialización se ensaca el producto obtenido. Como se ha establecido, se comercializarán dos formatos. El primero corresponde al formato en saco de 15 kg. En la siguiente tabla se pueden apreciar las características del conjunto de la maquinaria seleccionada:

2. Acabado del pellet de madera. Sistema de ensacado.			
Elemento	Descripción técnica	Uds	Imagen

Elevador	Longitud de 7000mm Cubierta de acero de lámina de 3mm de espesor	1	
Empaquetadora de sacos de pellet.	Precisión de +/- 0,2% Velocidad de empaquetamiento de entre 100 y 200 sacos por hora. Peso por saco: entre 10 y 25 kg	1	

Tabla 11. Acabado del pellet. Sistema de ensacado. (Fuente: abc Machinery)

El modelo seleccionado se trata de una ensacadora automática de alta precisión estática (+- 0,1% dinámica; +-0,2% estática) compuesta por una escala electrónica de envasado cuantitativo (pudiendo seleccionar el pesaje del saco) que además posee regulador de alimentación así como el control del peso y selladora por calor, proporcionando un sistema de ensacado completo. Debido a nuestro requerimiento se ha seleccionado la que posee capacidad de llenado de entre 10 y 25kg, pudiendo programar el rango deseado y llegar a alcanzar hasta los 200 sacos a la hora, por lo que la producción será constante y no se formarán acumulaciones de material en esta etapa.

Incluye también la cinta transportadora de sacos para su apilamiento sobre palé de madera y posterior embalaje.

El otro formato de distribución se corresponde con el Big Bag. El principio de funcionamiento es el mismo. Una tolva es alimentada con una cinta transportadora elevada, que a suministra la cantidad requerida mediante un sistema de alimentación y pesaje del mismo. De las dos toneladas de producción horarias, una irá destinada a los sacos de 15kg, mientras que la otra formará parte del Big Bag. Esto quiere decir que se producirá uno a la hora. Debido al ritmo de producción de este elemento se ha decidido optar por no adquirir una sofisticada maquinaria de llenado del Big Bag. Bastará con instalar una tolva de descarga a cierta altura alimentada por una cinta transportadora por la que circule el pellet enfriado. Dicha tolva descargará el producto sobre en Big Bag que repose sobre una báscula que determine la masa alcanzada.

No nos podemos olvidar de la gestión y monitorización de todo el proceso descrito. Un armario eléctrico de control del sistema es imprescindible para el funcionamiento de la planta y las paradas en caso de emergencia, además de regular otros requisitos como la refrigeración, el control de humedad, la lubricación, el aporte de vapor, etc, que además reducirá los costes de mano de obra.

3. Sistemas de transporte y control eléctrico.

Elemento	Descripción técnica	Uds.	Imagen
Armario de control	Todos los elementos poseen parada de emergencia. Los elementos de demanda de potencia mayor a 15kw tienen un arranque retardado. Instrucciones claras sobre las luces del panel.	1 set	

Tabla 12. Sistemas de transporte y control numérico. (Fuente: abc Machinery)

5.3 Logística

En la siguiente serie de apartados recogidos en la logística se tratará de establecer el protocolo ideado para el tratamiento del recurso, desde la obtención de la materia prima en campo a la distribución del producto final obtenido, pasando por la gestión en la planta.

5.3.1 Adquisición materia prima

Como se ha expuesto en la descripción del proceso productivo, en la biomasa de procedencia agroforestal, la etapa de trituración comienza en la propia recogida, por medio de una trituradora móvil para reducir in situ el tamaño de las partículas y facilitando de esta manera el transporte, almacenamiento y secado natural. Con esto se pone de manifiesto la necesidad de una pre-trituración a la hora de obtener el recurso. En una primera instancia se optó por aplicar este procedimiento a este proyecto. Sin embargo, finalmente se ha optado por trasladar este proceso a la planta de procesamiento, siendo la primera etapa del proceso, previa al secado primario. Los motivos que han impulsado esta decisión se fundamentan en la alta densidad del recurso, mayor que el de otras maderas forestales. Por ello, una carga triturada supondría un peso indeseable para la integridad de camiones y operarios. Transportando los troncos completos se llevará un mejor control de la carga a la par que se reducen los gastos de transporte y operatividad al disminuir la maquinaria empleada en el punto de extracción.

Además, durante la explotación de la planta de procesamiento interesará mantener pilas de recurso disponible para solventar cualquier inconveniente que se pueda presentar, y no asistir a la parada involuntaria de la planta. En términos de otros sectores mercantiles podríamos referirnos a un stock, siendo éste excedente un recurso no explotable a corto plazo. En tal caso resulta más interesante transportar los troncos completos y apilarlos en la planta para una colocación más óptima a la par que conservar la mayor resistencia al agua que presenta de forma natural la corteza. A la hora de utilizarlo se hará pasar por una descortezadora o directamente por la



trituradora en la trituración previa al secado y molienda. En este caso, también se requerirá de una pinza cargadora de troncos en planta.

La adquisición de la materia prima se realizará de forma gratuita. Es decir, el apoderamiento del recurso se realizará a coste cero de acuerdo con lo establecido con el organismo de explotación palmera de Puerto Wilches. No así los costes de desbroza, poda, tala y limpieza, entre otros, de los terrenos de la explotación de palma de la que extraerá la materia prima. Éstos formarán parte de los costes asumidos por la planta de biomasa.

Etapas de la adquisición de materia prima y maquinaria implicada.

El equipo de personal de trabajo destinado al lugar de explotación del recurso será el encomendado a dirigir las labores de adquisición de materia prima. Para ello se deberá elaborar un plan de actuación que permita operar del modo más eficiente posible con objeto de optimizar el tiempo y esfuerzo empleados a la par que obtener los mejores rendimientos.

En primer lugar se han de tener en cuenta posibles problemáticas susceptibles de presentarse a la hora de realizar estas labores. El ámbito de trabajo es diverso, al no tratarse de un espacio cerrado y delimitado, y los accesos pueden verse afectados por la vegetación, dificultando el paso de vehículos, personal, o cualquier impedimento que se pueda presentar por esta razón. Para ello se contará con un conjunto de desbrozadoras portátiles de gasolina, con motor de dos tiempos de 2CV de potencia y varios sistemas de corte (hojas e hilos).

Otra herramienta que se ha de tener a mano para cualquier necesidad que surja es una motosierra de cadena de gasolina. Las potencias suelen ser mayores que las de las desbrozadoras, alcanzando los 4CV. Se debe prestar atención al material y la longitud de la espada.

A continuación se ha de talar la palma. Para ello se dispondrá de una procesadora de corte forestal. Las motosierras mencionadas anteriormente se han usado y siguen usando en todo el mundo como elemento de tala de troncos realizando un corte biselado de forma adecuada para predeterminar la dirección de caída. Es un método práctico y eficaz, que ha resultado hasta la fecha. Sin embargo, en aras de optimizar la cadena de producción y obtener los mejores rendimientos posibles, además de garantizar la seguridad de los trabajadores (los riesgos higiénicos y ergonómicos son menores, al tratarse de máquinas modernas con cabinas bien equipadas), se optará por el uso de la procesadora forestal.

Las procesadoras o también catalogadas como cosechadoras forestales, son tractores forestales adaptados a desarrollar trabajos específicos de deforestación. Aunque en un principio la configuración normal era 4 x 4, en la actualidad se tiende hacia vehículos multitracción, 6 x 6, 8 x 8 e incluso tracción independiente a cada

rueda. Dichos diseños les permite una elevada movilidad en terrenos en pendiente y bajo condiciones de tracción difíciles. Las procesadoras portan una grúa hidráulica dotada de un cabezal procesador multifunción, que supone un auténtico robot forestal: mediante una hoja de motosierra corta el árbol, pudiendo proceder a continuación a su desramado, descortezado y troceado.



*Fig. 26. Procesadora forestal.
(Fuente: Kurosu.com)*

Es importante a la hora de agilizar el proceso, el hecho de encontrarse en una explotación arbórea prediseñada cuya plantación se hace en cuadrícula rectangular o a tresbolillo. La deforestación en ambientes naturales, donde los árboles se presentan en situaciones y disposiciones irregulares dificulta las tareas. Las motosierras, además de para cualquier circunstancia adversa que se presente, también se emplearán para trabajos manuales de los operarios, en las tareas de reducción del recurso talado.

Como se ha mencionado, la primera idea fue realizar el primer proceso de trituración in situ. Para ello un tractor se encargaría de desplazar la trituradora/astilladora móvil que realizaría en campo dicho cometido. Tras la solución final adoptada se cargará la materia prima talada en un camión para transportarla.

Por último se realizará el transporte de la materia prima obtenida desde el lugar de extracción hasta la planta de procesamiento de biomasa, por lo que será necesario un camión pluma o autocargador. El camión cargadora tipo forestal para el transporte de troncos permitirá colocarlos en la plataforma trasera del camión mediante un brazo hidráulico cuya terminación consiste en una pinza que abraza o envuelve la carga y ejerce presión sobre ella atrapándola.

Adquisición de la materia prima



Limpieza



Corte



Carga y transporte

El camión volquete, barajado en la idea inicial de pre-triturar el recurso en campo, se descarta al transportar los troncos enteros. Este vehículo ofrecía la posibilidad de contener la carga y vaciarla en el lugar de almacenamiento mediante la elevación hidráulica de su tolva.

Se establecerá un protocolo de seguridad para todos los trabajadores en materia de prevención de riesgos laborales. En este aspecto, algunas de las medidas a tomar a la hora de trabajar con esta maquinaria serán:

Desbrozadoras

- Entre operarios que manejen desbrozadoras portátiles deberá existir una distancia mínima de 5 m.
- Se considera Equipo de Protección Individual imprescindible las botas de seguridad, guantes, peto anti proyecciones, máscara de protección y protector auditivo.

Procesadoras

El cabezal de la procesadora es un implemento pesado. Si a ello añadimos que la longitud del brazo oscila entre 7 y 9 m se concluye en que es una máquina con un elevado riesgo de vuelco cuando no trabaja en llano. Otros riesgos asociados a las procesadoras son el atropello, aplastamiento y atrapamiento. Por ello, se adoptarán medidas como:

- Evitar siempre efectuar operaciones con dichas máquinas en días de viento.
- Jamás debe haber terceras personas en el área de trabajo de una procesadora.
- En caso de interrupciones del cabezal procesador durante el apeo, se procederá a retirar la unidad lejos del árbol donde se produjo la interrupción.
- Cuando no se esté operando, mantener siempre la máquina en el sentido de la línea de máxima pendiente, y disminuir al 50% la longitud máxima del brazo.



5.3.2 Recepción

Se entenderá por recepción el proceso operativo que adoptará la planta en el momento en el cual el camión autocargador se presenta en las instalaciones provisto de materia prima de potencial energético aprovechable.

En el apartado 5.2 referente a las Instalaciones, se definió la Zona 1 como *Báscula calibrada para pesaje y registro de camiones*. Todo camión entrante se pesará con objeto de realizar un elaborado control de rendimientos de la planta, tanto de demanda de recursos como de ritmo de obtención de los mismos, entre otros. Seguidamente el camión se dirigirá a la Zona 2 de recepción y tratamientos primarios para depositar el recurso extraído y volver a las labores de carga y transporte de materia prima.

Posteriormente se desarrollará una fase de refinado y trituración de dicha carga, dando lugar a la etapa de tratamiento previo.

5.3.3 Tratamiento previo.

En la Zona 2 de la planta se encuentra el *Área de recepción y tratamiento previo de biomasa*. El tratamiento previo se desarrollará desde la recepción y descarga del recurso extraído en campo y depositado en el almacenamiento primario hasta el momento en el cual la materia prima empieza a formar parte del proceso productivo para la producción del pellet.

Como se ha concluido en el anterior punto, esta etapa comenzará con el refinado. La reducción de tamaño de la biomasa es el primer paso, pudiendo después separar tierras e inertes y obtener medidas específicas del recurso realmente aprovechable del bruto transportado desde los campos de explotación para su posterior aprovechamiento energético, ya sea directamente en caldera o en procesos de producción de biocombustibles como en este caso. La zona de cribado y refinado de material será la encargada de realizar el proceso de clasificación.

Para realizar dicha reducción granulométrica del recurso existen en el mercado gran variedad de trituradoras/astilladoras. Dicha variedad dificulta la elección final de la misma. Sin embargo, los profesionales del sector forestal se basan en varios aspectos a la hora de seleccionar un equipo: el producto final que se desea obtener (tamaño de partícula, calidad de producto), su capacidad productiva, el tipo y dimensiones de la biomasa que hay que triturar, la inversión y coste de mantenimiento y la seguridad del equipo.

En un principio se había optado por una astilladora de chasis remolcable de una producción de 230 m³/h. El hecho de ser remolcable presenta una gran ventaja ya que permitiría desplazarla con total libertad por la planta, e incluso transportarla hasta el lugar de extracción de la materia prima si procediese.



Fig. 27. Trituradora móvil por medio de remolque, de martillos oscilantes y cuchillas de trituración secundaria. Descarga por cinta transportadora hasta 4,5 m de altura. (Fuente: Agroforestalediciones.com)

Bien es cierto que esta primera descortezación/trituración se puede tratar como maquinaria anexa o como propia de la línea de producción. Sin embargo, en el apartado 5.2.3 *Maquinaria seleccionada*, se hizo una selección de la maquinaria propia de la línea de producción y en ella se seleccionó dicho elemento, por lo que se destacará la adquisición de la astilladora previamente citada.

Esta elección fue posterior, propia de la mejora continua del proyecto, dentro de la selección de ofertas proporcionadas por los diferentes distribuidores de maquinaria. Se ofertó una descortezadora de capacidad de 250 toneladas por hora, con un diámetro de rodillo dentado de 800mm, un peso de 14 toneladas y unas dimensiones de 12m x 2,45m x 3m. Los troncos de palma que se tratarán poseen un diámetro en torno a 500mm, factor determinante en la elección de este elemento, cuyos rangos de trabajo son ideales.



Fig. 28. Sistema de descortezado elegido para la planta. (Fuente: abc Machinery)

Para operar en planta y poder desplazar los troncos recibidos se precisa disponer de un vehículo cargador con pinza hidráulica. Será el encargado de manipular las pilas de troncos y volcarlos en la astilladora. Del mismo modo se precisará la maquinaria que permita recoger el recurso astillado. Una retroexcavadora con pala cargadora se destinará a tal fin.



*Fig. 29. Pinza cargadora de troncos y retroexcavadora.
(Fuente: DirectIndustry)*

5.3.3.1 Planta de desecación previa.

A lo largo del estudio se ha puesto de manifiesto en varias ocasiones la importancia de reducir el porcentaje de humedad para la obtención de un biocombustible de mayor valor energético. La fase final del pre-tratamiento consistirá en almacenar la biomasa triturada y refinada en una nave diseñada para la desecación de la misma.

Se ha ideado un proceso muy económico al obtener el incremento térmico necesario para extraer la humedad directamente de la energía solar. El secado mediante una corriente de aire donde se aprovecha la radiación solar como fuente de energía se conoce como deshidratación, y es uno de los tratamientos más antiguos. Una de las maneras más simples para lograr el secado (de cualquier material) es el secado al sol donde el material húmedo se extiende en grandes superficies y sólo hay que esperar a que el contenido en agua se elimine por medio del aire. Sin embargo, se está expuesto a las condiciones meteorológicas, que pueden echar al traste el proceso. Es por eso que surgen los invernaderos, con unas condiciones ideales y controladas además de aprovechar de mayor forma la energía solar permitiendo su entrada y dificultando su salida.

En la parcela donde se construirá la planta se encuentra una nave ya existente cuyo estado mantiene la integridad estructural y únicamente no está provista de la cubierta (No obstante, se reforzará el conjunto estructural para una mayor garantía de seguridad, haciendo especial hincapié en los puntos más débiles o de mayor sometimiento a esfuerzos). Se ha optado por aprovechar dicha nave como almacén de tipo invernadero colocando un techo de policarbonato transparente que cause el efecto de elevar la temperatura del interior permitiendo el paso de la energía de los rayos solares y dificultando su salida. Esto se traduce en energía calorífica que calienta el aire interior.

El secado es un proceso en el que se intercambian calor y masa. Implica la transferencia de un líquido procedente de un sólido húmedo a una fase gaseosa no saturada. Para ello el material húmedo se expone a una corriente de aire con

determinadas condiciones de temperatura, humedad y velocidad. Cuanto más seco y más caliente esté el aire, mayor será la velocidad de secado.

Aspectos a tener en cuenta para determinar las condiciones de secado:

- *Características de la astilla:* Contenido inicial de agua del recurso y el contenido final de humedad que se desea obtener. También considerar el estado físico como es la forma, el tamaño, su superficie, etc.

- *Características del invernadero:* Tipo de secador y el volumen que se va a secar.

- *Características meteorológicas:* Humedad relativa, la temperatura, la radiación solar, velocidad del viento, precipitación, etc.

- *Uso posterior:* Aunque en este caso no sea así, para algunos productos (fundamentalmente en la industria agro-alimentaria) la acción de la radiación solar puede destruir algún compuesto orgánico que lo compone y que tiene interés comercial.



Fig. 30. Nave existente en la parcela donde se ubicará la planta de biomasa.

(Fuente: Fotos propias.(ECAN Energía S.L.))

Se sellará bien la estructura para hacer inexistentes las indeseables pérdidas de aire. Se pretende tener el control de la conducción de éste mediante la ventilación. Por otro lado, técnicamente se pueden establecer cuatro tipos de pérdidas de calor a evitar:

1. *Pérdidas por conducción-convección.* Dependerá de la superficie de la cubierta, el incremento térmico entre el interior y el exterior y la constante de conductividad térmica.
2. *Pérdidas por renovación de aire.* Dependerán del incremento térmico entre el interior y el exterior y el número de renovaciones de aire por hora.



3. *Pérdidas por el suelo.* Dependerán de la superficie de suelo de la nave o invernadero, las características de éste y el incremento térmico con respecto al aire.
4. *Pérdidas por radiación a la atmósfera.* Dependerán del coeficiente de permeabilidad de las radiaciones, de la temperatura exterior, y de las características de la nave y el suelo.

Diseño y ventilación

Para producir el efecto descrito anteriormente de un modo óptimo se ha de ventilar el aire del interior. La aireación es fundamental para regular la temperatura y la humedad dentro del invernadero, evitando la indeseable condensación y valores cercanos a la humedad crítica de secado. Los invernaderos deben ser altos para generar una mayor inercia térmica calentándose y enfriándose más lento, albergando un ambiente más estable. El aire frío entrará por las puertas de los costados, empleadas también para introducir el material astillado, y la salida del aire caliente se producirá por unas ventanas abatibles ubicadas en la cubierta, que se construirá con placas de policarbonato transparente. Se ha planteado la posibilidad de la instalación de ventanas motorizadas pero ha sido descartada en virtud del ahorro económico que supone.

Básicamente el aire calentado dentro de la nave creará diferencias de presión entre el exterior y el interior. Cuando ésta sea suficiente el aire caliente saldrá por las ventanas y entrará aire más frío y seco.

El secado solar depende de cómo el aire llega al producto a secar y la forma en la que la radiación calienta el aire. El aire circulará dentro de la nave con el fin de eliminar la humedad evaporada del producto. Esta circulación se logra generalmente por dos métodos:

- ***Circulación forzada.*** El aire es movido por un ventilador, lo que supondrá un consumo de energía. Este tipo de circulación facilita el diseño en el caso de disponer de grandes superficies al aumentar la velocidad de circulación del aire, además de facilitar el control del proceso de secado.
- ***Circulación por convección natural.*** El aire es movido por las diferencias de temperatura entre las distintas partes del invernadero. Se obtienen menores velocidades de circulación, pero presenta la ventaja de no necesitar disponer de un abastecimiento de energía eléctrica para el ventilador.

Se optará por el sistema de convección natural, pudiendo instalar un sistema forzado alimentado por energía solar en una mejora futura si la circulación natural no resultase suficiente para eliminar la humedad del recurso astillado.

En la nave, de una dimensión aproximada de 900 m², se podrán almacenar hasta 3000 toneladas de materia prima refinada y astillada para ser usada a posteriori, tras alcanzar el porcentaje de humedad deseado. A continuación pasará a formar parte de la cadena de producción, empezando por abastecer a los silos de almacenamiento a corto plazo.

5.3.4 Almacén del producto. (después del proceso productivo)

Se seguirá hablando de la logística de la biomasa. Es decir, el modo en el que se opera antes de que forme parte del proceso productivo y después. En esta ocasión el almacén hace referencia al producto comercial o biomasa ya tratada y peletizada.

Hasta el momento de su distribución será necesario almacenarlo en un lugar debidamente acondicionado para tal fin, permitiendo las operaciones de carga para el transporte y desalojando la línea de producción de “bultos” que puedan estorbar a la hora de trabajar.

Una nave albergará el producto finalizo, diferenciando en dos zonas según la presentación comercial. En una zona se almacenarán debidamente ordenados en cuadrícula los palés provistos de sacos de 15 kg y en la otra zona se ubicarán los sacos tipo Big-bag de 1 tonelada.

Respecto a lo anterior, se ha de determinar el tipo de palé empleado. Existen muchos modelos en el mercado, de diferentes dimensiones y materiales. Sin embargo, hemos de someternos a los más estandarizados y empleados con el fin de optimizar el trabajo global de todas las partes intervinientes en el proceso, generando facilidades a la hora de su manipulación.

Los más popularizados o empleados son:

- **Palé europeo:** es el más común y sus medidas son de 1200 x 800 mm. Su eficacia reside en que está adaptado a las medidas de los contenedores de transporte, ya sean marítimos o las cajas de los remolques terrestres, pudiendo colocar dos filas continuadas, una a lo ancho y otra a lo largo.
- **Palé estándar:** tiene unas medidas de 1200 x 1000 mm.



Fig. 31. A la izda. aparece representado y acotado el palé europeo. A la dcha. aparece de igual modo el estándar. (Fuente: *custombroker.es*)

La planificación del almacenamiento de productos, así como su manipulación o posterior transporte, es de suma importancia conocer los valores o factores limitantes de carga máxima. Exceder dichos valores implica un riesgo laboral importante no solo para la integridad de la mercancía, sino para los trabajadores.

Se ha de analizar la capacidad de carga máxima. Hay fundamentalmente dos tipos de carga que aparecen en las especificaciones técnicas de cada palé, y que se debe tener en cuenta:

- **Carga estática** – Se da con el palé de pie, inmóvil. Sin desplazamiento del mismo, sirviendo únicamente de apoyo para los productos. El palé europeo que se ha seleccionado posee un valor de carga estática de 4000 kg.
- **Carga dinámica** – Garantiza la elevación segura de palés cargados y hace referencia a la carga máxima del palé durante el transporte con carretilla elevadora o traspala. El palé europeo seleccionado posee un valor de carga dinámica de 1000 kg.



Fig. 32. Croquis representativo de los tipos de carga a los que se ven expuestos los palés en su almacenamiento y transporte. (Fuente: *Rotom.es*)

Por su popularidad, eficacia y facilidad en el manejo se opta por utilizar el palé europeo. Además, soporta mayores capacidades de carga máxima que el estándar, y se puede introducir mayor número de los mismos en la disposición del contenedor (aspecto que se reflejará en el apartado relativo al transporte). Con una capacidad de carga limitante de 1000 kg, para la presentación comercial de sacos de 15kg, se ha ideado una disposición por palé de 65 unidades, dispuestos en 13 pisos o filas de 5 unidades.

Respecto a los sacos tipo Big-Bag, los requisitos de manipulación y almacenaje no exigen el uso de palés, pudiendo depositarlos directamente en el suelo y transportarlos gracias a sus asas. Sin embargo, si es recomendable su uso para facilitar el manejo de la carga e integridad del producto. La selección final dependerá del presupuesto y viabilidad final. No obstante, optando por la mejor solución técnica planteada,



supondremos un reposo sobre pales también para los sacos Big-Bag de 1 tonelada, cumpliendo con los límites exigidos de carga máxima dinámica del palé europeo.

Además, cabe destacar el planteamiento de varias opciones para su manipulación en planta. Por un lado se ha planteado la opción de instalar un puente grúa para su transporte aéreo a través de las instalaciones. Por otro lado se estima la opción de transportarlo mediante carretillas elevadoras o traspalas que circulen por las instalaciones. La primera opción se ha descartado por varias razones. En primer lugar, los costes de la instalación del puente grúa encarecen el presupuesto final, además de un mayor requerimiento de potencia energética. Por otra parte, tras diseñar la distribución de las instalaciones, se ha seleccionado como lugar de almacenamiento final de los productos otra nave diferente, por lo que el puente grúa resultaría inútil. Como añadido, con la segunda solución planteada, al generarse únicamente un Big Bag a la hora, un operario tendrá tiempo suficiente para transportarlo hasta su almacenaje.

Otra solución pasa por realizar la carga telescópica a granel mediante cinta transportadora y tolva a un camión cisterna. En un principio se empezará comercializando los sacos y los Big-bag. Una de las razones técnicas por las que el transporte a granel para grandes distancias (en especial el transporte marítimo en contenedor por miles de kilómetros. No así el transporte terrestre mediante camión cisterna) no es recomendable se fundamenta en que no se pueden garantizar unas condiciones óptimas para mantener las características físicas del pellet. Es decir, cualidades de humedad, compacidad... y en definitiva, el equilibrio para garantizar los rangos de combustión estimados.

5.3.5 Distribución.

A la hora de enviar el producto se deben tener en cuenta varios aspectos. En primer lugar se ha de tener un control de la masa de producto distribuido. Para ello los camiones que salgan cargados y listos de las instalaciones, dispuestos a iniciar el transporte, deberán detenerse en la zona 1, correspondiente a la báscula para pesaje.

El siguiente aspecto a tener en cuenta supone la necesidad de establecer el medio de transporte utilizado, así como las rutas empleadas. Por ello, dependiendo del lugar de destino, se hacen dos grandes distinciones en el modo de distribución: Marítima y terrestre.

5.3.5.1 Marítima.

Como se ha puesto de manifiesto en varias ocasiones, se están abriendo puertos a lo largo de la senda fluvial del Río Magdalena con el fin de explotar la citada ruta navegable como eje logístico del país. Anteriormente sería necesario transportar



la mercancía vía terrestre hasta Barrancabermeja, para cargar posteriormente en el río. Con el puerto de Puerto Wilches se podrá evitar, con el correspondiente ahorro.

Tras una estimación previa, se ha determinado que los envíos se realizarán mensualmente a razón de entre 1000 y 1500 Tn. En un futuro, si se aumenta la producción de la planta, se podrían realizar envíos de hasta 5000 Tn, no pudiendo sobrepasar dicha cantidad debido a las condiciones limitantes del calado del Río Magdalena.

Según la revista *Makinaria Pesada*, “el 11 de diciembre de 2014 se dio inicio a una de las obras más importantes a nivel logístico y de transporte que ha tenido Colombia en las últimas décadas.” Garantiza que “con el aval del Gobierno Nacional, la recuperación de la navegabilidad sobre el río Magdalena es un hecho al que sólo resta darle tiempo.” “Esta arteria fluvial brindará un servicio 24 horas con una infraestructura de siete pies de profundidad y un rango de anchura entre los 52 y 152 metros.” En sus palabras, supondrá una inversión de 2.2 billones de dólares con el fin de permitir transitar convoyes de 7.200 toneladas. No obstante, fuentes locales nos han hecho saber que optan por delimitar el pesaje a las 5000 toneladas.

El recorrido supondría varias etapas. La primera alberga el almacén en contenedores para trasportarlos en una barcaza a través del Río Magdalena hasta su desembocadura. Una vez allí, pasarán a formar parte de la logística portuaria de Barranquilla, donde se preparará para atravesar el Atlántico.

Barranquilla es, logísticamente hablando, la ciudad de mayor desarrollo portuario de Colombia. La Sociedad Portuaria de Barranquilla maneja el puerto más importante de la ciudad (con una concesión hasta el 2027), aunque hay más. Dicho puerto posee 503 metros lineales de muelle, 16 hectáreas habilitadas para almacenamiento en espacio abierto y cuenta con 5.700 metros² para almacenamiento bajo techo. La revista *Makinaria Pesada* también informa de que “otro gran puerto que se viene desarrollando es la Concesión Portuaria Aguas Profundas de Barranquilla, de la Sociedad Portuaria de Bocas de Ceniza, un proyecto al que el pasado 15 de enero se le aprobó una modificación”.

Según Carlos Núñez de León, director de *Cormagdalena* (Corporación de la República de Colombia), cuya misión es la de devolver la navegabilidad al Río Magdalena, “Esta sociedad portuaria (Sociedad Portuaria de Bocas de Ceniza) estaba pensada inicialmente como un puerto con propósitos limitados y ha sido redefinido en su estudio para ser ese gran puerto de Barranquilla. Tiene la ventaja de que es un puerto marítimo mixto, es decir, de un lado va a tener una terminal fluvial recibiendo barcasas y del otro, va a tener una terminal marítima para barcos de aguas profundas, teniendo la capacidad de recibir buques Suezmax, los más grandes del mercado. Ese es el puerto que a nuestro juicio cierra la cadena, es el gran puerto que va a estar en Barranquilla con inversiones aprobadas privadas por más de 860 millones de dólares.”.

Las tarifas establecidas para el uso de hidro-vías de la cuenca fluvial del Río Magdalena, engloban varios grupos:

-	Descripción	Precio por Km
Grupo 1	Para todos los productos derivados del petróleo	1,12 \$/Tn
Grupo 2	Para abonos, cementos, y minerales.	0,79 \$/Tn
Grupo 3	Para maquinaria, víveres y demás productos	0,28 \$/Tn
Grupo 4	Para ganados	0,23 \$/Tn

Tabla 13. Tabla de precios sobre uso del Río Magdalena. En negrita el grupo al que pertenece el proyecto.



Fig. 33. Transporte de contenedores por el Río Magdalena. (Fuente: Pikas Producciones).

Antes de continuar con los aspectos relativos al transporte marítimo, se debe aclarar que no se trata de una competencia del presente estudio el establecer el plan de transporte a efectuar. La elección final de la carga, contenedor, plazos, rutas u otras labores técnicas corresponderán a las sociedades portuarias y compañías encargadas del transporte. Sin embargo, aunque no se detalle en profundidad todo el proceso en su totalidad, se encuentra imprescindible en la elaboración del proyecto la necesidad de establecer las pautas básicas del plan de transporte del producto a comercializar desde la ruta ideada en un principio, hasta la necesidad del tipo de contenedor a emplear. Toda esta información determinará finalmente el grado de viabilidad final.

En el momento de realizar el transporte, la compañía nos pedirá información fundamentalmente sobre el tipo de carga y la cantidad. Como se ha descrito anteriormente, en función de estos datos nos aconsejarán sobre el mejor método de efectuar el transporte. Sin embargo, y por todo lo expuesto en las líneas anteriores, comenzaremos a definir cómo se realizarán los envíos.

En primer lugar, se ha de seleccionar el tipo de contenedor que se emplearán la distribución. Encontramos en el mercado multitud de modelos, siendo los más habituales los de 20 y 40 pies. Existen más posibilidades, como los de 45 pies, pero se descartan para este proyecto por suponer un sobredimensionamiento del convoy para las vías terrestres y fluviales del entorno en el que nos moveremos.

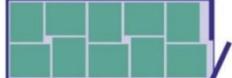
	Dimensiones exteriores (mm)		Dimensiones interiores (mm)	
	Largo	6.058	Largo	5.883
	Ancho	2.438	Ancho	2.330
	Alto	2.591	Alto	2.355
	Puerta (mm)		Peso (kg)	
	Ancho	2.342	Tara	1.900
	Alto	2.280	Carga Máx.	21.800
Plano de colocación de 10 palets estándar (1,2 m x 1,0 m)		Plano de colocación de 11 euro palets (1,2 m x 0,8 m)		
				

Fig. 34. Ficha técnica de un contenedor de 20 pies seco. (Fuente. Sutrimex España)

	Dimensiones exteriores (mm)		Dimensiones interiores (mm)	
	Largo	13.582	Largo	13.556
	Ancho	2.438	Ancho	2.438
	Alto	2.896	Alto	2.695
	Puerta (mm)		Peso (kg)	
	Ancho	2.416	Tara	4.280
	Alto	2.585	Carga Máx.	32.500
Plano de colocación de 23 palets estándar (1,2 m x 1,0 m)		Plano de colocación de 27 euro palets (1,2 m x 0,8 m)		
				

Fig. 35. Ficha técnica de un contenedor de 40 pies seco. (Fuente. Sutrimex España)

Además, se pueden seleccionar las condiciones de transporte, eligiendo entre contenedores secos o refrigerados. Dadas las características de nuestra mercancía, nos interesará elegir el contenedor seco. Otra variante serían los descubiertos, pero se descarta desde un principio por la misma razón. Las inclemencias climatológicas y alteraciones durante el transporte podrían echar por tierra el potencial energético del producto.

Como se detallará más adelante en el anejo de *Viabilidad*, los rangos de producción estimados estarán en las 2 toneladas de producto a la hora. Este ritmo supondrá una producción mensual de:

$$2\text{Tn/h} \cdot 24\text{h/Día} \cdot 30\text{Días/Mes} = 1440 \text{ Tn/Mes}$$



Una vez estimada la producción mensual, se pueden calcular, en función de la tara máxima del contenedor y de manera aproximada, cuántos contenedores de ambos tipos se requerirían:

- Contenedor de 20 Pies: $1440 \text{ Tn} / 19,9 \text{ Tn}/\text{contenedor} = 72$ contenedores
- Contenedor de 40 Pies: $1440 \text{ Tn} / 28,22 \text{ Tn}/\text{contenedor} = 51$ contenedores

La cantidad final será menor al destinar parte del producto a comercializar a una posible distribución terrestre. Por este motivo, se han redondeado los decimales a la baja. No obstante, ante la necesidad de sobredimensionar, con prudencia, los cálculos a la hora de hacer estimaciones en la viabilidad final, se supone la exportación del todo de producción mensual, sin distinción del transporte terrestre.

Resulta evidente que, para los volúmenes de carga a mover, los contenedores de 20 pies resultan escasos en cuanto a capacidad, y se requiere de gran cantidad de unidades, lo que supone mayores gastos de recursos, no solo económicos, sino de tiempo y personal.

Por todo lo expuesto (las características técnicas, dimensiones exteriores y capacidad, etc.), se ha optado por seleccionar el contenedor de 40 pies. No obstante, como se ha mencionado en varias ocasiones, la elección final estará sometida a lo que la industria naviera pueda aconsejar u ofrecer.

Como añadido que justifica el sobredimensionamiento encontramos causas como el sobrepeso de los palés, de valores en torno a los 25kg por unidad. Por esta razón se cree oportuno rehacer el cálculo teniendo en cuenta dicho peso y conociendo ya la elección del contenedor de 40 pies:

Como se ha seleccionado el contenedor de 40 pies, sabemos por su diseño que se podrán colocar 27 palés europeos en su interior, por lo que:

$$27 \frac{\text{palés}}{\text{contenedor}} * \frac{25\text{kg}}{\text{palé}} = 675 \text{ kg de palés por contenedor.}$$

Este peso no forma parte de las 1440 toneladas de cargamento estimado para el producto, por lo que se descontará de la tara máxima por contenedor.

$$28,22 \text{ Tn} - 675 \text{ kg} * 1 \frac{\text{Tn}}{1000\text{kg}} = 27,545 \text{ Tn por contenedor}$$

Sabiendo la nueva tara máxima autorizada por contenedor, se podrá rehacer el cálculo inicial:

$$\frac{1440 \frac{\text{kg}}{\text{contenedor}}}{27,545 \frac{\text{Tn}}{\text{contenedor}}} = 52,27 \text{ contenedores}$$



Se puede determinar pues, que se usarán 52 contenedores en cada envío mensual. Por lo expuesto anteriormente y por la inviabilidad de llevar un contenedor a media carga, se redondea a la baja. El excedente pasará a formar parte del producto de distribución terrestre o será almacenado hasta el siguiente envío.

De los 52 contenedores a desplazar, cabe destacar que se hará una división interna entre ellos dependiendo de la carga que transporte. En otras palabras, los que alberguen sacos de 15kg de pellet y los que contengan Big-Bags de una tonelada. Se ha determinado que la mayor clientela (en cuanto a número de consumidores, no en cuanto a volumen de producto quemado) es el pequeño consumidor, que adquiere el pellet en el formato saco. Por ello la distribución inicial será mayoritaria para los sacos de pellet. La proporción será de 35 contenedores de sacos y 17 contenedores de Big Bags.

Aunque ya se ha mencionado que la elección final dependerá de la compañía encargada para el transporte, y que este aspecto no representa la parte técnica acerca de la obtención del pellet, se deben tener en cuenta todos los aspectos que implicados en el estudio de viabilidad hasta su culminación.

Con la estimación de 52 contenedores de 40 pies y la elección del palé europeo como medio de apoyo para la mercancía, tal y como vimos en el apartado *5.3.4 Almacén del producto*, se puede realizar una previsión de las unidades de palés mensuales demandadas para el transporte.

$$52 \text{ contenedores} * 27 \text{ palés/contenedor} = 1404 \text{ palés}$$

Como se ha mencionado, de esos 52 contenedores demandados mensualmente, se destinarán, parte al formato en Big-Bag, y parte a sacos de 15Kg. Aunque no se ha definido si los Big-Bag reposarán finalmente sobre palés (opción técnica más recomendable), se hace la estimación para el caso más “desfavorable”, por lo que se supone la totalidad de la carga de palés dentro del espacio disponible por contenedor.

Para entender cómo se realizará la logística internacional de la distribución se debe conocer el término transitario, también conocido como embarcador o agente de carga. Se define como: “una persona física o jurídica que presta servicios en el transporte internacional de mercancías. Es un intermediario entre el exportador o importador y las compañías de transporte.” (*Wikipedia*)

En otras palabras, la empresa transitaria contratada será la encargada de la gestión y coordinación del transporte del pellet. Sus competencias irán encaminadas a toda clase de servicios logísticos, desde el transporte internacional de la mercancía, incluido el almacenaje, hasta toda clase de trámites aduaneros, contratos...



Ante la necesidad de explotar el mayor número de variables posibles para la optimización económica y operacional de la planta surge la idea de trabajar con contenedores propios procediendo a su adquisición. La distribución supone un único viaje de ida hacia el continente Europeo, por lo que dicho contenedor solo se podría recuperar si vuelve vacío, con los costes asociados que supondría. Para explorar otras vías de trabajo con dichos elementos se plantean varias posibilidades:

- Compra de contenedor para carga y transporte a lugar de destino y regreso a Puerto Wilches para reutilización.
- Compra de contenedor, y posterior venta en zona de destino.
- Alquiler/uso de contenedor propiedad de la compañía naviera pertinente para fase de transporte.

Es evidente que la compra y reutilización con objeto de disponer de tus propios contenedores supone una gran inversión inicial que a la larga, una vez amortizados, no generará mayores gastos. Sin embargo, calculadora en mano, la compra de contenedores supone un ahorro final a compañías que mueven grandes cantidades de mercancía. Al realizar envíos de forma regular y en las mismas cantidades, se podrían dar condiciones por las que resultase interesante tomar esta vía. Por otro lado, este proyecto presenta un factor limitante para esta solución, que no es otro que el de emplear un único viaje de exportación. Si se pudiese aprovechar la exportación e importación de mercancía con el mismo contenedor en un viaje de ida y vuelta siempre se podrían reutilizar los contenedores. Para empresas de menor poder logístico, y con las particularidades de ésta en concreto, se prioriza la posibilidad de contratar los servicios disponibles de uso de contenedores propiedad de la compañía de transporte. Es por ello que la compra- venta también se descarta, ya que la gran mayoría de empresas utilizan la logística que la empresa de transporte naviera pone a su disposición.

La elección final dependerá del desarrollo del proyecto y los acuerdos que en un futuro se consigan con las compañías navieras. Todo lo relativo a las tarifas, presupuesto y demás aspectos económicos para este apartado de distribución se reflejarán en el Anejo de *Presupuesto*, en los *Costes de Operación*.

5.3.5.2 Terrestre.

Hasta el momento se han estudiado los aspectos pertenecientes a la logística de exportación del producto. A modo de resumen se pueden extraer varias ideas clave como son el hecho de realizar un transporte fluvial y posteriormente trasatlántico, y realizarlo en contenedores marítimos de carga.

A priori, en la fase inicial de proyecto, la totalidad de la producción irá encaminada a dicha exportación, siendo en el continente europeo donde mayor



mercado o demanda existe. Sin embargo, no se descarta la posibilidad de destinar parte de la producción a una distribución nacional vía terrestre.

Las rutas a seguir dependerán de la clientela obtenida. La red de carreteras de Colombia se establece principalmente en dos variantes: las carreteras troncales, a las que se le asigna un número impar, que pertenecen a la red vial primaria y unen las fronteras internacionales con el Mar Caribe (Norte - Sur) y las transversales, asociadas a números pares y con sentido Este – Oeste.

El transporte se realizará en camiones de cabina cerrada y estanca para mantener las propiedades del producto estables. Además, existe la posibilidad de realizar el transporte en camiones tipo cisterna mediante carga telescópica a granel en la planta.

Como se ha indicado, este aspecto representa una parte variable que dependerá siempre de la clientela obtenida. Por ello se ha hecho especial hincapié en la distribución marítima, que representará el gran grueso del proyecto. Para esta última, las estimaciones de exportación serán de carácter regular y pre-establecido.

5.4 Energía.

El modo en el que se obtendrá la distribución de energía eléctrica es uno de los aspectos más importantes de la viabilidad del proyecto. No representa la problemática de la viabilidad técnica en cuanto a la logística y transformación de los recursos en productos, pero sí que se depende directamente de ésta para el funcionamiento de la maquinaria, por lo que sin energía no hay producción.

A continuación se definirán los aspectos a tener en cuenta a la hora de establecer el plan energético de la planta de procesamiento de biomasa. Si bien es cierto que la palabra energía es muy amplia, y engloba muchos tipos de la misma, se utilizará este término para hacer referencia a la energía eléctrica o abastecimiento eléctrico para el desempeño de las diferentes labores.

5.4.1 Distribución eléctrica.

La primera fase para cualquier “alta” de suministro eléctrico es realizar una previsión de cargas que permita establecer la potencia requerida a contratar. Para ello se debe realizar una estimación que englobe a todos los equipos consumidores de potencia. Esta previsión se realizará más adelante en el anejo de *Viabilidad*, con objeto de determinar la viabilidad técnica de la planta de biomasa en Puerto Wilches.

En una instalación doméstica en España se trabaja con corriente alterna monofásica de 230 V / 50Hz, siendo para industrias lo más habitual encontrar una red trifásica de 380V. Sin embargo, la planta de procesamiento de biomasa se encuentra en Colombia. En el país sudamericano se trabaja con una tensión de 110 V / 60 Hz.



Esto supone un problema a la hora de enganchar a la red los equipos procedentes de Europa.

El Sistema Interconectado Nacional (SIN) es el encargado de garantizar el suministro eléctrico en Colombia gracias a más de una treintena de plantas hidroeléctricas trabajando junto con otras tantas centrales térmicas. No obstante, es sabida la limitación de los recursos hídricos en épocas de sequía por lo que su intervención en el mix energético disminuye en contraposición con el aumento porcentual de la energía térmica. Pese a cubrir un tercio del territorio, gracias al SIN, se da servicio al 96% de la población. Las otras dos tercias partes del territorio dependen de las Zonas No Interconectadas (ZNI), y son las encargadas de garantizar la distribución al 4% restante mediante pequeños generadores diésel.

En el país sudamericano encontramos, al igual que en Europa, compañías generadoras, distribuidoras y comercializadoras, que ofertan servicios en una única etapa o en varias. Es decir, pueden encargarse, por ejemplo, de la distribución y la comercialización, o simplemente ofertar la comercialización. Las tres principales comercializadoras de Colombia son: Gas Natural Fenosa, ENEL y Empresas Públicas de Medellín.

Las zonas que se encuentran fuera de este Sistema Interconectado se enfrentan a serias complicaciones a la hora de establecer el servicio de conexión eléctrica así como la continuidad del mismo. Afortunadamente no es el caso de Puerto Wilches, que cuenta con la cobertura de Electrificadora de Santander S.A. (ESSA), perteneciente al Grupo de Empresas Públicas de Medellín (epm), quienes además de energía eléctrica, ofertan otros servicios de saneamiento básico, gas natural, gestión de residuos, etc.



Fig. 36. Logotipo corporativo de ESSA y el Grupo epm.
(Fuente: essa.com)

Por otro lado, el mercado eléctrico colombiano posee dos vertientes:

- *Mercado regulado.* Directamente contratado y servido por distribuidoras, cuyas tarifas se encuentran establecidas por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). Comprende usuarios industriales, comerciales o residenciales cuya demanda de potencia energética sea inferior a 0,1 MW.
- *Mercado no regulado.* En este caso, si el consumidor posee una demanda superior a 0,1MW, puede negociar y contratar libremente sus condiciones de



contratación. Ya sea directamente o a través de compañías comercializadoras, distribuidoras o productoras.

En otras palabras, un usuario No Regulado es un consumidor que puede acordar su tarifa de suministro mediante una negociación con el comercializador gracias a superar un nivel límite de potencia eléctrica establecido por la Comisión de Regulación de Energía y Gas. Más adelante, se estimará la potencia demandada por la planta, pero todo indica que se corresponde con este grupo. Por ello se encuentra necesario conocer que requisitos define ESSA sobre este tipo de contratación. En su página web encontramos el siguiente escrito:

“Actualmente, para ser considerado Usuario No Regulado se requiere tener una demanda promedio mensual de potencia durante seis meses, mayor a 0.1 MW, o en energía de 55 MWh-mes en promedio durante el último semestre.”

“En conclusión, empresas con consumo pico alto pueden ser usuarios no regulados al superar el límite de la potencia, o también si poseen un consumo constante de energía aunque su demanda de potencia no sea tan elevada.”

“Existe un requisito adicional para ser Usuario No Regulado: instalar un equipo de teledemanda que cumpla con el Código de Medida, de modo que permita registrar y reportar los consumos hora a hora. Si un Usuario Regulado posee las condiciones para ser No Regulado mantendrá dicho status hasta que en forma expresa indique que quiere dejar de serlo.”

“Adicionalmente, si un Usuario Regulado cree que en el futuro va a aumentar su demanda, de tal manera que cumpla con los límites, puede suscribir un contrato en condiciones de No Regulado con un Comercializador.”

“Al finalizar los 6 meses iniciales del contrato se debe verificar que la demanda realmente si cumple con los límites. De no ser así, se dará lugar a una cancelación del contrato y a la refacturación del consumo utilizando las tarifas reguladas a favor del Comercializador del mercado donde se localiza el usuario. Lo anterior también es aplicable a usuarios nuevos, que estimen que su demanda será tal que pueden ser considerados como Usuarios No Regulados.”

5.4.1.1 Centro de transformación.

Hasta ahora se ha prestado atención a las características de contratación y servicios eléctricos colombianos, así como la compañía encargada del Departamento de Santander o los parámetros de servicio. En cuanto a estos últimos se encuentra la problemática técnica de abastecimiento.



La maquinaria seleccionada para operar en la planta de producción del pellet trabaja a una tensión de 380V / 50Hz / Trifásico. Para obtener una estabilidad de servicio y alcanzar los valores de alimentación demandados será necesaria la construcción de un centro de transformación industrial que opere a modo de subestación eléctrica. De todos modos será necesario conocer con exactitud los parámetros de servicio que nos ofrecerá ESSA.

Existen softwares como el AMIKIT, que generan modelos de proyectos de estas características, en los que al seleccionar los parámetros deseados para tus necesidades, te permiten diseñar el centro de transformación, definir y valorar el proyecto, visualizar el esquema eléctrico y generar otros documentos tales como la memoria del proyecto.

En el caso de este proyecto, el diseño del centro de transformación óptimo lo llevaría a cabo la empresa contratada para su adquisición, cuyo presupuesto contempla la elección y puesta en obra. Sin embargo, con la idea de definir con la mayor exactitud posible todos los aspectos relativos al proyecto, en la viabilidad técnica del mismo se realizará un breve análisis de los requisitos técnicos y dimensionales de este elemento.

5.4.2 Planteamiento de una Solución energética eficiente mediante aprovechamiento solar.

En virtud de contribuir con un proyecto de ingeniería de mayor eficiencia energética y sostenibilidad, se plantea la posibilidad de realizar una instalación de tecnología Solar Fotovoltaica en la cubierta de la nave de producción principal (Zona 4).

Por otro lado, la calidad del servicio de abastecimiento eléctrico en Colombia depende en gran medida de la zona en la que nos encontremos. No obstante, aunque en Puerto Wilches no se tenga esta problemática, este planteamiento no deja de ser un añadido para poseer una autosuficiencia energética de cara a la operación ininterrumpida de la planta. En el anejo de Viabilidad se tratará de determinar la posibilidad de implantar esta tecnología.

5.4.3 Combustible líquido.

Aunque posee el mayor peso a la hora de analizar nuestro estudio debido a las complicaciones técnicas que genera, y por ser la fuente de alimentación de la inmensa mayoría de maquinaria en la planta, la energía no solo se debe asociar a la forma de energía eléctrica.

Es importante tener presente que las diferentes máquinas de trituración primaria, desbrozadoras, vehículos, etc., de la planta necesitarán combustible para alimentar sus motores de combustión.



En su mayoría dicha maquinaria precisa de diésel, gasoil o gasóleo para funcionar. La adquisición se realizará en las estaciones de servicio como cualquier otro usuario. No supone una dificultad técnica ni estratégica, pero sí ha de ser un elemento a tener en cuenta a la hora de definir el *Presupuesto* en su apartado de *Costes de Operación*.

Descripción	Pesos colombianos	Euros
Precio del diésel por litro	2103,74	0,61

Tabla 14. Tabla de precios por litro del diésel en Colombia para el 22 de enero de 2018

(Fuente: GlobalPetrolPrices.com)

5.5 Propuestas de mejora futuras.

En los siguientes apartados se añaden una serie de propuestas de mejora para implantar en un futuro en la planta de procesamiento de biomasa de Puerto Wilches. Por suponer un añadido en el presupuesto final y una complicación técnica para una fase inicial del diseño, se ha optado por su no inclusión inicial. Sin embargo, se ve en estos planteamientos una notable mejora en el aprovechamiento de la planta, y por tanta puede ser una apuesta futura para potenciar su desarrollo.

5.5.1 Cargadero fluvial propio.

La solución de construir un cargadero fluvial propio dentro de las instalaciones de la planta formaba parte del planteamiento de diseño inicial del proyecto. Sin embargo, la apuesta nacional por desarrollar la navegabilidad del río Magdalena y la creación del puerto fluvial de Puerto Wilches con una inversión de 22 millones de dólares, supone un importante ahorro a la hora de gestionar el presupuesto final. No obstante, a la larga supone un ahorro de tiempo y trabajo, que se traduce en ahorro económico, el poder realizar esta carga desde las propias instalaciones de la planta.

Se diseñaría una estructura de grúas de patio mediante las que poder elevar y depositar los contenedores en el barco o barcaza fluvial de carga. En el ámbito de la carga de contenedores es habitual encontrar grúas de pórtico que desplazan la carga por carriles, grúas giratorias con brazo extensible del que cuelga la carga, o incluso para el desplazamiento de contenedores, carretillas elevadoras que abrazan literalmente el contenedor.

Además, una cinta transportadora podría volcar el producto de forma directa para un transporte a granel. Este transporte finalmente se ha descartado a causa de la necesidad de realizarse en contenedores debidamente acondicionados para mantener las condiciones específicas ideales de conservación del producto.

5.5.2 Planta piloto de pirolisis.



A causa de la abundante disponibilidad de recursos que suponen los miles de hectáreas de plantación de palma, y con objeto de poder aprovechar esta materia prima disponible de diversas formas, se ha elegido como una posible ampliación futura la creación de una planta piloto de pirolisis por la que se determinaría el potencial energético de este recurso en otros productos. Dependiendo de los resultados obtenidos de esta planta piloto se realizaría un estudio de viabilidad para su ampliación y estimación de la producción y productos a comercializar.

En el anejo relativo al estado del arte se explicó la tecnología en la que se basa este tipo de proceso y los productos obtenidos. La pirólisis es un proceso termoquímico de transformación que descompone la materia biodegradable de la biomasa utilizando el calor en ausencia de oxígeno, formando un sistema anaerobio. A través de este proceso se obtienen gases formados por hidrógeno, óxidos de carbono e hidrocarburos, líquidos hidrocarbonatos y residuos sólidos carbonosos. De este modo se obtendría el conocido carbón vegetal.

5.5.3 Posibles problemas de continuidad productiva.

El estudio del proyecto de viabilidad ha de atender a todas las posibles situaciones adversas que se puedan acontecer. La parada obligada de la producción es una de ellas.

Ya se ha visto la importancia de disponer de un correcto abastecimiento eléctrico sin interrupciones en el servicio de red. Dejando a un lado la dependencia eléctrica, se puede atender del mismo modo a la dependencia mecánica. Es decir, al disponer únicamente de una línea de producción, si se produjese un fallo de algún elemento de la maquinaria implicada en el proceso, se asistiría a la parada de la fábrica, con una relación directa en los ingresos netos generados.

En este aspecto se ve como posible mejora de futuro la creación de una línea de producción paralela. A medio plazo se puede plantear una estrategia de inversión para adquirir elementos paralelos de producción que permitan un uso alterno mientras se realicen las labores de mantenimiento.

Además, si el proyecto resulta rentable, al realizar la compra, por ejemplo, de una segunda pelletizadora, se puede duplicar la producción, pudiendo realizar varios envíos mensuales y la búsqueda de mayor clientela.

En cualquier caso, en esta primera fase del ciclo de vida del proyecto se deberá realizar una parada mensual (según aconseje el fabricante) para la limpieza y mantenimiento de la maquinaria.



6



. PRESUPUESTO



6. Presupuesto.

El objeto del presente anejo no es otro que elaborar un detallado presupuesto de inversión para la ejecución del proyecto. En otras palabras, se realizará una aproximación a la cuantía de capital necesario para poder convertir el hipotético estudio en una realidad tangible.

Para ello se desglosarán las inversiones por etapas y grupos de inversión relacionados, con la única finalidad de facilitar la realización y comprensión del mismo, así como establecer las necesidades monetarias en orden cronológico. Se estimarán valores sin duda interesantes para el apartado de viabilidad económica. Se concluirá con una hoja resumen del presupuesto, aportando el valor total de ejecución estimado.

Al valorar el estudio la creación y explotación de la planta de procesamiento de biomasa, resulta de suma importancia establecer los costes de operación o mantenimiento una vez esté en marcha la producción. Este apartado en concreto se tendrá en cuenta en el anejo de viabilidad, al tener que comparar dichos costes de operación con los ingresos brutos estimados, pudiendo determinar la rentabilidad de la planta y el retorno o amortización de la inversión.

6.1 Consideraciones previas.

La primera consideración a tener en cuenta es la divisa con la que se trabajará. La moneda oficial de Colombia es el Peso Colombiano. A pesar de que se han solicitado ofertas económicas al país sudamericano y manejar gran variedad de presupuestos relativos a esta moneda, se realizará el presupuesto en Euros (€).

Al tratarse de un estudio elaborado en Cantabria, autonomía sujeta al Estado español y perteneciente a la Comunidad Económica Europea, se ha optado por trasladar las cuantías a dicha divisa. Además, la gran mayoría de costes se realizarían en Europa, así como la demanda mayoritaria del producto obtenido.

Como se ha indicado en la introducción del anejo, se presupuestará en función de varios aspectos, tales como las etapas o el destino de las inversiones. Las divisiones principales son las siguientes:

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN

COSTES DE OPERACIÓN

6.2 Presupuesto de ejecución.

Se representará en esta división el gran grueso del presupuesto. Esta parte contemplará al completo la ejecución del proyecto desde el inicio hasta la culminación del mismo en el momento en el que la planta comience la producción.



Por ello se realizarán las siguientes subdivisiones:

ETAPA PREVIA
OBRA CIVIL
MAQUINARIA

6.2.1 Etapa previa.

Supone el conjunto de costes a realizar hasta el momento en el que se comiencen a ejecutar las obras. Los costes en esta fase suponen labores administrativas hasta legalizar el proyecto, así como la adquisición de la parcela donde se situará la planta de procesamiento.

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN		
ETAPA PREVIA		
Descripción		Euros (€)
Parcela/solar	5€/m ² (1,8 ha)	90 000
Permisos/Licencias	Obra / Administrativos	1 500

Tabla 15. Presupuesto de ejecución. Etapa previa.

6.2.2 Obra civil.

Se entenderá como presupuesto para esta etapa todos los gastos asociados a la construcción de la planta. Es decir, gastos de infraestructura, subcontratación, etc.

Para una mejor comprensión se establecerán subdivisiones, entre la que se encuentran las zonas de la planta establecidas en el anejo de *Desarrollo*.

A continuación se muestra la tabla con el presupuesto realizado para la obra civil:

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN		
OBRA CIVIL		
Descripción	Uds	Euros totales (€)
LIMPIEZA Y ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO	-	5 000
PAVIMENTACIÓN	€/ha	60 000
EDIFICACIONES	-	-
Caseta vigilancia de entrada	1	3 000
Acondicionamiento nave desecación	1	5 000
Nave Industrial línea de producción	1	30 000

	Nave industrial oficinas y vestuarios	1	35 000
	Nave industrial almacén y taller	1	25 000
INSTALACIÓN AGUA		-	15 000
INSTALACIÓN ELÉCTRICA		-	-
	Centro de transformación **	1	350 000
	Acometidas	€/m	-
	Caja general de protección	2	100
	Cuadros eléctricos (Módulo, IGA, Automáticos...)	3	500
	Mecanismos Interruptores (marcos, teclas...)	30	120
	Tomas de corriente	40	200
	Mangueras (libre de halógenos)	-	250
	Bobinas de cable 1,5 mm (Fase, Neutro y Tierra)	2*3	90
	Bobinas de cable 2,5 mm (Fase, Neutro y Tierra)	2*3	150
	Pica e instalación de tierra	-	75
	Tuberías PVC	-	800
	Cajas y conexiones	80	250
	Otros (instalaciones en general, pequeño material...)	-	300
CERRAMIENTO		-	-
	Vallado perimetral	630	10 000
	Murete exterior	630	5 000
	Vallado de seguridad del CT	30	1 500
ACCESOS		-	-
	Puerta exterior vehículos	1	3 000
SISTEMA DE VIGILANCIA		-	-
	Cámaras / monitor / instalación	-	400
Operación en planta		-	-
ZONA 1	Báscula / instalación		3 500
	Caseta (Iluminación, ordenador, mobiliario...)	-	500
ZONA 2	-	-	-
ZONA 3	Cubierta policarbonato	90	4 500
	Compuertas laterales	2	4 000
ZONA 4	Mobiliario	-	700
	Iluminación (Campana LED 100W)	6	450
	Compuertas	1	3 000
ZONA 4A	Carpintería (puertas, armarios...)	-	1 500
	Mobiliario de oficina	-	750
	Ordenadores (CPU, monitores...)	5	2 000



	Fotocopiadora	1	350
	Iluminación	15	200
	Aire acondicionado	-	600
	Fontanería	-	1 700
	Elementos de baño/vestuarios	-	1 300
	Cafetera	1	150
ZONA 5 Y 6	Mobiliario	-	750
	Herramientas	-	1 000
	Iluminación	6	450
	Compuertas	2	4 000
GENERALIDADES	Iluminación exterior (Foco Led 100W)	20	500
	Extintores	15	450
	OTROS GASTOS	-	50 000

Tabla 16. Presupuesto de ejecución. Obra civil.

**En los elementos que se ofertan por metro, se ha presupuestado la cantidad necesaria en la columna de unidades. Es decir, si se necesitan 100 m de cable, se muestra Uds. 100.*

***El centro de transformación se añade en la parte eléctrica. Sin embargo, pese a ser un edificio prefabricado, implica también aspectos de edificación o albañilería como la cimentación y acondicionado del terreno, la creación de arquetas.... El resto del presupuesto relativo a la instalación de este tipo de estructuras se corresponde con el conjunto de paramenta eléctrica, celdas, transformadores, equipos de las diferentes tensiones (alta, media y baja), puestas a tierra... No se han desglosado dichos capítulos del presupuesto y se muestra como un total.*

Para cubrir los costes adicionales que se presenten, y a fin de realizar una estimación con holgura ante el “peor” escenario posible, se realizará un incremento del 20% en el presupuesto de ejecución relativo a la obra civil.

Costes de ejecución/Obra Civil totales con el incremento del 20 % 759 702 €

6.2.3 Maquinaria.

La maquinaria, entendiéndose como tal todos los elementos indispensables para el correcto desarrollo de las labores de la planta (vehículos, trituradoras,...), se contemplará como parte diferenciada de los elementos propios de la ejecución de la obra civil en sí. De tal modo se resume el presupuesto para la maquinaria en la siguiente tabla:

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN		
MAQUINARIA		
Descripción	Uds	Euros (€/ud)
VEHÍCULOS	-	-



TRANSPORTE	Camión con remolque para transporte de troncos	1	45 000
DEFORESTACIÓN	Procesadora forestal	1	50 000
	Pinza cargadora	-	-
CARGA	Pala cargadora	2	15 000
REDUCCIÓN Y LIMPIEZA		-	-
	Desbrozadora	2	120
	Motosierra	3	75
OPERACIÓN EN PLANTA		-	-
Producción del pellet de madera. Sistema de descortezado y astillado del bruto.	Sistema de descortezado de madera	1	33 250
	Astilladora de madera	1	14 000
	Molino de martillos	1	14 500
	Selector magnético	1	1 200
	Cinta transportadora	1	3 100
Producción del pellet de madera. Sistema de secado.	Secador de tambor	1	33 000
	Tornillos sin fin de alimentación y descarga	2 1	2 400 1 600
	Estufa para inyección aire caliente	1	7 400
Producción del pellet de madera. Sistema de peletizado.	Tornillo transportador	1	3 200
	Peletizadora	1	32 500
	Sistema de refrigeración de la peletizadora	1	2 000
	Transportadora de pellet	1	5 600
Acabado del pellet de madera. Sistema de enfriamiento.	Enfriador de pellets	1	8 000
Acabado del pellet de madera. Sistema de ensacado.	Elevador	1	3 450
	Empaquetadora de sacos de pellet.	1	12 400
Sistemas de transporte y control eléctrico.	Armario de control	1	9 930
Otros elementos de la línea de producción	Tuberías, ventiladores, tamizadora...	-	9 220
Otros gastos	Transporte	-	1 100

Tabla 17. Presupuesto de ejecución. Maquinaria.

Para cubrir los costes adicionales que se presenten, y a fin de realizar una estimación con holgura ante el “peor” escenario posible, se realizará un incremento del 10% en el presupuesto de ejecución relativo a la maquinaria.

Costes de ejecución/Maquinaria totales con el incremento del 10%	358 286,50 €
---	---------------------

6.3 Costes de Operación.

Una vez obtenido el presupuesto de ejecución hasta el momento en el cual se han concluido las labores para la construcción de la planta, es decir, la inversión para la puesta en marcha, se procederá a elaborar el presupuesto para los costes de operación o mantenimiento.

El fin de esta estimación adquirirá gran importancia a la hora de determinar la amortización y viabilidad del proyecto, pues estos costes a diferencia del apartado anterior, se mantendrán continuados en el tiempo y se podrán determinar los ingresos netos.

En la siguiente tabla se representa tal información, detallando las subdivisiones consideradas:

COSTES DE OPERACIÓN			
Descripción		Uds	Total Euros (€)
SALARIOS	Dirección	1	2 000
	Administración	2	3 000
	Coordinador de producción	1	1 200
	Coordinador de extracción	1	1 500
	Coordinador de logística	1	1 200
	Equipo de producción	9	7 200
	Equipo de extracción	12	9 600
	Equipo de logística	9	7 200
COMBUSTIBLE	Gasoil	1500	915
SERVICIOS BÁSICOS	Electricidad	€/kW	80
	Agua	€/m ³	60
LICENCIA ENplus		500+0,15 €/Tn	3 128
INTERNET		-	45
MARKETING	Página Web	-	350
	Publicidad	-	-
FLETES	Transporte fluvial	591,1 km	715, 23
	Transporte marítimo	-	60 000
	Uso de sistemas de carga	1440Tn	1 771,20
	Contenedores	52	5 571,21
PALÉS		1404	5 000
BIG-BAGs		459	918
MANTENIMIENTO/ TALLER		-	-
-	-	-	-

Tabla 18. Costes de operación o mantenimiento.



*En los elementos que se ofertan por litro, se ha presupuestado la cantidad necesaria en la columna de unidades. Es decir, si se necesitan 100 L de gasoil, se muestra Uds. 100.

*Otras tarifas se rigen en función de kilómetros, kilovatios, volúmenes, etc

Para cubrir los costes variables, como pueden ser los de mantenimiento, u otras necesidades o gastos adicionales que se presenten, y a fin de realizar una estimación con holgura ante el “peor” escenario posible, se realizará un incremento del 20% en el presupuesto de mantenimiento o costes de operación.

Costes de operación totales con el incremento del 20 % 132 887 €

6.4 Resumen.

Para concluir con el presupuesto se muestra a continuación una tabla resumen de los presupuestos totales obtenidos para las diferentes etapas. Del mismo modo se realiza una suma de éstas para concluir el presupuesto total final del proyecto.

Toda la información obtenida en este anejo resultará de suma importancia para establecer la viabilidad económica final que se estudiará en el capítulo 7 de *Viabilidad*.

Presupuesto de ejecución	
Etapas previas	91 500 , 00 €
Obra civil	759 702, 00 €
Maquinaria	358 286 , 50 €
Total	1 209 488 , 50 €

Costes de mantenimiento u operación (mensual)	
Costes de operación	132 887 , 00 €

Tabla 19. Resumen del presupuesto.





7 Viabilidad.

El objeto final de este estudio es determinar la viabilidad de la creación de la planta de procesamiento de biomasa. Es por ello que, tras el conjunto de detalles expuestos en los anejos precedentes, es hora de determinar si es viable elaborar un proyecto de estas características.

Para ello se desarrollarán varias vertientes. Por un lado se comenzará determinando la disponibilidad de una fuente de recursos ininterrumpida para los rangos operacionales de la planta, denominando este apartado como *Viabilidad operacional*. Seguidamente, atendiendo a la *Viabilidad técnica*, se estudiará la posibilidad de emplazar y construir la planta en el municipio de Puerto Wilches, atendiendo a las garantías infraestructurales, recursos, y demás características de tipo técnico que ofrece la región colombiana. Una vez confirmada la disposición técnica para construir la planta, se procederá a realizar el estudio económico que determine mediante el análisis de mercado, la *Viabilidad económica* de un proyecto de estas características.

7.1 Viabilidad operacional.

Con los datos iniciales establecidos se procede a determinar la superficie mínima necesaria de plantación para el abastecimiento de materia prima de forma ininterrumpida. Cada planta de palma posee un ciclo de vida para su explotación de 20 años, por lo que se ha de realizar una replantación en dicho periodo de tiempo. Es en ese momento, al producirse el fin del ciclo, en el que se procederá a la tala y limpieza del suelo cultivado. Se trata pues, de determinar si existe la posibilidad de disponer de “madera” susceptible de ser talada, sin verse condicionado a esperas a la hora de la extracción del recurso por encontrarse aún en rangos de vida explotables.

Se parte de los siguientes parámetros de producción:

DATOS DE PRODUCCIÓN		
TIEMPO DE EXPLOTACION (*)	20	Años
PRODUCCION PLANTA	2	Tn/h
HORAS FUNCIONAMIENTO DIARIAS	24	h/Día
DIAS FUNCIONAMIENTO AL AÑO	365	Días/Año
TONELADAS DE PRODUCCION ANUALES TOTALES	17520	Tn/Año

(*) Se refiere a la explotación que se realiza por cada palma.

Se va a estimar la viabilidad en el caso más desfavorable posible en cuanto a disponibilidad del recurso. Es decir, se ha optado por determinar una producción

media/alta, de 2 toneladas de producto a la hora, y más relevante aún, continuada en el tiempo, operando ininterrumpidamente.

En el anejo de Desarrollo/ Producción, se estableció la densidad de siembra de este cultivo en 143 ud/ha. Del mismo modo se estableció que se dispone de un suelo explotado de 11000ha de extensión. De este modo se tiene lo siguiente:

$$11000ha * 143 \frac{palma}{ha} = 1.573.000 palmas$$

$$1573000 palmas * 1,27 \frac{tn}{palma} = 1.997.710tn$$

Si en un año se tiene una producción en la planta de 17520 tn, y teniendo en cuenta que la masa de cada palma es de 1,27 tn, se obtiene que en ese año productivo se necesitarán:

$$\frac{17520 \frac{tn}{año}}{1,27 \frac{tn}{palma}} \approx 13796 palmas/año$$

De la plantación de 1573000 palmas, cada año extraeré 13796, que se volverán a plantar hasta transcurridos 20 años. De tal forma se determina que para producir 17520tn al año, se necesitaría una cantidad de 13796 unidades de planta de palma.

RELACIÓN PRODUCTIVA DE LA PLANTA DE PELLETS DE PUERTO WILCHES.



Fig. 37. Esquema representativo de la operación de la planta de procesamiento de biomasa, relacionando el recurso disponible con producción. (Fuente: Elaboración propia)



Si repartimos en 20 años las 1573000 palmas de la explotación, se obtiene que se dispone de 78650 palmas susceptibles de ser taladas como recurso disponible. En otras palabras, si cogiese 78650 palmas para un año, se volverá al punto de partida a los 20 años, pudiendo volver a talar.

Como $78650 \gg 13796$, se puede considerar que es viable poder explotar el recurso sin falta de abastecimiento.

De hecho, se podría aumentar considerablemente la producción estimando, de un modo inverso, una producción de 11tn/h. Es por ello que se plantearía para un futuro una ampliación de las líneas de producción. Para la continuación del estudio, se seguirá procediendo con la producción anteriormente establecida.

Resulta obvio que tras el proceso de peletización, el producto se obtiene con mucho menor rango de humedad que la materia prima procedente del campo. Esto adquiere cierta importancia a la hora de dar validez estricta a los cálculos anteriores. Sin embargo, el dato de 1.27Tn/palma, se ha obtenido a partir del dato de densidad de la madera de palma en estado seco (635kg/m^3) y atendiendo al promedio de volumen por palma de 2m^3 . Por esto y dada la abundante diferencia u holgura de la que se dispone ($78650 \gg 13796$), se ha tomado como despreciable esta diferencia de peso relativa al porcentaje de humedad.

7.2 Viabilidad técnica.

La viabilidad técnica para la creación de la planta de procesamiento de biomasa se enfocará en la posibilidad de instaurar y desarrollar el proyecto en el emplazamiento seleccionado, así como atender al conjunto de aspectos técnicos o de logística que puedan suponer una problemática a la hora de ejecutar el proyecto. A lo largo del estudio se ha hecho una mejora continua y analizado las mejores opciones disponibles, seleccionando una parcela, a priori óptima, desarrollando un plan operacional y constructivo de la planta y realizando una distribución por zonas dentro de la misma. A su vez, ya se han establecido a lo largo del anejo 5, *Desarrollo*, las ideas y aspectos claves que hacen referencia al abastecimiento eléctrico, logística, etc, así como el planteamiento de soluciones.

No obstante, un estudio de tales características requiere de la atención de cualquier otro aspecto técnico que pueda dificultar el desarrollo del proyecto. Si este estudio no se realizase con el debido análisis técnico, y una vez dada luz verde al comienzo de la ejecución, los costes de futuros problemas pasados por alto previamente podrían ser desastrosos.

En resumen, se analizarán varias vertientes, pudiendo distinguir entre las calidades infraestructurales y de servicios del municipio de Puerto Wilches, así como

la navegabilidad del Río Magdalena, y otros factores a tener en cuenta como la previsión de cargas.

Como se indicó en el anejo 4, relativo a la *Localización*, Puerto Wilches es un municipio del departamento de Santander, situado al margen oriental del Río Magdalena. El Municipio se encuentra a una altura promedio de 75 msnm y las condiciones climatológicas de la zona se caracterizan por ser muy calurosas y húmedas, pues su temperatura oscila entre los 25 y 40 °C (actualmente el promedio es 33 °C). La precipitación media anual es considerable, obteniendo valores de 3104,5 mm o l/m² (precipitación media mensual: 258,7 mm).

El río Magdalena tiene una extensión total de 1540 km, de los cuales en 1175 km se realizará una inversión de 17 billones de pesos colombianos. Para movilizar 7200 toneladas de carga por el río se necesitan 6 barcazas, mientras que por carretera serían necesarios 206 camiones para realizar la misma tarea. La prueba de las ventajas de su utilización reside en los 1,4 millones de toneladas anuales que transporta.



Fig. 38. Infografía del curso del Río Magdalena en la que se muestran sus puertos principales y secundarios. (Fuente: Legiscomex.com / Elaboración propia.)

En época de verano el Río Magdalena, como sus afluentes, reducen abundantemente su nivel de agua, por lo que la dependencia de estas vías de comunicación se ve perjudicada a causa de la dificultad del transporte fluvial. Teniendo en cuenta que la principal vía de transporte para la exportación del pellet se basa en el aprovechamiento de dicha vía de comunicación, supone un gran impedimento para el planteamiento del proyecto y la viabilidad final del mismo, por lo que se ha de hacer especial hincapié en su estudio.



El calado del Río Magdalena permite un transporte de hasta 5000 toneladas. Fuentes locales indican que salvo sequía excepcional, se podrán realizar envíos mensuales sin inconvenientes. Además ya se ha recalado en varias ocasiones la inversión que afronta el gobierno colombiano para mejorar la navegabilidad del Magdalena. Si se generase un excedente de producto en la planta a causa de limitar las cantidades enviadas por este problema de calado, se enviarían cargamentos más voluminosos cuando el caudal posea unos registros que permitan la navegabilidad. En el Desarrollo/Logística se trataron los aspectos a tener en cuenta para el envío fluvial.

Por todo ello, aunque las condiciones climáticas puedan presentar dificultades a la hora del funcionamiento estimado de la planta, no se encuentra como factor limitante de viabilidad este aspecto.

En cuanto a los servicios de agua potable y saneamiento básico, el municipio de Puerto Wilches cuenta con un ente descentralizado, AGUAS DE PUERTO WILCHES, que es el encargado de administrar los recursos del sector Agua Potable y Saneamiento Básico.

Respecto a la salud, la Secretaria cuenta con un software de régimen subsidiado que se adquirió en el año 2015. El Régimen Subsidiado es el mecanismo mediante el cual la población más pobre del territorio, sin capacidad de pago, tiene acceso a los servicios de salud a través de un subsidio que ofrece el estado.

Dejando a un lado el abastecimiento básico, si se atiende a otros factores de viabilidad como los geotécnicos-geológicos, se tiene que hacer especial hincapié en la actividad sísmica y características del suelo. Para éste último se reseñará que la mayor parte del territorio es plano con algunas ondulaciones, y son característicos los pantanos y ciénagas, que son saneadas por medio de ordenanzas municipales. Dichos aspectos no suponen impedimento alguno para dificultar la viabilidad del proyecto. Sin embargo, no ocurre lo mismo con el aspecto sísmico. El departamento de Santander es una región susceptible de sufrir esta amenaza natural debido a la confrontación de varias placas tectónicas: Nazca, Caribe y Continental.

Prueba de dicho riesgo se muestra a continuación, donde se ha añadido una tabla que recoge los mayores seísmos registrados en las inmediaciones de la ciudad de Bucaramanga, a escasamente un centenar de kilómetros de Puerto Wilches:

SEISMOS MÁS FUERTES DE BUCARAMANGA				
	FECHA	ESCALA DE RICHTER	PROFUNDIDAD	EPICENTRO
1	10 Marzo 2015	6.6	161 Kms	Los Santos
2	14 Abril de 1999	6.1	170 Kms	Los Santos
3	5 Mayo de 2007	6.0	155 kms	Betulia



4	1 Enero de 1996	6.0	170 kms	Villanueva
5	2 Septiembre de 1998	5.8	150 Kms	Los Santos
6	2 Enero de 1998	5.8	155 Kms	Los santos
7	26 Octubre de 1998	5.7	160 Kms	San Andres
8	3 Diciembre de 1998	5.7	165 kms	Los Santos
9	24 Mayo de 1998	5.6	150 kms	Cepitá
10	13 enero de 1999	5.5	160 kms	Jordán
11	6 de mayo de 1998	5.5	162 kms	Los Santos

Tabla 20. Tabla representativa de los mayores seísmos registrados en Bucaramanga, en el departamento de Santander. (Fuente: marcoavirama.com)

Con todo lo expuesto no se debe pasar por alto la existencia de una problemática real asociada al riesgo de seísmos. Llegados a este punto se ha de determinar si dicha amenaza es un factor limitante para la viabilidad final. A priori resulta obvio que sí. Por otro lado, no se puede dejar de tirar por la borda este proyecto de gran potencial de desarrollo económico en la región colombiana. Al no manipular elementos nocivos o que puedan poner en riesgo a la población (como puede ser una central nuclear), no se encuentran, para caso de catástrofe, mayores daños que los de índole material. Resulta obvio que el riesgo de daños personales está latente en este tipo de accidentes, y siempre se priorizará ante lo material. No se dejará este aspecto al azar. En vías de realizar una solución preventiva se ha buscado información acerca de las investigaciones y desarrollo científico experimental en materia de detección de terremotos antes de que ocurran. Se ha verificado la existencia y uso exitoso de estos sistemas, aunque todavía se encuentran en vías de perfeccionamiento para obtener un mayor tiempo de antelación desde la detección de un terremoto inminente. La instalación futura de dichos sistemas que alerten de posibles temblores permitirán evacuar hasta lugar seguro al personal de la planta.

Grandes ciudades y empresas se sitúan en zonas mundiales de mayor riesgo sísmico, y sin embargo no es un factor limitante para su desarrollo, por lo que este aspecto, aunque requiere de atención especial, no será determinante para impedir la viabilidad final.

Por último, a fin de conocer el funcionamiento político-administrativo de nuestra localización, cabe destacar que Puerto Wilches, como municipio que es, posee alcaldía propia, formada por el alcalde, concejales, asesores, secretarios ejecutivos, técnicos y numerosos trabajadores oficiales y auxiliares administrativos. Del mismo modo posee cuerpo de policía propio.

Tras completar los pertinentes permisos de obra, no supondrá problema la creación de la Planta de Procesamiento de Biomasa en el municipio. Existen en Puerto Wilches numerosas empresas (de mayor o menor índole) registradas, y la instauración de ésta supondría un importante impulso en el plan de desarrollo económico de la



localidad y alrededores. Por un lado se encuentra una aplicación económicamente interesante en los desechos de las plantaciones aceiteras generando mayor interés en el aprovechamiento de dichas siembras de palma, y por otro lado la generación de puestos de trabajo así como movimiento económico para la región.

A modo de resumen de esta primera vertiente analítica de la viabilidad técnica del proyecto, en la que se ha planteado la disposición del municipio de Puerto Wilches a la instauración de la planta, tanto por limitaciones naturales como administrativas, se puede decir que se ha dado respuesta a las dos primeras cuestiones planteadas acerca de la localización seleccionada: ¿Es posible la distribución del producto a través del Río Magdalena?; ¿Es viable construir en Puerto Wilches?

La cercanía y abundancia de los recursos, la posibilidad de valernos del Río Magdalena para la distribución y la disponibilidad institucional y territorial para construir la planta de procesamiento de biomasa hacen viable el proyecto.

7.2.1 Viabilidad técnica comercial. Calidad del producto.

El objeto final del proyecto es la comercialización del producto obtenido. Para ello hemos de cerciorarnos de elaborar un pellet competitivo en el mercado. En palabras de la propia marca o entidad ENplus, los pellets son “un combustible refinado que puede deteriorarse durante su manipulación.” “Por tanto, la gestión de la calidad debe cubrir toda la cadena de suministro, desde la selección de la materia prima hasta la entrega definitiva al usuario final.”

En el anejo 3, *Estado del Arte*, vimos la importancia de la certificación de calidad para comercializar estos productos en la Unión Europea. De este modo se asegura, mediante unos estándares de calidad internacionales, que los pellets poseen una condición definida y consistente para usos térmicos.

La calidad energética en la comercialización de pellets se clasifica según la certificación ENplus basada en el estándar internacional ISO 17225-2, referida a los pellets de madera, que dividen en tres categorías o calidades: A1, A2 y B. Además de la citada norma, que se basa en requisitos de materias primas y materiales del producto, el plan de certificación cubre otros puntos esenciales:

- Requisitos sobre gestión de la calidad en la producción y manipulación de pellets de madera (ISO 9001, EN 15234-2).
- Requisitos sobre control, seguimiento y declaración, desde la materia prima hasta el producto final entregado al cliente.

Para competir en el mercado se debe obtener el certificado EnPlus, por lo que se ha de plantear la posibilidad que se tiene de obtenerlo y los medios para hacerlo.



En el manual de ENplus versión 3.0 se definen las normas para el esquema de certificación de calidad de pellets de madera. Dicho manual recoge el procedimiento de certificación, los requisitos de calidad de los pellets, requisitos de sostenibilidad...

En el caso de realizar la certificación en España, el encargado de la gestión del sistema Enplus es Averbiom, que coordinará nuestra solicitud como entidad productora que somos, con las diferentes entidades encargadas de realizar las auditorías analíticas y documentales del pellet.

La pregunta sobre viabilidad que se debe responder no es otra que: ¿Podemos obtener el sello de Identificación ENplus en nuestros productos? De entrada la respuesta es si, es posible, debido al carácter internacional del proceso. En las siguientes líneas se realizará un breve análisis del procedimiento a seguir según informa el manual de ENplus.

En primer lugar se definirá el término del sello de identificación (a partir de ahora ID) ENplus, ya que cada productor poseerá de exclusividad en sus dígitos. En otras palabras, cada productor certificado y cada comercializador certificado poseerá un sello de certificación único consistente en el logotipo de ENplus y un ID ENplus exclusivo.

Para los productores, los dos primeros caracteres indican el país donde se encuentra la planta, en este caso colombia. Los tres caracteres siguientes proporcionan el número del productor certificado en dicho país. Como productor o comercializador, tanto si estás certificado como si no, nunca se podrá utilizar el logotipo sin la ID.



*Fig. 39. Sello certificador ENplus e ID de ejemplo de un productor de origen belga.
(Fuente: Manual ENplus, Parte2: Procedimiento de certificación.)*

Una vez emitido el certificado, y siempre que la empresa figure en los sitios web ENplus pertinentes (en este caso sitio web internacional www.enplus-pellets.eu), se otorga a la empresa el derecho a utilizar el sello de certificación para el etiquetado de productos y fines publicitarios, siempre con unos requisitos legales a cumplimentar.

Respecto a las diferentes categorías de calidad, cada una tiene su sello o logotipo único, que se combina con el sello de certificación.



Fig. 40. Sello certificador ENplus con la ID un productor español, combinado con el logotipo de calidad A1 (Fuente: pelletsasturias.com)

Vayamos pues con el asunto relativo a la viabilidad en cuestión, que no es otro que la solicitud de los productores de pellets. Éstos pueden solicitar la certificación a la dirección competente internacional (o nacional del país donde se encuentre el centro de producción si fuese el caso de hacerlo en España) de ENplus.

El primer paso será comprobar si Colombia, país de producción, posee una dirección nacional de certificación. Al no disponer de dicha dirección se deberá realizar a través de la internacional. Después de enviar la solicitud, con la correspondiente documentación complementaria (fichas técnicas de almacenes, líneas de producción, etc.), el solicitante deberá elegir y contratar un organismo de inspección registrado para la inspección anual de la producción y un organismo de certificación registrado. Del mismo modo se elegirá un organismo de ensayo registrado para el análisis de los pellets (el contrato de inspección podría incluir servicios de laboratorio).

Respecto a las tarifas de licencia, dependerán de los rangos de producción anuales. Una vez se haya cumplimentado el pago de la licencia, la dirección competente enviará nos remitirá el sello de certificación como nuevo productor certificado.

Para los años posteriores se deberá contratar un organismo de inspección registrado que realizará una inspección anual in situ, en un periodo de \pm tres meses respecto a la inspección inicial. Las labores y procesos que examinará van desde la toma de muestras y examinación de los sistemas de producción, hasta la comprobación de las gestiones de reclamaciones, ventas, emisión de gases de efecto invernadero, etc.

Otros aspectos que se recogen en el manual están referidos a la gestión de la calidad, las instalaciones y equipos operativos, las materias primas... Respecto a estas últimas, en la parte 3 del manual se detallan los requisitos sobre la cantidad y el tipo de aditivos. No obstante, dicha materia prima estará sujeta a los requisitos de origen basados en la Norma ISO 17225-2.

El análisis de una muestra de referencia ofrece una base sólida para la toma de decisiones en caso de reclamación sobre la calidad. La empresa certificadora contratada ha de recoger las muestras durante el proceso de ensacado o carga



mientras el producto cae. Dichas muestras serán almacenadas en condiciones adecuadas.

Cabe destacar también que tanto para los sacos como para los Big Bag (se distingue entre precintados y sin precintado, pues estos últimos se consideran pellets a granel, por lo que se aplicarán los requisitos correspondientes a esta categoría), existen diferentes requisitos, por lo que están sujetos a diferentes estándares de calidad.

Nos centraremos en la normativa relativa a los sacos. En primer lugar el manual destaca que no se permite la venta de sacos de pellets de clase ENplus B. No así para las clases ENplus A1 y ENplus A2. También destaca que debe indicarse la dirección de la empresa cuya ID ENplus aparecerá en el saco, y que los datos del sello de certificación han de coincidir con los que se contemplan en el sitio web ENplus. El diseño del saco deberá ser aprobado por el licenciario nacional ENplus correspondiente (o internacional) antes de ser puesto a la venta en el mercado. Sin embargo, se pueden encontrar una serie de parámetros de obligada aparición:

- La frase "Pellets de madera".
- Nombre y dirección de la empresa, cuyo ID ENplus figura en el saco.
- Sello de calidad.
- Diámetro (6 u 8mm). *La inclusión de otros aspectos técnicos es voluntaria, pero debe atenerse a unos determinados estándares de signos de puntuación y valores limitantes.
- La frase "Almacenar en un lugar seco".
- La frase "Usar sólo en sistemas de combustión apropiados y aprobados, de acuerdo con las instrucciones del fabricante y las normas nacionales."
- Peso neto (en kg).

Como último requisito se añade que la información adicional no puede ser falsa ni engañosa.

Los requisitos de certificación referidos a la gestión de la calidad en la producción y manipulación de pellets de madera y los requisitos sobre control, seguimiento y declaración, desde la materia prima hasta el producto final entregado al cliente, se darán como aptos para nuestra planta. Se pasará pues al análisis técnico o parámetros a tener en cuenta en la norma ISO 17225-2 mencionada.

El manual ENplus en su versión 3.0 de agosto de 2015 en su apartado 3 recoge los requisitos de calidad de los pellets. Ya se han definido los tres tipos de clases o categorías que se pueden obtener, por lo que se pasará a los parámetros o umbrales técnicos para los pellets, como se muestran en la siguiente tabla:



Propiedad	Unidad	ENplus A1	ENplus A2	ENplus B	Norma de ensayos ¹¹⁾
Diámetro	mm	6 ± 1 u 8 ± 1			ISO 17829:
Longitud	mm	3,15 < L ≤ 40 ⁴⁾			ISO 17829:
Humedad	% en masa ²⁾	≤ 10			ISO 18134
Cenizas	% en masa ³⁾	≤ 0,7	≤ 1,2	≤ 2,0	ISO 18122
Durabilidad mecánica	% en masa ²⁾	≥ 98,0 ⁵⁾	≥ 97,5 ⁵⁾		ISO 17831-1
Finos (< 3,15 mm)	% en masa ²⁾	≤ 1,0 ⁶⁾ (≤ 0,5 ⁷⁾)			ISO 18846
Temperatura de los pellets	°C	≤ 40 ⁸⁾			
Poder calorífico neto	kWh/kg ²⁾	≥ 4,6 ⁹⁾			ISO 18125
Densidad aparente	kg/m ^{3 2)}	600 ≤ BD ≤ 750			ISO 17828
Aditivos	% en masa ²⁾	≤ 2 ¹⁰⁾			-
Nitrógeno	% en masa ³⁾	≤ 0,3	≤ 0,5	≤ 1,0	ISO 16948
Azufre	% en masa ³⁾	≤ 0,04	≤ 0,05		ISO 16994
Cloro	% en masa ³⁾	≤ 0,02		≤ 0,03	ISO 16994
Temperatura de deformación de las cenizas ¹⁾	°C	≥ 1200	≥ 1100		CEN/TC 15370-1
Arsénico	mg/kg ³⁾	≤ 1			ISO 16968
Cadmio	mg/kg ³⁾	≤ 0,5			ISO 16968
Cromo	mg/kg ³⁾	≤ 10			ISO 16968
Cobre	mg/kg ³⁾	≤ 10			ISO 16968
Plomo	mg/kg ³⁾	≤ 10			ISO 16968
Mercurio	mg/kg ³⁾	≤ 0,1			ISO 16968
Níquel	mg/kg ³⁾	≤ 10			ISO 16968
Cinc (Zn)	mg/kg ³⁾	≤ 100			ISO 16968

Tabla 21 . Valores umbral de los parámetros más importantes de los pellets.
(Fuente: Manual ENplus. Parte 3 – Requisitos de los pellets.)

En dicha parte 3 del manual, se recogen del mismo modo los requisitos para materias primas de madera y los requisitos para aditivos.

Se han mostrado los principales parámetros de interés para la certificación de calidad. Sin embargo, las especificaciones técnicas detalladas con frecuencia comercialmente en la venta de pellet son:

- Poder calorífico (Medido en kWh/kg o en MJ/kg).
- Contenido en agua o porcentaje de humedad (%).
- Diámetro en mm. *Se ha destacado la obligatoriedad de aparición de este dato en el diseño del saco.
- Porcentaje en cenizas (%).

En cuanto al problema de viabilidad que se está tratando, estas especificaciones dan pie a una pregunta que se debe responder: ¿Puedo obtener estos rangos en mi producto?



Se tiene como objetivo obtener una certificación En Plus A1, que es la mayoritaria en los grandes distribuidores. Para ello se deben comparar los estándares de la normativa con nuestro proceso, atendiendo a las diferentes especificaciones técnicas citadas anteriormente (no se poseen medios para realizar ciertos análisis, por lo que se estudiarán únicamente las características técnicas comerciales).

En primer lugar se hará especial hincapié en la calidad y estado de la materia prima. La madera del tronco de palma que se utilizará representará un recurso natural virgen y sin manipulación química ni uso de aditivos. En este aspecto se recibiría el sello A1.

Respecto al poder calorífico, ya se ha descrito en varias ocasiones la importancia de este factor y la diferencia entre el superior e inferior. Nos resulta de especial interés el inferior, al ser el realmente aprovechable y el parámetro analizado en la normativa. Los troncos de las palmas longevas tienen un poder calorífico de 4500 Kcal/kg. Aunque también puede expresarse en MJ/kg, al ser lo habitual en la certificación y envasado encontrarlo en kWh/kg, se realiza la transformación, resultando un valor de 5,23 kWh/kg, mayor que el 4,6 kWh/kg requerido por la norma. Bien es cierto que tras el proceso de peletización este valor variará, pero al realizar una densificación de la materia prima, este valor podría incluso aumentar.

El porcentaje de humedad dependerá de la maquinaria empleada. Se ha seleccionado un enfriador muy competente que asegura un reducido porcentaje de agua. Al salir de la peletizadora, el porcentaje de humedad está en torno al 15%. Al pasar posteriormente por el enfriador, con tecnología de flujo de cama, este porcentaje se reduce hasta el 4%, muy inferior al 10% establecido. Sin embargo al ser un clima húmedo se ha de tratar con especial interés este aspecto.

El diámetro del pellet según la normativa lo sitúa en 6 u 8 mm, con tolerancia de ± 1 mm. La peletizadora seleccionada para la planta posee una matriz que puede operar con ambos calibres.

Por último, para el contenido de cenizas no se han encontrado datos concluyentes para este recurso.

A modo de resumen de este apartado de viabilidad técnica referido a la calidad del producto, se puede deducir que se han dado respuestas a dos preguntas básicas: ¿Se puede obtener una certificación ENplus como productor de pellet en Colombia? ; ¿Puedo obtener el sello de calidad ENplus A1 para mi producto?

La respuesta a la primera pregunta es sí, puedo entrar a formar parte de las empresas certificadas ENplus como productoras. Al estar la planta ubicada en Colombia, y no disponer de un ente certificador nacional encargado de la gestión del sello, se tendría que gestionar directamente a través del European Pellet Council (EPC), que es quién gestiona la certificación a nivel mundial. En cuanto a la segunda



pregunta, la respuesta también es sí, Puedo obtener la calidad A1. Se ha demostrado la superación de varios requisitos importantes, y aunque no se han podido contrastar otros, todo apunta q que no habría problema de obtener dicha certificación.

Las respuestas de carácter afirmativo a las preguntas planteadas, hacen que se otorgue una muestra de viabilidad positiva para este apartado.

7.2.2 Viabilidad técnica del suministro eléctrico.

Para un óptimo análisis de requerimientos de potencia para el suministro eléctrico se ha de hacer una previsión de cargas de la planta. El grueso del consumo lo realizará la maquinaria seleccionada para el proceso productivo. Sin embargo, otros elementos consumidores de potencia, aunque en menor medida, elevarán la cifra final. Por eso, se debe responder a una simple y a la vez importante pregunta: ¿Qué demanda de potencia necesitare?

Se comenzará por dichos elementos presentes en La línea de producción. A continuación se muestran diversas tablas pertenecientes a cada fase de la producción que atribuyen a cada elemento la potencia unitaria demandada:

1. Producción del pellet de madera. Sistema de descortezado y astillado del bruto.		
Elemento	Potencia unitaria (kW)	Uds.
Sistema de descortezado de madera	43	1
Astilladora de madera	55	1
Molino de martillos	75	1
Selector magnético	0	1
Cinta transportadora	2,2	1

1. Producción del pellet de madera. Sistema de secado.		
Elemento	Potencia unitaria (kW)	Uds.
Secador de tambor	11	1
Tornillos sin fin de alimentación y descarga	3	2
	2,2	1
Estufa para inyección aire caliente	0	1

1. Producción del pellet de madera. Sistema de peletizado.		
Elemento	Potencia unitaria (kW)	Uds.
Tornillo transportador	2,2	1
Peletizadora	113,7	1
Sistema de refrigeración de la peletizadora	3	1
Transportadora de pellet	2,2	1

2. Acabado del pellet de madera. Sistema de enfriamiento.
--

Elemento	Potencia unitaria (kW)	Uds.
Enfriador de pellets	1,3	1

2. Acabado del pellet de madera. Sistema de ensacado.

Elemento	Potencia unitaria (kW)	Uds.
Elevador	2,2	1
Empaquetadora de sacos de pellet.	2	1

3. Sistemas de transporte y control eléctrico.

Elemento	Potencia unitaria (kW)	Uds.
Armario de control	0	1 set

Tabla(s) 22. Relación de potencias unitarias demandadas por cada elemento de la maquinaria.

En el momento del arranque se produce el mayor pico de demanda de potencia en la curva de carga. Por ello todos los motores que poseen una potencia mayor de 15 kW poseen un arranque retardado. Para una correcta previsión de cargas, y teniendo en cuenta que el proceso de producción es ininterrumpido, se ha de estimar la suma de toda la maquinaria trabajando al mismo tiempo.

El resto de equipos consumidores de potencia se engloba en el siguiente cuadro:

Otros elementos consumidores de potencia

Elemento	Potencia unitaria (W)	Uds.
Iluminación naves y talleres / Campana industrial LED 12000 L 90-120°	100	10
Iluminación oficinas / Down light LED 1530 L ; Apertura 120°-140°	18	15
Iluminación vestuarios y aseos / Tubo LED T8; 120 cm; 2100 L; 160°	18	10
Iluminación exterior / Foco LED ; 14250 L; IP66; Apertura 120°	100	10
Motores puertas basculantes de las naves	100	6
Ordenadores (CPU + MONITOR)	200	5
Cámaras de video vigilancia	30	4
Aire acondicionado	10000	1
Sistemas de la balanza para pesaje de camiones.	Sin datos	1
Fotocopiadora/Impresora /escáner	900	1
Cafetera / máquina expendedora de snacks	1000	1
Barrera de paso de vehículos	90	2
Modem ADSL	30	1
Otros	-	-

Tabla 23. Relación de potencias unitarias demandadas por otros elementos eléctricos de la fábrica.

En la tabla anterior se han agrupado los principales consumidores de potencia eléctrica no relacionados con la maquinaria de la línea de producción. El sistema de alumbrado resulta generalmente el principal elemento consumidor de carga. Se ha dividido dicho alumbrado por zonas de talleres, exteriores, oficinas y aseos/vestuarios,



debido a que las luminarias para cada localización serán diferentes, y como se muestra, poseen potencias de alimentación diferentes. Se han agrupado también otros elementos como ordenadores y diversos motores. Requiere atención especial plantear la instalación de un sistema de aire acondicionado, al menos para las oficinas. A fin de mayorar el cálculo se ha escogiendo uno de gran demanda válido para climatizar grandes superficies. Por último pequeños elementos de demanda de potencia no pueden ser olvidados (sirva de ejemplo la inclusión del modem).

La ITC-BT 10 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión está referida a la previsión de cargas, con objeto de poder calcular instalaciones enlace y líneas generales de alimentación. El punto 4.2 se enfoca en *La carga total correspondiente a edificios destinados a concentración de industrias*. En él se dice que “se calculará considerando un mínimo de 125 W por metro cuadrado y planta, con un mínimo de 10350 W a 230 V y coeficiente de simultaneidad 1”. Esta norma se aplica como medida general cuando se desconocen los elementos del local. Sin embargo, en este caso, para mayor exactitud, se han tratado de obtener las potencias de cada elemento, por lo que se deberá calcular de esta forma. El reglamento dice que, entre la potencia prevista y la potencia por superficie, se coja la mayor. No obstante, al disponer de una gran superficie construida en la planta de Puerto Wilches, los cálculos difieren de la realidad. Se tomará por válido el cálculo que se muestra a continuación.

Las potencias de las máquinas se mayorarán con el coeficiente de simultaneidad 1,25, mientras que la iluminación se realizará con el coeficiente 1.

Elementos	Potencia (kW)	Coeficiente	Potencia final (kW)
Maquinaria producción	321	x 1,25	401,25
Otros (iluminación, etc.)	16,28	x 1	16,28
Total			417,53

Tabla 24. Cálculo de la potencia total final tras la aplicación de los coeficientes de mayoración.

Se obtiene una previsión de potencia demandada por la planta de 417,53 kW. Se han utilizado para el cálculo los datos de potencia de los principales motores de la maquinaria implicada en la línea de producción y el conjunto de elementos consumidores de potencia a menor escala, utilizando una aproximación con factores de simultaneidad con el fin de mayorar los cálculos. Para ser conservadores se redondeará a 420 kW.

Llegados a este punto, se ha estimado la potencia demandada por la fábrica. Atendiendo a la viabilidad técnica de esta previsión de cargas, se debe dar respuesta a la cuestión de si es posible o no realizar esta instalación.

En el anejo 5 de Desarrollo se realizó un importante análisis del sistema de abastecimiento eléctrico en el municipio de Puerto Wilches, por lo que no se redundará en esa información. Únicamente a modo de recordatorio se dirá que el Sistema Interconectado Nacional (SIN) es el encargado de garantizar el suministro eléctrico en



Colombia gracias a más de una treintena de plantas hidroeléctricas trabajando junto con otras tantas centrales térmicas y que Puerto Wilches cuenta con la cobertura de Electrificadora de Santander S.A. (ESSA), perteneciente al Grupo de Empresas Públicas de Medellín (epm). En este aspecto la obtención de suministro eléctrico en la planta es viable.

También se recuerda que el mercado eléctrico posee dos vertientes en cuanto a la negociación del contrato: mercado regulado y mercado No regulado. El límite de demanda se sitúa en 0.1 MW (100kW). Al poseer una demanda superior, se podría entrar a formar parte del mercado no regulado para negociar libremente las condiciones de contratación.

En otras palabras, un usuario No Regulado es un consumidor que puede acordar su tarifa de suministro mediante una negociación con el comercializador gracias a superar el nivel límite de potencia establecido. Tras estimar la potencia demandada por la planta y confirmar que se puede formar parte de este grupo, se recordarán los requisitos que define ESSA sobre este tipo de contratación. En su página web encontramos el siguiente escrito:

“Actualmente, para ser considerado Usuario No Regulado se requiere tener una demanda promedio mensual de potencia durante seis meses, mayor a 0.1 MW, o en energía de 55 MWh-mes en promedio durante el último semestre.”

“En conclusión, empresas con consumo pico alto pueden ser usuarios no regulados al superar el límite de la potencia, o también si poseen un consumo constante de energía aunque su demanda de potencia no sea tan elevada.”

“Existe un requisito adicional para ser Usuario No Regulado: instalar un equipo de telemedida que cumpla con el Código de Medida, de modo que permita registrar y reportar los consumos hora a hora. Si un Usuario Regulado posee las condiciones para ser No Regulado mantendrá dicho status hasta que en forma expresa indique que quiere dejar de serlo.”

A modo de conclusión se extrae que sí es posible entrar a formar parte de este grupo y que se debe adquirir un equipo de telemedida para el control de la demanda.

Dada luz verde a la problemática técnico/admisitrativa del abastecimiento eléctrico de la planta en cuanto a la contratación, vayamos a la problemática técnica en cuanto al abastecimiento de los parámetros demandados por la maquinaria.

En una instalación doméstica en España se trabaja con corriente alterna monofásica de 230 V / 50Hz, siendo para industrias lo más habitual encontrar una red trifásica de 380V. Sin embargo, en el país sudamericano se trabaja con una tensión de



110 V / 60 Hz. Esto supone un problema a la hora de enganchar a la red los equipos procedentes de Europa. ¿Cómo solucionar este problema?

La maquinaria seleccionada para operar en la planta trabaja a una tensión de 380V / 50Hz / Trifásico. Para solucionar dicho problema se debe realizar el dimensionamiento e instalación de un centro de transformación (a modo de subestación eléctrica) en las instalaciones de la fábrica que permita obtener una estabilidad de servicio y alcanzar los valores de alimentación demandados.

Existen softwares como el AMIKIT, que generan modelos de proyectos de estas características, en los que al seleccionar los parámetros deseados para tus necesidades, permiten diseñar el centro de transformación, definir y valorar el proyecto, visualizar el esquema eléctrico y generar otros documentos tales como la memoria del proyecto.

En el caso de este proyecto, el diseño del centro de transformación óptimo lo llevaría a cabo la empresa contratada para su adquisición, cuyo presupuesto contempla la elección y puesta en obra. Con la idea de dar respuesta a las mayores cuestiones posibles planteadas acerca de la viabilidad final, se detallarán varios aspectos a tener en cuenta.

Por un lado hemos de poder disponer de un Centro de Transformación (CT) de capacidad de conversión de la frecuencia utilizada en Colombia a la demandada por la maquinaria y conjunto de elementos que trabajarán a 50Hz. Además quedan por determinar los valores de tensión que pueden suministrarnos desde ESSA. Se conoce la potencia contratada que se tendrá en base a la previsión de cargas, por lo que los elementos del transformador deben poder operar con estos valores. La salida de las celdas ha de realizarse de varias formas:

- Por un lado se tendrá la acometida de las naves de producción trabajando en trifásico a 380V.
- Por otro lado el resto de elementos y alimentación eléctrica de la fábrica demandará corriente monofásica de 230V.

La instalación de un Centro de Transformación que permita obtener estos parámetros es viable, por lo que no supondrá problema técnico alguno más allá del meramente económico por el sobrecoste del presupuesto final.

7.2.3 Viabilidad técnica del sistema de aprovechamiento solar fotovoltaico.

A fin de dar respuesta a todas las vertientes tratadas en el proyecto que puedan suponer problemas en la viabilidad final del mismo, se tratará también el aspecto de los planteamientos de algunas soluciones planteadas para mejorar la eficiencia de la planta. Es el caso del aprovechamiento solar fotovoltaico.



¿Qué he de tener en cuenta a la hora de instalar esta tecnología? Lo más importante es determinar de la cantidad de recurso disponible, en este caso las horas de sol. Puerto Wilches se encuentra en una latitud de 7°20' Norte, situándolo bastante próximo al ecuador lo que supone una buena cantidad de radiación solar. Este valor es importante para definir la inclinación que se le ha de dar a los paneles fotovoltaicos, siempre con orientación sur al estar en el hemisferio norte.

¿Resulta viable realizar esta instalación? La respuesta es sí. Al igual que ocurre con el centro de transformación, únicamente se encuentra el problema del sobrecoste para su implantación. Se deben adquirir los paneles, los reguladores e inversores de corriente (el panel fotovoltaico produce electricidad en corriente continua, pero los elementos consumidores trabajan con corriente alterna), realizar la instalación eléctrica y adquirir un acumulador de energía para almacenar la producida.

¿Resulta rentable económicamente? Como toda inversión se requerirá de un periodo de amortización. Implantar esta tecnología supone un coste importante, por lo que a corto plazo puede no resultar rentable. Sin embargo, a medio/largo plazo, una vez recuperada la inversión gracias al ahorro en la potencia contratada, sí supondrá una gran rentabilidad. El clima, la localización y el gran espacio disponible en la parcela para instalar una gran superficie de paneles hacen prever que se obtendrían buenos rendimientos. Si no se instala en la primera fase de construcción, en un futuro cercano, si la planta posee buenas cifras rentabilidad económica, resultará muy interesante invertir en la instalación de esta tecnología.

7.3 Viabilidad económica.

La viabilidad económica supone el punto de inflexión en la toma de decisiones para la ejecución del proyecto. Aunque suene capitalista, que sea un proyecto viable económicamente es el único requisito que se ha de cumplir para que un grupo inversor apueste por él. No obstante, la viabilidad técnica es vital para poder llevarlo a cabo. En el caso de encontrar dificultades de viabilidad de tipo técnico, con una correspondiente inversión es posible subsanar mediante soluciones ingenieriles prácticamente cualquier problemática que se pueda presentar, aunque aumentando en consecuencia el presupuesto final. Por ello si no se presentan garantías de viabilidad y previsiones de amortización económicas, el proyecto no verá la luz. En otras palabras, se ha de estimar si sale o no rentable invertir en la creación de un proyecto de estas características.

En el anejo 6, del *Presupuesto*, se obtuvo el presupuesto global final estimado. Este cálculo servirá de ayuda a la hora de establecer un periodo de retorno del capital invertido. Para ello también nos hemos de apoyar en el cálculo de los gastos de operación, ya que se tendrán desde el momento de puesta en marcha de la fábrica y posteriormente serán fijos mensualmente.

En primer lugar se realizará un análisis de mercado del producto que se pondrá a la venta en el mercado. Como mejora futura se ha propuesto la creación de una planta de pirólisis. Sin embargo, hemos de centrarnos en el futuro inmediato y la única fuente de ingresos, que no es otra que la venta del pellet.

Se ha recabado información sobre los precios de venta en España en grandes centros comerciales físicos y por otro lado en tres distribuidores online. Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Valores de P.V.P del saco de Pellet en grandes centros comerciales físicos en España			
Establecimiento/Distribuidor	Sacos de 15 kg (€)	Imagen	Características técnicas
	4,50		DIÁMETRO 6mm CERTIFICADO ENPlusA1 HUMEDAD ≤10% CENIZA ≤0,7% PODER CALORIFICO: 4,6 kWh/kg
	3,99		DIÁMETRO 6mm CERTIFICADO ENPlusA1 HUMEDAD: 3,2% CENIZA: 0,19% PODER CALORIFICO: 5,24 kWh/kg
	3,85		DIÁMETRO 6mm CERTIFICADO ENPlusA1 HUMEDAD: 8,53% CENIZA: 0,51% PODER CALORIFICO: 5,23 kWh/kg
	3,40		100% MADERA NATURAL DE PINO CERTIFICADO ENPlusA1 HUMEDAD: 6% CENIZA: 0,4% PODER CALORIFICO: 5,0 kWh/kg
Valores de P.V.P del Pellet en plataformas Online			
	5,25 Gastos de envío variables		DIÁMETRO 6±1mm CERTIFICADO ENPlusA1 HUMEDAD <10% CENIZA ≤0,7% PODER CALORIFICO: 4,6 kWh/kg
	3,59		Calidad En Plus A1 Diámetro: 6mm Poder calorífico: 4,96 kWh/kg HUMEDAD : 6,1%

	<p>Desde 3,00€ *Pedido mín. 70 sacos (un palé) Gastos de envío variables</p>		<p>Calidad En Plus A1 Diámetro: 6mm Poder calorífico: 5,23 kWh/kg HUMEDAD ≤10% CENIZA ≤0,7%</p>
---	--	--	---

Tabla 25. Relación de Valores de P.V.P del saco de Pellet en grandes centros comerciales físicos en España, así como las características técnicas de éste.

Se han encontrado productos cuyo precio de venta al público es superior a los mostrados. No obstante, se han encontrado excesivos y poco competitivos en el mercado, por lo que han sido descartados.

La venta se suele realizar de varias formas. Lo más habitual es realizarla de cada saco de 15Kg de forma unitaria. Sin embargo, se aprovecha el embalaje en palés para realizar la venta. Generalmente se apilan entre 70 y 75 sacos por palé (aunque en algunas ocasiones es inferior), lo que supone unos 1100 kg de producto. Estos palés se pueden adquirir por cuantías económicas más rentables si se atiende al precio por saco. Del mismo modo algunos distribuidores ofertan ½ Palé, 5 Palés, 9 Palés, etc.

Valores de P.V.P de Palés de Sacos de Pellet de 15kg (Distribuido por LEROY MERLIN)			
			
Descripción del producto	Precio (€)	Precio por saco (€)	
½ Palé NATURPELLET PLUS-A1 35 U	190,00	5,42	
1 Palé NATURPELLET PLUS-A1 70 U	315,00	4,50	
X5 Palés NATURPELLET PLUS-A1 350 U	1490,00	4,25	
X10 Palés NATURPELLET PLUS-A1 700 U	2795,00	3,99	
X23 Palés NATURPELLET PLUS-A1 1610 U	5795,00	3,59	
Valores de P.V.P del Palé de Pellet en otros distribuidores			
Establecimiento/Distribuidor	Big-Bag	Imagen	Características técnicas
	<p>210,54 + GASTOS DE ENVÍO</p>		<p>Palé de 60 sacos 900 kg Calidad En Plus A1</p>

	334,00		Fabricante: Burpellet Palé de 72 sacos 1080 kg Calidad En Plus A1
	287,50		Palé de 80 sacos 1200 kg Calidad En Plus A1

Tabla 26. Valores de P.V.P de Palés de Sacos de Pellet de 15kg, así como las características técnicas del combustible.

En el anejo 5, más concretamente en el apartado de *Logística*, se especificó que se había ideado una disposición por palé de 65 sacos, dispuestos en 13 pisos o filas de 5 unidades cada una. El factor limitante por seguridad lo marcó la carga dinámica máxima soportada por el palé, situada en 1000kg. En el ejemplo comercial anterior se aprecia que se distribuyen hasta 70 sacos por palé. Para competir comercialmente con dicha oferta se estudiaría la posibilidad de ascender hasta esa cifra añadiendo otro piso más, o simplemente se ofertaría sobre nuestro diseño de 65 sacos, tratando siempre de realizar un mejor precio de venta al público.

Por último se ha de analizar la oferta de los Big-Bag. Del mismo modo que con los sacos de 15kg, se ha recopilado información sobre diferentes distribuidores:

Valores de P.V.P del Pellet en Big-Bag			
<i>Establecimiento/Distribuidor</i>	<i>Big-Bag</i>	<i>Imagen</i>	<i>Características técnicas</i>
	425,00		Fabricante: CARYSE 900 kg
Valores de P.V.P del Pellet en plataformas Online			
	350,00 (Envíos en la península gratuitos)		1000 kg Categoría Din Plus DIÁMETRO 6.18mm HUMEDAD: 6,8% CENIZA: 0,29% PODER CALORIFICO: 5,22kWh/kg

	211,75 + GASTOS DE ENVÍO		1100 kg Madera de Pino Calidad En Plus A1
	322,00 (Envío incluido)		Fabricante: Burpellet 1000 KG Calidad En Plus A1
	299,00 +GASTOS DE ENVÍO		1050 kg Calidad En Plus A1
	186,34 + GASTOS DE ENVÍO (~100€)		1000 kg Calidad En Plus A1

Tabla 27. Valores de P.V.P del Pellet en Big-Bag, así como sus características técnicas.

Las leyes de la oferta y la demanda rigen la economía de mercado. Se ha de hacer una comparativa entre el gasto generado y los ingresos recibidos. Para establecer nuestros precios de venta al público se fijarán las condiciones más desfavorables a fin de realizar un cálculo conservador, por lo que nos valdremos de los precios más ajustados económicamente en el mercado, siendo los siguientes:

- Para los sacos de 15kg el P.V.P se establecerá en 3,25€.
- Para el Big-Bag se puede suponer un P.V.P de 215€.
- Para el palé completo de sacos de 15kg el P.V.P será de 200€.

Una vez estimado el presupuesto final de la creación de la planta, y con el añadido mensual de los costes de operación, se han de ir descontando los ingresos por la venta del pellet atendiendo a razón del envío mensual. Se supondrá que los envíos son continuos y se venderá íntegramente todo el producto enviado.

A continuación se realizará el cálculo del periodo de amortización de la planta. Una vez superado este punto se podrá determinar los ingresos mensuales simplemente restando los ingresos procedentes de la venta de los costes de operación de la planta.

En la parte de Logística del anejo 5, se determinó el uso de contenedores marítimos de 40 pies. Del mismo modo se estableció, según la disposición del palé europeo elegido para este proyecto, la posibilidad de introducir 27 palés por contenedor. Cada palé posee un peso aproximado de 25Kg por lo que se descontó de la tara máxima autorizada por contenedor para no desvirtuar la cantidad de producto a



enviar debido a este sobrepeso. Dicha cantidad se ha situado cercana (debido a que se redondeó a la baja el número de contenedores estimado, aproximadamente 7 toneladas se quedarán en la fábrica esperando a otro envío) a las 1440 toneladas.

En primer lugar se establecerán los ingresos brutos mensuales. Se determinó la elección de realizar un envío mensual de 52 contenedores, de los cuales 35 irán provistos de palés de sacos de pellet de 15kg, y 17 albergarán Big-Bags. Por recomendaciones técnicas los Big-Bag reposarán sobre palé.

Datos de Partida para el Cálculo de los Ingresos Brutos Mensuales					
Tipo de mercancía	Contenedores	Palés	Sacos / palé	P.V.P Palé	P.V.P Saco
Sacos de 15 kg	36	27	65	200	3,25
Big-Bag	17	27	27	215	215

Tabla 28. Resumen numérico de los datos relativos al envío de la mercancía en contenedores y P.V.P de los formatos.

Para los contenedores que albergan sacos se recibirán los siguientes ingresos:

- En el caso de vender toda la mercancía de forma unitaria:

$$36 \text{ contenedores} * 27 \frac{\text{palés}}{\text{contenedor}} * 65 \frac{\text{sacos}}{\text{palé}} * 3,25 \frac{\text{€}}{\text{saco}} = 205335 \text{ €}$$

- En el caso de vender toda la mercancía en formatos de palé completo:

$$36 \text{ contenedores} * 27 \frac{\text{palés}}{\text{contenedor}} * 200 \frac{\text{€}}{\text{palé}} = 194400 \text{ €}$$

Para los contenedores que albergan Big-Bags se recibirán los siguientes ingresos:

$$17 \text{ contenedores} * 27 \frac{\text{BigBags}}{\text{contenedor}} * 215 \frac{\text{€}}{\text{BigBag}} = 98685 \text{ €}$$

Para el primer caso (sacos), resulta evidente que no se venderá íntegramente la mercancía de uno u otro modo. Es más, mayoritariamente se comercializan los sacos de forma unitaria, resultando más manejable para el pequeño consumidor. Se establecerá una cifra intermedia entre ambos resultados a fin de mantener una estrategia conservadora.

En una primera estimación se supondrá que la mercancía es distribuida y vendida íntegramente por las empresas comercializadoras, por lo que la suma de ambos formatos representa una cifra en torno a los 300000 €.

Ingreso bruto contenedores de sacos	201315 €
Ingreso bruto contenedores de BigBag	98685 €



Sin embargo, se ha de tener presente que ese es el precio de venta al público (PVP). Los precios que la fábrica proporciona a los comercializadores variarán dependiendo de las cantidades que adquieran. Para continuar con los próximos cálculos se establecerá que el comercial posee un 30% de ganancia sobre el PVP, por lo que los ingresos mensuales brutos finales con el 100% de la mercancía vendida se situarán en 210000€.

7.3.1 Periodo de Retorno; VAN Y TIR.

En el anejo 6 de *Presupuesto* se estimaron los costes asociados a la creación de la planta de procesamiento de biomasa en cada una de las etapas establecidas, así como los costes mensuales de mantenimiento una vez realizada la puesta en marcha de la fábrica, comenzando la fase de producción. Los presupuestos se resumen en la siguiente tabla:

<i>Costes generales de puesta en marcha</i>	1 209 488 , 50 €
<i>Costes de mantenimiento (a razón mensual)</i>	132 887 €

En esta ocasión se atenderá a la viabilidad económica final del proyecto, valiéndonos de los presupuestos y estimaciones de ingresos obtenidos hasta ahora.

Para ello se pretende calcular en primer lugar el periodo de retorno o en otras palabras, el tiempo que se tardará en recuperar la inversión de la planta. Para calcular esta amortización se parte de los costes generales de puesta en marcha como inversión fija, y se irán sumando mensualmente los costes de mantenimiento. El retorno económico consistirá en descontar a la inversión, los ingresos brutos producidos por la venta del pellet.

Tiempo (meses)	Gastos (€)	Ingresos (€)
1	166500,00	0
2	483000,00	0
3	638185,00	0
4	785772,00	0
5	1071430,00	0
6	1209488,50	0
7	1342375,50	0
8	1475262,50	168000
9	1608149,50	336000
10	1741036,50	504000
11	1873923,50	672000
12	2006810,50	840000
13	2139697,50	1008000
14	2272584,50	1176000
15	2405471,50	1344000
16	2538358,50	1512000



17	2671245,50	1680000
18	2804132,50	1848000
19	2937019,50	2016000
20	3069906,50	2184000
21	3202793,50	2352000
22	3335680,50	2520000
23	3468567,50	2688000
24	3601454,50	2856000
25	3734341,50	3024000
26	3867228,50	3192000
27	4000115,50	3360000
28	4133002,50	3528000
29	4265889,50	3696000
30	4398776,50	3864000
31	4531663,50	4032000
32	4664550,50	4200000
33	4797437,50	4368000
34	4930324,50	4536000
35	5063211,50	4704000
36	5196098,50	4872000
37	5328985,50	5040000
38	5461872,50	5208000
39	5594759,50	5376000
40	5727646,50	5544000
41	5860533,50	5712000
42	5993420,50	5880000
43	6126307,50	6048000
44	6259194,50	6216000
45	6392081,50	6384000
46	6524968,50	6552000
47	6657855,50	6720000
48	6790742,50	6888000
49	6923629,50	7056000
50	7056516,50	7224000

Tabla 29. Representación mensual acumulada de los gastos realizados para la creación y mantenimiento del proyecto y los ingresos brutos obtenidos. Se ha destacado la fila a partir de la cual los ingresos superan a los gastos.

Actividad	Meses											
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Obtención de licencias y permisos de obra	•											
Adquisición de terrenos	•											
Acondicionamiento de la parcela	•											



Pavimentación suelo	•	•																		
Construcción naves	•	•																		
Instalación TC		•	•																	
Instalación de servicios eléctrico y de agua		•	•	•																
Distribución interior de las naves			•	•																
Vallado perimetral del recinto.			•																	
Fontanería			•	•																
Carpintería interior				•																
Albañilería interior			•	•																
Maquinaria producción				•	•															
Maquinaria variada								•												
Vehículos								•												
Costes de mantenimiento									•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

Tabla 30. Diagrama que relaciona las principales actividades presupuestadas y el periodo temporal en el que se afrontarán.

En primer lugar se ha establecido un calendario de tareas para determinar el periodo de cada inversión y así poder realizar una recta lo más aproximada posible a la que realmente se afrontaría. En cualquier caso, el punto de retorno deberá ser exacto debido a que el total final de la inversión es fijo.

Así por ejemplo se ha determinado que en el primer mes se destinará capital a la adquisición de la parcela, la obtención de permisos de obra o la limpieza y acondicionamiento del terreno, pero los gastos del mobiliario o la maquinaria serán posteriores. De este modo se alcanza en el sexto mes la culminación del gasto presupuestario final del proyecto. A partir de este momento la columna de gastos se ve incrementada a razón del valor de los costes mensuales de operación o mantenimiento de la planta.

La columna de ingresos representa los ingresos brutos máximos obtenidos mensualmente por la venta de pellet. El valor de ingresos netos resultará de la diferencia respecto a los gastos.

Como se ha explicado anteriormente, los 6 primeros meses se corresponden con el periodo de creación de la planta, por lo que aún no se dispone de producto con el que comercializar. Los ingresos para esos meses serán cero. El séptimo mes se podrá realizar el primer envío del producto, por lo que aún no se comercializará. Será en el octavo mes cuando se tomará como distribuido y comercializado el pellet producido y a partir de ese momento se comenzará a añadir mensualmente los ingresos brutos obtenidos por la venta del pellet.

Pese a trabajar con comercializadores y no en contacto directo con el cliente, para ser conservadores con las estimaciones se supondrá que se vende un 80% del

total de producto producido para ser exportado y comercializado. Dicho total se ha estimado en 210000 €, por lo que los ingresos aumentarán mensualmente a razón de 168000 €.

Para determinar el periodo de retorno se representan en unos ejes de coordenadas las rectas de Ingresos/Tiempo y Gastos/Tiempo, con objeto de determinar el punto de corte entre ambas.

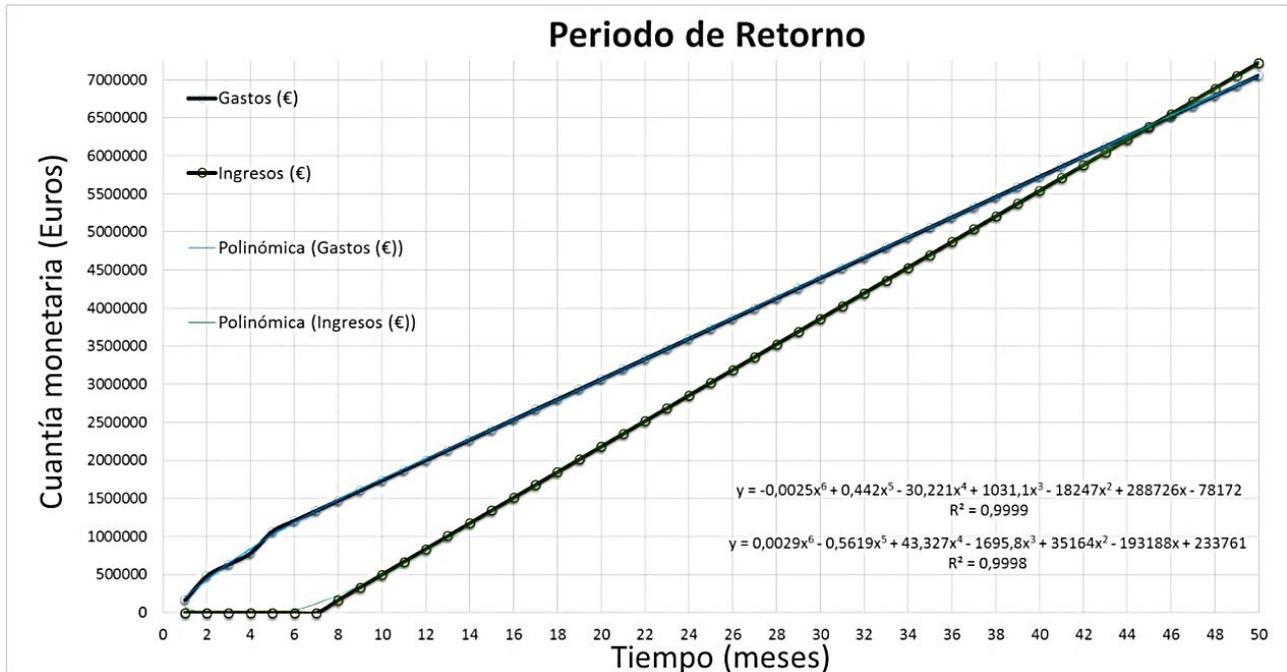


Fig. 41. Representación gráfica de las curvas de Gastos/Tiempo e Ingresos/Tiempo. También se representan las líneas y ecuaciones polinómicas de ambas rectas.

Para calcular el periodo de retorno o tiempo (en meses) en el que se amortizará la inversión se ha de tener en cuenta el momento en el que ambas rectas se corten. Si se traza una línea desde dicho punto hasta el eje del tiempo se determinará de forma gráfica el valor, pudiendo determinar que el periodo de retorno del capital invertido se situará a mediados de la primera quincena del mes 45.

Para obtener la mayor precisión de esta estimación por un método analítico se han extraído las ecuaciones polinómicas de las rectas para igualarlas en el valor de "Y" (Euros) y obtener el valor temporal exacto definido en "X" (meses).

En una primera estimación se realizó el cálculo con ecuaciones polinómicas de orden 2 y 3, de resolución sencilla. Como se explica a continuación los resultados obtenidos no se ajustan del todo con la realidad al ser ecuaciones de bajo valor de R^2 . Dicho valor debe acercarse lo máximo posible a 1. Para este tipo de ecuaciones se obtuvo lo siguiente:



$$\begin{cases} y = -44,507x^3 + 4046,8x^2 + 57370x - 311576 \\ y = 13,405x^3 - 1203,3x^2 + 165125x + 169149 \end{cases}$$

$$-57,912x^3 + 5250,1x^2 - 107755x - 480725 = 0$$

$$\begin{cases} x' = 50,88 \text{ meses} \\ x'' = -3,74 \text{ meses} \\ x''' = 43,52 \text{ meses} \end{cases}$$

La solución analítica de las ecuaciones polinómicas de grado tres de las rectas representadas da como solución que el periodo de retorno se situaría a los 43 meses y 7 días aproximadamente. La diferencia con respecto a la solución gráfica que se ha dado radica en que la línea de tendencia difiere de la recta real de los datos proporcionados para dicho grado polinómico 3. Los mayores índices de R^2 se presentan al subir el grado de la ecuación hasta el orden 6:

$$\begin{cases} y = 0,0029x^6 - 0,5619x^5 + 43,327x^4 - 1695,8x^3 + 35164x^2 - 193188x + 233761 \\ y = -0,0025x^6 + 0,442x^5 - 30,221x^4 + 1031,1x^3 - 18247x^2 + 288726x - 78172 \end{cases}$$

Despejando el valor temporal al igualar dichas ecuaciones se obtendrá un dato muy preciso del tiempo en el que se producirá la amortización. Sin embargo, debido a la complejidad en la solución analítica de esta ecuación y la escasa necesidad de obtener este dato con exactitud del día se ha decidido dar por buena la solución gráfica concluyendo que el retorno se producirá en la primera quincena del mes 45, a los 3 años y 9 meses.

En otras palabras, tomando los meses como partes enteras, se concluye que en el mes 46, a los 3 años y 10 meses, la recta de ingresos siempre superará a la de gastos, habiendo recuperado el total de la inversión y obteniendo un beneficio neto que se incrementa mensualmente a razón de 35113€.

Finalmente se obtendrán los parámetros de Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR). Dichos parámetros resultan de uso frecuente en la determinación de la viabilidad económica de un proyecto. Ambos hacen referencia a los flujos de caja de la empresa, que básicamente se corresponden con las columnas representadas anteriormente al relacionar los ingresos y los gastos.

En el VAN se hace referencia a la actualización del valor monetario a la fecha actual, representando una operación financiera que fluctúa en el tiempo y no un escenario de renta fija. Dicho de otro modo, se actualizan los ingresos futuros al tiempo presente de la inversión inicial, al tener una rentabilidad variable en el tiempo. Con ello se determina la viabilidad para realizar o no la operación o apuesta empresarial. Para que el proyecto sea rentable el VAN tendrá que ser superior a cero, lo cual representa la recuperación de la inversión inicial y la obtención de mayor capital. Un valor negativo resulta indeseable porque está indicando que no solo se



obtendrá renta del capital invertido, sino que supondrá pérdidas y no es viable desde este punto de vista realizar la operación.

Existe una fórmula para la obtención del valor actualizado del retorno de capital, que descontado a la inversión inicial nos dará el valor del VAN. En lugar de utilizarla manualmente nos valdremos de la herramienta proporcionada por el programa Excel y las tablas creadas en el cálculo del periodo de retorno para su obtención.

Año	Ingresos (€)	Gastos (€)	Flujo (€)
Periodo 0	0	1209489	-1209489
1	1848000	1594644	253356
2	2016000	1594644	421356
3	2016000	1594644	421356
4	2016000	1594644	421356
5	2016000	1594644	421356
6	2016000	1594644	421356
7	2016000	1594644	421356
8	2016000	1594644	421356

Tabla 31. Cuadro de ingresos y gastos junto con el flujo de caja para los 8 primeros años del proyecto.

Los datos de este proyecto suponen un retorno de capital estimados de forma uniforme en el eje temporal. Además, como se ha indicado con anterioridad, se han supuesto márgenes de error por exceso para los gastos y por defecto para los ingresos. Con todo ello y a fin de obtener un parámetro orientativo se ha elaborado un VAN a 8 años y un tipo de interés del 10 % de:

VAN del proyecto de la planta de procesamiento de biomasa de Puerto Wilches	885 687 €
---	-----------

El TIR por su parte se puede definir como el tipo de interés en el que el VAN se hace cero. Cuanto mayor sea este valor, mayor rentabilidad poseerá el proyecto. Del mismo modo que para el VAN, nos valdremos de la herramienta de Excel para su determinación, utilizando de nuevo los 8 años como ciclo de vida orientativo:

TIR del proyecto de la planta de procesamiento de biomasa de Puerto Wilches	27%
---	-----

Con todo ello se determina una viabilidad favorable del proyecto respecto al punto de vista económico. Atendiendo a estos últimos parámetros, se ha obtenido un VAN positivo, confirmado por el índice del TIR, que al igual que el VAN se verá aumentado si se aumentan los años del ciclo de vida del proyecto.

Sin embargo, estos parámetros no son del todo determinantes a la hora de establecer la viabilidad final y se ha de atender a otros aspectos como los flujos de caja y el periodo de retorno. Por ello se ha empezado este análisis determinando este aspecto, resultando que el décimo mes del tercer año se empezarán a tener ingresos positivos, lo cual resulta de gran interés empresarial para la realización del proyecto.



8



. CONCLUSIONES



8 Conclusiones.

Con el grueso del proyecto culminado llega el momento de realizar un balance final por medio de la extracción de una serie de conclusiones. Este anejo adquiere gran importancia al servir de resumen además de concluir la viabilidad final.

Se han estudiado las diferentes etapas, desde la incertidumbre de la fase inicial, hasta los análisis finales. Este anejo por sus características y requerimientos es el último en ser elaborado, por lo que se han superado las diversas etapas del ciclo de vida del proyecto y se conocen todos los inconvenientes y virtudes que han ido surgiendo en la elaboración del mismo.

En primer lugar, y adquiriendo la mayor importancia, se tratarán de concluir los aspectos relativos a la viabilidad. La conclusión inmediata es la afirmación de que la construcción y explotación de la planta de procesamiento de biomasa es un proyecto viable.

Desde el punto de vista de la viabilidad técnica se ha determinado que es posible realizar un proyecto de estas características en el municipio colombiano de Puerto Wilches.

Del mismo modo se ha establecido una viabilidad favorable en cuanto a la variable logística. Se dispone pues, de un recurso ampliamente extendido y explotado en la región. Además, para la distribución se está invirtiendo en el acondicionamiento del Río Magdalena como principal vía de distribución de mercancía pesada entre las regiones Caribe y Andina por medio de barcazas.

Siguiendo con el citado recurso, se realiza un paréntesis en cuanto a la viabilidad para confirmar que la corriente de rechazo Europea por parte de la población hacia el uso de aceite de palma en los productos alimentarios no afectará de forma significativa al sector. Puerto Wilches mantiene su apuesta por la explotación de este motor económico, y la inmensidad de recurso plantado disponible para ser procesado es tan abundante que sigue siendo viable su uso aunque cesasen las replantaciones.

Para acabar con el aspecto relativo a la viabilidad como tal, el estudio de la vertiente económica y presupuestaria nos ha mostrado que es necesaria la inversión de una cuantiosa cantidad monetaria, valorada en 1209488,5 euros, para la puesta en marcha de la planta. La conclusión a la que se ha llegado es que resulta necesaria, para afrontar este proyecto por parte de una PYME, la colaboración con algún grupo inversor o institución interesada en apoyar el proyecto empresarial planteado y así hacer frente a la suma.

Sin embargo, el periodo de amortización de la misma es relativamente corto, ya que se ha establecido este punto de equilibrio entre la inversión y el retorno de activos a los 3 años y 9 meses. A partir del décimo mes del tercer año se obtendría un



beneficio neto mensual que atiende a razón de 35113 euros. Este cálculo, realizado de un modo objetivo y conservador, aporta valor y credibilidad al proyecto, por lo que facilitaría su 'venta'.

Como refuerzo, el VAN y el TIR obtenidos son favorables para la viabilidad y la apuesta final de dar luz verde al proyecto.

Cabe destacar que, como se detalló en el anejo de viabilidad, los datos estimados para el futuro de este proyecto suponen un retorno de capital uniforme en el eje temporal. Además, como se ha indicado con anterioridad, se han supuesto márgenes de error por exceso para los gastos y por defecto para los ingresos. Esto se traduce en el resultado final de dichos índices, que se verán afectados significativamente en función del número de periodos y tasa que se aplique. Por ello estos parámetros no son del todo determinantes a la hora de establecer la viabilidad final y se ha de atender a otros aspectos como los flujos de caja y el periodo de retorno calculado.

Quizá el aspecto más significativo del presupuesto se encuentra en los costes de mantenimiento. El presupuesto de ejecución es un fijo que representa una inversión y se asume como tal. Dependiendo de su valor se obtendrá un retorno más temprano o más tardío. Sin embargo, con el paso del tiempo, las ganancias netas del proyecto dependerán de ajustar al máximo los costes de mantenimiento que enfrentaremos a los ingresos brutos para obtener los ingresos netos. El valor más elevado en cuanto a los costes de mantenimiento se focaliza en el coste del envío. Dependerá de las negociaciones que se puedan llevar a cabo con las compañías de transporte que se pueda reducir esta cifra. Los salarios representan otra suma significativa al plantear una plantilla de trabajo a relevos para la producción ininterrumpida. En un futuro, si se adquiere otra línea de producción, también se puede valorar replantear esta estrategia para al igual que otros datos presupuestarios.

Respecto a la venta del producto obtenido se pueden extraer varias ideas. En primer lugar, destacar el hecho de no poseer un contacto directo de venta con el cliente final, que será la gran variable en cuanto al volumen de ventas. En nuestro caso se actuará como proveedor, comercializando el producto en mayores cantidades y con unas garantías y volúmenes de mercancía fijos preestablecidos, dependiendo de los rangos de venta que se obtengan, el aporte de mayores o menores cantidades de producto.

Resulta evidente que trabajar como distribuidor para grandes franquicias comerciales y otros comercios supone una garantía de ventas y por tanto se puede concluir positivamente este aspecto de salida comercial al pellet producido.

Otras conclusiones inmediatas alcanzadas en la elaboración del estudio, fruto de la mejora continua inherente a todo proyecto, se resumen a continuación:



- El recurso o materia prima empleada será la madera de las plantas arbóreas de palma de aceite y se obtendrán a coste cero, disponiendo de plantaciones de miles de hectáreas. Dicha madera podrá cumplir con los aspectos técnicos requeridos para pasar los estándares de calidad ENplus, que será el organismo encargado de otorgar el logo o etiqueta de certificación del producto a través de ENplus internacional.
- El producto seleccionado para producir y comercializar es el pellet, que forma parte del biocombustible sólido empleado por las calderas y estufas de biomasa domésticas, así como de algunos procesos industriales. Además, el pellet posee otras aplicaciones como el empleo de éstos en camas para animales.
- La necesidad de conservación en ambientes determinados con el fin de evitar contaminar y estropear las características técnicas del pellet, y las características de la ruta de envío, hacen descartar la distribución del producto a granel, siendo el ensacado Big-Bag y sacos de 15 kg la presentación comercial elegida.
- La distribución eléctrica formará una parte importante en la problemática planteada para la puesta en marcha de la planta. Los equipos funcionarán con los valores de red europeos, siendo necesario un centro de transformación sofisticado que pueda afrontar la continuidad del servicio.
- Siguiendo con lo concluido en el punto anterior, la potencia eléctrica requerida para abastecer a la planta es elevada, 420 kW, por lo que el servicio eléctrico colombiano (en la zona en manos de ESSA) ha de garantizar el suministro demandado al centro de transformación. En este aspecto se ve como posible mejora la implantación de un sistema de aprovechamiento solar fotovoltaico que permita reducir la potencia contratada gracias al autoabastecimiento.

A lo largo del estudio se encontraron también numerosos contras, en su mayoría solventados. Con el objeto de poder anticiparse a la aparición de problemas futuros se han analizado varios aspectos de suma importancia. El más relevante tiene que ver con el aspecto descrito en el anterior punto que insiste en la necesidad de un correcto servicio eléctrico. Esto repercute directamente en el buen desarrollo de las labores industriales. Sin embargo, se puede asistir a una parada obligada de la fábrica por otros motivos. Al disponer únicamente de una línea de producción, si cualquier elemento de la maquinaria implicada en el proceso fallase, se detendría dicha producción, con una relación directa en los ingresos netos generados. La solución más inmediata pasará por invertir a medio plazo en una línea de producción paralela.

A modo de ejemplo, otro inconveniente resultó ser el tratamiento de los residuos forestales propios generados. Básicamente, al optar finalmente por la utilización única del tronco de la palma, se veía en el conjunto de ramas un residuo voluminoso considerable e inservible. Una primera solución fue la obtención de serrín

de valor comercial, pero se ha sabido, además, que puede presentar también otras aplicaciones interesantes.

Para concluir, a modo de resumen numérico, se muestran en la tabla adjunta algunos valores relevantes del proyecto, obtenidos durante la elaboración del mismo:

Descripción	Valor
Superficie de plantación de palma	11 000 ha
Palmas de aceite en base a densidad de plantación	1 573 000 palmas
Ciclo de explotación de la palma	20 años
Masa de materia prima plantada	1 997 710 tn
Volumen de materia prima plantada	3 146 000 m ³
Densidad palma seca	635 kg/m ³
Poder calorífico madera de palma	5,23 kWh/kg
Ritmo de producción	2 tn/h
Toneladas de producto mensual	1 460 tn
Superficie de la parcela industrial	18 000 m ² (1,8ha)
Potencia eléctrica demandada	420 kW
Valores de red maquinaria	380V/50Hz (Trifásico)
Valores de red colombianos	110V / 60Hz
Contenedores de sacos	35 contenedores de 40 pies
Contenedores de Big-Bag	17 contenedores de 40 pies
Cantidad mensual de palés utilizados	1 404 palés
Plazo para la puesta en marcha	6 meses
Presupuesto final	1 209 488 , 50 €
Gastos de mantenimiento mensuales	132 887 , 00 €
Ingresos netos mensuales	35 113 €

Tabla 32. Resumen de algunas de las cifras significativas obtenidas en la realización del proyecto.



9



. BIBLIOGRAFÍA



9 Bibliografía.

Mención especial para Gcmec y la agrupación de empresas “**abc Machinery**”, que, con los datos de rangos de producción y características técnicas de la materia prima proporcionados, aportó un presupuesto detallado (Maquinaria necesaria, oferta económica, potencias ...) de la maquinaria requerida para la línea de producción.



Del mismo modo, agradecimientos a la empresa **ECAN Energía S.L** por la información y ayuda proporcionada.



Revistas.

- RETEMA (Revista Técnica de Medio Ambiente)
- BIOENERGY
- FOREST (Guía de especificaciones para sistemas de calefacción con biomasa)

Documentos, manuales, proyectos...

- ATLAS del potencial energético de la biomasa residual en Colombia (Ministerio de Minas y Energía).
- Integración de las Energías renovables no convencionales en Colombia (Unidad de Planeación Minero Energética).
- Informe de Empalme Puerto Wilches (Alcaldía).
- Manual ENplus España; versión 3.0 (6partes).
- Deforestación en Colombia: Retos y perspectivas (Helena García Romero).
- Secado solar (AGRO WASTE).
- Manual técnico de palma africana (San Pedro Sula).
- Caracterización del proceso de densificación de biomasa residual proveniente de Palma de Aceite Africana (Tusa) (Huber Cabrales Contreras).
- Biomasa. Oportunidades para el sector de fabricantes de Bienes de Equipo (Observatorio Industrial del Sector de Fabricantes de Bienes de Equipo).
- Análisis de muestra de pellets para *Pelletsasturias* a cargo del instituto nacional del carbón (INCAR).
- Investigación del efecto de los parámetros de elaboración de pellets de cuesco de palma en el proceso de pirolisis (Andrés José Zapata Saad).
- Naves industriales prefabricadas desmontables (Modulnor Prefabricados Metálicos).
- Biomasa, producción eléctrica y cogeneración (IDAE 2007).



- Optimización del uso de gases de chimenea, en un secador de flujo transversal, en el acondicionamiento de fibra de palma africana para su uso como combustible en caldera (Rodolfo Eduardo Monzón Oxom).
- Aprovechamiento de los residuos de la madera y su posible reutilización en fabricación de biomasa generada en Bogotá (Rubén Darío Canastero Ríos).
- Proyecto de: Planta de bio-combustibles sólidos a partir de la biomasa forestal residual / cultivos forestales en Valderredible (Arruti 2010).

Artículos.

- “Biomasa residual vegetal: Tecnologías de transformación y estado actual.” InovaCiencia. Universidad de Santander. Pedro Elías Patiño Martínez.
- “Generación y uso de biomasa en plantas de beneficio de palma de aceite en Colombia.” Jesús Alberto García, Mónica M. Cárdenas, Edgar Eduardo Yáñez.
- Producción y uso de pellets de biomasa para la generación de energía térmica: una revisión a los modelos del proceso de gasificación (Carlos Andrés Forero Núñez; Carlos Alberto Guerrero Fajardo; Fabio Emiro Sierra Vargas).
- Aprovechamiento de los sub-productos de palma de aceite (Eduardo del Hierro Santacruz).
- Energía obtenida a partir de biomasa (Emilio Cerdá).
- Energías renovables: Marco jurídico en Colombia (Luis Ignacio Betancur).

Web

<https://www.iea.org/>

WWW.COLOMBIA.COM

<http://www.colombia.com/colombia-info/informacion-general/geografia/clima/>

<https://conociendoelfolclorcolombiano.wikispaces.com/Clima+de+la+region+y+actividades+agro+pecuarias+de+la+region+caribe>

<https://twenergy.com/co/a/la-biomasa-en-colombia-el-gran-reto-para-generar-energia-sustentable-1140>

http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/produccion-de-electricidad/xiv.-las-centrales-de-biomasa

[https://es.wikipedia.org/wiki/Regi%C3%B3n_Caribe_\(Colombia\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Regi%C3%B3n_Caribe_(Colombia))

<http://tiendabiomasa.com/pellet>

<http://biomasacaldera.es/>

<https://www.caloryfrio.com/calefaccion/calderas/calderas-de-biomasa-ventajas-y-funcionamiento.html>



<http://www.quieropellet.com/>

<http://www.pelletenplus.es/>

<https://es.slideshare.net/SanticrisJJ/palma-africana-caa-de-azucar>

http://www.infoagro.com/herbaceos/oleaginosas/palma_africana_aceitera_coroto_de_guinea_aabora.htm

<http://www.patec.org/prefabricadas.php>

<http://www.modulnor.com/naves-plegables-transportables-desmontables>

<https://maquinariabiomasa.com/plantas-profesionales-para-fabricar-pellets/>

<http://agroforestaediciones.com/expobiomasa-2017-ofrecera-los-profesionales-del-sector-forestal-la-mayor-muestra-astilladoras-trituradoras-del-mercado/>

https://es.wikipedia.org/wiki/Puerto_Wilches

<http://www.plantaspeletizadoras.com/planta-de-peletizado.html>

<http://www.panatec-power.com/produccion-pellet.php>

<http://woodsims.es/productos-y-servicios/proyectos-fabricas-de-pellets-llave-en-mano/>

<http://www.pelletsasturias.com/es/intro.asp>

<http://www.lippel.com.br/es/categorias/movimiento-y-dosaje-de-biomasa/movimiento-y-dosaje-de-biomasa/silos/silos-verticales-para-almacenar-astillas-y-biomasa-152.html>

<http://www.europalet.com/1200-x-1000-mm/palets-de-madera-1200-x-1000/palet-1200-x-1000-fuerte-perimetral-reciclado>

<http://pelletsdelsur.com/empresa-pellets/>

http://www.elconfidencial.com/empresas/2014-02-02/que-es-el-pellet-descubre-el-boom-de-la-calefaccion-alternativa-y-barata_83497/

www.colombia.travel/es/informacion-practica/clima

https://es.wikipedia.org/wiki/Deforestaci%C3%B3n_en_Colombia

<https://twenergy.com/co/a/la-biomasa-en-colombia-el-gran-reto-para-generar-energia-sustentable-1140>

<http://www.parquesnacionales.gov.co/portal/es/>

<http://www.si3ea.gov.co/Home/Biomasa/tabid/76/language/en-US/Default.aspx>

<https://maquinariabiomasa.com/plantas-profesionales-para-fabricar-pellets/>



<https://plantasdepellets.com/>

http://www.infoagro.com/herbaceos/oleaginosas/palma_africana_aceitera_coroto_de_guinea_a_ahora.htm

<https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=13ALAB3gQW46gPKhFBdcXTf4gdLM&hl=es&ll=6.031310769930989%2C-74.62429050000003&z=5>

<https://portalportuario.cl/transporte-carga-rio-magdalena-supera-las-3-millones-toneladas-2017/>

<http://revistamakinariapesada.com/?p=2846>

<http://www.essa.com.co/site/>

https://es.wikipedia.org/wiki/Sector_el%C3%A9ctrico_en_Colombia

<https://siloscordoba.com/es/productos/silos/silos-carga-granel/>

<http://www.silosytolvas.com/silos-tolvas-estructuradas.html>

<http://www.pelletenplus.es/manual-certificacion>

<http://www.intertransit.com/12-tipos-contenedores-maritimos/>

<http://www.sutrimex.com/contenedores/>

<http://lcpackaging.es/instrucciones-para-la-manipulaci%C3%B3n-con-seguridad>

https://www.big-bag.es/configura_tu_big_bag.php

<http://legiscomexoficial.blogspot.com.es/2013/11/luz-verde-la-navegabilidad-del-rio.html>

<http://www.aralits.com/el-contenedor-maritimo-6-consejos-logisticos-para-exportar/>

<http://www.sostenibilidadgrupoepm.com.co/nuestro-grupo/quienes-somos/>

<http://www.tibagroup.com/es/sc/transporte-maritimo-barranquilla-co>

<https://dimay-led.es/index.php/iluminacion-led-industrial.html?p=2>

<http://www.portafolio.co/economia/finanzas/sector-energia-renovable-pellets-madera-337338>

<http://www.provisionaverde.com/pellet.php>

<http://bioenergybarbero.es/es/por-que-pellets/>

<http://www.ventapelletsmadera.es/>



DOCUMENTO 2. Planos



Índice de planos.

Plano 01. Situación geográfica general.

Plano 02. Situación de la parcela.

Plano 03. Distribución de la parcela.

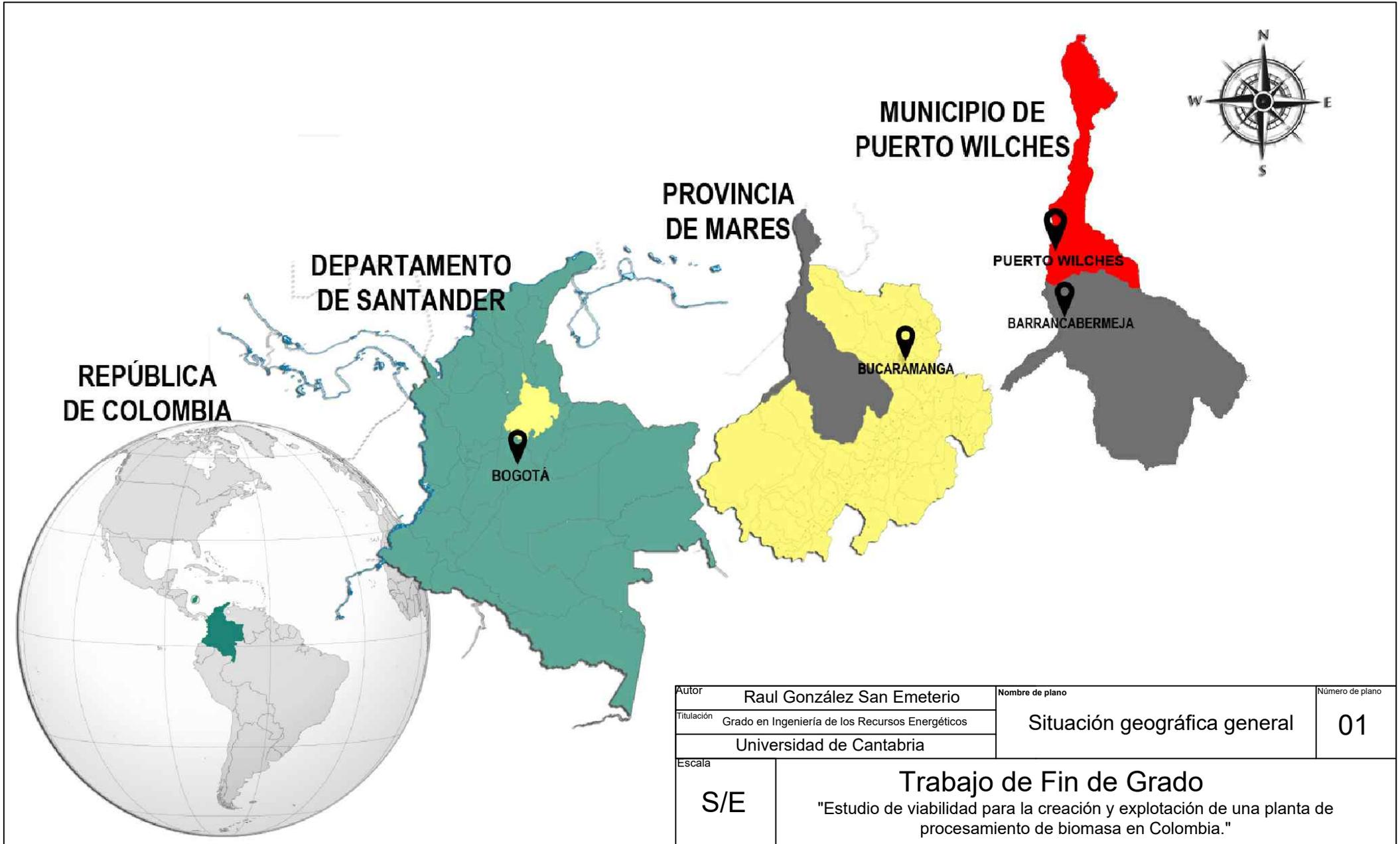
Plano 04. Diseño de la planta: Vista general isométrica SE.

Plano 05. Diseño de la planta: Vista general isométrica NE.

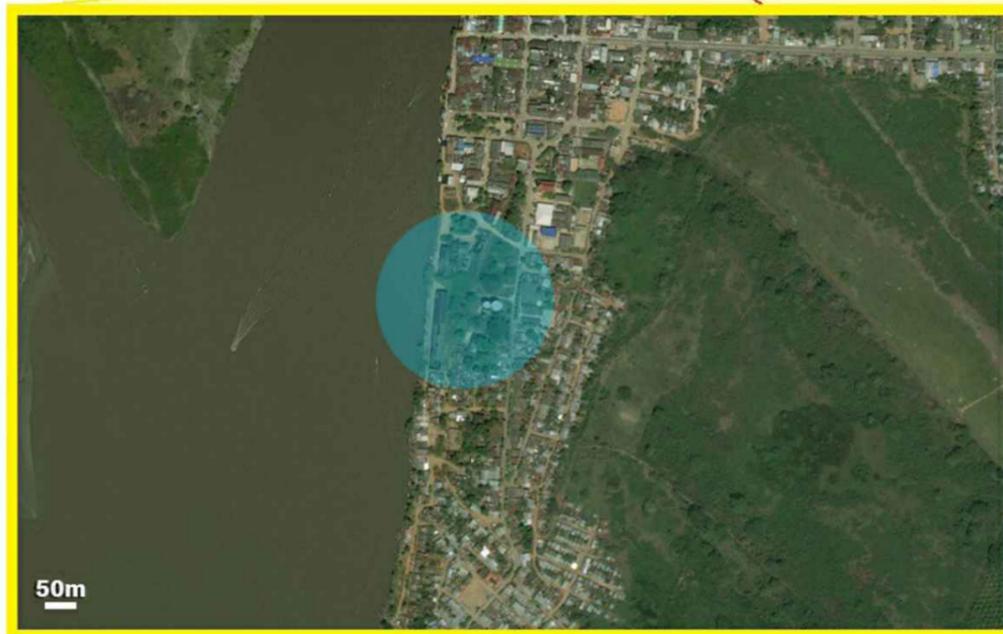
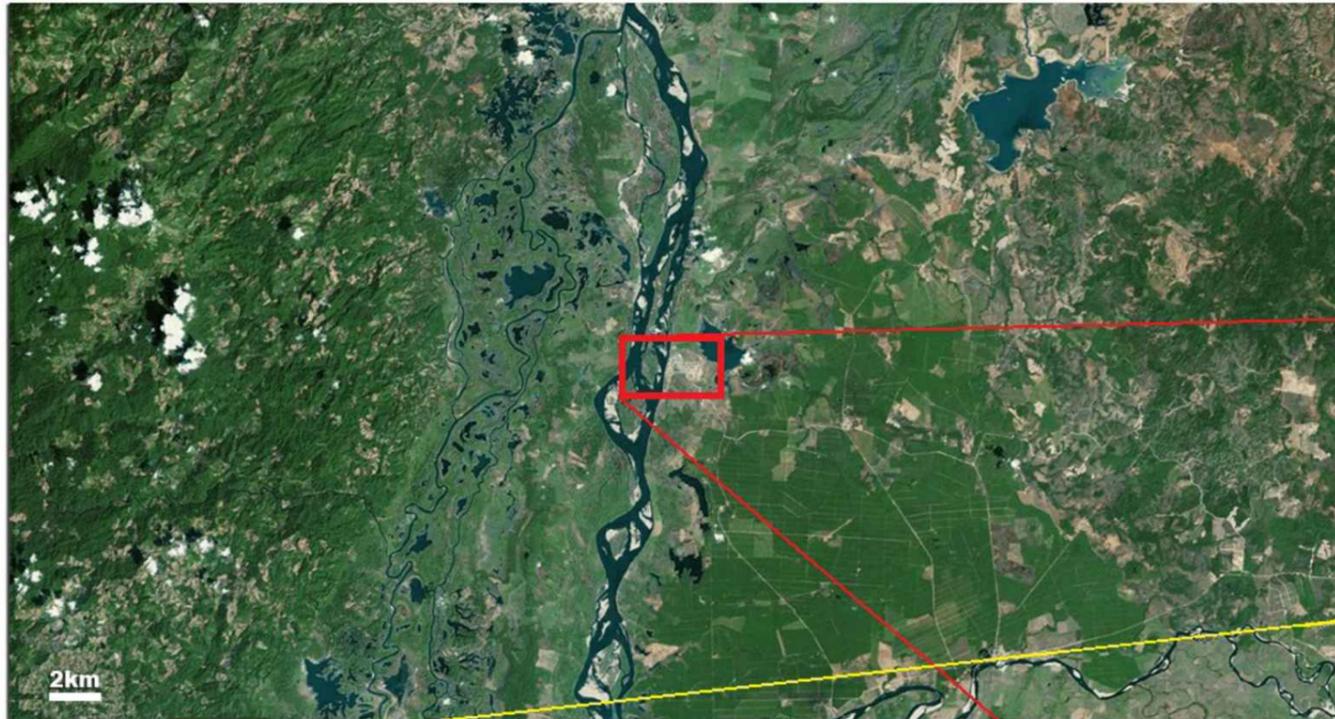
Plano 06. Naves de producción y oficinas.

Plano 07. Nave almacén y taller.

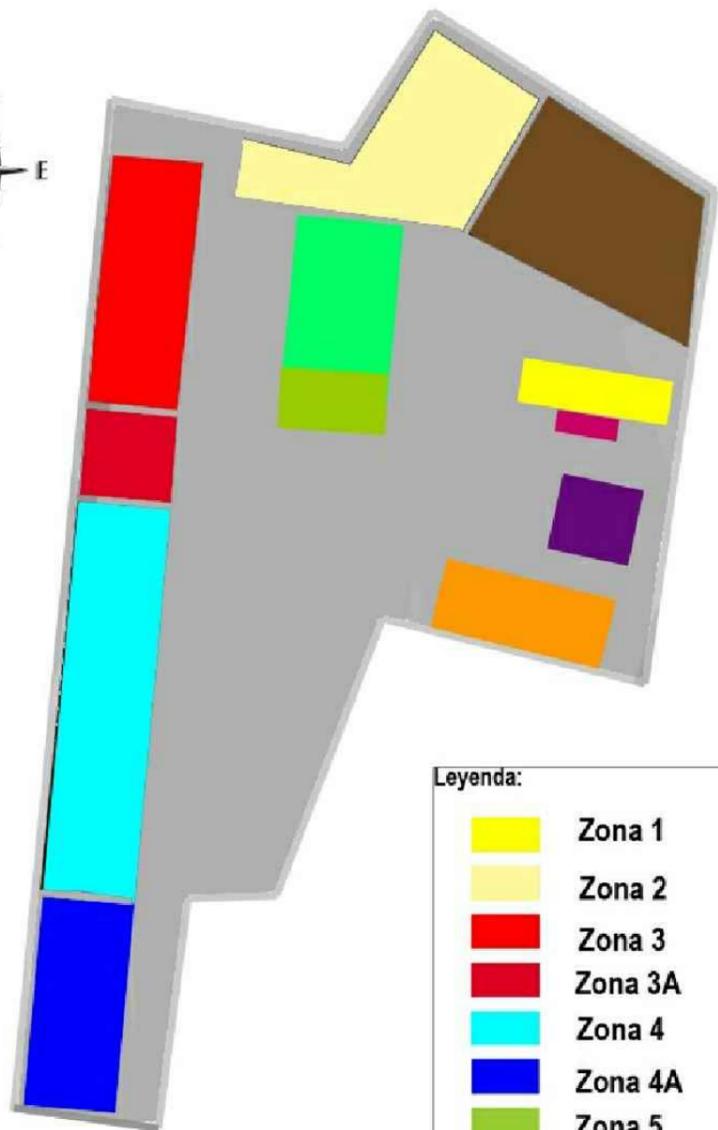
Plano 08. Disposición de equipos.



Autor	Raul González San Emeterio	Nombre de plano	Número de plano
Titulación	Grado en Ingeniería de los Recursos Energéticos	Situación geográfica general	01
	Universidad de Cantabria		
Escala	<p>Trabajo de Fin de Grado "Estudio de viabilidad para la creación y explotación de una planta de procesamiento de biomasa en Colombia."</p>		
S/E			



Autor	Raul González San Emeterio	Nombre de plano	Número de plano
Titulación	Grado en Ingeniería de los Recursos Energéticos	Situación de la parcela	02
	Universidad de Cantabria		
Escala	<p align="center">Trabajo de Fin de Grado "Estudio de viabilidad para la creación y explotación de una planta de procesamiento de biomasa en Colombia."</p>		
	S/E		

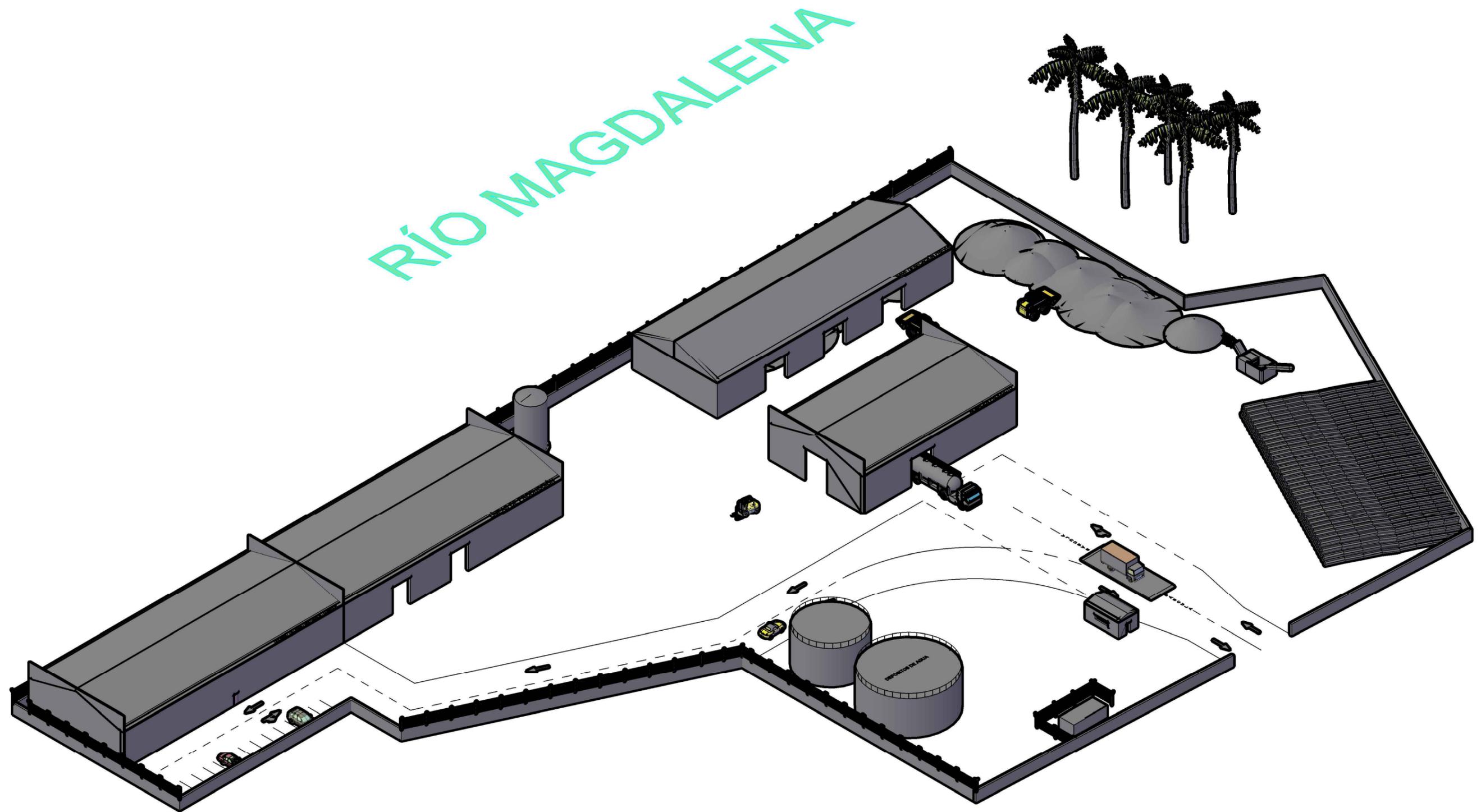


Leyenda:

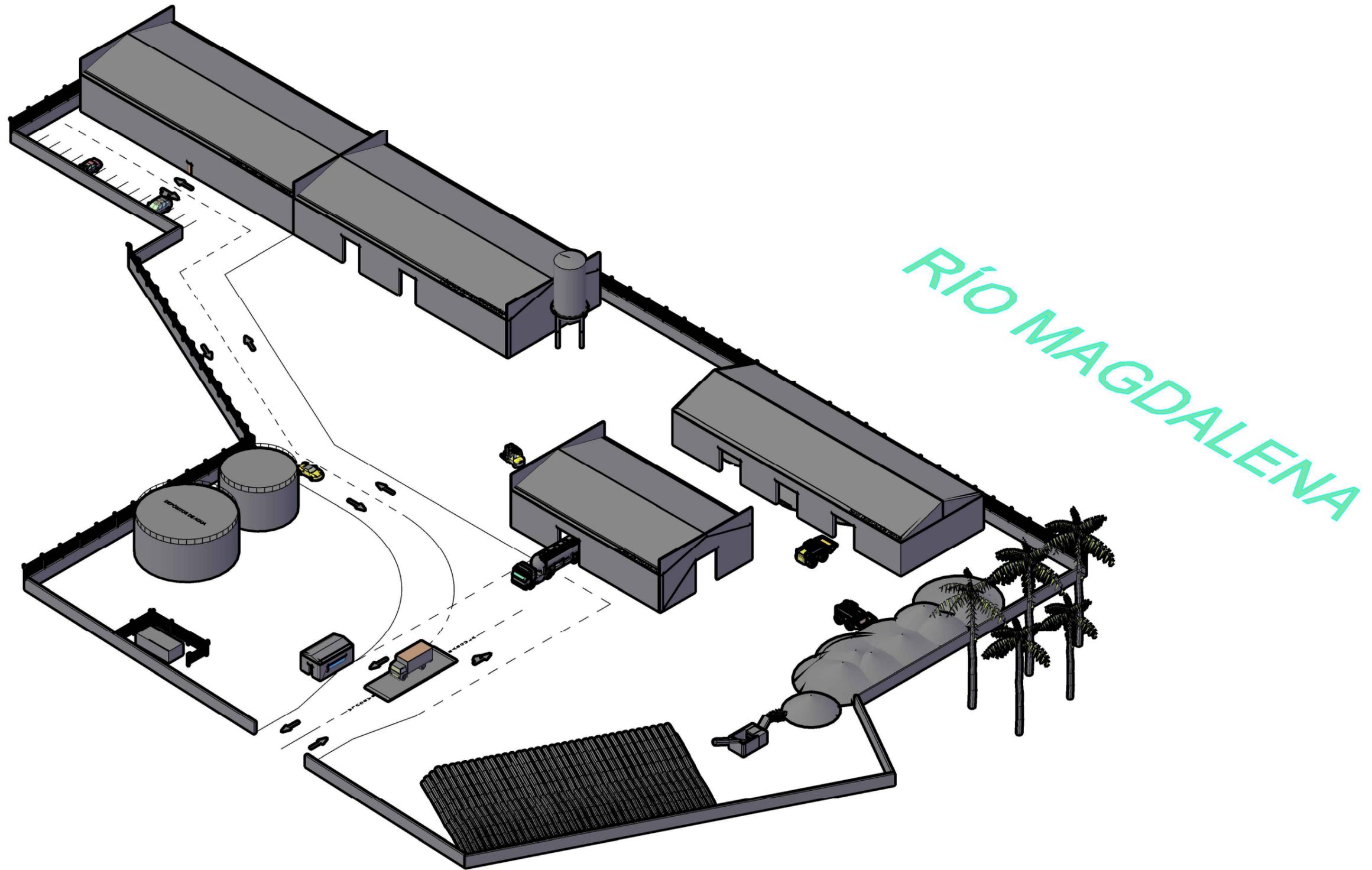
	Zona 1
	Zona 2
	Zona 3
	Zona 3A
	Zona 4
	Zona 4A
	Zona 5
	Zona 6
	Zona 7
	Zona 8
	Zona 9
	Zona 10



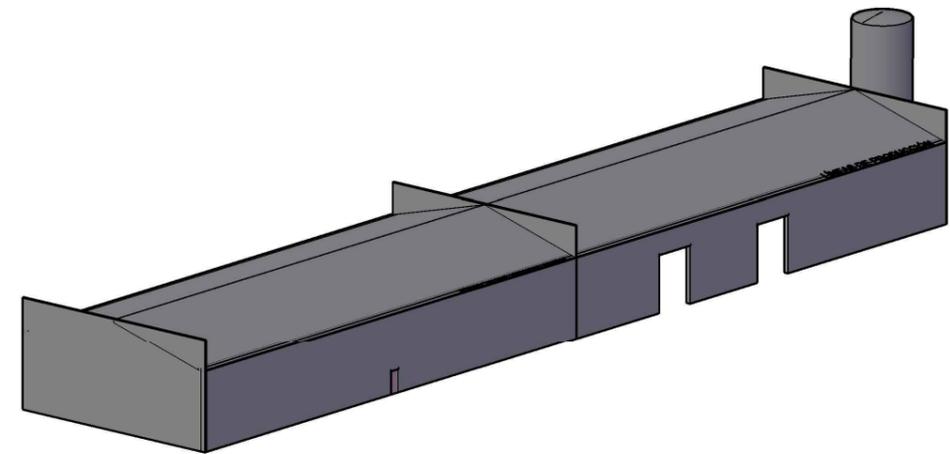
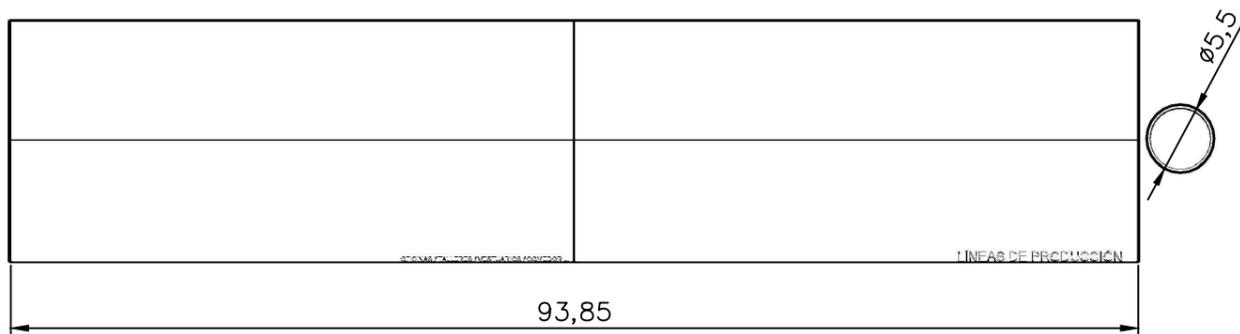
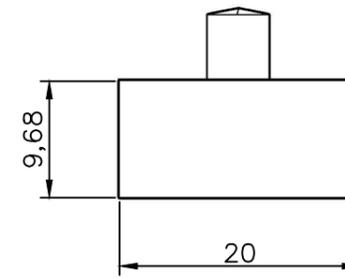
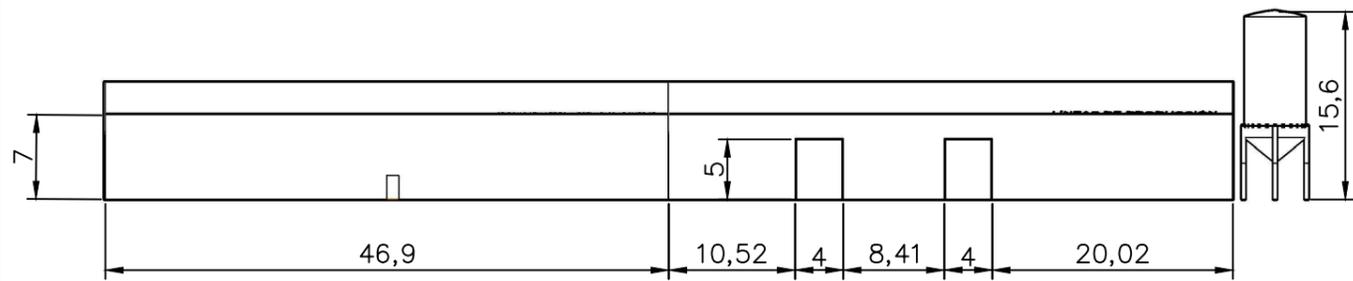
Autor	Raul González San Emeterio	Nombre de plano	Número de plano
Titulación	Grado en Ingeniería de los Recursos Energéticos	Distribución de la parcela	03
	Universidad de Cantabria		
Escala	S/E	Trabajo de Fin de Grado "Estudio de viabilidad para la creación y explotación de una planta de procesamiento de biomasa en Colombia."	

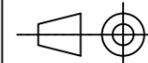


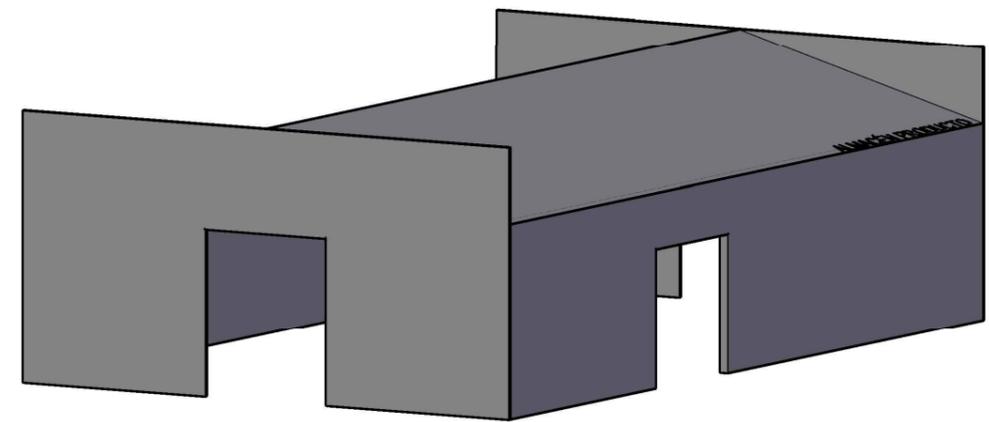
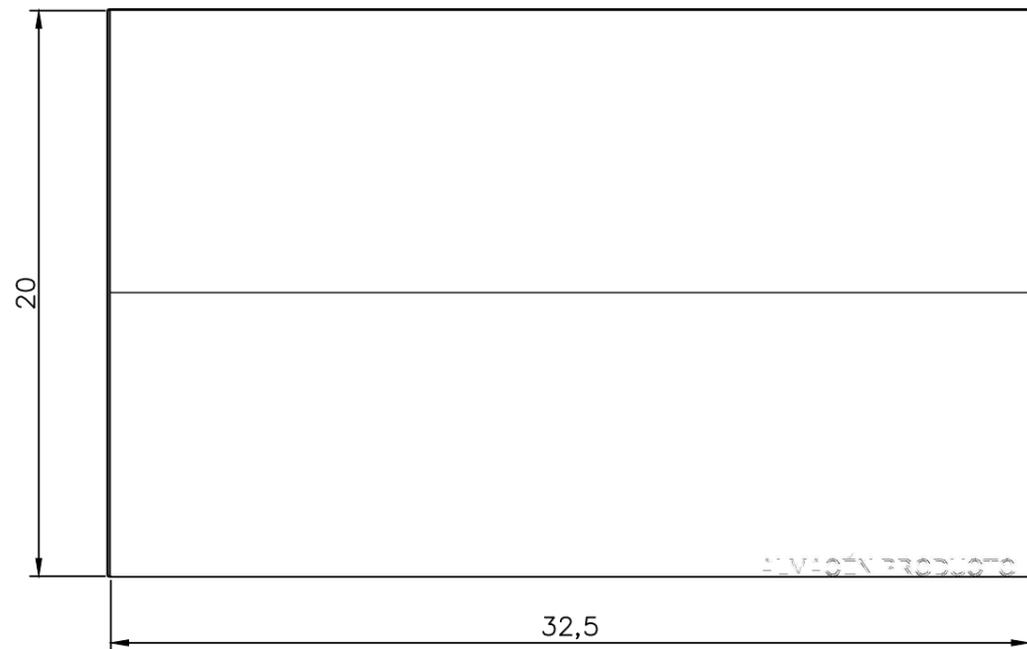
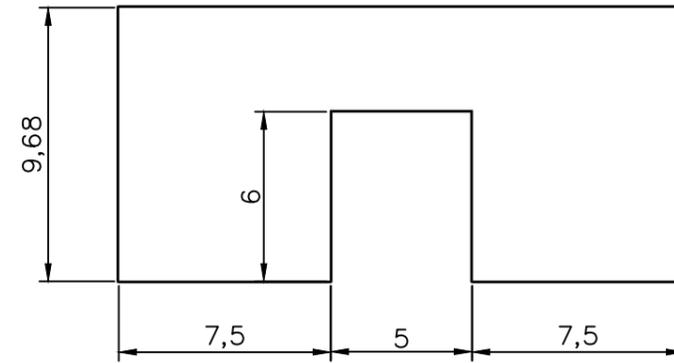
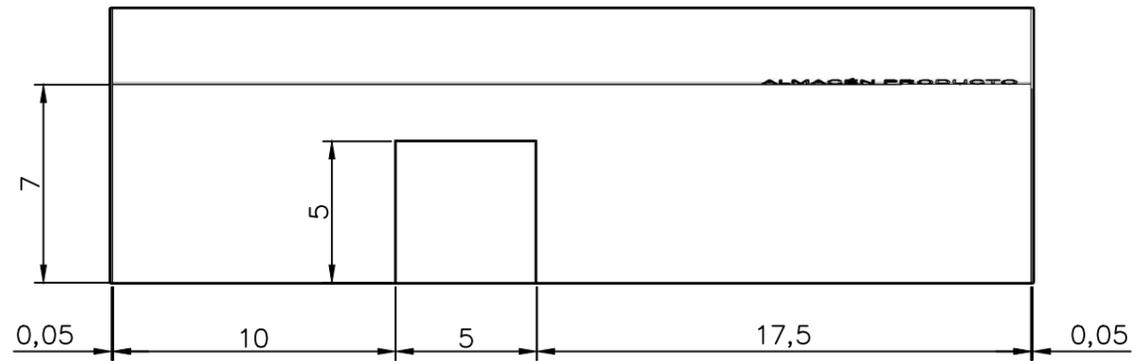
Autor	Raul González San Emeterio	Nombre de plano	Número de plano
Titulación	Grado en Ingeniería de los Recursos Energéticos	Diseño de la planta: Vista isométrica SE	04
Universidad de Cantabria			
Escala	<p align="center">Trabajo de Fin de Grado "Estudio de viabilidad para la creación y explotación de una planta de procesamiento de biomasa en Colombia."</p>		

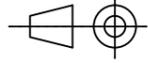


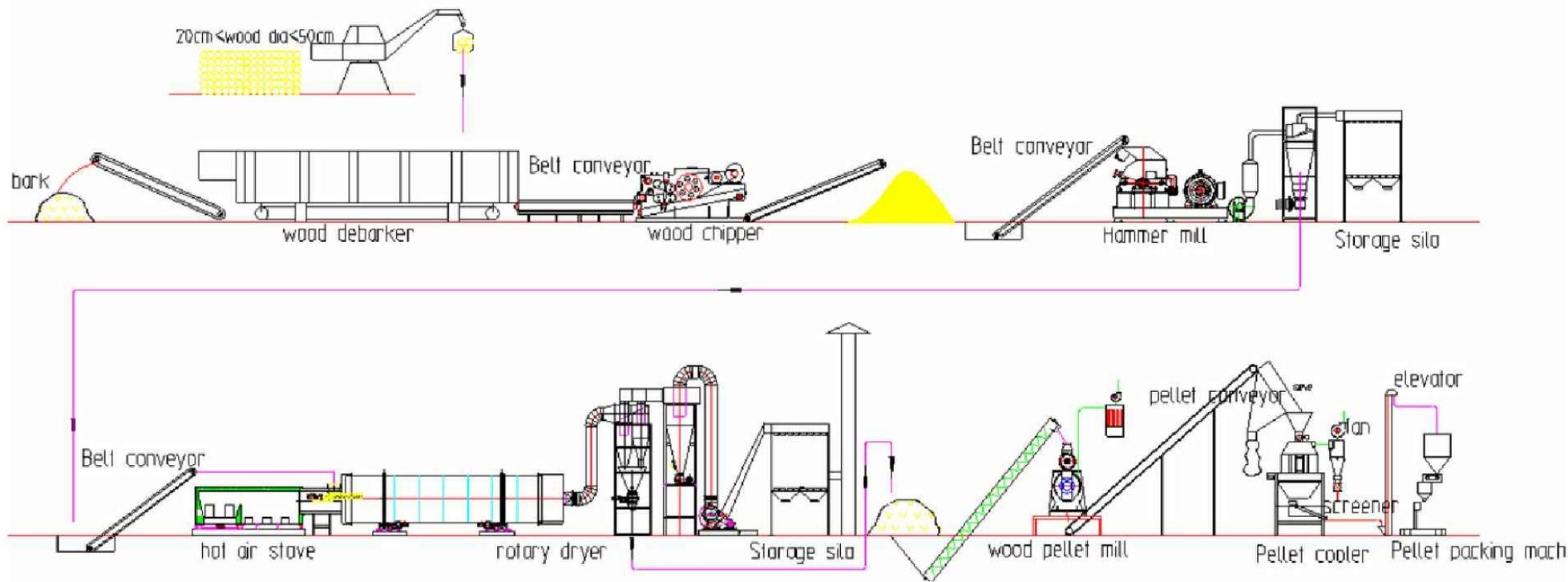
Autor	Raul González San Emeterio	Nombre de plano	Número de plano
Titulación	Grado en Ingeniería de los Recursos Energéticos	Diseño de la planta: Vista isométrica NE	05
Universidad de Cantabria			
Escala	<p align="center">Trabajo de Fin de Grado "Estudio de viabilidad para la creación y explotación de una planta de procesamiento de biomasa en Colombia."</p>		
1/650			



Autor	Raul González San Emeterio	Nombre de plano	Número de plano
Titulación	Grado en Ingeniería de los Recursos Energéticos	Naves de producción y oficinas	06
	Universidad de Cantabria		
Escala	<p>Trabajo de Fin de Grado "Estudio de viabilidad para la creación y explotación de una planta de procesamiento de biomasa en Colombia."</p>		
	 1/700		



Autor	Raul González San Emeterio	Nombre de plano	Número de plano
Titulación	Grado en Ingeniería de los Recursos Energéticos	Nave almacén y taller	07
	Universidad de Cantabria		
Escala	<p>Trabajo de Fin de Grado "Estudio de viabilidad para la creación y explotación de una planta de procesamiento de biomasa en Colombia."</p>		
	 1/250		



Autor	Abc Machinery	Nombre de plano	Número de plano
Titulación	Grado en Ingeniería de los Recursos Energéticos	Disposición de equipos	08
	Universidad de Cantabria		
Escala	Trabajo de Fin de Grado "Estudio de viabilidad para la creación y explotación de una planta de procesamiento de biomasa en Colombia."		
S/E			

