



Universidad Tecnológica Nacional

Facultad Regional Tucumán

Escuela de Posgrado

PLANTA DE PELLETIZADO DE SERRÍN

ING. GUILLERMO MARTINEZ PULIDO

Tutor: DR. ING. MARTIN REARTE

21/11/2019

1. RESUMEN

En este trabajo se plantea la instalación de una planta industrial de Pelletizado de aserrín residual de la actividad forestal. Las instalaciones tienen una capacidad nominal de dos toneladas por hora para la producción de un pellet energético comercial residencial. La principal materia prima es el aserrín que se descarta de los aserraderos, que llegará a la planta luego de haber sido oreado en las instalaciones donde se genera. Luego es secado, a través de un horno rotativo, desde un 30% hasta un 15% de contenido de humedad.

Se describen paso a paso los procesos necesarios para acondicionar la biomasa y el proceso de Pelletizado. Se calcula la tasa de retorno energético del producto.

Palabras claves

Planta Pellet, Residuo, Biomasa, Biocombustible Sólido

2. INDICE

1. RESUMEN.....	2
3. INTRODUCCIÓN.....	5
4. OBJETIVOS.....	6
5. MATERIALES Y METODOS.....	6
5.1. Que es el Pellet.....	6
5.2. Marco Normativo.....	7
5.3. Proceso de Pelletizado.....	9
5.1. Diagrama de Procesos.....	10
5.2. Factores de diseño para plantas de producción de biocombustibles.....	14
5.2.1. Tamaño óptimo de la planta.....	14
5.2.2. Secado.....	15
5.3. Referencias generales de costos para plantas de producción de biocombustibles.....	19
6. CASO DE ESTUDIO.....	20
6.1. Condiciones de Borde.....	20
6.2. Caracterización de la biomasa de entrada y de salida de la Planta.....	21
6.3. Proceso de Secado.....	21
6.4. Montos de inversión.....	23
6.5. Mano de obra y RRHH.....	24
6.6. Tasa de Retorno Energético.....	25
6.6.1. Energía Consumida.....	25
6.6.2. Energía Producida.....	27
6.6.3. Tasa de Retorno Energético - TRE.....	27
6.7. Análisis de Sensibilidad – Caso 1.....	27
6.8. Análisis de Sensibilidad – Caso 2.....	29

7. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	31
8. BIBLIOGRAFÍA	32

3. INTRODUCCIÓN

La mayor parte de los recursos de biomasa considerados técnicamente explotables en Europa, son atribuidos a los residuos forestales en un 40%, seguido de los cultivos energéticos con un 35% y los residuos agrícolas con un 15%. Cabe mencionar, que actualmente la barrera más importante para el uso de este tipo de recursos son los costos de producción y aprovisionamiento, y la dificultad, en ocasiones, de obtener una garantía de suministro durante un periodo razonable de tiempo. A esto se suma el hecho de que la materia prima biomásica, es decir, la biomasa recolectada, tiene a menudo unas características negativas para su uso directo como combustible (como la heterogeneidad en formas y tamaños, la elevada humedad, la baja densidad, etc.) que la hacen poco atractiva. Por este motivo, la transformación de la biomasa en biocombustibles a un precio competitivo es uno de los grandes retos para conseguir los objetivos planteados en cuanto a la utilización de esta fuente de energía renovable.

La transformación de la biomasa en un biocombustible sólido se puede realizar mediante un proceso de naturaleza física, cuyo objetivo es reducir o eliminar las características negativas de la biomasa recolectada (humedad, densidad, tamaño). Transformar la biomasa en un biocombustible tiene por objeto que este biocombustible sea adecuado para la tecnología de conversión energética en que se vaya a usar. Por este motivo, en muchos casos la transformación de la biomasa en biocombustibles se hace “a la carta” mediante el uso de uno o varios de los denominados procesos de pretratamiento como el secado, la reducción granulométrica y la densificación, sin descartar la realización de mezclas de distintas biomásas para mejorar las características del producto final. La preparación de la biomasa para la obtención de biocombustibles será una condición básica para el desarrollo futuro de esta fuente de energía: el Pelletizado se enmarca como una tecnología clave para tal fin.

En los últimos años, la industria de producción de biomasa densificada (y en particular la de fabricación de Pellets) ha experimentado un gran auge a escala mundial como consecuencia, entre otras, del gran desarrollo de equipos de combustión que utilizan específicamente este producto. El grado de automatización

de estos equipos es muy alto, permitiendo a los usuarios un gran nivel de autonomía y bajo mantenimiento. Por este motivo, están en condiciones de competir en el mercado de pequeñas y medianas instalaciones de producción de calor, especialmente en el sector doméstico. Además de los residuos de la industria de la madera (principalmente aserrín y viruta), también podrían utilizarse otras biomásas abundantes en Argentina en el proceso de fabricación de Pellets, como son los residuos forestales, agrícolas, agroindustriales y los cultivos energéticos. La utilización de estas 'nuevas biomásas' en procesos de Pelletización conlleva una especial atención por parte del productor de Pellets dado que hay que tener en consideración cuestiones específicas de manejo de las mismas, de operación en el propio proceso de Pelletizado, así como en la aplicación térmica posterior (sobre todo la posibilidad de formación de depósitos y escorias, emisiones fuera de límites, etc.). Asimismo deben considerarse ciertos costos extra en los que podría incurrirse debido fundamentalmente a operaciones previas a realizar en dichas biomásas, tales como operaciones de molienda, secado, utilización de aditivos, etc.

4. OBJETIVOS

Determinar la viabilidad energética de producción de Pellets, a través de la Taza de Retorno Energético, de acuerdo a la Planta de Pelletizado propuesta. Producir un biocombustible sólido que contribuya al cuidado del medio ambiente y reduzca emisiones de gases de efecto invernadero. Estimar el orden de magnitud de inversiones para el proyecto.

5. MATERIALES Y METODOS

5.1. Que es el Pellet

Se define al pellets como aquella densificación, con o sin aditivos, de la biomasa en determinadas condiciones de granulometría y humedad, para dar como resultado un cilindro de biomasa densificada a una forma cilíndrica de 6-8 mm de diámetros por 10-40 mm de largo. El principal proceso que ocurre en la producción de Pellets es la termocompresión, a través de una extrusión mecánica. El Pellets

es un biocombustible sólido con calidad comercial suficiente. Esto quiere decir, que su uso está difundido y regulado por organismos de control de calidad que responden a parámetros establecido respecto al uso y manipuleo, la eficiencia energética y la seguridad para el usuario.

Pellets de madera o de origen leñoso: son aquellos cuya procedencia son mayoritariamente residuos o subproductos de madera.

Pellets de origen no leños: son aquellos cuyas materias primas son de origen agrícola, generalmente residuos (paja, residuos de podas, etc.)

5.2. Marco Normativo

El pellets en un producto que en algunos países posee una gran difusión y aceptación, debido al aseguramiento de la calidad y prestaciones que el cliente busca al comprar el producto. Esto se logra a través de la normalización del producto, pellets, y el desarrollo de norma complementarias como son las que regulan y estandarizan los equipos donde se hará el aprovechamiento energético del Pellet o de cualquier otro biocombustible sólido.

En la actualidad, en la Argentina, existen transacciones y comercializaciones de biocombustibles sólidos como es el caso del chip de madera, el bagazo o el carozo de aceituna. En dichas negociaciones, si bien los precios se fijan entre las partes, la calidad del biocombustible varía demasiado (humedad, cenizas, poder calorífico, etc) incurriendo el comprador en un riesgo al no tener las especificaciones técnicas del producto que está comprando.

A continuación se muestra en la Tabla 1 estándares desarrollados en Europa y que rigen el mercado de los biocombustibles sólidos.

Planta de Pelletizado de Aserrín

Tabla 1 - Ejemplo de parámetros de calidad para el pellet

PARÁMETROS	DIN 51731	DIN PLUS
Diámetro (mm)	4 - 10	Especificar
Longitud (mm)	< 5	< 5*Diámetro
Densidad (kg/m ³)	1-1.4	>1.12
Humedad (% masa)	< 12	< 10
Cenizas (% masa)	< 1.5	< 0.5
PCI (MJ/kg)	17.5 - 19.5	> 18
S (% masa)	< 0.08	< 0.04
N (% masa)	< 0.3	<0.3
Cl (%masa)	< 0.03	< 0.02
As (mg/kg)	< 0.8	<0.8
Cd (mg/kg)	< 0.5	<0.5
Cr (mg/kg)	< 8	< 8
Cu (mg/kg)	< 5	< 5
Hg (mg/kg)	< 0.05	< 0.05
Pb (mg/kg)	< 10	< 10
Zn (mg/kg)	< 100	< 100
Densidad aparente	-	Especificar
Durabilidad (% masa)	-	< 2.3
Aditivos (% masa)	-	< 2

Existen estándares para cada país como por ejemplo:

- Alemania: DIN 51731 (2000) y DIN PLUS además se clasifican en 5 grupos diferentes.
- Suecia: SS 187120 (1998) – y además se clasifican en 3 grupos
- Italia: CTI R04/05 (2004) y además posee varias categorías – A1, A2, etc.
- Dinamarca: Calidad HP y con 4 diferentes calificaciones.
- Finlandia: Posee unas guías básicas para el buen hacer del pellet sin seguir normas específicas.
- Austria: ÖNORM con siete variaciones.
- Holanda: NTA 8200 – una lista de buenas prácticas para la fabricación del pellet.

En el año 2010 se establecieron las normas europeas EN, elaboradas por comité EUBIONET quién rige todas éstas normativas y estándares y establece reglas de tamaño y composición. Si se desea saber más sobre las otras normas EN 14961-2, pueden visitar la página en inglés de EUBIONET.

En Argentina el INTI desde el año 2010 trabaja en el desarrollo del marco normativo para aplicación en el país tanto de la producción como el uso de los biocombustibles sólidos. Para el año 2020 se prevé la publicación de las normas IRAM ISO 17225-2 Pellets de Origen Leñoso.

5.3. Proceso de Pelletizado

Generalmente las instalaciones de fabricación de este tipo de Pellets leñoso o derivado de la producción forestal emplean materiales lignocelulósicos, permitiendo diversificar y valorizar los residuos de esta industria y así eliminar un posible problema de acumulación de estos residuos. Para el caso de las industrias que procesan los subproductos de aserrado aproximadamente el 45% de la materia prima proviene de la primera transformación de la madera, otro 45% de industrias de segunda transformación de la madera (muebles, parqué, puertas, etc.) y el 10% restante de otras materias primas como residuos forestales, etc¹. La materia prima se utiliza fundamentalmente en forma de aserrín o astilla, porque reduce drásticamente la transformación física y los costos de secado.

Actualmente existen líneas de investigación sobre los pellets no leñosos, dado que se considera que el Pelletizado de biomásas agrícolas cuenta con potencial de desarrollo en el mundo entero. Se está trabajando principalmente en la mejora de las emisiones y también en disminuir los problemas de corrosión en calderas.

Normalmente, el Pelletizado es un proceso de densificado mediante extrusión. En los tipos de fabricación más comunes el principio operativo se basa en la presión ejercida por una serie de rodillos sobre el material situados sobre una matriz metálica dotada de orificios de calibre variable, generalmente de 6 mm. La materia prima atraviesa la matriz al mismo tiempo que se comprime, obteniéndose a la salida un diámetro característico 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.

¹ Pellets de Biomasa en España. Bioplat - Plataforma Tecnológica Española de la Biomasa.

Durante el proceso de extrusión, las fuerzas de fricción que actúan por unidad de superficie son suficientes para provocar un incremento de la temperatura superior a los 70 °C, lo cual genera la plastificación parcial de la lignina que actúa como aglomerante. En ocasiones se puede añadir agua o vapor para mejorar las condiciones del proceso. Asimismo a veces es necesario agregar durante el proceso productivo aglutinantes adicionales para lograr un mejor aglutinamiento 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, cuyo porcentaje debe ser inferior al 2%, según normativa europea (5.2).

5.4. Diagrama de Procesos

El aprovechamiento de residuos forestales presenta retos técnicos asociados a la naturaleza y formato con que llega la biomasa a la planta industrial, a los requerimientos de calidad del mercado y a las capacidades de las máquinas y equipos disponibles en el mercado. Para poder llegar al formato comercial propuesto (pellet) se necesitan una serie de procesos, los cuales se describen a continuación en la Figura 1.

Planta de Pelletizado de Aserrín

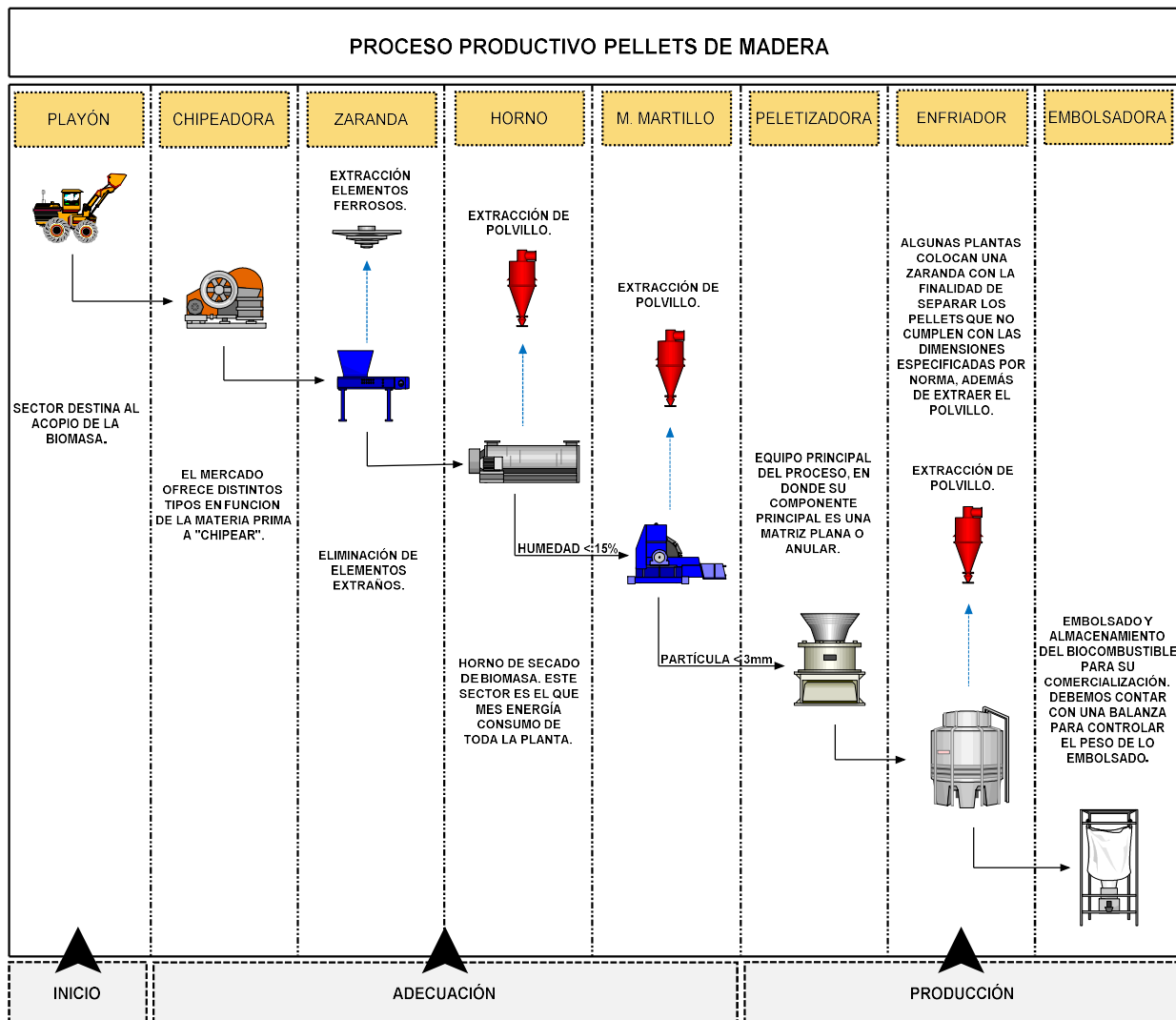


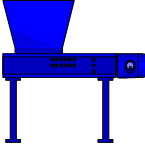
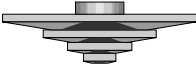
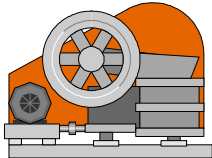
Figura 1: Diagrama de Flujo de los procesos en una Planta de Pelletizado. Fuente: INTI DERNOA

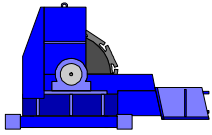
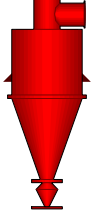
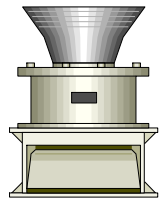
En este diagrama se toman en cuenta todas las operaciones necesarias para alcanzar una calidad de producción y comercialización equivalente a la Norma IRAM-ISO 17225-2 a divulgarse próximamente en Argentina.

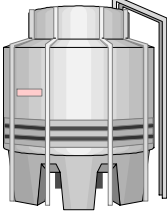
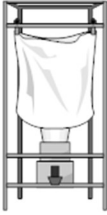
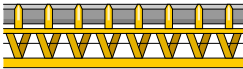
Existen configuraciones de plantas que carecen de algunas etapas o se resuelven con operaciones complementarias de menor costo en equipamiento pero aumentando el riesgo de averías y paradas de proceso.

En la Tabla 2 se describen las máquinas y equipos que componen los principales procesos de una planta industrial de pelletizado.

Tabla 2: Máquinas y Equipos en el Proceso de Pelletizado

 <p>ZARANDA</p>	<p>La materia prima que llega a la planta y se deposita en la zona de acopio nunca se encuentra en óptimas condiciones, ya que la misma trae consigo trazas de tierra, corteza y polvo, sin mencionar la posibilidad de encontrar elementos extraños tales como metales y cerámicos (clavos, piedras, etc.). Las zarandas, pueden tener diferentes configuraciones pero se encargan de separar estos elementos para asegurar la calidad de ingreso de la biomasa.</p>
 <p>SEPARADOR MAGNÉTICO</p>	<p>Existen varios equipos que son importantes protegerlos de elementos extraños tales como metales (clavos, piedras, etc.) que vienen conjuntamente con la materia prima. Por tal motivo se utiliza un separador magnético que extrae del proceso los elementos ferrosos.</p>
 <p>CHIPEADORA</p>	<p>El formato de las materias primas que se usan para la generación de biocombustibles es muy distinto en función a su origen. Además es necesario contar con un producto homogéneo ya que la tecnología de densificado lo exige. Por tal motivo para realizar esta tarea se utiliza una chipeadora, la cual produce el seccionamiento de la biomasa en pequeños trozos por efecto de sus cuchillas. Comercialmente existen de diferentes tipos y formas las cuales entregan calidades de producto diferentes.</p>
 <p>SECADERO</p>	<p>Un secadero es generalmente un tambor rotativo con un quemador o un hogar donde se generan gases calientes los cuales pasan a través de la</p>

	<p>materia prima que va ingresando. Si la materia prima está húmeda es necesario el secado, caso contrario, si el contenido de humedad de la biomasa entrante es inferior al 15% no es necesario. A la salida el contenido de humedad se reduce de un 8% a 10%. Cabe aclarar que estos equipos pueden funcionar con combustibles fósiles o biomasa, en el caso de que sea con biomasa se debe tener en cuenta esto, ya que la misma representa un valor importante.</p>
 <p>MOLINO MARTILLO</p>	<p>Equipo que reduce el tamaño de partícula a valores aptos (3-7 mm). Este tamaño de partícula permite que en el caso que sea necesario aplicar tecnologías de densificado funcione de manera eficiente y genere un biocombustible de calidad.</p>
 <p>CICLÓN</p>	<p>Dentro de los procesos productivos donde se trabaja con productos particulados se generan grandes cantidades de polvillo en el ambiente de trabajo siendo nocivo para los operarios de planta, y contraproducente para un buen funcionamiento de algunos equipos, sobre todo para la pelletizadora. Por tal motivo se introduce en algunos sectores de la planta ciclones, los cuales extraen este polvillo.</p>
 <p>PELLETIZADORA</p>	<p>Durante el proceso de pelletizado la biomasa ingresa al equipo a través de una matriz anular o plana con agujeros del mismo diámetro del pellet deseado, donde las partículas elevan su temperatura a valores de 80 a 105°C. La densidad del producto final debe ser de 650 Kg/m³ aproximadamente. Algunas pelletizadoras traen como equipo auxiliar un acondicionador de biomasa,</p>

	<p>el cual prepara a la materia prima para el ingreso a la pelletizadora mediante el uso de vapor inyectado desde una pequeña caldera.</p>
 <p>ENFRIADOR</p>	<p>La temperatura de los pellets luego de salir de la pelletizadora es elevada, por lo que es necesario reducirla hasta temperatura cercana a la ambiente para lograr una consolidación y compactación del biocombustible antes de ser embolsados. El enfriamiento, tiene por objetivo disminuir la temperatura de los pellets, estabilizar los niveles de humedad del pellet y evitar la "sudoración" en la bolsa cuando son almacenados.</p>
 <p>EMBOLSADORA</p>	<p>El producto final debe ser embolsado y acopiado en una zona apropiada para su futura comercialización. Cabe aclarar que se debe contar con una balanza para controlar el peso de los distintos tipos de formatos.</p>
 <p>TRANSPORTE</p>	<p>Dentro de las plantas donde se producen biocombustibles se utilizan todo tipo de transportes, ya sea en la zona de adecuación de biomasa, como así también en la zona de producción. Podemos mencionar entre los más importantes a los transportadores a tornillo, cintas transportadoras, elevadores a cangilones y autoelevadores en algunos casos.</p>

5.5. Factores de diseño para plantas de producción de biocombustibles

5.5.1. Tamaño óptimo de la planta

A continuación se enuncian las etapas necesarias para determinar la capacidad de la planta, la cual va de la mano con la tecnología a implementar en la misma:

- 5.5.1.1. Producción objetivo, basada en un estudio de mercado preliminar y de la capacidad de inversión para el proyecto. Esto determina en gran medida el proceso y la tecnología. Esta etapa estudio de mercado no entra dentro del alcance de este trabajo.
- 5.5.1.2. Operaciones: automatizadas, semi-automatizado, hasta mano de obra de operarios de planta.
- 5.5.1.3. Disponibilidad de planta para producción: turnos u horas de operación diarias, lo cual afecta la capacidad de la maquinaria a adquirir.
- 5.5.1.4. La distribución del equipamiento (layout) dentro de la planta es importante, mientras más distancia recorra el material, ya sea como materia prima, producto en proceso o producto terminado, la productividad disminuirá.
- 5.5.1.5. Maximizar de capacidad productiva: es importante tener en cuenta la capacidad individual de cada máquina del proceso y contemplar los pulmones de materia prima o producto para cada etapa de forma que se logre una operación sin cuellos de botella con la flexibilidad adecuada para realizar tareas de mantenimiento o recambio.
- 5.5.1.6. Sistema de gestión integral: se debe plantear un sistema de operaciones para optimizar los tiempos, los recursos, los desperdicios y las tareas para el personal afectado a la planta.

Considerando estos puntos, el dimensionamiento será más acotado minimizando la inversión.

5.5.2. Secado

Muchos de los recursos utilizados para la producción de “biocombustibles” para la generación de calor y/o electricidad se caracterizan por tener importantes cantidades de humedad. (Imagen 2)

El contenido de agua en la materia prima puede alcanzar valores superiores al 50% incrementando los costos asociados al manejo (transporte, almacenaje y alimentación en planta) y dificultando todas las operaciones destinadas al

pretratamiento o acondicionamiento de la biomasa para la transformación energética (molienda, densificación, combustión, etc.).

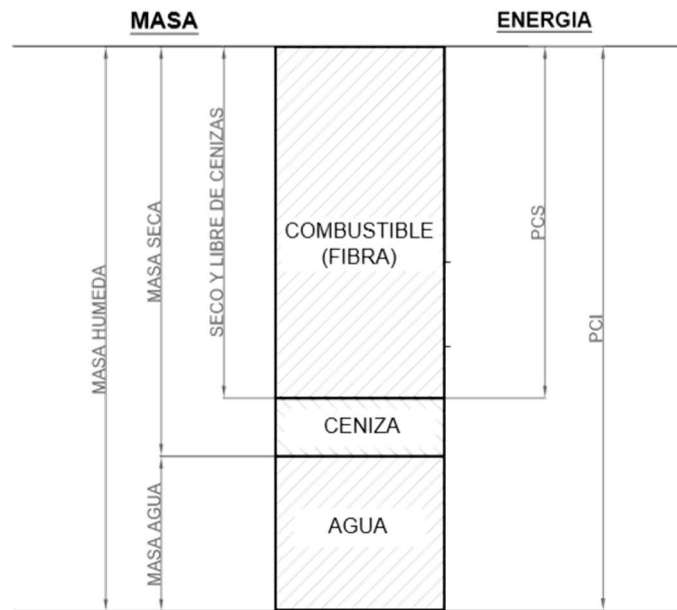


Figura 2: Características de la biomasa. Elaboración INTI-DENOA.

Por tal motivo dentro de todo el proceso para la manufactura de un biocombustible, podríamos decir que el de secado es el de mayor importancia.

5.5.2.1. Tipos de secado

Para reducir el contenido de humedad de la biomasa existen diferentes métodos donde los más utilizados son el **secado natural**, el cual aprovecha las condiciones ambientales del lugar (radiación solar, acción del viento y humedad ambiente), y los **secaderos tipo forzados**, los cuales mediante la utilización de algún combustible (fósil o renovable) generan un agente secante para acondicionar la materia prima.

Para casos industriales, de producción continua donde el recurso viene de aserraderos que trabajan la madera en verde, se recomienda utilizar un secadero forzado.

Ventajas e inconvenientes del secado forzado de biomasa.

La utilización del secado forzado puede resultar indispensable para el aprovechamiento energético de algunos biocombustibles comparándolo con el

secado natural. Por otra parte cuenta con ciertas desventajas que pueden provocar que se desestime este tipo de tecnología de secado.

- Mediante el secado forzado se puede disminuir el contenido de humedad de un recurso hasta cualquier valor deseado y en un periodo de tiempo considerablemente más corto comparado con el secado natural.
- El secado forzado es favorable para satisfacer el requerimiento de algunos procesos, tales como la molienda y el densificado (pelletizado y briqueteado), ya que se puede llegar a valores de humedad necesarios para los procesos mencionados anteriormente.
- Es importante tener en cuenta los costos del proceso, ya que en algunos casos puede suponer un valor tan elevado que complique enormemente la viabilidad económica de su aprovechamiento energético.
- En el secado forzado se debe de controlar la temperatura de secado y el tiempo de residencia de la materia prima (relacionado con la biomasa a secar y el diseño del equipo), ya que si esta es demasiado elevada se pueden producir pérdidas de materia seca.
- La mala operación de los secaderos forzados puede generar grandes inconvenientes (incendios) en cuanto a la seguridad de los operarios de planta.

Todo esto provoca, desde el punto de vista económico, que en muchos casos solo se pueda justificar el secado forzado cuando se fabriquen productos de elevado valor agregado tales como los pellets.

5.5.2.2. Secaderos Forzados - tipo rotativo

Los secaderos directos rotativos se componen de una carcasa (tambor) horizontal y ligeramente inclinada hacia el sentido de salida del material. Al girar el tambor unos elementos denominados elevadores o deflectores que se encuentran en su interior levantan el sólido para dejarlos caer en forma de “cortina de agua” ayudando esto al secado del producto.

Planta de Pelletizado de Aserrín

Cabe aclarar que dentro de estos secaderos podemos encontrar los de flujo en contracorriente y los de flujo en paralelo. Si bien los primeros son más eficiente en cuanto al secado, la elección óptima para este tipo de casos son los secaderos de flujo paralelo ya que desde lo operacional y funcional disminuye el riesgo de focos de incendios. En la Imagen 3 se muestra el esquema de un Secadero Rotativo.

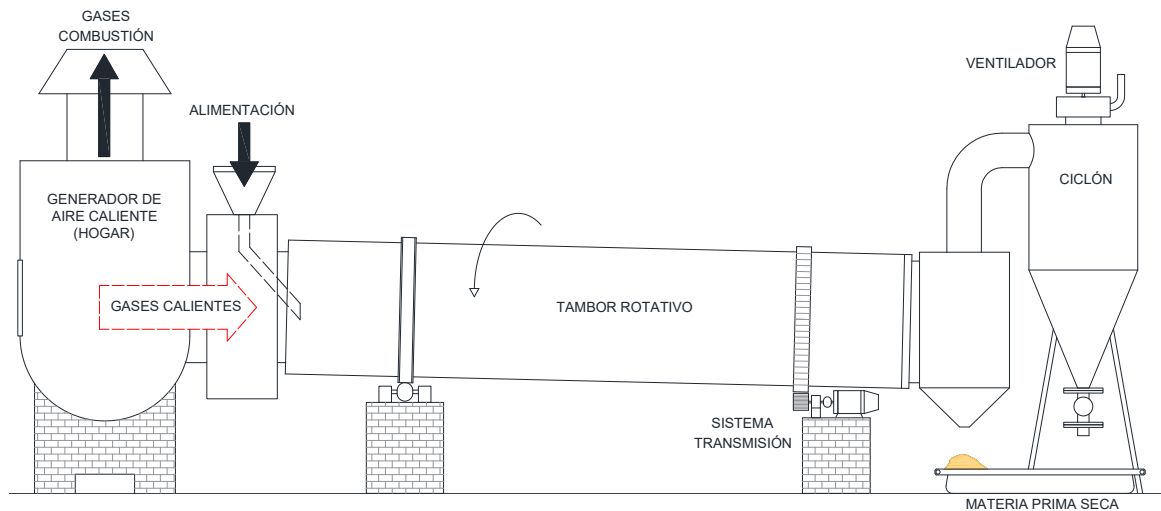


Figura 3: Secadero directo tipo rotativo con hogar. Elaboración INTI-DENOA.

5.5.2.3. Secaderos Forzados – Transporte Neumático

En un secador por transporte neumático el sólido es secado mientras es arrastrado por una corriente de gas caliente. El mecanismo de secado se realiza por transferencia del calor sensible de los gases calientes al sólido húmedo; el agua del sólido, es evaporada y arrastrada en conjunto con gases por medio de un proceso de transferencia de masa².

5.5.2.4. Secaderos Forzados – Tipo túnel

Consisten en una cabina o túnel en las que hay un mecanismo de rieles que mueven carros con productos a lo largo de ella, y una corriente de aire caliente circula por su interior en contacto con el material a secar. El calor requerido puede

² Usos Térmicos de la Biomasa. Tema 3. Sección Ingeniería y Proyectos Agroindustriales EEAOC.

ser logrado por radiación o convección-conducción. Son muy comunes en la deshidratación de alimentos.

5.5.2.5. Secaderos Forzados - De Cámara o Bandeja

También llamado de bandejas, el material a secar se esparce uniformemente sobre bandejas de metal de 10 a 100 mm de profundidad, que se apilan y se introducen en la cámara de secado. Son equipos estáticos (no poseen movimiento interno del material a secar). Un ventilador re-circula aire caliente paralelamente sobre la superficie de las bandejas. El elemento calefactor puede ser eléctrico o vapor. Más o menos de 10 al 20% del aire que pasa sobre las bandejas es nuevo, y el resto es aire re-circulado.

5.6. Referencias generales de costos para plantas de producción de biocombustibles

A continuación se expone del esquema de costos para una planta de producción de 20.000 tn anuales de Pellet usando como materia prima chip. Esto de acuerdo a las tarifas europeas (España) y teniendo en cuenta las etapas de distribución.

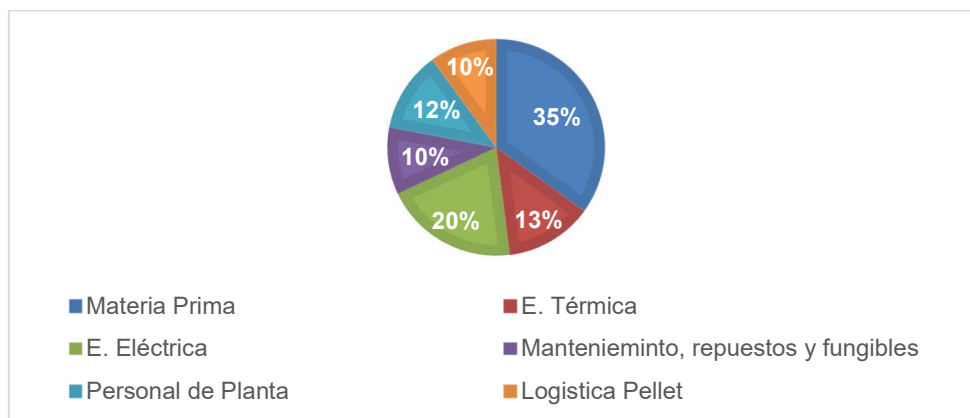


Figura 4: Estructura de Costos Planta Europa

En el caso siguiente se trata de una planta cuya producción alcanza las 70.000 tn anuales de Pellet.

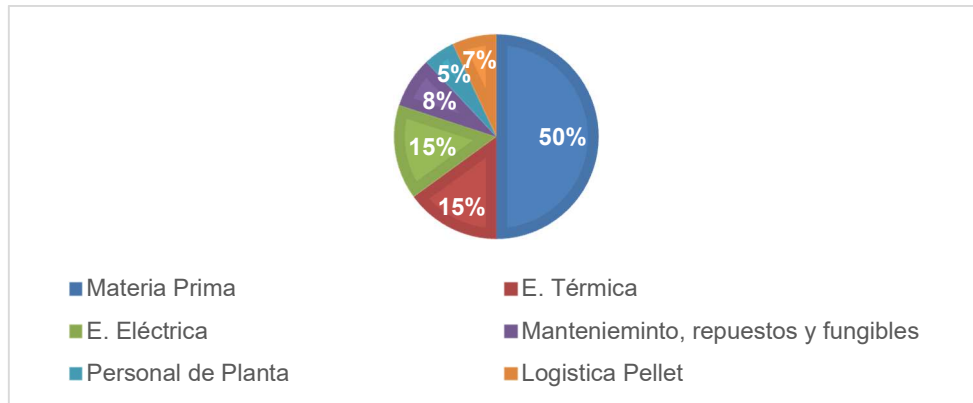


Figura 5: Estructura de Costos Planta Europa

NOTA: Como se puede observar en estos casos de plantas modelo ubicadas en España, los costos de materia prima no son despreciables. Si bien estos contemplan el gasto en adecuación, sería negligente considerar la materia prima como un residuo que no tiene costo de aprovisionamiento. De igual manera, en este trabajo no se analizará la rentabilidad del negocio.

6. CASO DE ESTUDIO

Se propone tomar como caso de estudio una Planta Pelletizadora a partir de residuos y subproductos de la industria forestal. La capacidad nominal de la Planta será de 2 toneladas por hora.

6.1. Condiciones de Borde

El aprovisionamiento de la biomasa será a partir de los residuos y descartes generados en aserraderos industriales siendo la principal materia prima el aserrín y la viruta. Además la planta Pelletizadora contará con la infraestructura necesaria para recibir otro tipo de biomasa como son los costaneros, despuntes y biomasa residual de los bosques forestales, como son rollizos no maderables generados durante el raleo a desecho.

Para el análisis que se realizará de la Tasa de Retorno Energético (TRE) no considerará el gasto energético de aprovisionamiento del material, es decir, el gasto

Planta de Pelletizado de Aserrín

en combustibles del flete desde el aserradero donde se genera el aserrín y la viruta, hasta la Planta Pelletizadora.

Se considera que la biomasa óptima que llegará a la Planta será aserrín y viruta con un 30% de humedad y que cubrirá toda la demanda de materia prima.

6.2. Caracterización de la biomasa de entrada y de salida de la Planta

Tabla 3: Caracterización de la Biomasa y el Biocombustible

Biomasa	Humedad [%W] b.h.	Cenizas [%A] b.s.	Densidad Aparente [BD] Kg/m ³	PCI [Q] Kcal/Kg	Cantidad [Tn/año]
Aserrín (entrada)	30%	0,97	240	2.836,0	10.200
Pellet (salida)	12%	0,97	750	3.719,6	8.400

Referencia:

%W b.h.: Porcentaje de humedad en base húmeda

% A b.s.: Porcentaje de cenizas en base seca

6.3. Proceso de Secado

La biomasa llegará, proveniente de los aserraderos industriales, con un 30% de humedad (previamente oreada en las instalaciones de los secaderos) y se secará en un secador rotativo como el indicado en la sección 5.2.2.2 hasta alcanzar un 15% de humedad. Los puntos porcentuales restantes (3-5%) hasta alcanzar la humedad final con la que sale el producto terminado (10-12%) se logra en el proceso que va desde el transporte de la biomasa a la salida de secadero hasta la salida del enfriador. Durante este camino, el aserrín pasa por las etapas de molienda, transporte, homogeneización, prensado, transporte y enfriado.

Cabe destacar el proceso de Pelletizado se da a una temperatura de entre los 80-90 °C, generando una descomposición de la lignina propia de la madera actuando como aglutinador natural para el Pellet.

Tabla 4: Balance de masa

PERDIDA DE PESO DE LA M.P. EN FUNCIÓN A LA HUMEDAD					
Peso inicial [t]	Humedad Inicial [%]	Humedad final [%]	Peso Final [t]	Pérdida Peso Porcentual [%]	Vapor de Agua [t]
10200,0	30,0	15,0	8400,0	17,6	1.800,00
Peso inicial de la biomasa húmeda	Porcentaje de humedad inicial de la biomasa.	Porcentaje de humedad al cual queremos llegar luego del secado.	Peso final de la biomasa con el contenido de humedad final.	Pérdida de peso porcentual.	Masa de agua evaporada

Como se observa en el cuadro de arriba, para contar con las 8.400 toneladas de aserrín a un 15% de humedad para abastecer todo el año a la planta de Pelletizado, será necesario recibir 10.200 toneladas con una humedad del 30%. Durante el proceso de secado, será necesario evaporar 1.800 toneladas de agua utilizando Gas Natural cuyo PCI es de 46860,8 Kj/Kg. Esto resulta un consumo de gas natural de 98,93 Kg/h.

6.4. Montos de inversión

Tabla 5: Orden de Inversión para una Planta de Pellets de 2 tn/h

PLANTA PELLETIZADORA 2 TN/H				
Inversiones	Costo m2	m2	Total	
Obra Civil³				
Superficie Cubierta	-\$ 26.166,76	300	-\$	7.850.028,00
Superficie Semicubierta	-\$ 15.000,00	300	-\$	4.500.000,00
Total Obra Civil			-\$	12.350.028,00
Equipamiento				
Chipeadora			-\$	2.250.000,00
Zaranda			-\$	189.200,00
Secadero			-\$	2.700.000,00
Molino			-\$	2.574.000,00
Prensa y			-\$	9.000.000,00
Ciclones			-\$	225.000,00
Embolsadora			-\$	450.000,00
Total Equipamiento			-\$	17.388.200,00
Amortización			-\$	1.738.820,00
Total Inversiones			-\$	29.738.228,00

NOTAS:

- El equipamiento seleccionado incluye sistemas de transporte para la entrada y salida de materia prima y producto (cintas trasportadoras).

³ <http://www.construccioncr.com.ar/cifras.php>

Planta de Pelletizado de Aserrín

- Si bien para la biomasa principal con la que se pretende trabajar no es necesario una máquina chipeadora, es de suma importancia contar con una línea capaz de procesar otras biomásas como ser costaneros y rollizos.
- Para el horno de secado se contempla tecnología de origen chino, para la prensa, dada la complejidad de la biomasa, se toma como referencia tecnología alemana.
- Los montos de inversión están en ARS (pesos argentinos cotización Junio 2019) pero basados en cotizaciones diciembre de 2018 en USD precio FOB.

6.5. Mano de obra y RRHH

Para una planta de pelletizado de 2 tn/h, dos turnos por día de 8 h cada uno, la distribución del personal podría ser la siguiente:

Tabla 6: Recursos Humanos necesarios

Descripción del puesto	Operarios/ turno (8 hs)	Total Operarios
Operarios p/operaciones de provisión de Biomasa	1	2
Operario Control de Proceso (Encargado)	1	2
Operario Zona de Embolsado y Acopio	1	2
Administración	1	1
Sereno	1	1

Dependiendo de la gestión previa de la materia prima, este esquema puede variar como así también para las épocas de mantenimiento o de alta producción lo que variará el esquema de costo operativo dinámico. Además, en este proyecto no se tienen en cuenta las etapas de comercialización ni distribución, etapas que insumen mano de obra.

6.6. Tasa de Retorno Energético

Se conoce como Balance energético o Tasa de retorno energético (TRE) o, en inglés, EROEI (energy returned on energy invested), EROI (energy return on investment) al cociente entre la cantidad de energía total que es capaz de producir una fuente de energía y la cantidad de energía que es necesario emplear o aportar para explotar ese recurso energético⁴:

$$TRE = \frac{ENERGÍA\ PELLET}{ENERGÍA\ CONSUMIDA}$$

6.6.1. Energía Consumida

La energía consumida se divide en tres secciones. Energía Eléctrica (EE) de la Zona de Acondicionamiento de Biomasa, Energía Eléctrica de la Zona de Pelletizado y la Energía Térmica (ET) de la Zona de Acondicionamiento de Biomasa.

Tabla 7: Consumo de Energía Eléctrica de la Planta. Zona acondicionamiento de Biomasa

EE - ACONDICIONAMIENTO DE BIOMASA							
Equipos	N° Motores	Potencia		Uso diario [hs/día]	Factor de Ut.	Consumo diario [Kwh/día]	
		[hp]	[Kw]				
1 Chimango de alimentación	1	3	2,3	15	0,9	30,4	
2 Chipeadora	1	100	75,0	0		0,0	
3 Mandos de rotación tambor	2	7,5	5,6	15		151,9	
4 VTI	1	30	22,5	15		303,8	
5 Chimango de extracción	1	3	2,3	15		30,4	
6 Quemador gas	1	5,5	4,1	15		55,7	
TOTAL						572	

⁴ Introducción a la Bioenergía, Clase 11 TRE. Especialización en Ingeniería Bioenergética.

Planta de Pelletizado de Aserrín

Tabla 8: Consumo de Energía Eléctrica de la Planta. Zona Pelletizado

EE - PELLETIZADO							
Equipos		N° Motores	Potencia [hp] [Kw]		Uso diario [hs/dia]	Factor de Ut.	Consumo diario [Kwh/dia]
1	Transportador	1	3	2,25	15	0,9	30,4
2	Dosificador	1	4	3	15		40,5
3	Ventilador	1	15	11,25	15		151,9
4	Molino martillo	1	60	45	15		607,5
5	Elevador	1	3	2,25	15		30,4
6	Acondicionador	1	10	7,5	15		101,3
7	Pelletizadora	1	180	135	15		1822,5
8	Transportadora	1	2	1,5	15		20,3
9	Enfriador pellets	1	3	2,25	15		30,4
1	Transportador	1	3	2,25	15		30,4
1	Embolsadora	1	3	2,25	15	30,4	
TOTAL							2896

Tabla 9: Consumo de Energía Térmica (GAS)

ET - SECADO (QUEMADOR A GAS)							
Equipos	Consumo [Kg/h]	Uso diario [h/dia]	Consumo Diario [Kg/día]	PC G.N. [Kj/Kg]	Energía Térmica Diaria [Kj/día]	Conversión [Kj a Kw]	
1 Quemador gas	21,8	15	327	46860,8	15323481,6	4259,9	

Por lo tanto, el consumo total queda.

Tabla 10: Consumo Total

Etapa	Consumo [Kw/día]
EE-Acondicionamiento	572
EE-Pelletizado	2.896

ET-Acondicionamiento	4.260
Total	7.728

6.6.2. Energía Producida (Pellet)

La energía producida se considera a la energía química contenida en el biocombustible sólido. Son 28.800 Kg que pellet producidos por día, a una humedad del 12%, resultando un poder calorífico inferior de 15.339 Kj/Kg. En la Tabla 8 se calcula la energía producida diariamente.

Tabla 11: Energía Contenida en el Biocombustible

ENERGÍA PRODUCIDA			
Cantidad de Pellet [Kg/día]	PCI (12%W) [Kj/Kg]	Energía [Kj/día]	Energía [Kw/día]
28.800	15.339	441.763.200	122.810,2

6.6.3. Tasa de Retorno Energético - TRE

$$\text{TRE} = \text{Energía Producida} / \text{Energía Consumida} = 122810,2 \text{ (kw/día)} / 7728 \text{ (kw/día)} = 15,89$$

6.7. Análisis de Sensibilidad – Caso 1

En este apartado se plantea el caso donde la materia prima (aserrín) llega a la Planta de Pelletizado con un 20% de humedad.

Los gastos energéticos de las etapas de EE-Acondicionamiento de Biomasa y EE-Pelletizado se mantienen prácticamente iguales.

Donde existirá una diferencia de gasto energético será en la ET-Secado, y se expresa los nuevos valores en la Tabla 12 y 13.

Tabla 12: Balance de masa. Sensibilidad Caso 1

PERDIDA DE PESO DE LA M.P. EN FUNCIÓN A LA HUMEDAD

Planta de Pelletizado de Aserrín

Peso inicial [t]	Humedad Inicial [%]	Humedad final [%]	Peso Final [t]	Pérdida Peso Porcentual [%]	Vapor de Agua [t]
8925,0	20,0	15,0	8400,0	5,9	525,00
Peso inicial de la biomasa húmeda	Porcentaje de humedad inicial de la biomasa.	Porcentaje de humedad al cual queremos llegar luego del secado.	Peso final de la biomasa con el contenido de humedad final.	Pérdida de peso porcentual.	Masa de agua evaporada

Como se observa en el cuadro de arriba, para contar con 8.400 toneladas de aserrín a un 15% de humedad para abastecer todo el año a la planta de Pelletizado, será necesario recibir 8.925 toneladas con una humedad del 20%. Durante el proceso de secado, será necesario evaporar 525 toneladas de agua anuales utilizando Gas Natural cuyo PCI es de 46860,8 Kj/Kg. Esto resulta un consumo de gas natural de 6,4 Kg/h.

Tabla 13: Energía Térmica Necesaria con Aserrín al 20% de humedad

ET - SECADO (QUEMADOR A GAS)						
Equipos	Consumo [Kg/h]	Uso diario [h/día]	Consumo Diario [Kg/día]	PC G.N. [Kj/Kg]	Energía Térmica Diaria [Kj/día]	Conversión a [Kj/día a Kw/día]
1 Quemador	6,4	15	96	46860,8	4498636,8	1250,6

Por lo tanto, el consumo total queda.

Planta de Pelletizado de Aserrín

Tabla 14: Consumo Total Caso 1 - Aserrín 20% de humedad

Etapa	Consumo [Kw/día]
EE-Acondicionamiento	572
EE-Pelletizado	2.896
ET-Acondicionamiento	1.250
Total	4.718

La energía producida, dependiente de la cantidad de pellets y la calidad de éstos, no se modifica manteniéndose en 122810,2 Kw/día.

$$\text{TRE} = \text{Energía Producida} / \text{Energía Consumida} = 122810,2 \text{ (kw/día)} / 4718 \text{ (kw/día)} = 26,03$$

6.8. Análisis de Sensibilidad – Caso 2

En este apartado se plantea el caso donde la materia prima (aserrín) llega a la Planta de Pelletizado con un 45% de humedad, esto es en verde, sin ningún pretratamiento.

Los gastos energéticos de las etapas de EE-Acondicionamiento de Biomasa y EE-Pelletizado se mantienen prácticamente iguales.

Donde existirá una diferencia de gasto energético será en la ET-Secado, y se expresa los nuevos valores en la Tabla 15 y 16.

Tabla 15: Balance de masa. Sensibilidad Caso 2

PERDIDA DE PESO DE LA M.P. EN FUNCIÓN A LA HUMEDAD					
Peso inicial [t]	Humedad Inicial [%]	Humedad final [%]	Peso Final [t]	Pérdida Peso Porcentual [%]	Vapor de Agua [t]

Planta de Pelletizado de Aserrín

12982,0	45,0	15,0	8400,0	35,3	4581,8
Peso inicial de la biomasa húmeda	Porcentaje de humedad inicial de la biomasa.	Porcentaje de humedad al cual queremos llegar luego del secado.	Peso final de la biomasa con el contenido de humedad final.	Pérdida de peso porcentual.	Masa de agua evaporada

Como se observa en el cuadro de arriba, para contar con 8.400 toneladas de aserrín a un 15% de humedad para abastecer todo el año a la planta de Pelletizado, será necesario recibir 12.982 toneladas verdes con una humedad del 45%. Durante el proceso de secado, será necesario evaporar 4581,8 toneladas de agua anuales utilizando Gas Natural cuyo PCI es de 46860,8 Kj/Kg. Esto resulta un consumo de gas natural de 55,5 Kg/h.

Tabla 16: Energía Térmica Necesaria con Aserrín al 45% de humedad

ET - SECADO (QUEMADOR A GAS)						
Equipos	Consumo [Kg/h]	Uso diario [h/día]	Consumo Diario [Kg/día]	PC G.N. [Kj/Kg]	Energía Térmica Diaria [Kj/día]	Conversión a [Kw/día]
1 Quemador	55,5	15	832,5	46860,8	39011616	10845,2

Por lo tanto, el consumo total queda.

Tabla 17: Consumo Total Caso Aserrín 45% de humedad

Etapa	Consumo [Kw/día]
EE-Acondicionamiento	572
EE-Pelletizado	2.896
ET-Acondicionamiento	10.845
Total	14.313

La energía producida, dependiente de la cantidad de pellets y la calidad de éstos, no se modifica manteniéndose en 122810,2 Kw/día.

$$\text{TRE} = \text{Energía Producida} / \text{Energía Consumida} = 122.810,2 \text{ (kw/día)} / 14.313 \text{ (kw/día)} = 8,52$$

7. RESULTADOS Y DISCUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en el Balance energético para la elaboración de un biocombustibles sólidos como lo es el Pellet, se pudo observar una gran variabilidad en la TRE 8 – 26, dependiente principalmente a la humedad de la materia prima de entrada a la Planta. El proceso de secado del aserrín es el más relevante en cuanto a costos energéticos, y se ve acentuado aún más para este proyecto debido a que no fueron tenidos en cuenta los costos energéticos de aprovisionamiento de biomasa ni logística de comercialización del producto.

El Pelletizado es una solución que le aporta mucho valor agregado a aquellos residuos forestales de un particulado fino, con baja densidad aparente, que de no ser por el densificado, sería imposible ponerlos en valor debido a los altos costos de transporte. Podría darse el caso particular de un aprovechamiento in situ en el formato que se generan (aserrín, viruta) donde son aprovechados como combustibles sin demasiado transformación ni agregado de valor.

Hasta la actualidad, y con las soluciones tecnológicas existentes, el densificado es una alternativa rentable para los mercados europeos, cuyos negocios están expandiéndose hacia el uso industrial, domiciliario y rural para abastecer las necesidades de energía térmica y en algunos casos eléctricas.

Resultaría interesante realizar el esquema de costos y un modelo de negocio para simular un escenario de producción y ventas, para determinar el mínimo valor de mercado del pellet para que el proyecto sea rentable. Al mismo tiempo,

determinar una distancia máxima para el aprovisionamiento de la materia prima dados los escenarios de los análisis de sensibilidad.

Para el desarrollo y maduración del mercado de los Biocombustibles Sólidos en Argentina resulta indispensable terminar de desarrollar la normativa que sirva para regular y estandarizar estos productos, para llevar estabilidad y seguridad técnica principalmente a las industrias, poder realizar una trazabilidad de las fuentes de las biomasa utilizadas como insumos de los BC, y mejorar las transacciones económicas en este mercado incipiente.

8. BIBLIOGRAFIA

- PLANTA DE ELABORACION DE PELLETS MADERA -Simulación y Análisis Proceso Productivo- González Aqueri, Omar Horacio – LU 123451 Ingeniería Industrial Laneri, Pablo Luciano – LU 126375 Ingeniería Industrial
- Pellets de Biomasa en Espana. Bioplat - Plataforma Tecnológica Espanola de la Biomasa.
- GUÍA BÁSICA DEL USO DEL PELLET DE MADERA CON FINES TÉRMICOS. Agropellets.
- FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTO DE FÁBRICA DE PELLETS DE MADERA EN LA REGIÓN DE LOS LAGOS. Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil Industrial. MARINA BAHAMONDES LEVIO PUERTO MONTT – CHILE 2015
- Instalación de una Planta de Pellets de Madera. Proyecto de Trabajo Integrador Final. Materia: (10.01) Proyecto Final de Ingeniería Industrial. ITBA Buenos Aires 2017.
- Ing. Gerónimo Cárdenas. Introducción a la Bioenergía, Clase 11 TRE. Especialización en Ingeniería Bioenergética.
- Dra. Dora Paz. Usos Térmicos de la Biomasa. Tema 3. Especialización en Ingeniería Bioenergética.