



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES  
DEPARTAMENTO DE MANEJO DE RECURSOS  
FORESTALES



“PREFACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA LA INSTALACIÓN DE UNA  
PLANTA DE PELLETS PARA COMBUSTIBLES A PARTIR DE DESECHOS DE  
MADERA”

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO FORESTAL, CON MENCIÓN EN MANEJO DE RECURSOS FORESTALES

-----  
Firma

Profesor patrocinante

Ing. Forestal Dr. Álvaro Urzúa Moll.

-----  
Firma

Alumno

Ariel Manuel Rojas Valdivia.

Santiago-Chile  
2004

**UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES  
ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES  
DEPARTAMENTO DE MANEJO DE RECURSOS FORESTALES**

**PREFACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA LA INSTALACIÓN DE UNA  
PLANTA DE PELLETS PARA COMBUSTIBLES A PARTIR DE DESECHOS DE  
MADERA.**

Memoria para optar al Título  
Profesional de Ingeniero Forestal

**Ariel Manuel Rojas Valdivia**

Calificaciones:	Nota	Firma
Prof. Guía Dr. Álvaro Urzúa Moll.	6,7	.....
Prof. Consejera Sr. Patricio Corvalán Vera.	7,0	.....
Prof. Consejero Sr. Misael Gutiérrez.	7,0	.....

SANTIAGO-CHILE

2004

*“El tiempo es un aliado importante a la hora de recuperar fuerzas y reconstruir cada una de las cosas importantes que componen la esencia de nuestro ser.*

*La fortaleza física y espiritual se debe construir cada día, en armonía con los ciclos de la naturaleza.*

*La naturaleza, esa madre que nos entrega todo lo que necesitamos, y por momentos olvidamos que con cada uno de nuestros actos ponemos en juego su tan preciado equilibrio, el que nos ha sustentado a lo largo de nuestra historia, y nos seguirá acogiendo, inocente, indefensa, ante nuestros deseos y ambiciones.”*

## **Agradecimientos**

Son muchas las palabras y gestos de apoyo que he recibido durante el desarrollo de mi vida universitaria, tan valiosos y tan importantes que no puedo dejar de mencionarlos en este momento en el que me encuentro casi al término de este largo camino.

Muchas han sido las personas que han estado conmigo, compartiendo cada uno de mis pequeños logros y sobre todo brindándome una palabra de ánimo en los momentos en que las cosas no salieron del todo bien. A cada uno de ellos quiero dedicarles este trabajo, y desde lo más profundo de mi corazón darles mil gracias.

Un agradecimiento especial debo dedicar al Consorcio Maderero S.A., en la persona de su Gerente General el Sr. Eduardo Güell, quien depositó en mí la confianza de la empresa que dirige, sin la cual el desarrollo de mi tesis no habría sido posible.

No quiero dejar de mencionar especialmente al Dr. Álvaro Urzúa, que con sus consejos y confianza, me ha ayudado en el desarrollo de mi trabajo, dejando en muchas ocasiones de lado sus innumerables e importantes obligaciones, para dedicarme un tiempo, un consejo, o tan solo una palabra de ánimo, muy valiosas viniendo de una gran persona y profesional. A Alejandra Blanco, sin duda una persona muy especial que siempre tuvo una palabra de ánimo para mí, o tan solo escuchándome, en aquellos momentos en los que necesite de una amiga que me mostrara que quedan esperanzas en el camino.

A la profesora Verónica Lagos, quien siempre me dedico un momento de su atención y de su amistad. Al profesor Horacio Bown, un gran amigo y un ejemplo a seguir como profesional y como persona. Al profesor Patricio Corvalán, un gran académico que siempre tuvo un minuto para aclarar mis dudas e inquietudes relacionadas con el desarrollo de mi tesis, y del rumbo de la vida profesional y laboral.

A mis amigos de siempre, Luis, Daniel, Walter, Carlos y Emilia, Vicky y David, Francisco, y todos aquellos a los que por espacio en este documento no alcanzo a mencionar. Todos ellos con su amistad y confianza, me dieron la oportunidad de

recuperar fuerzas y seguir en esta tarea, que en no pocas ocasiones he pensado abandonar.

No puedo dejar de nombrar a mi Tropa, la Tropa Scout Marilafken, fuente de innumerables aventuras y alegrías, que hicieron un paréntesis en mi vida en momentos en los que necesitaba recargar energías, gracias muchachos por regalarme la fuerza de la juventud y la alegría de vivir.

A mi familia, en especial a mi madre y a mi padre, quienes me han dado todo lo necesario para convertirme en un profesional, incluso dejando de lado sus propias necesidades. Por esa razón esta meta lograda, no es para mi, es para ellos, mi familia, todo lo que soy y llegare a ser se los debo, y no me alcanzara tiempo en esta vida para agradecerles todo lo que me han dado. Madre gracias por toda tu ayuda, espero que la vida me de la oportunidad de devolverte como mereces cada una de las noches en vela que haz pasado preocupada por el futuro de este tu hijo, y solo me queda decirte que te amo mas que a nada en el mundo, y sin tu cariño y amor no seria nada. El camino aún es largo, pero me conforta el saber, que estarás por mucho tiempo más a mi lado.

Por último, gracias al Movimiento Scout, por sus principios y valores, que han llenado mi vida, y me han mostrado la senda correcta del camino, seguiré poniendo toda mi fuerza por no apartarme de esta hermosa hermandad.

A todos gracias y...

¡¡¡Buena Caza!!!

## Índice

<b>Capítulo I</b>	
1.1 Resumen Ejecutivo	09
1.2 Summary	10
1.3 Introducción	13
<b>Capítulo II : Hipótesis y Objetivos</b>	
2.1 Hipótesis	16
2.2 Objetivo	16
2.3 Objetivos Específicos	16
<b>Capítulo III: Revisión Bibliográfica</b>	
3.1 Antecedentes Generales	17
3.2 Energía a partir de Aserrín	18
3.3 Wood Pellets	18
3.4 Materia prima	28
3.5 Tecnología y proceso de peletizado	31
3.5.1 Recepción materia prima	31
3.5.2 Preparación de la fibra	32
3.5.3 Secado	32
3.5.4 Triturado u Homogeneizado	34
3.5.5 Peletizado	35
3.5.6 Separación de finos o tamizado	37
3.5.7 Enfriado	37
3.5.8 Empaquetado	38
3.5.9 Distribución	39
3.5.9.1 Sacos	40
3.5.9.2 Pellets a granel	41
<b>Capítulo IV: Mercados</b>	
4.1 Mercados Internacionales	45
4.1.1 Suecia	45

4.1.2 Noruega	46
4.1.3 Alemania	47
4.1.4 Austria	47
4.1.5 Canadá y Estados Unidos	50
4.2 Estándares de calidad	51
4.2.1 Estándares Austriacos	53
4.2.2 Estándares Alemanes	53
4.2.3 Estándares Noruegos	53
4.2.4 Estándares Norteamericanos	54
4.2.5 Estándares Suecos	55
<b>Capítulo V : Estudio de Caso</b>	
5.1 Envergadura de la producción y consumo de materia prima	56
5.2 Evaluación económica de las inversiones	59
5.3 Activos fijos	59
5.3.1 Infraestructura	60
5.3.2 Equipos área de producción	62
5.4 Inversiones menores y activos nominales	63
5.5 Costos operacionales	65
5.5.1 Costos directos	65
5.5.2 Costos indirectos	67
5.5.3 Costos de administración y ventas	68
5.5.4 Costos por exportación y transporte	69
5.6 Costo unitario	70
5.7 Inversión en capital de trabajo	70
5.8 Evaluación del proyecto	71
5.8.2 Análisis de sensibilidad de los resultados	75
5.8.2.1 Análisis de sensibilidad sobre el precio de venta	75
5.8.2.2 Análisis de sensibilidad sobre el nivel de producción	78
5.8.2.3 Análisis de sensibilidad sobre los costos	81

<b>Capítulo VI : Conclusiones</b>	
6.1 Existencia de materia prima en la zona de estudio	83
6.2 Determinación de la inversión inicial y evaluación del desarrollo del proyecto	84
6.3 Sensibilidad del proyecto	85
6.4 Observaciones generales	87
<b>Bibliografía</b>	90
<b>Anexos</b>	94
<b>Índice de tablas</b>	124



## Capítulo I

### 1.1 Resumen ejecutivo

La aplicación de nuevas tecnologías relacionadas con el aprovechamiento de los desechos de la industria de la madera constituye en la actualidad una de las alternativas de generación de energía limpia ampliamente difundidas en Europa y Norte América. Entre estas nuevas tecnologías se encuentra la producción de pellets a base de desechos provenientes en su mayoría de la industria forestal los que son utilizados, mediante su combustión, para abastecer de energía limpia tanto a grandes, medianos y pequeños consumidores.

La instalación y operación de una planta de peletizado en Chile, con una producción de 50.000 ton/año, orientada exclusivamente a la exportación a los diferentes mercados internacionales, requiere niveles de inversión cercanos a los 4 millones de dólares. Este nivel de producción requiere una disponibilidad de materia prima de alrededor de 400.000  $\text{m}^3$ /stereos de desechos provenientes de la industria forestal, constituidos principalmente por aserrín y en una menor proporción por corteza.

El precio de comercialización de los pellets en los mercados internacionales se encuentra en un rango promedio de entre 110 y 200 US\$/ton, dependiendo de la época del año. Dentro de este estudio se considera un precio promedio para los pellets de producción nacional cercano a los 120 US\$/ton, el que implica un margen de utilidad por sobre el costo unitario de un 22%, el que queda dado por 98 US\$/ton. Este costo unitario considera todos los costos asociados a la producción, administración y exportación, además de las inversiones necesarias en términos de infraestructura y maquinaria destinada al peletizado.

Considerando un horizonte de planificación de 5 años, una tasa de descuento del 10% y un precio de venta de 120 US\$/ton, el VPN de las inversiones es del orden de US\$ 1.203.423 con una tasa interna de retorno del proyecto de un 22%.

De acuerdo al análisis de sensibilidad efectuado sobre las variables que afectan al proyecto, se puede observar que la variable más sensible es el costo por producción. De esta forma al aumentar el nivel de costos en un 11%, la tasa de descuento del proyecto no puede superar el 8%. Bajo estos parámetros el VPN del proyecto solo alcanza los US\$ 89.020,23, situación que no resultaría atractiva en términos económicos considerando el nivel de inversión inicial.

Considerado una variación en el precio de venta, este solo puede disminuir hasta un valor de 115 US\$/ton, obteniéndose un VPN de US\$ 502.557,83 con una TIR de un 15%. Esto implica que de acuerdo a este trabajo el precio de los pellets se encuentra en el rango de 115 y 120 US\$/ton. De esta manera, el desarrollo de un proyecto de pelletizado de desechos forestales industriales en Chile destinados a la exportación, se hace viable solo con un precio de venta superior a los 115 US\$/ton.

La orientación de mercado de la producción nacional de pellets, de acuerdo a los altos niveles de inversión y considerando el costo final por unidad producida, debe ser eminentemente el mercado internacional del consumo de energía limpia. Además de lo anterior esto se fundamenta en la aceptación existente por este tipo de productos, tanto en su aplicación residencial (en casas particulares y complejos inmobiliarios) e industrial para el abastecimiento de energía de diferentes tipos de procesos productivos como por el alto grado de desarrollo en las tecnologías asociadas a su uso, existente en la actualidad, dentro de los mercados internacionales en los que la aplicación de este tipo de combustibles se encuentra consolidado.

## **1.2 Summary**

The application of new related technologies with the use of the waste from the wood industry constitutes one of the alternatives of generation of clean energy at the present time, broadly diffused in Europe and North America. One of these new technologies is the pellets production makes with the waste of the forest industry those that are used, by means of their combustion, to supply of clean energy to big, medium and small consumers.

The installation and operation of a pelletizing plant in Chile, with a production capacity of 50.000 ton/year, oriented exclusively to the exportation to the different international markets, require inversions levels nears to the 4 millions of dollars. This production level require a raw material availability around of 400.00 mt<sup>3</sup>/stereos of waste coming from the forest industry, constitute mainly of saw dust and in a minor proportion of bark.

The commercialization price of the pellets in the international markets is in an average range between 110 y 120 US\$/ton, depending on the time of the year. This study consider an average price for the national pellets production near to the 120 US\$/ton, this imply a margin of utility over to the unitary cost of a 22%. The unitary cost for the national pellet production is 98 US\$/ton. These unitary costs consider all the costs associated to the production, administration and exportation, in addition to the necessary investments related with infrastructure and equipments for the pellets production.

Considering an horizon planning of five years, a discount rate of 10% and a sale price of 120 US\$/ton, the net current value of investments is in the order of US\$1.203.423 whit an internal rate of return of the project of 22%.

According to the sensibility analysis made on the variables which affect the project, the most sensitive variable is the production costs. This way, if costs increase in a 11%, the discount rate of the project cannot be superior at a 8%. Under these parameters the net current value of investments of the project only reaches the US\$ 89.020,23. This situation is no attractive in economic terms; considering the level of the initial inversions of the project.

Considering a variation in the sale price, this only can decrease until a value of 115 US\$/ton, obtaining a net current value of US\$ 502.557,83 whit an internal rate of return of the project of 15%. This implies which in accord of this study the sale price of the pellets is in the range of 115 and 120 US\$/ton. This way, the development of a pellets plant in Chile dedicate to exportation, is only viable with a superior sale price of 115 US\$/ton.

The market orientation for the national pellet production , according to the high levels of investments and considering the final costs per unit produced, should be eminently the international market of clean energy consume. Besides the above mentioned this is based in the existing acceptance for this kind of products, as much as for his residential applications (in particular houses and real states complex) and industries for the supply of energy many kind of different productive process as well as for the high level of development technologies associated to his use, existing at the present time, inside the international markets in those the aplication of this kind of combustibles is been consolidated.

### 1.3 Introducción

El sector forestal chileno ha experimentado un importante desarrollo en los últimos años, el que se remonta a más de medio siglo. Este desarrollo se explica en gran parte por una creciente oferta de madera industrial proveniente fundamentalmente de plantaciones artificiales de especies de rápido crecimiento, en especial de Pino radiata y Eucaliptus sp. En efecto, durante el año 2002 el consumo de madera industrial fue de 25,4 millones de  $\text{mt}^3$ , constituidos en su mayoría por Pino radiata (79,44%) el que al año 2002 representó alrededor de 20,18 millones de  $\text{mt}^3$  del total de madera industrial utilizada en Chile. El consumo de madera en el país, desde el año 1997 al año 2002 se desglosa de la siguiente manera (INFOR. 2003):

Tabla N°1  
Consumo total de madera en trozas de la industria forestal  
1997-2002 (miles de  $\text{mt}^3$  ssc).

Año	Total	Pulpa Mecánica	Pulpa Química	Madera Aserrada	Tableros y Chapas	Trozas Aserrables Exportación	Trozas Pulpables Exportación	Astillas	Otros
1997	<b>23.606,19</b>	525,80	6.694,20	9.729,40	861,60	1.477,30	251,70	3.627,30	375,90
1998	<b>21.315,22</b>	577,20	6.829,00	9.207,70	876,00	229,20	185,60	3.147,10	263,40
1999	<b>23.178,20</b>	634,60	6.641,00	10.433,90	893,90	406,99	508,21	3.098,50	561,30
2000	<b>24.436,80</b>	763,80	7.281,70	11.404,90	906,90	80,90	600,20	2.920,80	477,60
2001	<b>25.681,9</b>	1.012,2	7.646,6	11.958,3	1.123,6	53,5	464,5	3.018,5	404,7
2002	<b>25.490,8</b>	852,4	7.104,3	12.565,4	1.342,8	151,3	370,4	2.627,3	476,9

Fuente: INFOR, 2003.

Considerando que un 8% de la madera sólida es corteza (INFOR, 1994), y que la producción de aserrín y virutas por parte de la industria del aserrío bordea el 20% (Lignum, 1997) del total de la troza, los desechos producidos por concepto de aserrín y corteza teniendo en cuenta la producción de madera aserrada es de aproximadamente 3,51 millones de  $\text{mt}^3$ .

Indudablemente existen una serie de desechos provenientes de los diferentes procesos de la industria forestal, entre los que se pueden mencionar finos, polvo de

aserrín, molduras defectuosas, descortezado de trozas de exportación, etc., los que sumados con la producción de desechos por concepto de madera aserrada alcanzan alrededor de 7 millones de mt<sup>3</sup>.

Al considerar estos antecedentes, surgen las siguientes preguntas:

1. ¿Cómo y en que magnitud son empleados en la actualidad estos desechos, y si son comercializados, a que precio son transados en el mercado?
2. ¿Qué alternativas existen en la actualidad para el aprovechamiento de los desechos industriales?
3. ¿Qué tipo de problemas representa la acumulación de estos desechos, tanto en términos económicos como en términos ambientales?

En respuesta a este tipo de interrogantes, diversos países en el mundo, incluido Chile, han orientado el aprovechamiento de los desechos de la industria forestal hacia la generación de energía, ya sea mediante su utilización de manera directa, como es el caso de Chile, o bien en la forma de los llamados biocombustibles. Estos países usan la madera y los residuos provenientes de su utilización, en forma técnica y económicamente eficiente, con el fin de solucionar los requerimientos energéticos de la industria y de la población en general, disminuyendo así el impacto ambiental negativo que provoca la disposición de este tipo de residuos (Valencia, 1996). Un ejemplo de esto lo constituye la producción de pellets a base de desechos de madera, que en países como Suecia y Finlandia (por nombrar algunos) representan una parte importante del combustible utilizado para la generación de calor y energía (32,19 y 30,8% respectivamente) (International Energy Agency, 2000).

En Chile, se han generado algunas iniciativas relacionadas con el aprovechamiento de los desechos forestales industriales. Un ejemplo de esto es la empresa Energía Verde, filial de Chilgener, creada en septiembre de 1993, la que mediante la producción de briquetas y la instalación de generadores de energía a base de los desechos de madera producto de la actividad forestal industrial, se ha constituido en pionera de este rubro en el país ([www.energiaverde.cl](http://www.energiaverde.cl), 2003). Sin embargo este tipo de iniciativas, no se han centrado en la fabricación de biocombustibles, si no más bien en su utilización directa en calderas y secadores.

El propósito de esta memoria de título es analizar el posible empleo de los desechos de la industria forestal, en particular de la industria del aserrío, en la producción de biocombustibles industrialmente denominados pellets, determinando la factibilidad económica y técnica de su elaboración y consumo en Chile, además de las ventajas dendroenergéticas que su desarrollo puede representar para la industria forestal del país.

## **Capítulo II**

### **Hipótesis y Objetivos**

#### **2.1 Hipótesis**

Es factible técnica y económicamente la instalación y operación de una planta productora de pellets a partir de desechos de madera en Chile, como alternativa de aprovechamiento de los desechos de la industria maderera, destinando esta producción a su comercialización ya sea en Chile y o en el extranjero.

#### **2.2 Objetivo**

Determinar la factibilidad técnica y la rentabilidad económica de vincular la producción de desechos de una serie de plantas madereras convencionales con una planta productora de pellets, y las condiciones en que este tipo de asociación es rentable.

#### **2.3 Objetivos específicos**

- Describir el proceso de peletizado.
- Determinar los requerimientos técnicos necesarios para la producción de pellets a partir de desechos de madera.
- Determinar la escala o tamaño de la producción a la cual se hace factible económicamente la elaboración de pellets.
- Describir el mercado objetivo al que puede estar destinada la producción de pellets de madera y de las características en términos de precios y calidad que este tipo de combustible debe satisfacer.
- Determinar los niveles de inversión necesarios para la instalación y operación de una planta productora de pellets, que tenga una escala acorde con la industria forestal y la demanda potencial por este combustible existente en el país como en el extranjero.



## Capítulo III

### Revisión Bibliográfica

#### 3.1 Antecedentes generales

Si bien el desarrollo de la industria maderera durante la última década ha estado orientada a incorporar cada vez un mayor grado de tecnologías tendientes a modernizar los procesos y mejorar el nivel de aprovechamiento del recurso, la generación de residuos sólidos no ha dejado de ser un tema de relevancia a la hora de ponderar la eficiencia de las empresas en función de las pérdidas tanto económicas como de biomasa generadas por este concepto.

Si consideramos que un 20% del volumen total del trozo procesado en la industria maderera corresponde a aserrín (Lignum, 1997) y que el porcentaje correspondiente a corteza es de alrededor de un 8 % del volumen total del trozo (INFOR, 1994), tenemos que por estos conceptos al año 2002 se produjeron a nivel nacional un total de 3,51 millones de  $\text{m}^3$ <sup>1</sup> de desechos, solo por concepto de aserrío.

De acuerdo al boletín estadístico del Instituto Forestal<sup>2</sup> la cosecha de madera en troza para el año 2002 en la VIII región del país fue de alrededor de 14.666.713  $\text{m}^3$ , por lo que la producción de desechos por concepto de corteza y aserrín, de acuerdo a los parámetros antes mencionados, fue del orden de 4.106.679  $\text{m}^3$ . Esta cifra considera el consumo total de la industria y no solo de la industria del aserrío.

Indudablemente el destino del aserrín difiere de acuerdo a la condición de humedad en la que se encuentre (Quezada, 1999). Esta situación se expresa claramente en el precio de comercialización del aserrín dentro del mercado y la utilización final que a se le dé a este. El aserrín húmedo (alrededor de un 58,4% base húmeda<sup>3</sup>) y la corteza no tienen un destino más claro que el de ser depositado en vertederos o utilizado en calderas, mientras que el aserrín seco proveniente de procesos de remanufactura (partes y piezas de muebles, molduras, etc.) es muy bien cotizado en el mercado de los tableros

---

<sup>1</sup> Al año 2002 el consumo nacional de madera en trozas fue del orden de 25.490.800 de  $\text{m}^3$ .

<sup>2</sup> Boletín Estadístico N° 85, Santiago Agosto del 2003.

<sup>3</sup> Base seca aserrín 140%.INFOR, 1994.

MDF<sup>4</sup> y aglomerados, además de ser utilizado como combustible para la generación de energía en calderas y fogones (Quezada, 1999). La comercialización de aserrín y corteza es muy sensible en relación con los costos de transporte, incluso más sensible que en relación al contenido de humedad. Esta sensibilidad tiene relación con la distancia entre el productor y el centro de utilización, en donde el costo por transporte, es mucho mayor que su precio de venta final.

### **3.2 Energía a partir de aserrín**

Son dos los principales productos elaborados industrialmente a partir de aserrín destinados a la generación de energía: los pellets y las briquetas, los que son denominados de manera genérica por la sigla DBF<sup>5</sup>.

Este tipo de productos consiste principalmente en aserrín compactado por medio de la aplicación de alta presión, lo que genera una aglutinación de las partículas gracias a la acción de la lignina propia de la madera. Durante este proceso por lo general no es incluido ningún tipo de aglutinante artificial, aunque algunas empresas lo utilizan en proporciones muy menores, principalmente con el propósito de mejorar la cohesión de las partículas y la generación de energía al momento de la combustión.

En el caso de las briquetas estas son de forma cilíndrica, de 10 cm de diámetro y de un largo de entre 25-40 cm. Algunos tipos de briquetas son de forma rectangular (tipo ladrillo), otras son de forma cilíndrica y además huecas, estas últimas logran una aceleración considerable al momento de la combustión, pese a esto, el modelo más utilizado es el de briquetas cilíndricas macizas, principalmente por su similitud visual con la leña.

### **3.3 Wood pellets**

Los pellets de madera (wood pellets), son un combustible orgánico en forma de partículas cilíndricas, producido principalmente a partir de desechos de la industria forestal y de desechos provenientes de faenas silviculturales.

---

<sup>4</sup> La producción de tableros MDF para el año 2002 en el país fue de 523.710 mt<sup>3</sup> (INFOR, 2003).

<sup>5</sup> Densified Biomass Fuel.

Las propiedades físicas que debe cumplir la producción de pellets según los estándares propuestos por el Pellet Fuels Institute (PFI, 1999), organización no gubernamental norteamericana encargada de proponer normas de elaboración y difundir nuevas tecnologías relacionadas con este tipo de combustibles, se muestran en la tabla N°2.

Foto 1  
Wood pellets



Fuente: [www.pelletheat.org](http://www.pelletheat.org), Pellet Fuel Institute.

El poder calorífico de los pellets se sitúa entre 4.200 y 4.500 kcal/kg. Si se compara con otros combustibles utilizados en el país, en términos de poder calorífico, tenemos que los pellets equivalen al 64% de la energía del carbón mineral, un 41% del petróleo crudo nacional y un 48% de la energía del gas natural (CNE<sup>6</sup>, 2001). Solo el carbón subbituminoso utilizado principalmente en la generación de energía termoeléctrica, presenta el mismo poder calorífico que los pellets a base de desechos de aserrín (4500 kcal/kg).

---

<sup>6</sup> CNE: Comisión Nacional de Energía.

Tabla N°2  
Características físicas de los pellets a partir de desechos de madera.

Propiedad	Valor	Comentario				
Densidad	650 kg/m <sup>3</sup>	A rangos menores de densidad se produce mayor cantidad de finos.				
Dimensiones	<table border="1"> <tr> <td>Longitud</td> <td>38.1 mm</td> </tr> <tr> <td>Diámetro</td> <td>6.35mm o 7.937mm</td> </tr> </table>	Longitud	38.1 mm	Diámetro	6.35mm o 7.937mm	
Longitud	38.1 mm					
Diámetro	6.35mm o 7.937mm					
Finos (polvo de aserrín)	5% del peso total de los pellets terminados	Una alta cantidad de finos puede producir averías en los equipos de combustión.				
Cloruros	<300 ppm	El nivel de sales debe ser bajo para evitar problemas de oxidación.				
Contenido de cenizas	1 % del peso total de los pellets terminados	Una baja producción de cenizas garantiza una menor periodicidad en la limpieza de los equipos de combustión.				
Poder calorífico	4.500 kcal/kg (8200 Btu/libra)	Temperatura de la llama 1200 a 1400 C°.				
Contenido de humedad	8 %	Es un determinante importante al momento de la combustión de los pellets.				
Tamizado por filtro de 1/8 de pulgada	El producto final no debe tener un tamaño menor a 1/8"					

Fuente: [www.pelletheat.org](http://www.pelletheat.org), Pellet Fuel Institute.

En la actualidad, no existen estándares de calidad obligatorios para la elaboración de pellets en el mundo. Pese a ello, las diferentes empresas productoras han decidido tomar de manera voluntaria las especificaciones propuestas por el PFI (u otras similares), con el fin de lograr un producto de alta calidad y de gran eficiencia al momento de la combustión (Wood Pellet Fuel Manufacturers Association of British Columbia, [www.pellet.org](http://www.pellet.org), 2002). Existe un interés manifiesto, en especial por parte de la Comunidad Europea, por establecer estándares de calidad obligatorios para la

elaboración y comercialización de este tipo de producto (Wood Pellet Fuel Manufacturers Association of British Columbia, [www.pellet.org](http://www.pellet.org), 2002).

Algunas de las principales razones esgrimidas por los fabricantes de pellets en pro de su utilización como combustible son ( [www.pelletheat.org](http://www.pelletheat.org), 2000):

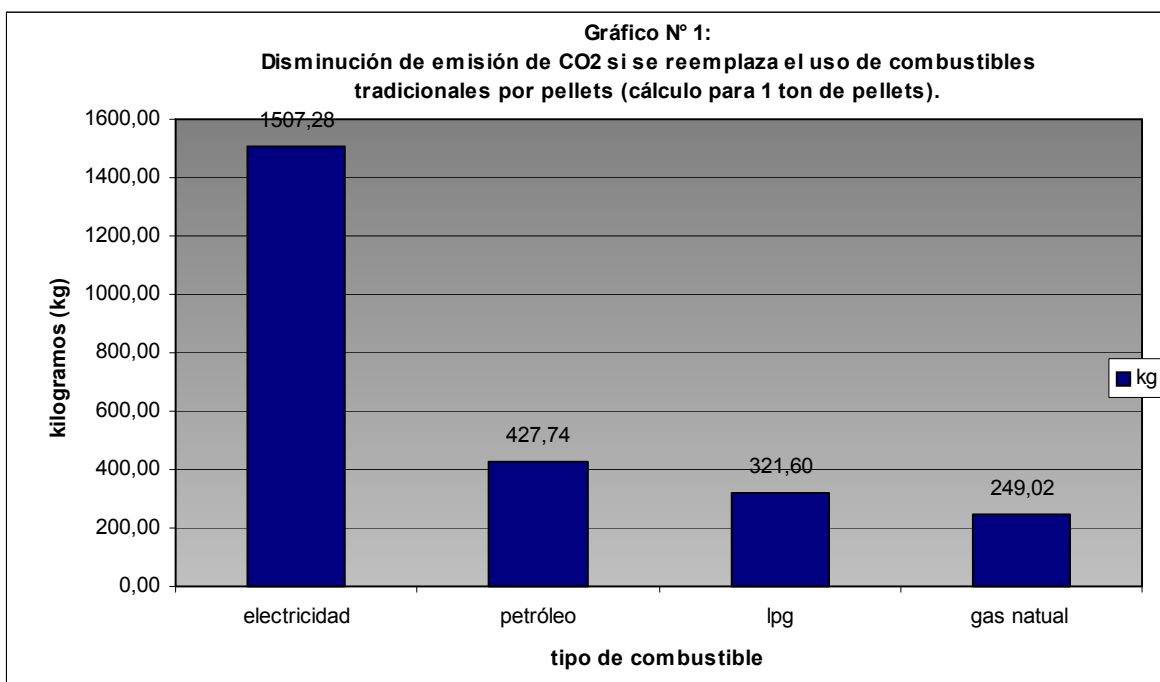
- Reduce la dependencia en combustibles tales como el carbón, la leña, el petróleo y sus derivados de origen fósil.
- Constituye una fuente de energía renovable.
- Es producido a partir de desechos de la industria forestal, por lo que su elaboración no ejerce presión sobre el medio ambiente y sus recursos naturales.
- No presenta grandes variaciones en términos de precios de comercialización en el mercado internacional, a diferencia de lo que ocurre con otros combustibles de uso más tradicional.
- Produce una baja cantidad de residuos tanto sólidos como gaseosos al momento de su combustión.
- Constituye una alternativa en la generación de energía y calefacción en aquellas ciudades en las que existen restricciones en relación con las emisiones de gases, lo que ha derivado en la prohibición del uso de estufas a leña o chimeneas.

Una de las ventajas más significativas de la utilización de pellets de madera es que su utilización contribuye a la disminución de la emisión de gases de efecto invernadero, en especial de CO<sub>2</sub><sup>7</sup>, favoreciendo la sustitución progresiva de combustibles como el petróleo, el carbón y la leña ([www.pelletheat.org](http://www.pelletheat.org), 2002).

En el gráfico N°1 se muestra la cantidad de CO<sub>2</sub> que es dejada de emitir al reemplazar las fuentes de energía más tradicionales por pellets.

---

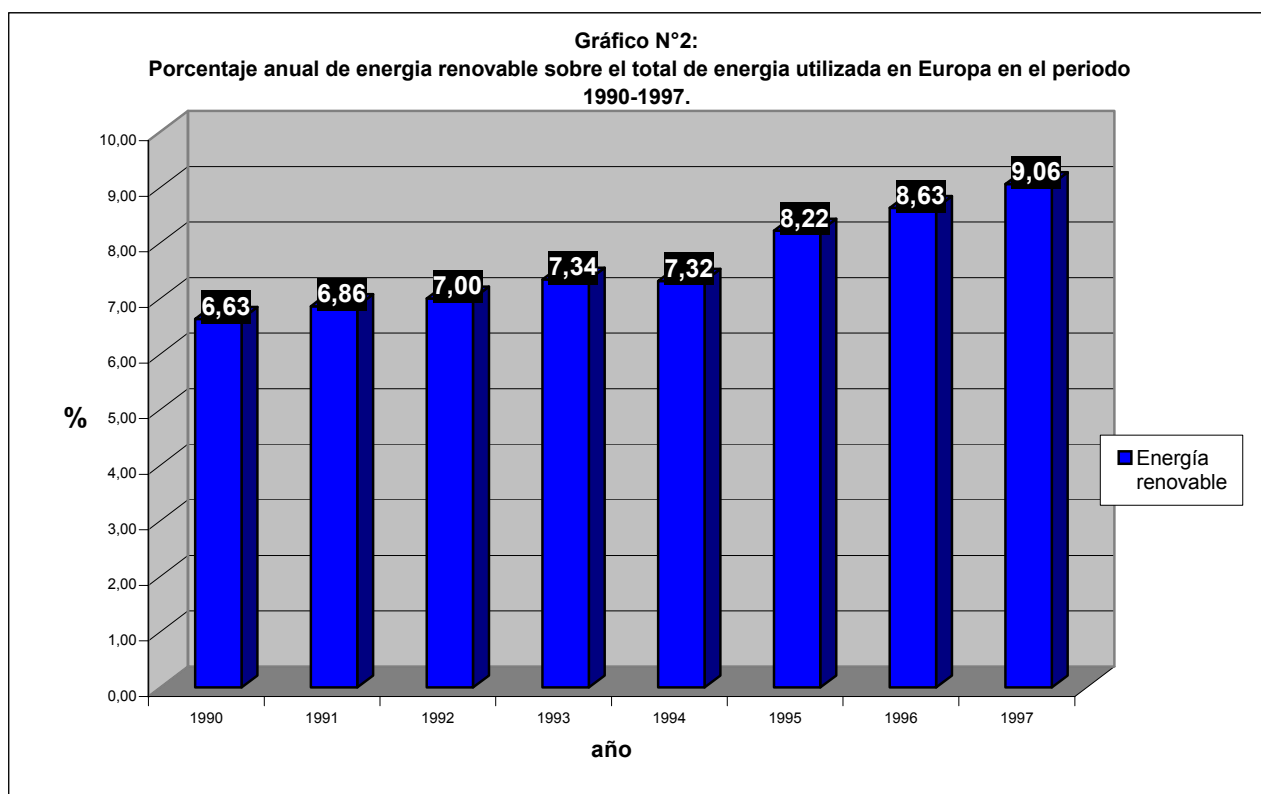
<sup>7</sup> De acuerdo a la EPA (US Environmental Protection Agency, USA), los equipos residenciales para la combustión de pellets, son considerados libres de emisión, con menos de 1,2 gr/hr de emisión de contaminantes.



Fuente: [www.pelletheat.org](http://www.pelletheat.org), Dr. Jerry Whitfield, "Reduction in green house gases using biomass pellets for Residential Space Heating"; 1998<sup>8</sup>.

El consumo de bioenergía, ya sea en la forma de pellets, briquetas o leña ha ido en un aumento progresivo durante la década de los noventa, encontrándose este crecimiento principalmente focalizado en Europa. Esta situación se muestra en el gráfico N°2 (International Energy Agency, baltic 21 indicators, 2000).

<sup>8</sup> En el grafico anterior se considera para el análisis la termo electricidad. En el caso del gas, además del gas natural se considera los denominados "Lpg" que consideran las formas comerciables del gas propano y el gas butano.



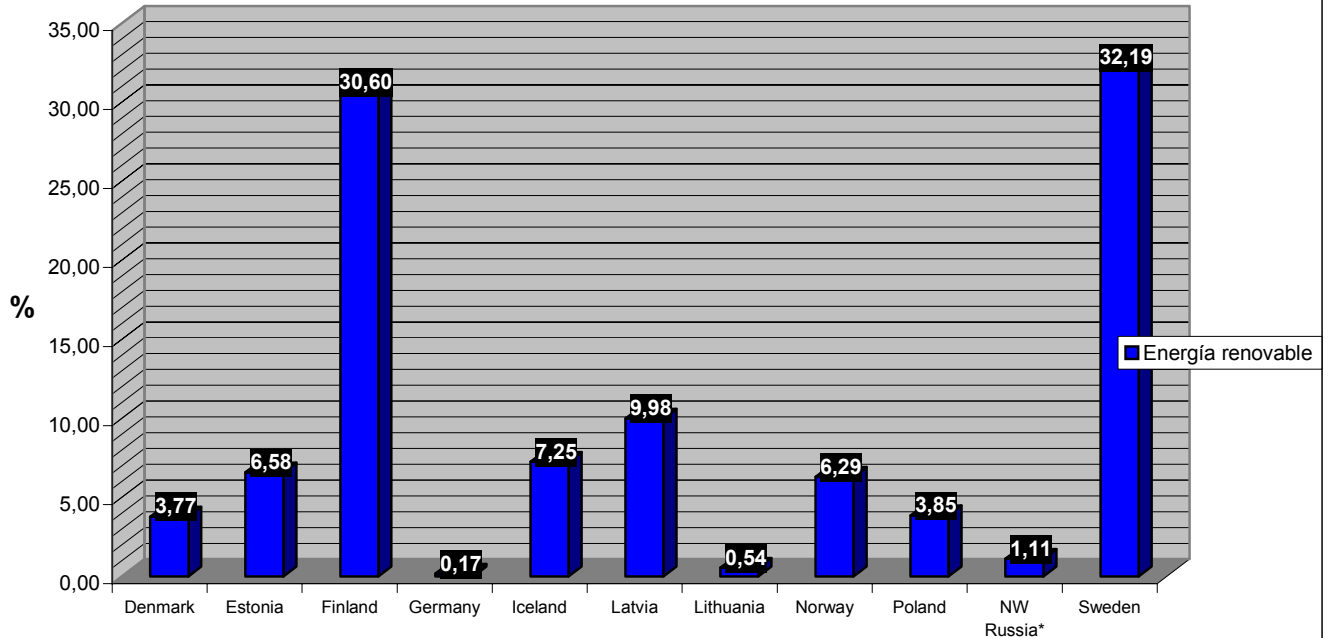
Fuente: International Energy Agency, Baltic 21 indicators, 2000

**Tabla N°3:**  
Comparación de las principales características de los combustibles de uso común en Europa.

Tipo de combustible	Wood pellets	Wood chips	Delivered gas	Main gas	Heating oil
Costo por litro (US\$)	n/a	n/a	22	n/a	20
Costo de distribución del combustible por una tonelada (litre) (US\$)	100	50	434.1	3.3	249.2
Energía por tonelada (GJ/tonne)	16.8	14.3	49.4	49.4	43.5
Precio unitario (\$US/GJ)	9.776	5.702	14.33	5.37	9.28
Energía por tonelada (kWh/tonne)	4670.4	3975.4	13733.2	13733.2	12093
Energía por Kg (kWh/kg)	4.7	4	13.7	13.7	12.1
Densidad a granel por unidad de volumen (Kg /m <sup>3</sup> )	650	200	580	580	800
Densidad de energía por unidad de volumen (KWh/m <sup>3</sup> )	3035.8	795.1	7965.3	7965.3	9674.4
kg de CO2 por GJ	7	7	69	54	79
kg de CO2 por kWh	0	0	0.2	0.2	0.3
kg/CO2/tonne	117.6	100.1	3408.6	2667.6	3436.5

Fuente: [www.xco2.com](http://www.xco2.com). A Report by XCO2 conisbee Ltd, Main Sponsor: Pilkington Energy Efficiency Trust.Co Sponsor: Envirogen Sustainable Resources Ltd, PEET .Written by Andrew Cox. UK 2000.

**Gráfico N°3:**  
**Porcentaje de energía renovable utilizada en algunos países de Europa (1997).**



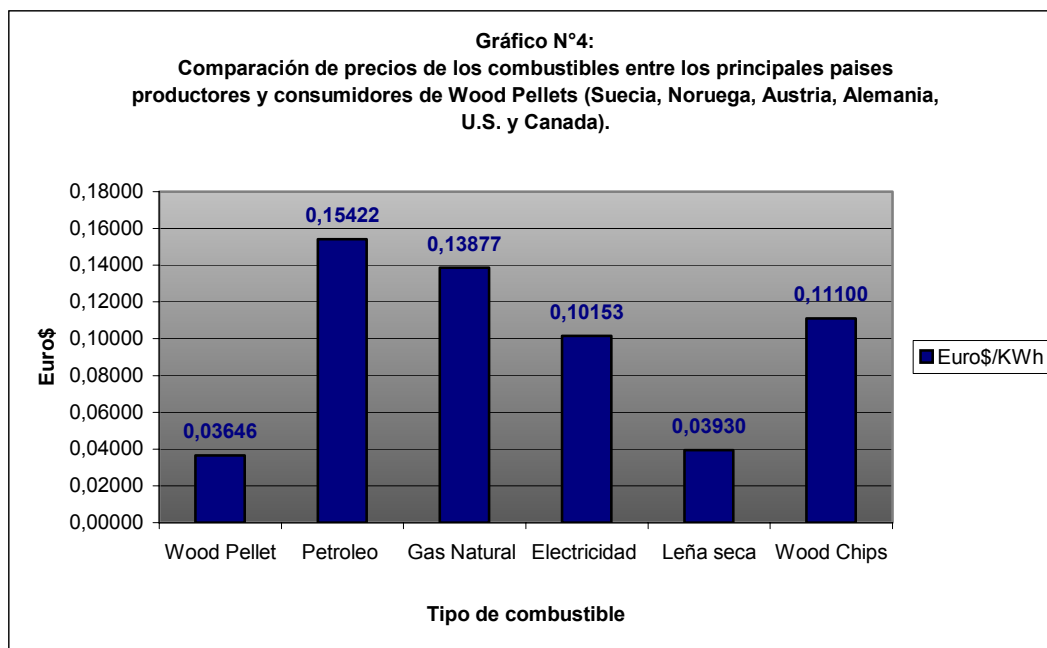
Fuente: International Energy Agency, baltic 21 indicators, 2000.

En la tabla N°3 se muestra un análisis comparativo de las características en términos de precios y producción de energía de los pellets a partir de desechos de madera con otros combustibles de uso más tradicional en Europa. Los wood pellets y wood chips considerados en este estudio presentaban contenidos de humedad de un 10 y un 28 % respectivamente.

Se puede observar que la cantidad de CO<sub>2</sub> emitida por la combustión de los pellets es significativamente menor en relación con combustibles como el gas o el petróleo (aprox. un 3 % del total de emisiones en relación al petróleo). En relación con la cantidad de energía por mt<sup>3</sup> de combustible, la energía producida por los wood chips o leña representa solo un 26 % de KWh/mt<sup>3</sup> que los pellets y mientras que los pellets solo representan el 31% de los KWh/mt<sup>3</sup> que el petróleo (heating oil).



El gráfico N°4 muestra una comparación entre los precios de los diferentes combustibles utilizados en los países Suecia, Noruega, Austria, Alemania, USA y Canadá, en un análisis realizado el año 2000.



Fuente: Wood pellets in Europe, Industrial Network on Wood pellets. Enero del 2000

Del análisis del gráfico se desprende que el costo por producir un kWh de energía por medio de la combustión de pellets, en estos países, equivale casi a la cuarta parte del costo por producir un kWh de energía por medio de la combustión de petróleo (23.6%). Se puede agregar que la generación de energía por medio de los combustibles leña y pellets, sigue siendo la alternativa más económica, y si consideramos las ventajas en términos de emisiones de CO<sub>2</sub>, la utilización de pellets de madera constituye una alternativa tanto económica como ambientalmente superior al resto de los combustibles, para los países considerados dentro de este análisis.

La tabla N°4 muestra los resultados obtenidos en un estudio llevado a cabo por el TTS Institute en conjunto con cinco empresas productoras de pellets a base de madera, con el fin de determinar las características promedio de los pellets ya terminados (Alakangas, 2002). En el análisis de los datos obtenidos se puede observar muy pocas diferencias entre los diferentes productos en términos de la concentración de elementos,

siendo estas atribuidas a las variaciones propias de la madera (Alakangas, 2002). Los cinco productores utilizaron solo madera como materia prima, sin aplicar ningún tipo de aditivo externo. Las concentraciones de elementos encontradas fueron acordes a los requerimientos internacionales actuales (Alakangas, 2002).

La materia prima utilizada para llevar a cabo este estudio fue madera sin corteza, lo que explica por un lado el bajo contenido de cenizas obtenido. Las variaciones observadas en términos de emisión de calor son atribuidos a las diferencias en el contenido de humedad de la materia prima utilizada el que estuvo en rangos de entre 5-10 % (Alakangas, 2002).

En síntesis los pellets de madera o wood pellets constituyen en los países desarrollados una alternativa real de generación de energía limpia, además de constituir una forma de aprovechamiento de los desechos de la producción forestal optimizando el uso del recurso sin ejercer mayores presiones sobre los bosques.

Tabla N°4. Propiedades de los pellets de madera ya terminados.

Property	Unit	Product 1	Product 2	Product 3	Product 4	Product 5
C	% dry	49.8	49.7	49.72	49.39	49.12
H	% dry	6.12	6.11	6.13	6.1	6.03
N	% dry	0.16	0.16	0.05	0.07	0.08
S	% dry	0.005	0.006	0.004	0.005	0.007
Cd	mg/kg	0.06	0.08	0.07	0.11	0.06
Cr	mg/kg	0.48	1.59	0.36	0.48	0.31
Zn	mg/kg	7.83	0.04	7.55	7.56	8
Cu	mg/kg	1.14	2.76	1.02	1.22	1.1
Ni	mg/kg	0.26	0.26	0.24	0.21	0.3
Fe	mg/kg	9.28	8.19	8.79	7.59	29.79
Cl	mg/kg	6.88	5.82	6.85	5.73	7.38
Na	mg/kg	61.52	30.32	15.23	7.78	53.35
Mg	mg/kg	64.42	65.74	62.02	85.43	67.21
Ca	mg/kg	0.57	0.59	0.54	0.62	0.64
K	mg/kg	0.31	0.35	0.35	0.26	0.46
Mng	mg/kg	0.11	0.12	0.13	0.09	0.12
P	mg/kg	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03
Moisture content	w-%	5.2	6.6	9.1	8.5	9.7
Ash content	dry-%	0.28	0.3	0.25	0.24	0.37
Diameter	mm	8	8	8	8	8
Length, average	mm	16	14	19	7	14
Length, max	mm	22	25	37	10	25
Length, min	mm	10	7	8	4	6
Number of pellets/100 gr	piezas	110	120	110	300	140
Durability average (Amandu-Kahl)	kp	21	20	21	17	19
Durability, max	kp	21	21	21	21	21
Durability, min	kp	20	18	20	9	17
Durability, fine dust (ASTM E 1288-89)<2.36mm	%	1.8	1.1	1.3	1.9	2.6
Bulk density, as received	kg/loose m <sup>3</sup>	690	680	630	600	560
Basic bulk density, moisture free	kg/loose m <sup>3</sup>	655	635	575	550	505
Net calorific heating value, dry	MJ/kg	19	18.9	19	18.8	18.7
Net calorific heating value, dry	MWh/t	5.28	5.26	5.28	5.23	5.2
Net calorific heating value as received	MJ/kg	17.9	17.5	17	17	16.7
Net calorific heating value as received	MWh/t	4.98	4.87	4.74	4.73	4.63
Energy density	MWh/loose m <sup>3</sup>	3.43	3.31	2.98	2.84	2.59
Energy density	GJ/loose m <sup>3</sup>	12.3	11	10.7	10.2	9.8

Fuente: Tuomi, 2001. Technical Research Centre of Finland, 2002

### 3.4 Materia Prima

Las principales materias primas utilizadas en la producción de pellets de madera son (Malisius, 2000):

- Desechos de remanufactura,
- Aserrín.

Foto 2.

Aserrín húmedo, que luego de ser secado constituirá la materia prima para el peletizado.



Fuente: Archivo fotográfico Consorcio Maderero S.A.

Los desechos de remanufactura presentan por lo general bajos contenidos de humedad, debido a que provienen de procesos industriales en los que la materia prima es secada previamente a su procesado. En el caso de aquellos desechos de madera provenientes directamente del bosque o del aserrío directo para el dimensionado de la madera que va a ser procesada, estos presentan contenidos de humedad por sobre un 50%.

Otras materias primas consideradas en la actualidad para la producción de pellets son:

- Corteza.
- Restos de cosecha agrícola.
- Papel y cartón.
- Desechos provenientes de faenas silviculturales y de cosecha forestal.

El peletizado de otro tipo de materias primas, además de la madera, no es de interés en la actualidad, debido principalmente a que en la mayoría de los países productores existe suficiente aserrín y restos de aserradero provenientes de la industria de la madera capaz de satisfacer la demanda de materia prima. El siguiente paso podría ser el uso de astillas de madera (Wood chips) y, aún más adelante, madera destinada especialmente para la generación de energía, proveniente de plantaciones de especies con rotación corta destinadas exclusivamente para este propósito (Malisius, 2000).

El contenido de humedad considerado óptimo para el procesado de la materia prima está en el rango de entre 8 -12% (Alakangas, 2002). La madera blanda (confieras, pino, entre otros) es considerada ligeramente mejor como materia prima que la madera dura (roble, entre otros) debido principalmente a su mayor contenido de lignina (Alakangas, 2002). La lignina es un aglutinante natural de las fibras de la madera y actúa con esta misma propiedad sobre el material que constituye los pellets (Alakangas, 2002).

Si la materia prima de los pellets contiene corteza, el poder calorífico de estos aumenta (Alakangas, 2002), pero desafortunadamente la proporción de cenizas resultantes también se incrementa, esto es debido a las impurezas que la corteza pueda contener (Tilt, 2000).

La producción de una tonelada de pellets (contenido de humedad en rango de 7-10% ) requiere las siguientes concentraciones de materia prima (Kyto & Aijala 1981, citado por Alakangas, 2002) :

- Alrededor de 7 mt<sup>3</sup> a granel de aserrín (contenido de humedad 50 - 55%).
- Alrededor de 10 mt<sup>3</sup> a granel de virutas o cortes de desecho (contenido de humedad 10 - 15%).

La producción de pellets a partir de biomasa verde ha sido ampliamente estudiada en países como Suecia y Finlandia. En Finlandia ha sido analizado este tipo de producción por el Forest Research Institute desde comienzos de los años 80.

Es posible usar también corteza y residuos de troncos como materia prima para la fabricación de los pellets. De acuerdo a algunos estudios se concluyó que la densidad de los pellets no tiene efecto sobre su firmeza o cohesión, contrariamente a la concentración de lignina, que si la mejora. Además, se determinó que el contenido de cenizas de los pellets producidos a partir de biomasa verde es alto y su poder calorífico es menor en relación con los pellets producidos a partir de otro tipo de materias primas. Esto puede ser debido a la reducción de elementos volátiles que ocurre durante el proceso de secado (Alakangas, 2002).

Otros problemas observados en los pellets elaborados con biomasa verde es que estos no pueden ser almacenados por periodos de tiempo muy prolongados, a diferencia de los fabricados a base de aserrín y virutas mas secos<sup>9</sup>. La consistencia de este tipo de pellets es reducida, y se ha encontrado crecimiento de actividad microbológica en ellos, en particular en aquellos en que su producción incluye restos de corteza (Lethikangas, 1999, citado por Alakangas, 2002).

En términos de precio los pellets producidos a partir de biomasa verde no son competitivos con aquellos producidos a partir de aserrín y virutas, debido a los altos costos que implica el secado y la materia prima (Alakangas, 2002).

### **3.5 Tecnología y proceso de peletizado**

---

<sup>9</sup> Considerando que toda la materia prima a utilizar debe ser llevada a contenidos de humedad por debajo de un 15%. Aunque las astillas y virutas también presentan altos contenidos de humedad, por lo general este es mucho menor al de la biomasa verde.

La elaboración de pellets a partir de desechos de madera incluye las siguientes etapas:

- Recepción de materia prima.
- Preparación de la fibra.
- Secado.
- Triturado u homogeneizado.
- Peletizado.
- Separación de finos.
- Enfriamiento.
- Empaquetado o almacenado.

### 3.5.1 Recepción de la materia prima.

La recepción de la materia prima se lleva a cabo en silos o canchas de acopio, destinados exclusivamente para este propósito. Los silos pueden estar conectados con el secador por medio de platabandas, donde se lleva a cabo la etapa de secado<sup>10</sup>.

Foto 3.

Acopio de aserrín en cancha.



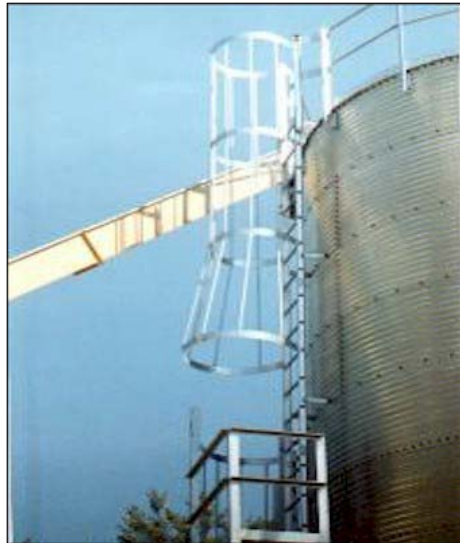
Fuente: Archivo fotográfico Consorcio Maderero S.A.

Foto 4.

---

<sup>10</sup> La materia prima es llevada a la planta por medio de camiones que son descargados por un cargador frontal equipado con una pala o cubeta que deposita el material en una platabanda que lo lleva al silo, o bien lo deposita en la cancha de acopio. El cargador frontal también puede llevar la materia prima al secador.

Silo para el almacenado de la materia prima destinada a la producción de pellets.



Fuente: New England Pellets, UK.

### **3.5.2 Preparación de la Fibra**

La materia prima debe estar libre de cualquier tipo de material contaminante como piedras, vidrio, metales y suciedad en general. Si la remoción de este tipo de contaminantes no se lleva a cabo de manera adecuada, puede provocar fallas y averías en los equipos, principalmente dañar a los rodillos de presión. Además al estar el producto contaminado, las cenizas al momento de la combustión aumentan considerablemente (E. Smith, 2002).

### **3.5.3 Secado.**

Para llevar a cabo un peletizado exitoso, la materia prima debe presentar contenidos de humedad en un rango no superior a un 8 o un 12% (Alakangas, 2002). Como la materia prima (restos de aserrado, aserrín, virutas, etc.) presentan por lo general altos contenidos de humedad (superiores a un 50%), es necesario previo a su utilización llevarla a contenidos de humedad menores mediante la utilización de sistemas de secado.

El sistema de secado más utilizado es el denominado secador de Tambor Rotatorio o Drum Dryer, el que dependiendo de sus características técnicas, seca la



materia prima por medio de un flujo continuo de aire caliente. Este tipo de secador puede utilizar como combustible leña, gas natural, petróleo o bien electricidad con un consumo promedio de energía de 1MW/ton de material seco (Malisius, 2000).

Foto 5.  
Secador del tipo Tambor Rotatorio.



Fuente: Hansa Granul Ltda., Estonia.

La temperatura de los gases al momento de la entrada al secador es de 550° C, con una velocidad de estos de 2 mt/seg, la que es producida por un ventilador centrifugo con dos ciclones decantadores de partículas (Quezada, 1999). El secador es alimentado por medio de tornillos alimentadores.

De la producción total de material que es secado, el secador consume alrededor de un 20,5 % del material el que es utilizado como combustible mientras que el 79.5% restante corresponde a materia prima seca lista para ser utilizada (Quezada, 1999).

Cuando el aserrín ya esta dentro del secador, este es elevado por medio de aspás ubicadas en las paredes del tambor formando diferentes cortinas a lo largo del cilindro, lo que mejora el contacto de estas con el aire caliente. Una vez seco el aserrín ingresa en una cámara de decantación que se ubica en la salida del secador por donde es dirigido hacia un tornillo de descarga. Posteriormente es dirigido por medio de una cinta transportadora hacia el triturador, o bien es transportado hacia su lugar de acopio.

### 3.5.4 Triturado u Homogeneizado

Esta etapa consiste principalmente en una homogeneización y disminución del tamaño de la materia prima que en un futuro constituirá los pellets. Esta tarea es llevada a cabo mediante la utilización de un “Martillo Triturador” (Hammer Mill) el que funciona por medio de un motor eléctrico. Durante su funcionamiento, el material con el que está fabricado el Martillo Triturador se va calentando progresivamente, calor que es utilizado paralelamente para extraer la humedad remanente en la materia prima. El consumo de energía en esta etapa es de 1kW/ton de materia prima triturada (Malisius, 2000). Las partículas resultantes posterior al proceso de homogeneizado deben presentar una granulometría de alrededor de 1mm para poder ser procesadas.

Foto 6.

Martillo triturador o Hammer Mill modelo DFZC.



Fuente: Bioenergi i Luleå, Sweden, 2003.

### 3.5.5 Peletizado

Una vez que la materia prima ha sido redimensionada y llevada a un contenido de humedad aceptable (8-12%) por medio de un sistema de alimentación automático es llevada a la siguiente etapa del proceso que corresponde al peletizado. Previamente el material debe pasar por un filtro que permite la reclasificación de las partículas de acuerdo a su tamaño. Las partículas que no son aptas de acuerdo a su tamaño son devueltas a la etapa de triturado, las que son aceptadas son depositadas en una mesa dosificadora.

Mediante la mesa dosificadora se regula el ingreso del material en el peletizador, la que debe garantizar un flujo continuo y uniforme de material.

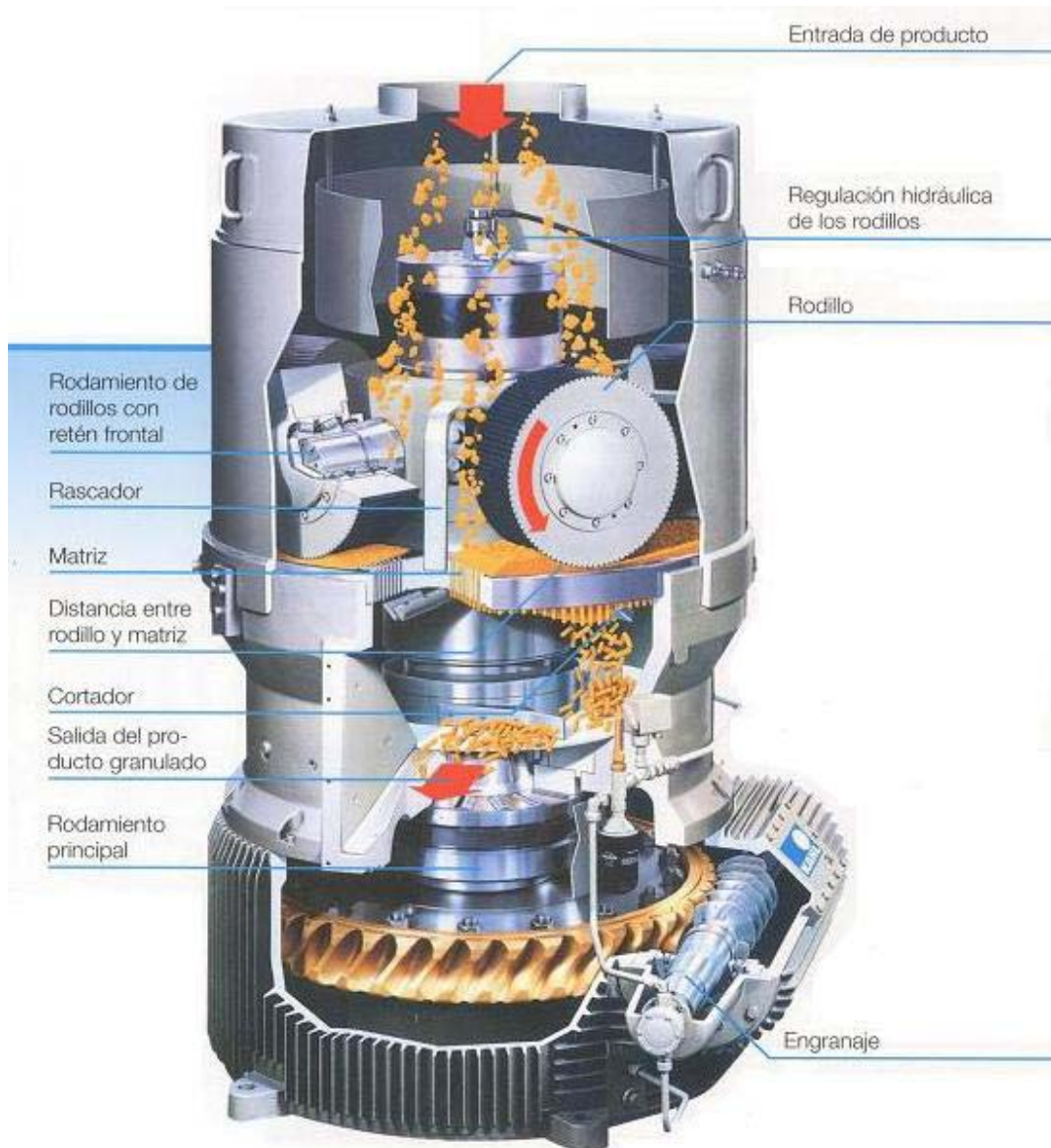
Una vez que el aserrín entra en el peletizador es acondicionado mediante el uso de vapor, el que contribuye a su humectación superficial, actuando como lubricante en el proceso de peletizado. Además la adición de vapor contribuye a que el aglutinante natural de las fibras de la madera, la lignina, actúe con mayor facilidad sobre las fibras que compondrán los pellets.

Posteriormente el aserrín es sometido a una presión mecánica constante por medio de la utilización de rodillos que se encuentran dispuestos dentro de una matriz o troquel, el cual cuenta con una serie de perforaciones en su superficie, por las que debe salir el material que esta siendo empujado (Fig. 1). Mediante este proceso es que el material finalmente se aglutina.

El troquel tiene perforaciones de 6-12 mm, por donde el material sale. Una vez fuera, es cortado por medio de cuchillos ajustables, dando a los pellets su forma y largo definitivo. El proceso de peletizado consume un total de energía de aproximadamente 60 kW/ton de material terminado (Malisius, 2000).

Fig. 1

### Esquema de funcionamiento prensa peletizadora KAHL



Fuente: Amandus Kahl GMBH & Co, 2003.

### 3.5.6 Separación de finos o Tamizado

Una vez que los pellets están terminados, se lleva a cabo una separación de las partículas. Los finos residuales o partículas sobrantes que puedan haber escapado del proceso de peletizado, son reingresados al proceso de manera automática. Para este efecto se utiliza una pantalla o tamiz de 1/8" (3.175 mm) (PFI, 1999).

### 3.5.7 Enfriado

El enfriado (cooling) es una parte muy importante en el proceso de elaboración de los pellets, debido a que durante todo el proceso la materia prima esta expuesta a altas temperaturas y además esta etapa contribuye a que la lignina de la madera alcance su mayor potencial aglutinante, asegurando así que estos se mantengan en su nueva forma. El enfriador consiste en una cámara vertical, en donde los pellets caen por un flujo de contracorrientes, las que permiten disminuir su temperatura. Esta corriente es generada por ventiladores mecánicos que funcionan por medio de electricidad. El consumo de energía en esta etapa es alrededor de 5 kW/ton (Malisius, 2000).

Foto 7.

Enfriador (Counter Current Pellet Cooler DKFG).

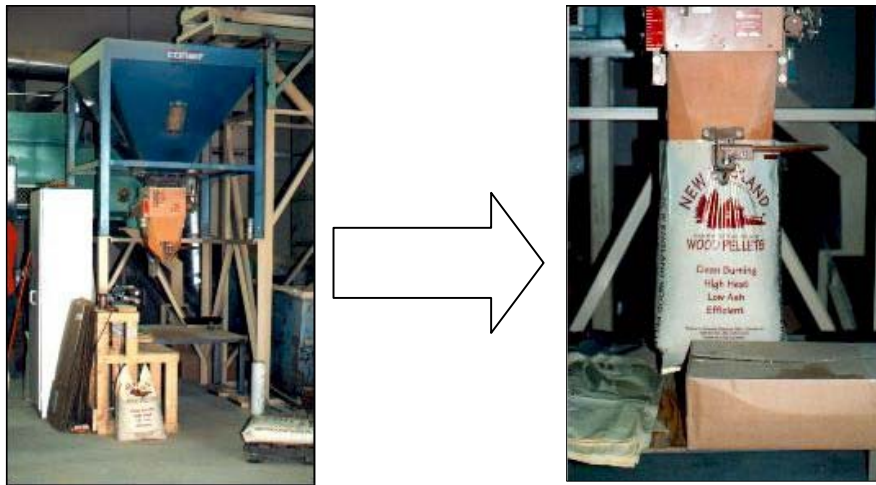


Fuente: Bioenergi i Luleå, Sweden, 2003.

### 3.5.8 Empaquetado

Los pellets son empaquetados en bolsas de papel de 40 lb (18,14 kilogramos) o distribuidas a granel a domicilio por medio de un sistema de camiones similares a los usados para distribuir el combustible diesel (Alakangas, 2002).

Foto 8.  
Empaquetado de pellets, en bolsas de cartón.



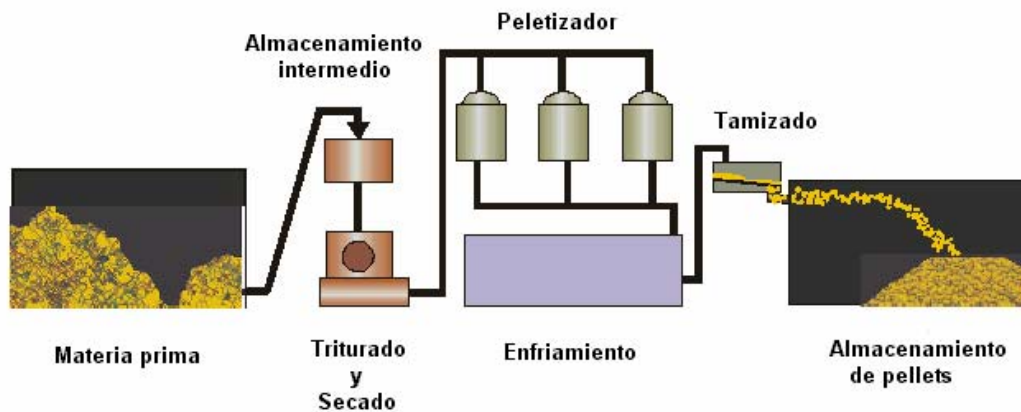
Fuente: New England Pellets, UK.

A modo de resumen, el consumo de energía del proceso más general de la fabricación de pellets, sin considerar la etapa de almacenamiento y empaquetado, queda expresado de la siguiente manera:

- Secador: 1MW/ton de materia prima húmeda secada.
- Molino de triturado: 1kW/ton de materia prima triturada.
- Molino de peletizado: 60kW/ton de pellet producido.
- Enfriador: 5kW/ton de pellet enfriado.

Fig. 2

Esquema simplificado de las etapas implicadas dentro de la producción de pellets a partir de desechos de madera.



Fuente: Technical Research Centre of Finland, 2002.

### 3.5.9 Distribución

El transporte es un factor muy importante que se debe tener en consideración para mantener la economía de la industria del pellet. Uno de los aspectos clave es que no es factible transportar restos de aserrado y aserrín (materias primas en general) por largas distancias, principalmente por los costos que este implica. Por esta razón es que las plantas peletizadoras deben estar ubicadas lo más cerca posible de las fuentes de materia prima (Malisius, 2000).

Desde otro ángulo, durante el transporte de los pellets ya terminados se debe cuidar que estos no sufran una exposición excesiva a presiones o tensiones mecánicas, ya que estas pueden provocar que los pellets pierdan su estructura, y se tornen nuevamente aserrín. Adicionalmente, se debe tener la precaución de que durante el transporte y el almacenado, los pellets sigan libres de humedad, esto para evitar la aparición de microorganismos que puedan perjudicar la calidad de los pellets, o bien que puedan perder su forma comercial (Alakangas, 2002).

Los productores pueden distribuir los pellets directamente a los usuarios finales o hacerlo a través de intermediarios minoristas, los que están orientados principalmente a consumidores de pequeña escala. Los pellets pueden ser vendidos en sacos o a granel.

Foto 9.  
Ejemplo de pellets dañados por efecto de la humedad.



Fuente: Archivo fotográfico Consorcio Maderero S.A.

### 3.5.9.1 Sacos

Existen dos tipos de sacos que son: sacos pequeños y sacos grandes. El tamaño de los sacos pequeños esta entre 15-25 kg los que son empacados en pallets. Los pallets son distribuidos a los minoristas, quienes a su vez los distribuyen a los consumidores finales. Los sacos pequeños están pensados principalmente para los consumidores de pequeña escala, quienes utilizan estufas diseñadas para funcionar con este tipo de combustible. Las bajas proporciones de finos son una ventaja en el caso de los sacos de pequeño tamaño (Alakangas, 2002).

El tamaño de los sacos grandes esta en rangos de 1 a 1.5 m<sup>3</sup>, lo que equivale a 500 a 1.000 kg. El transporte de los pellets en sacos grandes es más económico, pero desafortunadamente este sistema es inaplicable para el caso de los pequeños consumidores, debido a su gran tamaño. Los sacos grandes de pellets son principalmente utilizados en granjas o en instituciones que utilizan sistemas de calefacción a gran escala,



los que cuentan con equipos especiales, diseñados para la manipulación de este tipo de producto (Alakangas, 2002).

Los sacos grandes de pellets son distribuidos por camiones de tipo convencional de la misma manera en que son distribuidos los sacos pequeños. Tanto los sacos grandes como los pequeños están hechos de materiales reciclables (cartón principalmente) (Alakangas, 2002).

Foto 10.

Pellets empacados en pallets de madera y envueltos en poliuretano, listos para ser distribuidos a los diferentes centros de consumo.



Fuente: Archivo fotográfico Consorcio Maderero S.A.

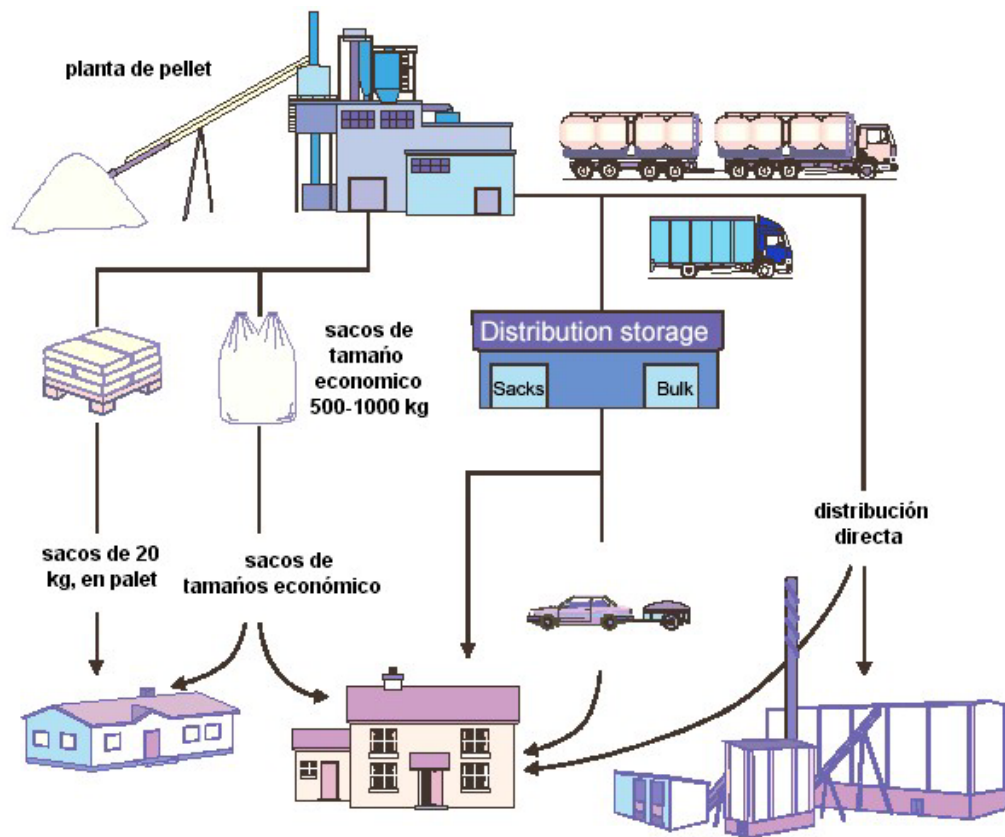
### 3.5.9.2 Pellets a granel

Los pellets pueden ser transportados también a granel en camiones convencionales los que deben estar cubiertos. Los pellets transportados por camiones son distribuidos a los usuarios y puestos en sus depósitos particulares por medio de un sistema de aire presurizado, de una manera muy similar a como son distribuidos combustibles como el diesel y otros derivados del petróleo (Alakangas, 2002). Este tipo de

camiones es diseñado de manera especial para la distribución de los pellets y de una manera muy similar a los camiones que distribuyen alimentos para animales. La distribución a granel en la actualidad ha ido en crecimiento debido a que esta disminuye los costos por transporte asociados a este combustible (Malisius et al., 2000).

Fig 3

Diagrama del sistema de distribución de los pellets a los distintos consumidores.



Fuente: Technical Research Centre of Finland, 2002.

Fig. 4  
Diagrama de flujo del proceso de peletizado

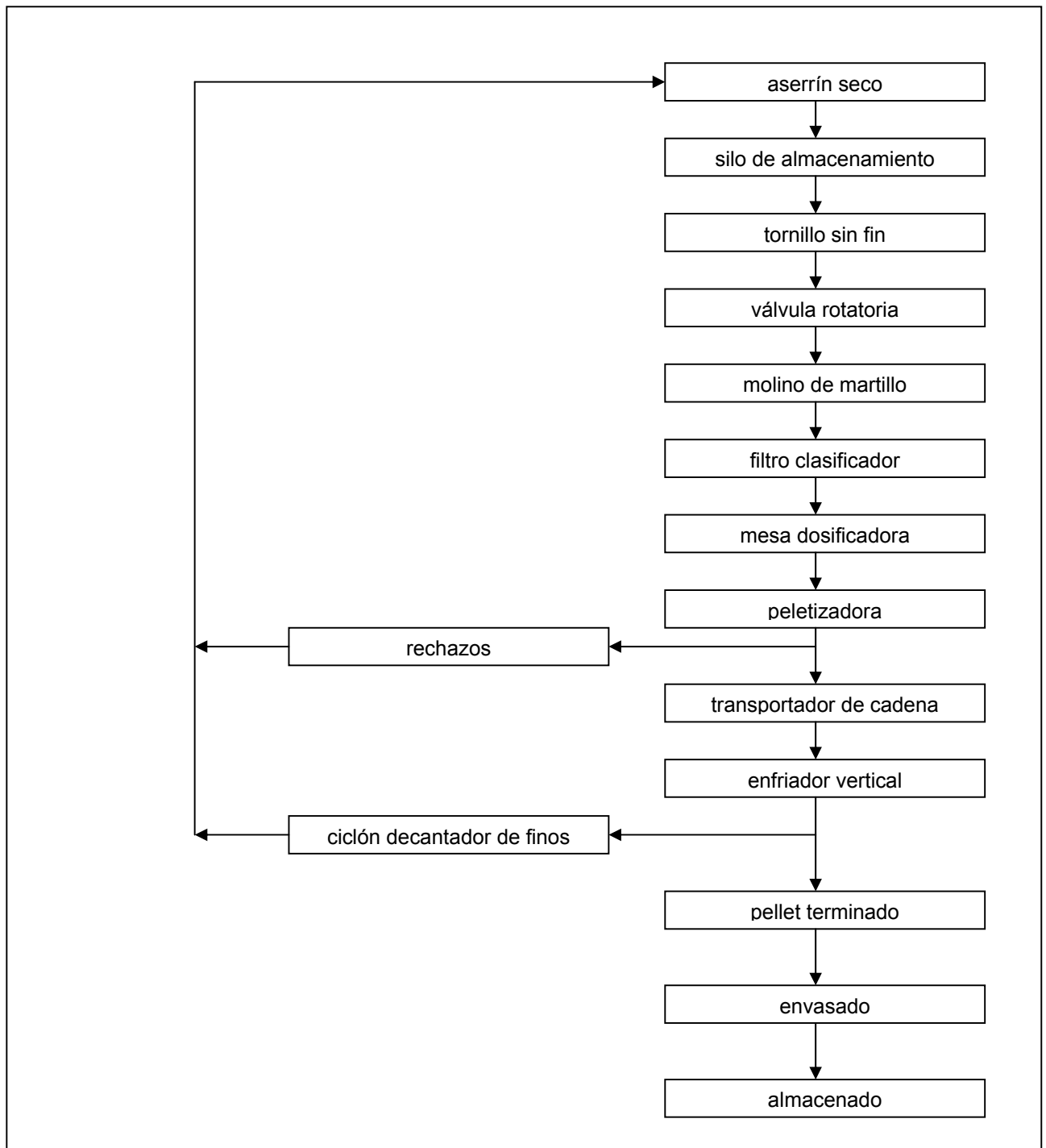
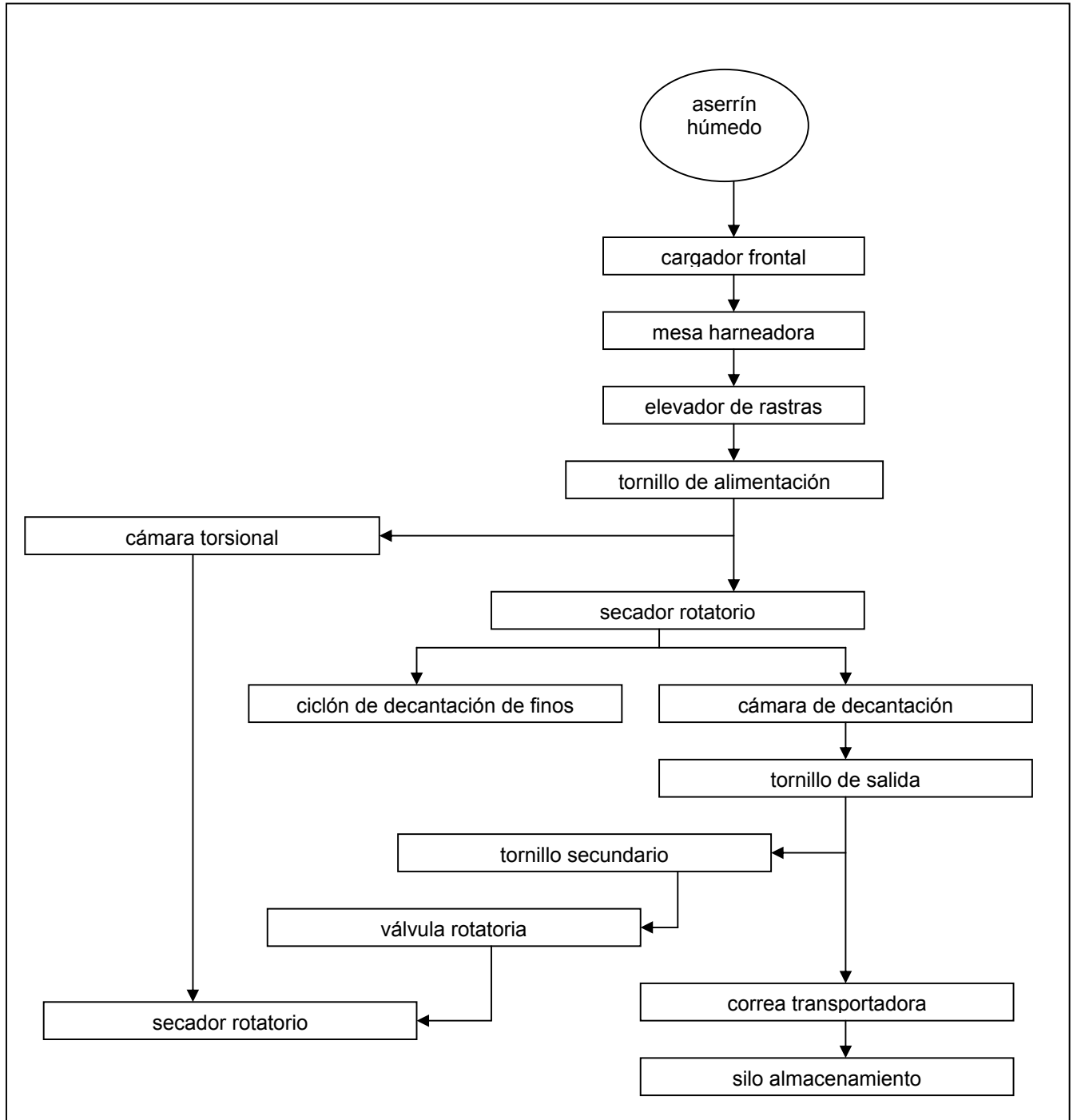


Fig. 5  
Diagrama de flujo proceso de secado



## **Capítulo IV:**

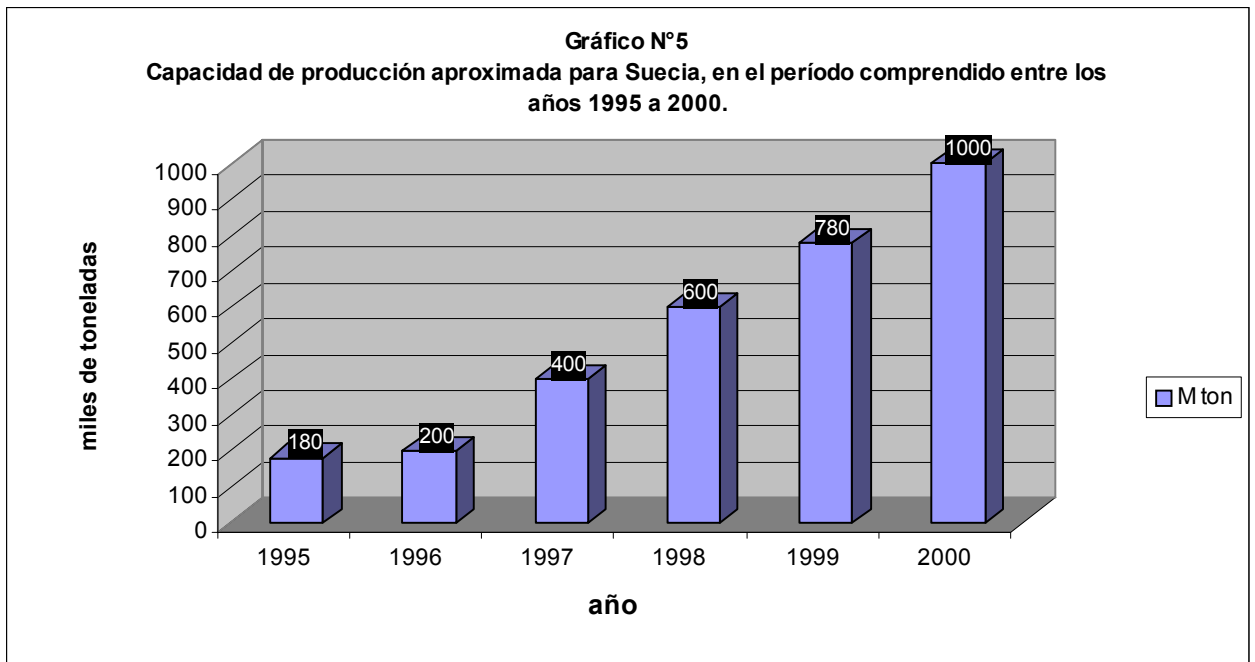
### **Mercados**

#### **4.1 Mercados internacionales**

Actualmente, son diversos los países que mantienen una producción sostenida de pellets de madera con el fin de satisfacer sus requerimientos de energía limpia. Estos requerimientos van desde la calefacción hogareña hasta el suministro de energía a industrias, edificios públicos y complejos inmobiliarios. Cada país presenta diferencias relacionadas principalmente con aspectos como la disponibilidad de materia prima, la demanda interna y la capacidad de producción de las empresas peletizadoras.

##### **4.1.1 Suecia**

La capacidad de producción en Suecia para el año 2001 fue de aproximadamente 1 millón de toneladas de pellets por año ( [www.xco2.com](http://www.xco2.com), 2001). Según la información proveniente de la industria en relación a la cantidad de materia prima (madera blanca en forma de aserrín, restos de astillas) disponible para ser paletizada, esta es aproximadamente de 1.000.000 de toneladas por año, lo que implicaría que nuevos proyectos de plantas de peletizado deberían utilizar otro tipo de materias primas, por ejemplo residuos del bosque provenientes de los raleos y cosechas forestales (ramas, corteza y madera dañada) (Malisius, 2000).



Fuente: Thermie B DIS/2043/98-AT Industrial Network on Wood Pellets, Enero del 2000.

#### 4.1.2 Noruega

La producción total de pellets en el año 1998 en Noruega fue de alrededor de 10.000 toneladas. Las estimaciones para el año 1999 fueron de 20.000 toneladas, de las cuales 11.000 toneladas fueron exportadas a Suecia.

Para el año 2000, las plantas Noruegas produjeron muy por debajo de su capacidad real, lo que se debió principalmente a la falta de demanda por parte de los consumidores. De acuerdo a las proyecciones hechas en ese país, para fines del año 2002, se esperaba que la capacidad de producción de las plantas se incrementara hasta 100.000 toneladas por año, cifra que representa más de diez veces la demanda existente en el país para el año 2000 (Malisius, 2000).

### **4.1.3 Alemania**

La producción de pellets con un propósito comercial se inició en Alemania en el año 1998. Al año 2000 según antecedentes de la Comunidad Europea, Alemania ya contaba con seis productores especializados de este tipo de combustible.

Informes del Industrial Network on Wood Pellet, estiman que la existencia de materia prima en este país esta alrededor de las 800.000 y 1.100.000 toneladas de materia prima disponible para el peletizado.

Si la demanda por este tipo de combustible aumenta en los próximos años, se estima que posiblemente trozas destinadas originalmente a la producción de madera aserrada deberán ser reorientadas a la producción de pellets. Esta redestinación dependerá exclusivamente de las ventajas que presente el mercado de los pellets en comparación a la industria de la madera (Malisius, 2000).

El destino de los pellets es casi exclusivamente la calefacción de los hogares con un consumo anual promedio de 1.500 kg de pellets, para calefaccionar 100 m<sup>2</sup> (Malisius, 2000).

### **4.1.4 Austria**

Para el año 1999 en Austria se registraron 12 compañías productoras de pellets funcionando activamente. Las industrias con su capacidad de producción y producción neta para el año 1999 se muestran en el gráfico N°6.

En promedio se procesan 11,5 millones de metros cúbicos de madera en los aserraderos austriacos por año. En los que las pérdidas de madera (aserrín) son de 3,5 millones de metros cúbicos, de los cuales 2 millones de metros cúbicos son destinados a la industria de tableros de partículas, mientras que el millón restante más, un millón de metros cúbicos de corteza, son destinados al peletizado (Malisius, 2000).

Además, 0,5 millones de metros cúbicos adicionales provenientes de la pérdida de madera seca de la industria de la madera y la carpintería son considerados como materia prima. Teóricamente se estima que el potencial recuperable es de alrededor de 10 millones de metros cúbicos. Entre 0,6 a 1 millón de toneladas de materia prima podrían estar disponibles para el peletizado (Malisius, 2000).

Según una estimación de la Asociación de pellets austriaca y Umdasch AG, el potencial para el peletizado y la cantidad de pellets para el año 2003 son:

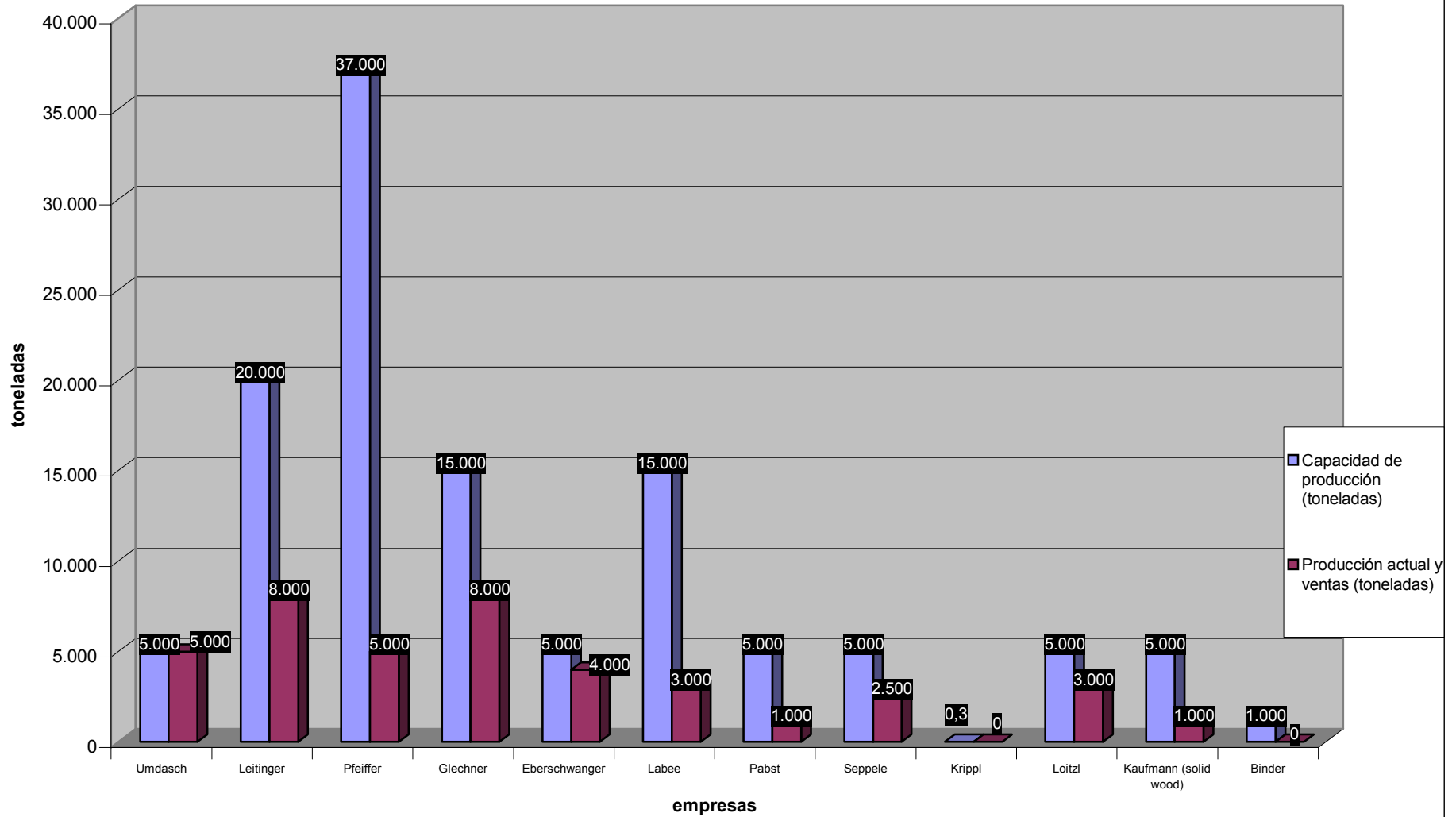
- Madera seca aserrada: 200.000 toneladas.  
Actualmente se utilizan 100.000 toneladas para la producción de briquetas.
- Aserrín húmedo: 600.000 toneladas.

En 1999, 5.000 toneladas se destinaron a la producción de pellet. Se estima que para el año 2003, se venderán 100.000 toneladas de pellets, lo que implicaría un aumento de más de un 50%, considerando las 41.000 toneladas, producidas al año 2000 (Malisius, 2000).

Existe una gran cantidad de desechos provenientes de los raleos, que no son usadas en la actualidad pero que en el futuro podrían constituir una importante fuente de materia prima para el desarrollo de nuevos proyectos relacionados con el peletizado (Malisius, 2000).



**Gráfico N°6**  
**Compañías peletizadoras,**  
**capacidad de producción y producción real en Austria (1999).**



Fuente: Thermie B DIS/2043/98-AT Industrial Network on Wood Pellets, Enero del 2000.

#### **4.1.5 Canadá y Estados Unidos**

En Estados Unidos y Canadá, la mayoría de las plantas de pellets pertenecen a empresas destinadas exclusivamente a la producción de este tipo de combustible. Las grandes empresas dedicadas a la explotación del bosque (con dos excepciones) no se dedican al rubro de la producción de pellets (Malisius, 2000).

La materia prima mayormente utilizada en estos países es el aserrín, dejando la corteza y otro tipo de desechos, en un plano más secundario.

La industria del peletizado en estos países es en general una mezcla entre las plantas autosuficientes, es decir aquellas que se dedican solamente a la producción de pellets y las empresas mixtas que son aquellas que se dedican además del procesado de la madera a la producción de pellets.

Las empresas autosuficientes compran sus materias primas en el mercado libre y tienden a ser los productores más grandes. Las empresas mixtas, es decir, aquellas empresas productoras de pellets que además pertenecen a empresas procesadoras de madera, procesan solo los desechos generados por sus propias plantas, buscando con esta estrategia un aprovechamiento máximo de sus existencias.

En términos generales, se puede decir que la mayoría de los países productores, en la actualidad, tienen sus producciones aseguradas en términos de disponibilidad de materia prima. Donde existe mayor restricción al crecimiento de la producción, es en la demanda interna del producto. Aunque a la fecha, algunos países han tomado la decisión de exportar a aquellos países en que la capacidad de producción no da abasto a la demanda por este tipo de combustible, pudiendo así seguir aumentando sus niveles de producción.

## **4.2 Estándares de calidad**

Los estándares europeos y americanos para el combustible pellet, son mostrados en la tabla N°5.

Con relación a valores como la densidad a granel, la densidad por unidad, el contenido de cenizas, el contenido de humedad, el poder calorífico, concentración de sustancias como azufre, nitrógeno y cloro, las normas utilizadas en los diferentes países productores a la fecha son bastante similares.

Con excepción de Suecia, todas las normas vigentes regulan el uso de aglutinantes. Sin embargo, la norma sueca especifica las concentraciones y la cantidad de este tipo de sustancias que pueden ser usadas en cada una de las clases de pellets declaradas por los productores de dicho país. El CEN (Comité Europeo de la Estandarización) y los institutos de estandarización de cada país productor, están cooperando para preparar una norma europea para los combustibles bioenergéticos, que regule su elaboración en toda la Comunidad Europea.

En la actualidad se está discutiendo el uso en la fabricación de los pellets de otros materiales provenientes de la biomasa, y no solo madera, si no que también puede ser incluida la biomasa agrícola, materiales reciclables como papeles y cartones e incluso restos de basura orgánica.

Tabla N°5: Comparación de los estándares de calidad usados en la actualidad por los diferentes países productores.

Fuente: Thermie B DIS/2043/98-AT Industrial Network on Wood Pellets, Enero del 2000.

Especificaciones	Austria ONORM M 7135		Suecia SS 18 71 20			Alemania DIN 51731			USA Pellet Fuel Institute	
	Madera comprimida	Corteza comprimida	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	5 categorías de largo			Grado Estándar	Grado Premium
<b>Dimensiones</b>	- pellets: 4-20 mm de diámetro, max.100mm de longitud	- briquetas: 20-120 mm de diámetro, max. 400 mm de longitud	Largo max. 4 veces el diámetro.	Largo max. 5 veces el diámetro.	Largo max. 6 veces el diámetro.	HP1 HP2 HP3 HP4 HP5	Largo >30 15-30 10-16 < 10 < 5	diam.>10cm 6-10 3-7 1-4 0,4-1	6-7,5 mm diam. < 3,6 cm	6-7,5 mm diam. < 3,6 cm.
<b>densidad a granel</b>			>= 600 kg/m <sup>3</sup>	>=500 kg/m <sup>3</sup>	>=500 kg/m <sup>3</sup>					>40 libras/pie <sup>3</sup> = 639kg/m <sup>3</sup>
<b>Durabilidad /finos (en %&lt; 3mm)</b>			<=0,8	<=1,5	<=1,5				<0,5 % a través de la pantalla de 3mm	<0,5 % a través de la pantalla de 3mm.
<b>densidad unitaria (us)</b>	>= 1,0 kg/dm <sup>3</sup>	>= 1,0 kg/dm <sup>3</sup>				1-1,4 gr/cm <sup>3</sup>				
<b>contenido de humedad</b>	<= 12%	<= 18%	<= 10%	<= 10%	<= 12%	< 12%				
<b>contenido de cenizas</b>	<= 0,5 %	<= 6,0%	<= 0,7%	<= 1,5%	> 1,5%	< 1,5%			< 3%	< 1%
<b>contenido total de humedad (en la entrega)</b>			<= 10%	<= 10%	<=12%					
<b>(bajo) poder calorífico</b>	>= 18,0 MJ/kg	>= 18,0 MJ/kg	>= 16,9MJ/kg >= 4,7kWh/kg	>= 16,9MJ/kg >= 4,7kWh/kg	>= 16,9MJ/kg >= 4,7kWh/kg	17,5-19,5 MJ/kg				
<b>Sulfuros</b>	<= 0,04%	<= 0,08%	<= 0,08%	<= 0,08%	a ser indicados	< 0,08				
<b>Nitrógeno</b>	<= 0,3%	<= 0,6%				< 0,03				
<b>Cloro</b>	<= 0,02%	<= 0,04%	<= 0,03%	<= 0,03%	a ser indicados	< 0,03				
<b>Arsénico</b>						< 0,8 mg/kg				
<b>Cadmio</b>						< 0,5 mg/kg				
<b>Cromo</b>						< 8 mg/kg				
<b>Cobre</b>						< 5 mg/kg				
<b>Mercurio</b>						< 0,05 mg/kg				
<b>Plomo</b>						< 10 mg/kg				
<b>Zinc</b>						< 100 mg/kg				
<b>halógenos orgánicos extraíbles</b>						< 3 mg/kg				
<b>Impurezas</b>	Hecho solo de madera no contaminada	Hecho solo de corteza no contaminada								
<b>Agentes aglutinantes</b>	prohibido	Prohibido	La cantidad y la clase deben ser declaradas							
<b>punto fusión de ceniza</b>			La cantidad y la clase deben ser declaradas							



#### **4.2.1 Estándares Austriacos**

En Austria, existe una norma uniforme para la elaboración de pellets y aglomerados (ÖNORM 7135). Esta señala que estos deben fabricarse solo de madera y no se permite el uso de agentes aglutinantes.

El Ministerio Federal Austriaco para el Ambiente decidió crear una etiqueta especial para los combustibles a base de biomasa, aglomerados y pellets (Umweltzeichen, UZ 38). Podrán optar a esta etiqueta solo aquellos productores que utilicen materia prima a base de madera (aserrín, restos de aserrado, etc). La utilización de materiales que contengan alteraciones como por ejemplo diferentes capas unidas, pegamentos, madera aglomerada, estarán excluidos de este tipo de etiquetación.

#### **4.2.2 Estándares Alemanes**

La norma alemana para la producción de pellets es denominada DIN. Los valores límites y condiciones de los pellets de madera y aglomerados son señaladas en la tabla N°5 (DIN 51731).

Además de la forma de los pellets y los aglomerados la densidad por unidad y la composición química aceptada están claramente definidas en esta norma.

#### **4.2.3 Estándares Noruegos**

La Sociedad Noruega para la Estandarización y la Construcción (NBS – Norges Bygging - og Standardiseringforbund, Oslo) está trabajando en la actualidad para responder a la pregunta de cómo generar una norma apropiada a los pellets. No existe aún una norma en vigencia, pero es posible que la normativa sueca sea introducida muy pronto en este país.

#### **4.2.4 Estándares Norteamericanos**

En 1995 el Instituto de Combustible Pellets (PFI) estableció normas de carácter nacional para el combustible pellet de uso residencial. Esta norma es solo una recomendación no oficial propuesta por esta agrupación para la producción de este tipo de combustibles.

Esta norma insiste en que la regulación de la producción-entendiéndose por esta la certificación de la calidad- es de directa responsabilidad del fabricante de los pellets.

Por medio de esta normativa, dos calidades de pellets quedan definidas por parte de los productores, los pellets premium y los pellets de tipo normal. La única diferencia entre estas dos calificaciones radica específicamente en el contenido de cenizas resultantes de la combustión.

Otro aspecto que resalta de esta norma es la cantidad de sales presente en la materia prima. El sodio (las sales) presente en altas cantidades puede causar corrosión en los equipos destinados a la combustión. La madera natural para ser considerada como no contaminada con sal deberá presentar menos de 300 ppm de sodio disuelto en agua, de otra forma será rechazada (PFI, 1995).

Aquellos combustible hechos con restos de contrachapado, tableros de partículas, residuos agrícolas, papel y otros materiales ya contaminados con sales pueden elevar drásticamente los niveles de sodio, por lo que los productores deberán identificar los niveles de sodio obtenidos en sus análisis de calidad, con el fin de informar adecuadamente a los consumidores.

Se recomienda en esta norma que los fabricantes etiqueten su producto discriminando ambos tipos de calidad de la manera más clara posible. Además se solicita a los productores que detallen los diferentes tipos de materia prima utilizada en la elaboración de los pellets.

#### 4.2.5 Estándares Suecos

La clasificación de los pellets en Suecia se muestra en la tabla N°6. Estos estándares describen tres clases de pellets, los que se diferencian principalmente en su tamaño y en el contenido de cenizas.

Tabla N°6  
“Estándares Suecos para la producción de combustible pellets”.

Propiedad	Método de testeo	Unidad	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Dimensiones diámetro y largo	Por medición de las 10 menores unidades de pellets, seleccionadas aleatoriamente.	Mm	Declarado como largo máximo 4 veces el diámetro.	Declarado como largo máximo 5 veces el diámetro.	Declarado como largo máximo 5 veces el diámetro.
Densidad a granel	SS 18 71 78	Kg/m <sup>3</sup>	>= 600	>= 500	>= 500
Durabilidad en el almacenamiento	SS 18 71 80	% (Tamaño de los finos <3 mm)	<= 0,8	<= 1,5	> 1,5
Poder calorífico	SS-ISO 1928	MJ/kg	>= 16,9	>= 16,9	>= 15,1
		KWh/kg	>= 4,7	>= 4,7	>= 4,2
Contenido de cenizas	SS 18 71 71	%	<= 0,7	<= 1,5	> 1,5
Contenido de humedad	SS 18 71 70	%	<= 10	<=10	<= 12
Contenido (concentración) de sulfuros	SS 18 71 77	%	<= 0,08	<=0,8	A ser declarado.
Contenido (concentración) de aditivos	SS 18 71 85	%	Contenido y tipo de aditivos a ser declarados.		
Cloruros	SS 18 71 85	%	<= 0,03	<= 0,03	A ser establecido.
Disolución de cenizas	SS 18 71 65 / ISO 540	°C	Temperatura inicial a ser establecida.		

Fuente: Swedish Standard SS 18 71 20, Alakangas 2000.



## Capítulo V: Estudio de caso

### 5.1 Envergadura de la producción y consumo de materia prima

El proyecto consiste en instalar y poner en operación una planta peletizadora de desechos de la industria forestal destinada fundamentalmente a los mercados de exportación, consistentes en su mayoría de aserrín y corteza. La planta será diseñada con una capacidad de producción anual de alrededor de 50.000 toneladas de pellets, la que por razones estratégicas relacionadas con el abastecimiento de materia prima como con la cercanía a puertos de embarque estará ubicada en la localidad de Coronel, VIII región del país.

De acuerdo a las estimaciones realizadas por Kyto & Aijala en el año 1981 (Alakangas, 2002) con el fin de determinar el rendimiento de los desechos de la industria forestal, a partir de  $7 \text{ mt}^3$  de aserrín a un contenido de humedad en el rango de 50-55%, se puede producir 1 tonelada de pellets. Teniendo en cuenta las variaciones en términos de humedad presentes en la materia prima (en su mayoría desechos de Pino radiata), para efectos de este estudio se considerara que para producir 1 tonelada de pellets a un 12% contenido de humedad con una densidad del orden de  $700 \text{ kg/mt}^3$ , se requiere de aproximadamente  $8 \text{ mt}^3$  de material. Esta cantidad incluye la porción de desechos que es utilizada durante el proceso de secado de la materia prima.

El requerimiento de materia prima queda dado entonces para una planta peletizadora con una capacidad de 50.000 ton/año, teniendo en cuenta que el consumo de aserrín por parte del secador corresponde a un 20,5% del total del aserrín secado (Quezada, 1999), de la forma en que se muestra en la tabla N° 8.

Tabla N°7

Especificación de la materia prima necesaria para el desarrollo de la producción anual de pellets.

Ítem	Total consumo aserrín y corteza	Aserrín y corteza secador	Aserrín y corteza peletizado	Producción anual
periodo	mt <sup>3</sup> stereos	mt <sup>3</sup> stereos	mt <sup>3</sup> stereos	ton/pellets
año (300 día/año)	400.000	82.000	318.000	50.000
día (21 hr/día)	1.333,33	273,33	1.060,00	166,67
hora	63,49	13,02	50,48	7,94

La producción diaria de la planta de peletizado deberá ser cercana a las 170 toneladas de pellets con un rendimiento horario de la maquinaria del orden de las 8 ton/hr. Se considera un tiempo operativo de 300 días hábiles al año con un total de horas operativas diarias de 21 horas, separadas en 3 turnos de 7 horas cada uno.

Considerando los antecedentes provenientes de la industria referidos al aprovechamiento de madera en la industria del aserrío, por cada 1 mt<sup>3</sup> de madera que ingresa al aserradero se produce alrededor de 0.5 mt<sup>3</sup> stereos de aserrín y 0.3 mt<sup>3</sup> stereos de corteza (de acuerdo a lo informado por los propios productores).

Si se tiene en cuenta además que el 60% y el 78% de aserrín y corteza respectivamente, son aprovechados por las mismas industrias para la alimentación de calderas y secadores o bien, en el caso del aserrín es vendido para la elaboración de tableros MDF, tenemos que solo un 40% del aserrín y un 22% de la corteza, consideradas como desecho en la actualidad, estaría disponible para el abastecimiento de este tipo de proyecto.

De acuerdo a lo anterior, y considerando el aprovechamiento de los desechos por parte de las empresas (ya sea para la generación de energía y calor en calderas y secadores o bien para su venta a terceros), el consumo de madera promedio en la zona en que se decida ubicar una planta de peletizado de producción promedio anual de 50.000 toneladas de pellets, debe ser del orden de 807.451 mt<sup>3</sup> stereos al año.

Los precios de transacción de los desechos en el mercado actual según la consulta directa a las propias empresas forestales queda de la siguiente manera:

Tabla N°8

Precios de transacción promedio estimado de la materia prima a utilizar en el proyecto

Tipo de desecho	\$/mt <sup>3</sup>	US\$/mt <sup>3</sup>
1 mt <sup>3</sup> a granel de aserrín en CCP	800	1,32
1 mt <sup>3</sup> a granel de corteza en CCP	800	1,32
1 mt <sup>3</sup> a granel corteza o aserrín de afuera	2.000	3,31

Para efectos de este estudio se considera que toda la materia prima es comprada dentro de la zona de Concepción (CCP) con un valor promedio por mt<sup>3</sup> de \$800<sup>21</sup>.

Tabla N°9

Cálculo del costo unitario por concepto de materia prima para 1 tonelada de pellets.

Cálculo de costos por concepto de materia prima				
ítem	%	mt <sup>3</sup>	US\$/mt <sup>3</sup> CCP	total US\$
consumo secador	20,5%	82.000	1,32	108.609
consumo peletizador	79,5%	318.000	1,32	421.192
<b>total planta</b>	100%	400.000	1,32	529.801

De esta manera el costo unitario por concepto de materia prima es de aproximadamente 10,5 US\$/ton de pellets producido.

<sup>21</sup> De acuerdo a los productores de la zona de Concepción, el valor del m<sup>3</sup> de aserrín puesto en cancha es de \$800. Fuera del perímetro industrial de Concepción (entre 100 y 150 km) , el costo por m<sup>3</sup> puesto en cancha, es de alrededor de \$2000.

## 5.2 Evaluación económica de las inversiones

El análisis económico de las inversiones incluye la adquisición y montaje de los equipos necesarios para el correcto desarrollo de la producción, además de aspectos tales como las inversiones en infraestructura y obras civiles, compra o arriendo de terrenos, capital de trabajo y gastos relacionados con la puesta en marcha.

Tabla N°10  
Parámetros económicos utilizados<sup>22</sup> en la evaluación del proyecto.

unidad	\$	US\$	EU\$
UF	16820,82	27,85	22,89
US\$	604,00	1,00	0,82
EU\$	735,00	1,22	1,00
IVA	19%		

Interés bancario (%)	8
Horizonte de planificación (años)	5
$\alpha$ (%)	10

## 5.3 Activos Fijos

Los activos fijos corresponden a todas aquellas inversiones tangibles o materiales llevadas a cabo para la correcta ejecución del proyecto. Estas inversiones por estar sujetas a un uso productivo permanente, están sujetas a una depreciación económica.

Dentro de esta categoría se encuentran:

- Infraestructura, terrenos y obras civiles.
- Equipos del área de producción.
- Inversiones área de administración.
- Inversiones en activos nominales.

<sup>22</sup> Indicadores económicos de acuerdo a lo publicado por el Banco de Chile el día 7 de Abril del 2004.

### 5.3.1 Infraestructura

Las inversiones consideradas dentro del ítem infraestructura son las correspondientes a:

#### a) Terreno

La zona sur del país ha sido seleccionada para la instalación y operación de este proyecto, más específicamente la localidad de Coronel en la octava región del país. La superficie estimada para la instalación de la planta es de 10.000 m<sup>2</sup>, a un valor de 1 UF/m<sup>2</sup>. De esta manera el valor del terreno es de US\$ 278.490.

La inversión estimada para el ítem obras civiles consideradas para el desarrollo de este proyecto asciende a US\$ 200.000.

#### b) Galpones

Las construcciones relativas a galpones estarán destinadas a albergar la maquinaria encargada de la producción y para su uso como bodega. El galpón destinado a albergar la maquinaria tendrá una superficie de 600 m<sup>2</sup> y el galpón destinado a bodega será de 1.225 m<sup>2</sup>. El monto total correspondiente a este ítem es de alrededor de US\$ 200.000<sup>23</sup>.

#### c) Romana de pesaje.

Este equipo tiene una capacidad de pesaje de hasta 80 toneladas, lo que incluye camión y carro cargado. El costo de este equipo incluyendo su instalación y puesta en marcha es de US\$ 50.000. Su función será mantener un control permanente de la materia prima que ingresa y del producto terminado que sale de la planta.

---

<sup>13</sup> THX Construcciones Industriales. [www.THX.cl](http://www.THX.cl). Octubre 2003, Santiago.

d) Electricidad y oficinas.

Este Ítem considera las instalaciones destinadas para los funcionarios y operarios como oficinas, baños y comedores, las que serán construcciones del tipo prefabricado en madera contemplando una superficie total de 300 mt<sup>2</sup> con un valor aproximado de US\$ 17.000<sup>24</sup>. El monto asignado al ítem electricidad, vale decir instalación eléctrica, equivale a US\$ 100.000.

e) Contingencias.

El costo asociado a las contingencias que se puedan desarrollar a lo largo de la vida útil del proyecto corresponde aproximadamente a un 10% del costo de construcción de las instalaciones.

Tabla N°11  
Resumen de las inversiones en infraestructura.

<b>inversión infraestructura</b>	
<b>ítem</b>	<b>costo total (US\$)</b>
terreno	278.490
oficinas y comedores	17.000
obras civiles	200.000
galpones	200.000
electricidad	100.000
romana de pesaje	50.000
contingencias (10%)	84.549
<b>total</b>	<b>930.039</b>

<sup>14</sup> El valor del mt<sup>2</sup> construido en madera de casas prefabricadas es de 2.03 UF (Casas Urbina, 2003).

### 5.3.2 Equipo del área de producción

Dentro de este ítem se incluyen aquellos aspectos relacionados con la producción directa de los pellets, tanto la maquinaria relacionada con el acondicionamiento de la materia prima y su almacenamiento, como con la elaboración propiamente tal.

El proceso de secado de la materia prima es llevado a cabo por medio de un secador modelo tambor rotatorio, de fabricación nacional, el cual seca el aserrín por medio de aire caliente. El aire es calentado por medio de un sistema intercambiador de calor-vapor-aire. Durante el proceso de secado no se produce contacto entre los gases de combustión y el aserrín.

La caldera y sus accesorios son de fabricación nacional, siendo sus características técnicas correspondientes a una capacidad de 800 kg/hr de vapor aproximadamente, a una presión de 8 bar y una temperatura de 140°C. La calefacción puede ser generada utilizando ya sea desechos de madera o bien pellets (COMSA<sup>25</sup>, 2003). El valor antes mencionado incluye montaje y puesta en marcha (COMSA., 2003).

En lo que tiene relación con el peletizado, de acuerdo a la cotización solicitada por Consorcio Maderero S.A., correspondiente a Septiembre del año 2003, relacionada con el valor de los equipos destinados al peletizado de aserrín con una capacidad de producción anual aproximada de 50.000 ton/año, esta señaló que de acuerdo a la oferta de la empresa Buehler el valor de los equipos principales destinados al peletizado es del orden de US\$ 968.700.

Dentro de la cotización solicitada por COMSA se incluyen aspectos relacionados con el montaje, el costo por importación, flete y seguro además del costo relacionado con el montaje, etc. Estos antecedentes se muestran en la tabla N°12.

---

<sup>15</sup> Consorcio Maderero S.A., 2003.

Tabla N°12

Resumen de las inversiones en maquinaria destinadas al secado y fabricación de pellets.

<b>Cotización COMSA.</b>	<b>US\$</b>
secador	250.000
componentes fabricación nacional	60.000
caldera (fabricación nacional)	47.000
peletizador (maquinaria principal)	968.700
material eléctrico suministro nacional	35.000
montaje, personal local	45.000
costos de importación, flete y seguro	90.000
<b>total</b>	<b>1.495.700</b>

#### 5.4 Inversiones menores y en activos nominales

En esta categoría se clasifican los siguientes ítems:

- Puesta en marcha proceso productivo.
- Capacitación adicional personal de operaciones
- Mobiliario para oficinas
- Licencias y patentes
- Ingeniería y supervisión

El detalle de estas inversiones se muestra en la tabla N° 16. Con relación al permiso de edificación, este asciende al 1,5% sobre el capital invertido, mientras que la patente es del orden del 0.005 de la inversión total más otros derechos tales como: aseo, publicidad, etc (Quezada, 1999). El calculo de las inversiones relacionadas a Licencias y patentes se muestra en la tabla N°15.



Tabla N°13  
Cálculo de las inversiones en Licencias y patentes

<b>calculo de las inversiones en Licencias y patentes</b>	
<b>ítem</b>	<b>US\$</b>
monto total infraestructura	929.237
monto total área de producción	1.495.700
total inversiones	2.424.937
permiso de edificación (1,5%)	36.374
patente (0,005%)	12.125
<b>total licencias y patentes</b>	<b>48.499</b>

Tabla N°14  
Inversiones menores y en activos nominales

<b>inversiones menores y en activos nominales</b>	
<b>ítem</b>	<b>costo total (US\$)</b>
mobiliario para oficinas	12.000
gastos de puesta en marcha	50.000
licencias y patentes	48.499
capacitación adicional personal de operaciones	5.000
ingeniería y supervisión	20.000
<b>total</b>	<b>135.499</b>

Tabla N°15  
Calculo de amortización de intangibles

<b>cálculo amortización de intangibles</b>	
<b>activos nominales</b>	<b>US\$</b>
puesta en marcha	50.000
licencias y patentes	48.499
ingeniería y supervisión	20.000
capacitación adicional de personal de operaciones	5.000
<b>total activos nominales</b>	<b>123.499</b>
<b>amortización intangibles (20% anual)</b>	<b>24.700</b>

Tabla N°16

Cuadro resumen de las inversiones realizadas al inicio del horizonte de planificación.

<b>cuadro resumen de las inversiones</b>	
<b>ítem</b>	<b>US\$</b>
infraestructura	930.039
maquinaria	1.495.700
Inv. menores e intangibles	135.515
<b>total inversiones</b>	<b>2.561.254</b>

## 5.5 Costos operacionales

Los costos operacionales corresponden a todos aquellos gastos en los que se debe incurrir con el fin de mantener activo el proceso productivo proyectado. Los costos operacionales pueden ser de tipo directo o indirecto, formando con la suma de estos el ítem denominado costo total.

### 5.5.1 Costos directos

Se entiende por costo directo a todos aquellos costos que tienen una directa participación en el desarrollo de la producción. Dentro del ítem costos directos se incluyen los siguientes aspectos:

- Mano de obra directa
- Energía eléctrica<sup>26</sup>
- Materiales directos<sup>27</sup>
- Materia prima
- Cargador frontal
- Mantenimiento

<sup>16</sup>De acuerdo a la empresa ALCAMAN Ltda. representante en Chile de AMANDUS KAHL GMBH & Co. KG, queda dado por US\$ 4,002 por tonelada de pellets producido.

<sup>17</sup> Corresponden a implementos de seguridad tales como cascos, protectores auditivos, guantes, zapatos de seguridad, entre otros.

Tabla N°17

Resumen de los costos directos asociados al desarrollo de la producción.

<b>costos directos</b>	
<b>Ítem</b>	<b>US\$/año</b>
mano de obra directa	109.493
energía eléctrica	200.100
materiales directos	3.000
materia prima	529.801
cargador frontal <sup>28</sup>	94.030
mantenimiento <sup>29</sup>	74.785
<b>total</b>	<b>1.011.209</b>

En relación con la mano de obra directa, se considera a 2 ayudantes y un operario por cada turno de trabajo. La distribución horaria para el trabajo de la planta será de 3 turnos diarios de 8 horas cada uno. Los valores asociados a la mano de obra deben incluir las leyes sociales (20%), aporte patronal (1%) y transporte del personal (Quezada, 1999).

Tabla N°18

Resumen de costos por concepto de mano de obra directa

<b>mano de obra directa</b>				
<b>cargo</b>	<b>n° operarios</b>	<b>sueldo liquido (\$/mes)</b>	<b>total (\$/año)</b>	<b>total (US\$/año)</b>
operadores	6	300.000	21.600.000	35.821
ayudantes	12	200.000	28.800.000	47.761
subtotal			50.400.000	83.582
imposiciones (20%)			10.080.000	16.716
aporte patronal (1%)			504.000	836
transporte (10%)			5.040.000	8.358
<b>total mano de obra directa</b>			<b>66.024.000</b>	<b>109.493</b>

<sup>18</sup> El valor horario por arrendamiento del cargador frontal es de alrededor de 9.000 \$/hr, costo que incluye el operario.

<sup>19</sup> En relación al mantenimiento, se asocia un costo anual equivalente a un 5% de la inversión realizada sobre los equipos utilizados en el desarrollo de la producción.

## 5.5.2 Costos Indirectos

Son todos aquellos costos que no participan directamente en el desarrollo del proceso productivo, pero que igualmente son necesarios para el funcionamiento normal de la planta. Dentro del ítem costos indirectos se incluyen los siguientes aspectos:

- Mano de obra indirecta<sup>30</sup>
- Materiales varios<sup>31</sup>

Tabla N°19

Resumen de costos por concepto de mano de obra indirecta.

<b>mano de obra indirecta</b>			
<b>cargo</b>	<b>nª de funcionarios</b>	<b>sueldo liquido \$/mes</b>	<b>total anual \$</b>
ingeniero de procesos	1	1.000.000	12.000.000
supervisores	2	300.000	7.200.000
personal aseo y mantenimiento	3	150.000	5.400.000
subtotal			24.600.000
imposiciones		20%	4.920.000
aporte patronal		1%	246.000
transporte		10%	2.460.000
<b>total mano de obra indirecta</b>		<b>\$</b>	<b>32.226.000</b>
		<b>US\$</b>	<b>53.443</b>

Tabla N°20

Resumen de costos indirectos.

<b>Costos indirectos</b>	
<b>Ítem</b>	<b>US\$/año</b>
Mano de obra indirecta	53.443
Materiales varios	800
<b>Total</b>	<b>54.243</b>

<sup>20</sup> Se refiere a trabajadores y funcionarios cuyo trabajo no tiene relación directa con la elaboración final del producto, sino más bien con el desarrollo de tareas tales como ingeniería relacionada con el proyecto, la supervisión de los procesos, el aseo y mantenimiento.

<sup>21</sup> Dentro de esta categoría se consideran materiales y equipos contra incendios, materiales de aseo, herramientas menores, entre otros.

### 5.5.3 Costos de administración y ventas

Son aquellos costos relacionados con el desarrollo de la gestión administrativa y comercial del producto. Los sueldos de los administrativos se muestran en la tabla N°21.

Tabla N°21  
Resumen de costos por sueldos administrativos.

<b>sueldos administrativos</b>			
<b>cargo</b>	<b>n° de funcionarios</b>	<b>sueldo bruto (\$)</b>	<b>total anual (\$)</b>
administrador	1	2.000.000	24.000.000
secretaria	1	400.000	4.800.000
subtotal			28.800.000
imposiciones (20%)			5.760.000
aporte patronal (1%)			2.880.00
transporte (10%)			2.880.000
<b>total sueldos administrativos</b>		<b>\$</b>	37.728.000
		<b>US\$</b>	<b>62.567</b>

Los gastos administrativos corresponden a los gastos realizados en función de cumplir con las labores administrativas propias de este tipo de negocio. Entre estos están los gastos relacionados con comunicaciones, gastos de oficina y gastos varios propios de la administración.

Tabla N°22  
Resumen costos de administración y ventas.

<b>Costos por administración y ventas</b>	
<b>Ítem</b>	<b>US\$/año</b>
Sueldos administrativos	62.567
Gastos administrativos	11.940
<b>Total</b>	<b>74.507</b>

#### 5.5.4 Costos por exportación y transporte

Este ítem incluye el transporte desde la planta productora hasta el puerto de embarque, la estiva y además el costo correspondiente al flete naviero hasta el punto de destino final.

El transporte terrestre se hará por medio de camiones convencionales previamente modificados para el transporte de este tipo de carga.

Tabla N°23  
Resumen de costos por transporte y exportación.

<b>costos por transporte y exportación</b>	
<b>ítem</b>	<b>US\$/ton</b>
estiva y flete a puerto	10
flete naviero (destino Europa y Asia)	50
<b>total costos por transporte</b>	<b>3.000.000</b>

Tabla N°24  
Resumen de costos

<b>Resumen de Costos</b>	
<b>Ítem</b>	<b>US\$/año</b>
Costos directos	1.011.209
Costos indirectos	54.243
Costos por administración y ventas	74.507
Costos por transporte y exportación	3.000.000
<b>Total Costos</b>	<b>4.139.959</b>

## 5.6 Calculo del costo unitario

El costo unitario equivale a la sumatoria de los costos e inversiones necesarias para producir una unidad básica de producción, en este caso una tonelada de pellets.

Para el caso de los costos relacionados con infraestructura, maquinaria e inversiones menores, estos se calculan de la siguiente manera:

$$Cu = \frac{((Inf + Maq + Invm + Ict) / n) + Ct}{p}$$

Cu: Costo Unitario (US\$/ton).

Inf: Inversión en infraestructura (US\$)

Maq: Inversión en maquinaria (US\$)

Invm: Inversiones menores (US\$).

Ict: Inversión en capital de trabajo (US\$)

Ct: Costo total (US\$/año)

n: Horizonte de planificación (años).

p: Nivel de producción anual esperado (ton/ año).

De esta manera el costo unitario queda dado por 98 US\$/ton.

## 5.7 Inversión en capital de trabajo

La inversión en capital de trabajo tiene relación con el capital necesario para producir la primera partida de pellets, antes de recibir el pago por efecto de la venta de esta. El monto asignado al capital de trabajo se calcula de la siguiente forma de acuerdo al método del "periodo de recuperación" (Sapag, 1998) :

$$ICT = Cdp * pr$$

ICT : inversión en capital de trabajo (US\$).

Cdp : Costo diario promedio.

pr: Periodo de recuperación.

El costo diario promedio equivale al costo operacional y administrativo anual dividido por el número de días trabajados por año.

$$\text{Cdp} = (\text{US\$ } 4.139.959) / (300 \text{ días})$$

$$\text{Cdp} = (\text{US\$ } 13.799,86/\text{día})$$

Asumiendo que el periodo de recuperación es de 90 días, de acuerdo a las condiciones y formas de pago actuales de las transacciones comerciales, el cálculo de la inversión en capital de trabajo queda expresado de la siguiente manera:

$$\text{ICT} = (\text{US\$ } 13.799,86 /\text{día}) * (90 \text{ días})$$

$$\text{ICT} = \text{US\$ } 1.241.988$$

El monto correspondiente a Inversión en Capital de Trabajo debe ser incluido dentro del crédito inicial con el que se financiara el desarrollo del proyecto.

## **5.8 Evaluación del proyecto**

El proyecto se evaluará considerando un horizonte de planificación de 5 años, con una tasa de descuento en la inversión de un 10%.

Se asume que todas las inversiones de capital se llevan a cabo durante el transcurso del primer año del proyecto (año 0), y que todo el financiamiento es externo, es decir por medio de créditos. Este crédito incluye los costos relacionados con el montaje de la infraestructura, la adquisición de la maquinaria, la inversión en activos nominales e inversiones menores, así como la inversión en capital de trabajo. El crédito deberá ser pactado a un periodo de 5 años, equivalente al periodo considerado como horizonte de planificación del proyecto.



La totalidad de la producción anual es vendida en los mercados internacionales, por lo que toda la producción esta sujeta a los costos de exportación antes mencionados.

El valor de desecho de las inversiones tanto en maquinaria como infraestructura se considera con un valor de reventa igual a cero, para el caso de este estudio, situación que claramente difiere con lo que podría darse en la realidad, en la que tanto la maquinaria como las instalaciones serian susceptibles de ser vendidas al menos en un 50% de su valor original<sup>32</sup>.

Finalmente se debe tener en cuenta que de acuerdo a los supuestos de la evaluación, la estructura general de ingresos y costos durante el transcurso del horizonte de planificación del proyecto no sufrirá cambios.

Si se considera a priori que el precio de venta de los pellets dentro de los mercados internacionales fluctúa entre los 110 y 120 US\$/ton, por lo tanto para un análisis inicial, se considerara como precio máximo de venta para los pellets de producción nacional 120 US\$/ton, lo que equivale a un 22% de utilidad por sobre el costo unitario.

---

<sup>22</sup> De acuerdo a la literatura la maquinaria y la infraestructura sufren una depreciación anual del orden de un 10 y un 2% respectivamente, mientras que el terreno no sufre devaluación (Sapag, 1998).

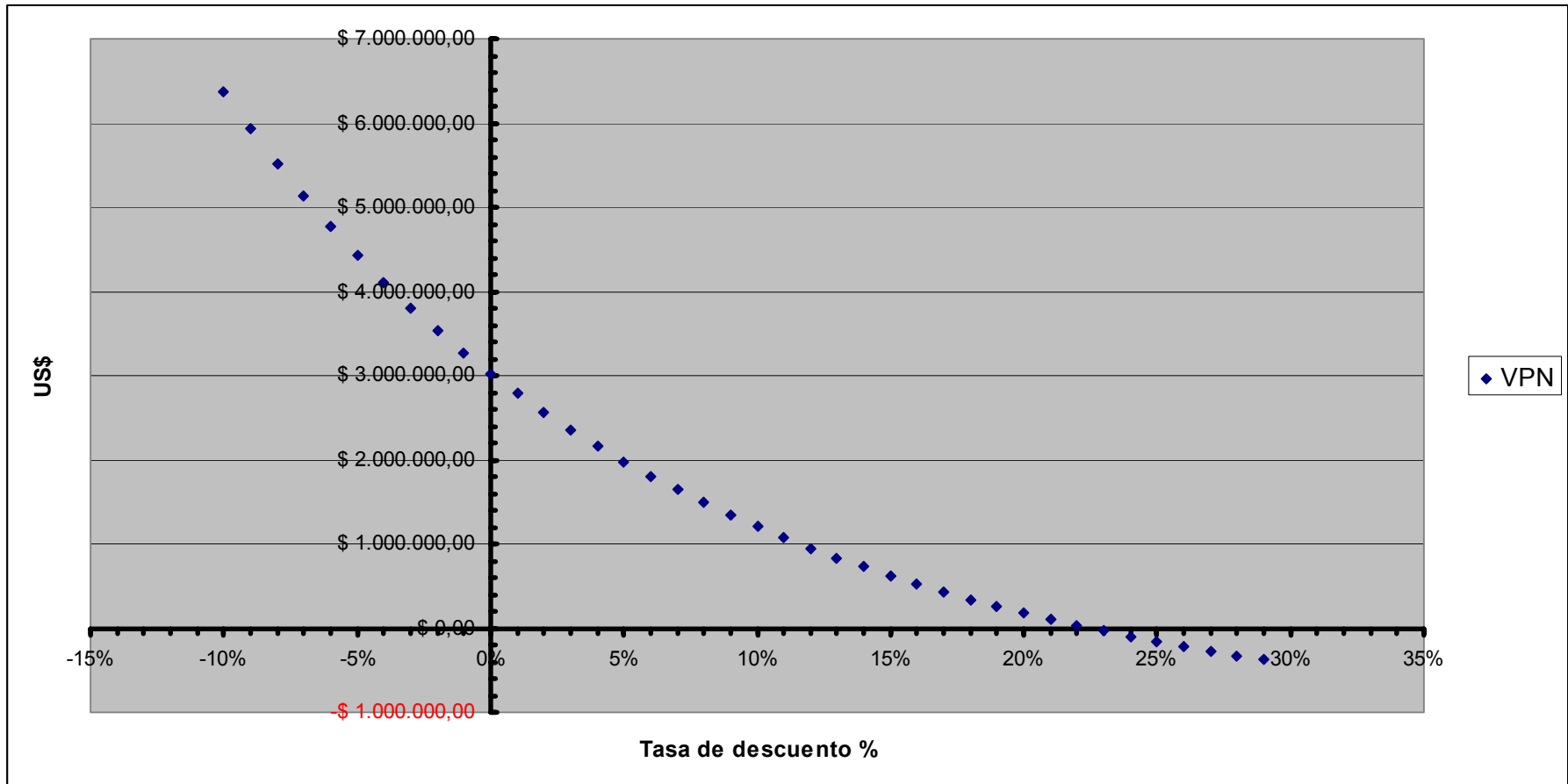
Tabla N°25

Flujo de caja proyectado, con un horizonte de planificación de 5 años y una tasa de interna de retorno del 10%

ítem	0	1	2	3	4	5
ventas		5.978.741	5.978.741	5.978.741	5.978.741	5.978.741
costo producción, administración y exportación		-4.139.959	-4.139.959	-4.139.959	-4.139.959	-4.139.959
<b>utilidad bruta</b>		1.666.669	1.666.669	1.666.669	1.666.669	1.666.669
tributación (17%)		283.334	283.334	283.334	283.334	283.334
<b>utilidad después de impuesto</b>		1.383.335	1.383.335	1.383.335	1.383.335	1.383.335
infraestructura	-930.039					
maquinaria	-1.495.700					
inversiones menores	-135.515					
capital de trabajo	-1.241.988					
<b>crédito</b>	-3.803.242					
<b>intereses (8%)</b>		<b>-\$ 304.259,36</b>	<b>-\$ 252.396,39</b>	<b>-\$ 196.384,38</b>	<b>-\$ 135.891,41</b>	<b>-\$ 70.559,00</b>
<b>flujo de caja (US\$)</b>	-3.803.242	1.251.189	1.303.052	1.359.064	1.419.557	1.484.889
<b>Vpn (<math>\alpha=10\%</math>)</b>	<b>US\$ 1.203.423,34</b>					
<b>Tir</b>	<b>22%</b>					

Gráfico N°7

Análisis gráfico de la variación del VPN del proyecto en estudio en relación con la tasa de descuento del proyecto.



En el flujo de caja, se puede observar que dentro de un escenario en el que el precio de los pellets este dado por 120 US\$/ton y considerando además un valor de desecho de las inversiones en infraestructura y maquinaria equivalente a US\$ 0, se obtiene un VPN de US\$1.203.423,34 y una tasa interna de retorno del orden de un 22,43%. El pago de los créditos solicitados en el año cero de la planificación, se lleva a cabo en cuotas anuales iguales de US\$ 760.649, además del correspondiente interés anual, logrando así al término de la planificación el pago total de la deuda.

En el análisis gráfico se puede observar que el VPN del proyecto toma un valor 0 US\$, cuando la tasa de interés alcanza un 22, 43%, lo que implica que en términos económicos, la inversión llevada a cabo para la ejecución del proyecto es recuperada al término del horizonte de planificación mientras la tasa de descuento (interés bancario) no supere este valor.

## **5.8.2 Análisis de sensibilidad de los resultados**

Para efectos de este estudio se llevará a cabo un análisis de sensibilidad sobre las variables precio de venta, costos, y nivel de producción, con el fin de analizar los parámetros del proyecto en diferentes escenarios.

### **5.8.2.1 Análisis de sensibilidad sobre el precio de venta**

La variación del precio de venta influye directamente en los ingresos que tendrá el proyecto a lo largo de su desarrollo. Para efectos de este estudio se considera un precio máximo de venta de los pellets a granel, dentro de los mercados internacionales de 120 US\$/ton. Este precio considera un 22%<sup>33</sup> de utilidad o diferencial en relación con el costo unitario obtenido dentro de este estudio. Llevando a cabo una disminución en el margen de utilidad, los parámetros iniciales del proyecto se comportan de la siguiente forma:

---

<sup>23</sup>  $Pv = Cu(1 + \sigma)$  ; donde Pv: precio de venta, Cu: costo unitario,  $\sigma$ : % de aumento por sobre el costo unitario.

Tabla N°26  
Análisis de sensibilidad sobre el precio de venta ( $\alpha = 10\%$ )

margen utilidad	precio venta	ingresos	VPN	TIR
%	US\$/ton	US\$/año	US\$	%
22	120	5.978.741,17	1.203.423,34	22
17	115	5.733.710,80	502.557,83	15
14	112	5.586.692,57	82.038,52	11
13	111	5.537.686,50	-58.134,58	9

Se puede observar que el margen mínimo de utilidad sobre los costos que permite un VPN positivo es de un 14%, con un precio de venta de 112 US\$/ton. Sin embargo, debido a los altos niveles de inversión necesarios para la ejecución de este proyecto, el bajo nivel de retorno económico obtenido al término del horizonte de planificación no haría atractiva la ejecución del proyecto a este precio de venta.

Gráfico N°8

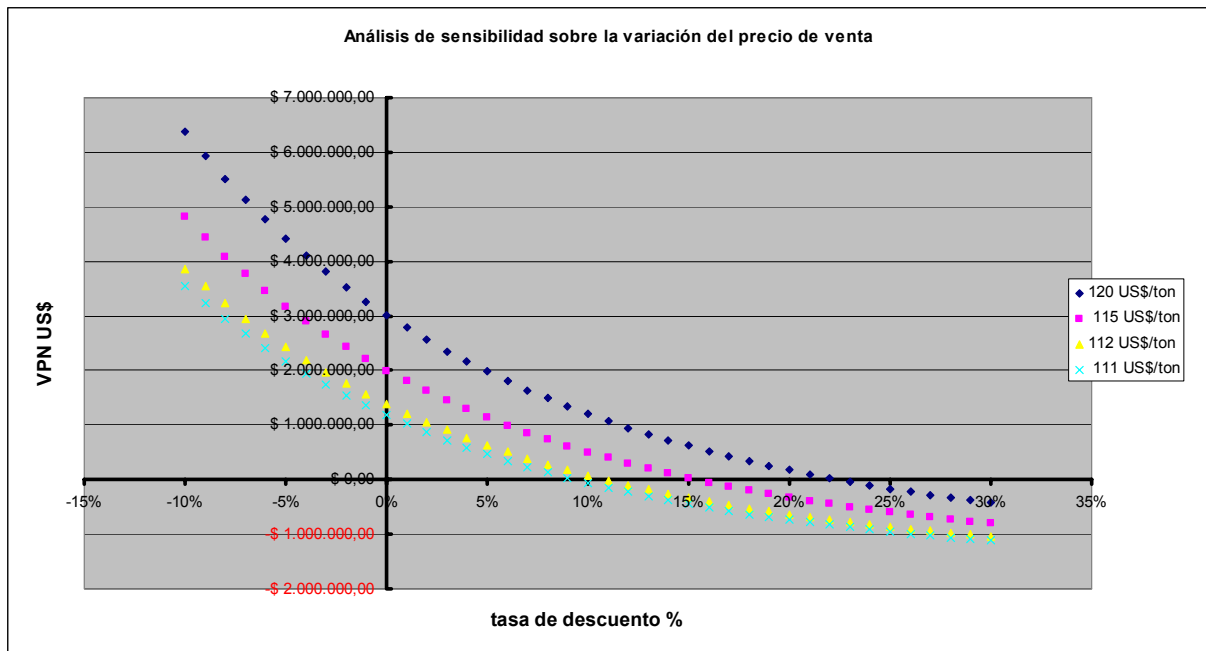


Tabla N° 27

Análisis de sensibilidad sobre diferentes precios de venta (US\$/ton) de la producción de pellets.

120 US\$/ton		115 US\$/ton		112 US\$/ton		111 US\$/ton	
VPN US\$	tasa de descuento	VPN US\$	tasa de descuento	VPN US\$	tasa de descuento	VPN US\$	tasa de descuento
1.803.726,88	6%	995.528,41	6%	510.609,33	6%	348.969,64	6%
1.640.475,90	7%	861.150,18	7%	393.554,74	7%	237.689,60	7%
1.486.388,40	8%	734.519,65	8%	283.398,40	8%	133.024,65	8%
1.340.883,76	9%	615.141,88	9%	179.696,75	9%	34.548,37	9%
1.203.423,34	10%	502.557,83	10%	82.038,52	10%	-58.134,58	10%
1.073.507,12	11%	396.341,50	11%	-9.957,87	11%	-145.391,00	11%
950.670,56	12%	296.097,23	12%	-96.646,76	12%	-227.561,43	12%
834.481,77	13%	201.457,30	13%	-178.357,38	13%	-304.962,28	13%
724.538,94	14%	112.079,66	14%	-255.395,90	14%	-377.887,75	14%
620.467,95	15%	27.645,99	15%	-328.047,18	15%	-446.611,57	15%
521.920,28	16%	-52.140,20	16%	-396.576,50	16%	-511.388,59	16%
428.570,99	17%	-127.555,26	17%	-461.231,00	17%	-572.456,25	17%
340.116,92	18%	-198.856,87	18%	-522.241,14	18%	-630.035,90	18%
256.275,09	19%	-266.285,54	19%	-579.821,91	19%	-684.334,04	19%
176.781,15	20%	-330.065,83	20%	-634.174,02	20%	-735.543,42	20%
101.388,02	21%	-390.407,58	21%	-685.484,95	21%	-783.844,07	21%
29.864,61	22%	-447.506,99	22%	-733.929,94	22%	-829.404,26	22%
-38.005,37	23%	-501.547,57	23%	-779.672,89	23%	-872.381,33	23%
-102.424,40	24%	-552.701,13	24%	-822.867,16	24%	-912.922,51	24%

En la tabla anterior se puede observar que al disminuir el precio de venta de los pellets a 111US\$/ton, la tasa de descuento del proyecto no puede superar el 9%. A una tasa de descuento mayor el VPN del proyecto se hace negativo, es decir se producen pérdidas económicas.

### 5.8.2.2 Análisis de sensibilidad sobre el nivel de producción

Al momento de variar el nivel de producción, debe considerarse que existen costos que varían paralelamente con este parámetro por estar directamente relacionados con las toneladas producidas al año. Entre estos se encuentran los costos asociados al consumo de energía eléctrica, la materia prima y los costos por exportación<sup>34</sup>.

Para efectos de este análisis se considera como capacidad de producción máxima de la maquinaria 50.000 toneladas de pellets al año y un precio de venta fijo en 120 US\$/ton.

Tabla N°28  
Análisis de sensibilidad sobre el nivel de producción ( $\alpha = 10\%$ ).

disminución en la producción	nivel de producción	producción ton/año	costos US\$/año	ingresos US\$/año	VPN US\$	Tir %
%	%					
0	100	50.000	4.139.959	5.978.741	\$ 1.203.423,34	22
10	90	47.500	3.953.464	5.679.804	\$ 881.803,16	19
20	80	45.000	3.766.969	5.380.867	\$ 560.182,97	16
30	70	42.500	3.580.474	5.081.930	\$ 238.562,79	13
38	62	40.500	3.431.278	4.842.780	<b>-\$ 18.733,36</b>	10

Al disminuir el nivel de producción, paralelamente disminuyen los ingresos por concepto de ventas. De esta manera al disminuir la producción en un 38%, el desarrollo del proyecto en un horizonte de planificación de 5 años se hace inviable por presentar un VPN negativo, es decir se producen pérdidas económicas del orden de US\$18.733.

<sup>34</sup> La materia prima, los costos por exportación y el consumo de energía, pueden ser considerados costos variables dentro de este análisis, ya que varían directamente del nivel de producción.

Tabla N° 29

Análisis de sensibilidad sobre diferentes capacidades de producción (ton/año).

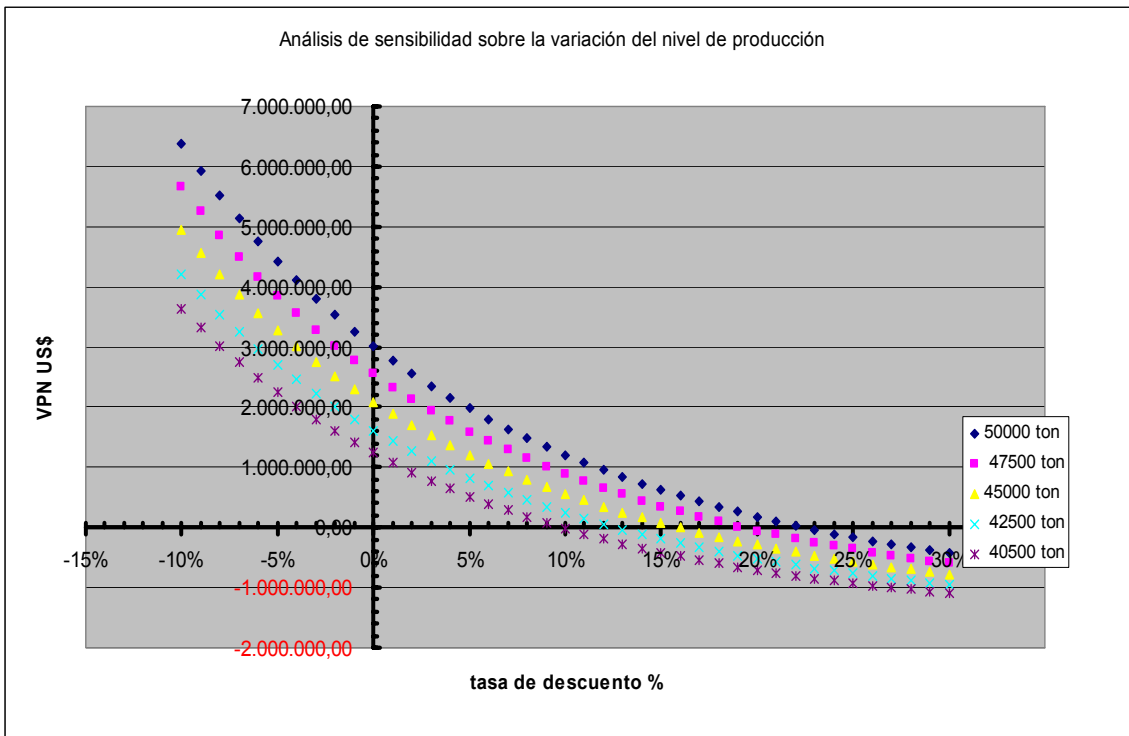
50000 ton		47500 ton		45000 ton	
VPN	tasa de descuento	VPN	tasa de descuento	VPN	tasa de descuento
1.486.388,40	8%	1.141.363,34	8%	796.338,28	8%
1.340.883,76	9%	1.007.848,06	9%	674.812,36	9%
1.203.423,34	10%	881.803,16	10%	560.182,97	10%
1.073.507,12	11%	762.762,58	11%	452.018,04	11%
950.670,56	12%	650.293,40	12%	349.916,24	12%
834.481,77	13%	543.993,16	13%	253.504,55	13%
724.538,94	14%	443.487,49	14%	162.436,05	14%
620.467,95	15%	348.427,88	15%	76.387,80	15%
521.920,28	16%	258.489,66	16%	-4.940,97	16%
428.570,99	17%	173.370,21	17%	-81.830,57	17%
340.116,92	18%	92.787,23	18%	-154.542,46	18%
256.275,09	19%	16.477,24	19%	-223.320,62	19%
176.781,15	20%	-55.805,87	20%	-288.392,88	20%
101.388,02	21%	-124.292,07	21%	-349.972,16	21%
29.864,61	22%	-189.196,45	22%	-408.257,51	22%
-38.005,37	23%	-250.720,25	23%	-463.435,14	23%
-102.424,40	24%	-309.051,90	24%	-515.679,39	24%

42500 ton		40500 ton	
VPN	tasa de descuento	VPN	tasa de descuento
451.313,22	8%	175.293,17	8%
341.776,65	9%	75.348,09	9%
238.562,79	10%	-18.733,36	10%
141.273,50	11%	-107.322,14	11%
49.539,07	12%	-190.762,66	12%
-36.984,05	13%	-269.374,94	13%
-118.615,39	14%	-343.456,55	14%
-195.652,28	15%	-413.284,34	15%
-268.371,59	16%	-479.116,09	16%
-337.031,35	17%	-541.191,97	17%
-401.872,15	18%	-599.735,90	18%
-463.118,47	19%	-654.956,75	19%
-520.979,90	20%	-707.049,52	20%
-575.652,26	21%	-756.196,33	21%
-627.318,56	22%	-802.567,41	22%
-676.150,03	23%	-846.321,94	23%
-722.306,88	24%	-887.608,87	24%



Como se muestra en la tabla N°9, el nivel de la producción puede disminuir hasta 40.500 ton/año siempre que la tasa de descuento no supere el 9 %. Al mantener una producción de 50.000 ton/año, la tasa de descuento del proyecto puede aumentar hasta un 22%, sin que haya pérdidas económicas al término del horizonte de planificación del proyecto.

Grafico N°9



### 5.8.2.3 Análisis de sensibilidad sobre los costos

Para llevar a cabo este análisis se debe considerar un precio de venta fijo en 120 US\$/ton y un nivel de producción nominal de 50.000 ton/año.

Tabla N° 30  
Análisis de sensibilidad de sobre los costos ( $\alpha = 10\%$ )

aumento en el nivel de costos %	costos US\$/año	ingresos US\$/año	VPN US\$	Tir %
0	4.139.959	5.978.741	\$ 1.203.423,34	22
5	4.346.957	5.978.741	\$ 611.342,75	16
7	4.429.756	5.978.741	\$ 374.510,52	14
9	4.512.555	5.978.741	\$ 137.678,28	11
11	4.595.355	5.978.741	-\$ 99.153,95	9

En la tabla se puede observar que solo es posible aumentar el nivel de costos hasta un 9% sin producir pérdidas económicas al término de la ejecución del proyecto.

Grafico N°10

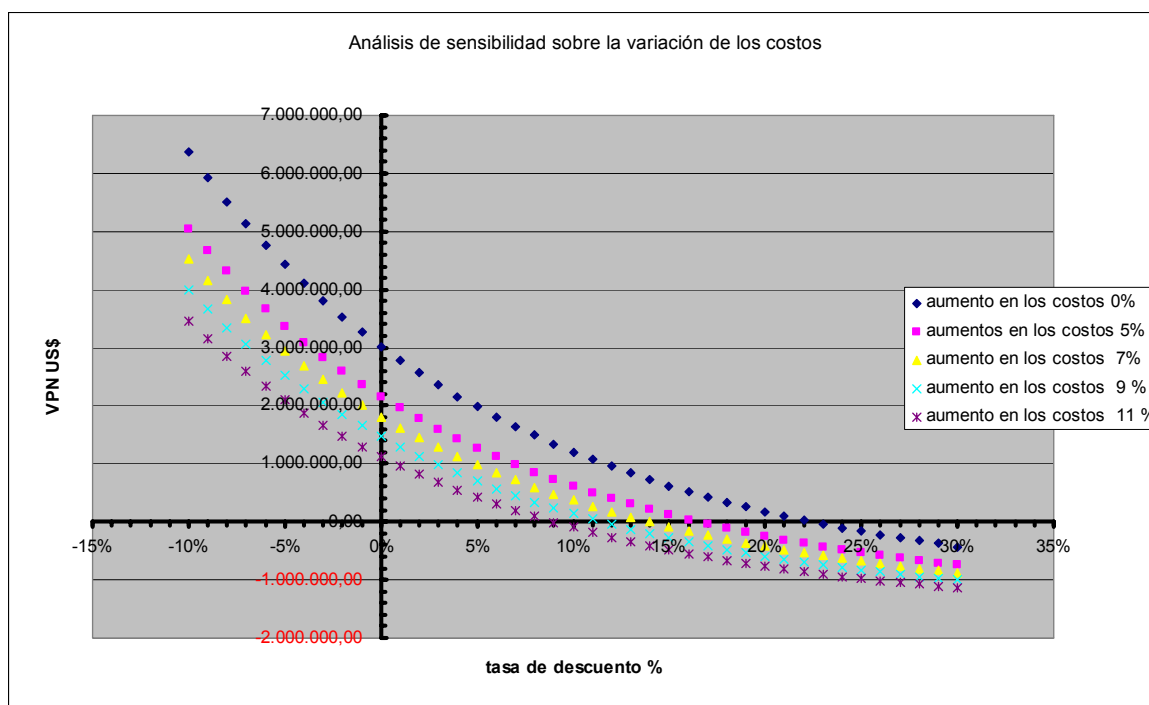


Tabla N° 31

Análisis de sensibilidad sobre diferentes niveles de costos (US\$/año).

aumento en los costos 0%		aumentos en los costos 5%		aumento en los costos 7%	
VPN	tasa de descuento	VPN	tasa de descuento	VPN	tasa de descuento
1.486.388,40	8%	851.221,05	8%	597.154,11	8%
1.340.883,76	9%	727.787,99	9%	482.549,68	9%
1.203.423,34	10%	611.342,75	10%	374.510,52	10%
1.073.507,12	11%	501.447,84	11%	272.624,13	11%
950.670,56	12%	397.696,91	12%	176.507,45	12%
834.481,77	13%	299.712,27	13%	85.804,47	13%
724.538,94	14%	207.142,60	14%	184,07	14%
620.467,95	15%	119.660,93	15%	-80.661,88	15%
521.920,28	16%	36.962,66	16%	-157.020,38	16%
428.570,99	17%	-41.236,05	17%	-229.158,87	17%
340.116,92	18%	-115.199,99	18%	-297.326,75	18%
256.275,09	19%	-185.176,23	19%	-361.756,75	19%
176.781,15	20%	-251.395,51	20%	-422.666,18	20%
101.388,02	21%	-314.073,47	21%	-480.258,07	21%
29.864,61	22%	-373.411,70	22%	-534.722,22	22%
-38.005,37	23%	-429.598,81	23%	-586.236,19	23%

aumento en los costos 9 %		aumento en los costos 11 %	
VPN	tasa de descuento	VPN	tasa de descuento
343.087,17	8%	89.020,23	8%
237.311,38	9%	-7.926,93	9%
137.678,28	10%	-99.153,95	10%
43.800,42	11%	-185.023,29	11%
-44.682,00	12%	-265.871,46	12%
-128.103,33	13%	-342.011,13	13%
-206.774,46	14%	-413.732,99	14%
-280.984,70	15%	-481.307,51	15%
-351.003,43	16%	-544.986,48	16%
-417.081,69	17%	-605.004,50	17%
-479.453,51	18%	-661.580,27	18%
-538.337,28	19%	-714.917,80	19%
-593.936,85	20%	-765.207,51	20%
-646.442,66	21%	-812.627,26	21%
-696.032,74	22%	-857.343,26	22%
-742.873,57	23%	-899.510,94	23%

En la tabla se puede observar que los costos pueden aumentar hasta en un 11 %, siempre que la tasa de descuento del proyecto no supere el 8 %. A tasas de descuento mayores se producen pérdidas económicas.

## **Capítulo VI: Conclusiones**

### **6.1 Existencia de materia prima disponible en la zona de estudio**

La disponibilidad de materia prima en la VIII región de acuerdo a las estimaciones realizadas con base en los antecedentes del Instituto Forestal para el año 2002 en donde se determinó que el consumo de madera en trozas fue de cerca de 14.666.713 mt<sup>3</sup> ssc, y teniendo en consideración que cerca de un 20% de la troza de madera posterior a su procesamiento corresponde a aserrín, los desechos producidos en la región por la industria de la madera alcanzan cerca de los 3 millones de mt<sup>3</sup>.

Aunque la mayoría de las empresas forestales están orientadas en la actualidad a aumentar al máximo el aprovechamiento de sus desechos, principalmente para la alimentación de calderas y secadores, de acuerdo a algunos productores industriales existe una porción cercana al 40% del total de los desechos que en la actualidad no es aprovechada, siendo esta equivalente a 1.173.337,04 mt<sup>3</sup>, los que, en teoría, estarían disponibles para el desarrollo de una producción de pellets.

La materia prima necesaria para el desarrollo del proyecto de peletizado correspondiente a este estudio es de 400.000 mt<sup>3</sup> stereos/año de desechos, compuestos mayoritariamente por aserrín y en una menor proporción por corteza. Esta cifra considera tanto la porción de aserrín y corteza utilizados por el secador, para el secado de la materia prima, como la materia prima destinada al peletizado.

De esta manera, en teoría el proyecto de peletizado de aserrín utilizaría un 35% del total de los desechos producidos por la industria forestal en la VIII región y que en la actualidad no tienen un destino comercial bien definido.

## 6.2 Determinación de la inversión inicial y evaluación del desarrollo del proyecto

El nivel de inversión real para el desarrollo de este tipo de proyectos en el país considerando los costos involucrados en el desarrollo de la producción como la adquisición de la maquinaria y la infraestructura necesaria, esta en un rango cercano a los 4 millones de dólares.

Este monto de inversión, requiere de un alto nivel de endeudamiento por parte de las empresas, y por ende se requiere que la gestión comercial sea capaz de insertar dentro de los mercados internacionales, la totalidad de la producción, con las mejores alternativas existentes relativas a precios.

Considerando el monto de inversión necesario y los costos asociados al desarrollo de la producción observados en este estudio, el costo unitario por tonelada de pellets producida esta dado por US\$ 98, monto que considera tanto los costos propios de la producción, administración y exportación, además del pago del crédito y los intereses por concepto de inversión en maquinaria, infraestructura y capital de trabajo.

Si se considera un margen de utilidad sobre los costos de un 22%, el precio de venta final para los pellets esta dado, para efectos de este estudio por 120 US\$/ton.

Para principios del año 2003 el precio promedio de los pellets en algunos países de Europa fue del orden de 169 US\$/ton y 250 US\$/ton (Eubinet , “Fuel prices in Europe 2002/2003”, Marzo 2003). De acuerdo a este antecedente, el precio estimado dentro de este estudio para los pellets de producción nacional correspondiente a 120 US\$/ton, estaría por debajo de los precios internacionales por un margen de entre 49 y 130 US\$/ton de los pellets a granel para consumidores a gran escala y los pellets para uso residencial respectivamente.

De acuerdo al Pellet Fuels institute<sup>35</sup> el precio de los pellets esta en un rango de entre 120 y 200 US\$/ton, con un valor promedio de 150 US\$/ton dependiendo de la temporada del año. Frente a este escenario los pellets de producción nacional estarían

---

<sup>25</sup> [www.pelletheat.org](http://www.pelletheat.org)

por debajo en términos de precios por cerca de 30 US\$/ton. Claro está que esta situación de acuerdo al PFI se da en el caso de los pellets de uso residencial.

### **6.3 Sensibilidad del proyecto**

De acuerdo al análisis de sensibilidad, se puede concluir que los costos relacionados con la producción de pellets, constituyen la variable más sensible del proyecto, dentro de los cuales, el costo por concepto de flete naviero, es el más gravitante. De acuerdo a este estudio se logró determinar que los costos de flete naviero constituyen hasta un 62% del costo total por tonelada producida y puesta en destino final. En un concierto internacional como el actual en el que las tarifas relativas a fletes navieros se han incrementado notablemente, en niveles de hasta un 70%, con respecto al año 2003 ([www.lignum.cl](http://www.lignum.cl)), el comercio internacional de commodities como es el caso de los pellets, y de la mayoría de las exportaciones forestales, se sensibiliza de sobre manera debido a la baja probabilidad de generar valor agregado a este tipo de producción. Es posible vislumbrar de acuerdo a lo anterior, que en un escenario en el que los precios por concepto de transporte de carga marítima sigan incrementándose, nuevas estrategias deberán ser desarrolladas en pro de disminuir los costos por concepto de producción, en el caso de que no sea factible el aumento de precios, con el fin de hacer viable la exportación de este tipo de productos.

Dentro de los costos, otro de los ítems de alta relevancia lo constituye el costo y la disposición de la materia prima. En este sentido el costo por concepto de materia prima equivale a cerca de un 10% del costo unitario por producción de una tonelada de pellets, de acuerdo a las estimaciones consideradas para la elaboración de este proyecto. Teniendo en cuenta que en un escenario optimista, toda la materia prima es comprada dentro de la zona de estudio (para efectos de este proyecto la zona de Concepción), el precio de la materia prima es de aproximadamente 1,32 US\$/mt<sup>3</sup>, mientras que en un escenario menos optimista, sería necesario llevar a cabo la compra de materia prima fuera de la zona de Concepción en donde el precio del aserrín es de aproximadamente de 3,31 US\$/ mt<sup>3</sup> puesto en cancha. En el escenario menos optimista, solo el 70% de la materia prima podría ser adquirido dentro de la zona de estudio y el 30% debería ser adquirido fuera, situación en la que los costos por materia prima se incrementan en cerca

de un 44%, llegando el costo unitario por materia prima a 15,3 US\$/ton, situación que complicaría de sobremanera la factibilidad del proyecto.

Con relación al nivel de producción, al disminuir en un 38%, lo que implica una producción nominal del orden de 40.500 ton/año, y manteniendo un precio de venta de 120 US\$/ton, se producen pérdidas económicas del orden de los US\$ 18.733. Una disminución aceptable en términos económicos en el nivel de producción sería del 20%, lo que considera una producción nominal de 45.000 ton/año con un VPN del orden de US\$ 560.182,97 y una tasa interna de retorno de un 16%. Sin embargo, este retorno económico puede ser o no atractivo para los inversionistas, considerando el nivel de inversión inicial necesario para la ejecución del proyecto y las diferentes alternativas de proyectos o inversiones existentes al momento de la evaluación del proyecto.

Si bien el nivel de producción incide de manera importante en lo relativo a ingresos por concepto de venta, en virtud del análisis, se puede observar que esta variable presenta una mayor estabilidad en comparación con los costos asociados a la producción.

Finalmente el precio de venta, de acuerdo a los parámetros de análisis iniciales del proyecto, puede mantener un nivel mínimo de utilidad sobre los costos de un 14% obteniéndose así un precio de venta de 112US\$/ton con un VPN y una TIR de US\$ 82.038 y un 11% respectivamente. Sin embargo, es con un precio promedio de 115 US\$/ton con el que se obtienen parámetros más optimistas, con un VPN de US\$ 502.557 y una TIR de un 15%.

De acuerdo al análisis de sensibilidad llevado a cabo dentro de este estudio, el precio de los pellets de producción nacional destinados a la exportación, para efectos del mismo queda definido en el rango de los 115 y 120 US\$/ton.

## 6.4 Observaciones generales

El desarrollo de una producción nacional de pellets a partir de desechos de madera requiere niveles de inversión cercanos a los 4 millones de dólares. Este tipo de proyectos implica además la incorporación de nuevas tecnologías relacionadas tanto con el peletizado como con la combustión de los pellets, lo que necesariamente involucra el desarrollo de una profunda investigación por parte de las empresas que deseen desarrollar este tipo de iniciativas. Desde otro punto de vista, el análisis de las políticas internacionales relacionadas con el mercado de los biocombustibles y del desarrollo de este tipo de mercados en el concierto mundial, se hace indispensable al considerar la ejecución de este tipo de proyectos.

Una barrera difícil de sortear, al momento de la evaluación de este tipo de proyectos la constituyen los costos por concepto de transporte naviero. Esto es debido principalmente a la situación internacional actual, en la que el repunte en términos de desarrollo que han tenido algunos de los mercados asiáticos (como el mercado Chino, con tasas de crecimiento anual de hasta un 10%), han desembocado en un importante incremento en el flujo de buques hacia ese destino, generando una escasez de naves de carga, lo que ha encarecido los costos asociados a este tipo de transporte, poniendo en jaque los lineamientos estratégicos de las empresas que fundamentan su política económica en la exportación.

Un amplio conocimiento de los mercados internacionales y de las regulaciones existentes en torno a la generación de bioenergía y en especial a la regulación relacionada con este tipo de combustibles, se hace necesario al momento de establecer la mejor alternativa de mercado para la comercialización de los pellets producidos en nuestro país. Esto debido a que en la actualidad, en la mayoría de los países productores de pellets y que a la vez constituyen los principales consumidores de estos combustibles, mantienen políticas de fomento al desarrollo de este tipo de tecnologías, lo que eventualmente en un escenario hipotético constituiría una desventaja para la entrada de una nueva oferta de estos combustibles.

Desde otro punto de vista la inestabilidad en términos de precios existente en relación con combustibles como el petróleo y el diesel sumado a la existencia de políticas



internacionales orientadas a la disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub>, tales como el Protocolo de Kyoto, favorecen el desarrollo de este tipo de proyectos en pro de la generación de energía limpia, sobre todo considerando la existencia de instrumentos económicos de gestión, como los bonos de emisión transables<sup>36</sup>, mediante los cuales empresas de países “desarrollados” pueden financiar proyectos de sustitución de tecnologías contaminantes por otras menos dañinas con el ambiente, pudiendo así disminuir sus niveles de emisión y cumpliendo de este modo con los acuerdos incluidos dentro del protocolo antes mencionado. Entre estas iniciativas se incluye aquellas en que el cambio tecnológico permita el reemplazo de combustibles de origen fósil por la implementación de calderas o quemadores que funcionen a base de combustibles menos contaminantes, como por ejemplo los pellets. En este sentido el escenario internacional en relación con la generación de energía, presenta condiciones muy favorables para el desarrollo de este tipo de proyectos, solo resta encontrar la mejor estrategia de inserción en los mercados del mundo, para una producción de biocombustibles generada en nuestro país.

A la fecha en nuestro país no se han desarrollado proyectos de generación de biocombustibles orientados a la exportación, aunque si existe un amplio desarrollo en la utilización de los desechos forestales industriales como fuente directa para la generación de energía, principalmente en su aplicación dentro de los procesos industriales propios del sector, ya sea en la alimentación de calderas o secadores, mientras que en el ámbito de la generación de energía en el sector público, esta ha tenido un mucho menor grado de aplicación (en comparación con mercados mas desarrollados en los que la generación de energía por concepto de biocombustibles llega a niveles incluso superiores al 30% del total de energía utilizada).

De esta manera el desarrollo de una producción de pellets para la generación de energía y su eventual exportación hacia mercados mas desarrollados, constituye un nicho atractivo para los inversionistas nacionales, siempre que las condiciones tanto internas como externas al mercado nacional, relacionadas principalmente con la demanda y los precios de transacción de este tipo de combustibles, así como la estabilidad del dólar, se

---

<sup>26</sup> Los permisos o bonos de emisión transables (PET) son instrumentos económicos de gestión ambiental que posibilitan alcanzar un determinado objetivo ambiental con el mínimo costo para la sociedad (<http://www.unesco.org.uy/phi/libros/VIJornadas/C34.pdf>).

muestren significativamente mas favorables, en comparación con otras alternativas de utilización de los desechos provenientes de la industria forestal.

## Bibliografía

1. Alakangas, Eija. Et al. "Wood pellets in Finland, technology economy and market". OPET Report 5, Technical Research Center of Finland, 2002.
2. Beaumont Roveda, Eduardo. "El rol de la Energía de la Madera en Latinoamérica y el Caribe". Departamento de Montes, FAO, Roma; Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile. Abril 2001.
3. Cox, Andrew. "Low Carbon Heating whit Wood Pellet Fuel". A Report by XCO2 Conisbee Ltd, Main Sponsor: Pilkington Energy Efficiency Trust. Co Sponsor: Envirogen Sustainable Resources Ltd, PEET. UK 2000. <http://www.xco2.com>.
4. Comisión Nacional de Energía. "Balance Nacional de Energía 2001". Gobierno de Chile, Junio 2002. <http://www.cne.cl>.
5. Comisión Nacional de Energía. "Balance Nacional de Energía 2000". Gobierno de Chile, Junio 2001. <http://www.cne.cl>.
6. Comisión Nacional de Energía. "Balance Nacional de Energía 1999". Gobierno de Chile, Junio 2000. <http://www.cne.cl>.
7. Comisión Nacional de Energía. "Balance Nacional de Energía 1998". Gobierno de Chile, Junio 1999. <http://www.cne.cl>.
8. Comisión Nacional de Energía. "Balance Nacional de Energía 1997". Gobierno de Chile, Junio 1998. <http://www.cne.cl>.
9. Instituto Forestal, Corporación de Fomento de la Producción, Comisión Nacional de Energía. "Evaluación del Consumo de Leña en Chile en 1992", Informe Técnico N°130; Santiago, Chile.
10. Instituto Forestal. "Estadísticas Forestales 2001, Boletín Estadístico N°84". Santiago, Chile. Septiembre 2002.

11. Instituto Forestal. "Estadísticas Forestales 2002, Boletín Estadístico N°85". Santiago, Chile. Agosto 2003.
12. European Bioenergy Networks. "Fuels prices in Europe 2002/2003". Marzo 2003. <http://www.eubionet.vtt.fi>.
13. Hillring, Bengt. Seminar on Strategies for the sound use of Wood, session III about "Bioenergy-traditional fuels traded in to new markets". TIM/SEM.1/2003/R.9. Economic Commission for Europe, Food and Agriculture Organization (FAO). Marzo 2003.
14. Malisius, U. et al."Wood Pellets in Europe". Industrial Network on Wood Pellets, Thermie B Project Dis/2043/98-AT, Coordinado por UMBERA GmbH, St.Polten, Austria (2000).
15. Morales Adaro, Ramiro. "Análisis Económico de Proyectos Privados". Santiago, 2003.
16. Ortiz, Luís. "Energías Xilogeneradas". Universidad de Vigo, España. 1994.
17. Quezada Pacheco, Alejandro. "Estudio técnico-económico de la fabricación de pellets de aserrín". Tesis Ingeniería Forestal. Universidad de Talca, Chile. 1999.
18. Revista Lignum, 1977. Fundación Chile, "Ficha Forestal : Aserrín", Junio, páginas N° 33-34.
19. Sapag, Nassir. "Preparación y Evaluación de Proyectos". Editorial Mc Graw Hill, 3ª Edición. 1998.
20. Smith, Eric D. "An Introduction to Wood Pelleting". ESA Process Equipment, Inc. Canadá. 2002. (ESAEquip@aol.com).
21. Suurs, Roald. "Long distance bioenergy logistics, an assessment of costs and energy consumption for various biomass energy transport chains". Utrecht

University-Copernicus Institute, Department of Science, Technology and Society.  
Lund University, Department of Environmental and Energy Systems Studies.  
Report NWS-E-2002-01 ISBN 90-73958-83-0. Enero 2002.

22. Tilt, Yumi Koyama. "List of Wood Pellet Manufacturers in Europe, Second Edition".  
Diciembre del 2000.
23. Tilt, Yumi Koyama. "Micro-cogeneration for Single Family Dwellings, Evaluating the  
European Sales Potential of External Power's Wood Pellet Fuelled 1 Twin  
".Department of Intercultural Communication and Management", Copenhagen  
Business School, Junio del 2001.
24. Thek, G. "Wood Pellet Production Costs Under Austrian and in Comparison to  
Swedish Framework Conditions". Publicado en: "Proceedings of the 1° World  
Conference on Pellets", Septiembre 2002, Estocolmo, Suecia. ISBN 91-631-2833-  
0, pp. 123-128, Swedish Bioenergy Association.
25. Valencia, Juan Pablo. "Evaluación económica de la instalación de una planta  
termoeléctrica basada en desechos leñosos". Tesis Ingeniería Forestal. Facultad  
de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad de Chile. 1996.
26. <http://www.camelweb.co.uk/pellets/contact.htm> ; "About home pellets stoves and  
roomheaters" (Sobre estufas de pellets caseras y calefacción hogareña).
27. <http://www.home.worldonline.dk/~imuy/woodpellets/news.htm> ; "Wood Pellets  
manufacturers in Europe.
28. <http://www.pelletheat.org>. Pellet Fuel Institute. EEUU, 2002.
29. <http://www.cne.cl>, Comisión Nacional de Energía, Chile 2002.
30. <http://www.infor.cl>, Instituto Forestal, Chile 2002.

31. <http://www.ee/baltic21/indicators/in02.htm#region> . Industrial energy consumption, renewable and non-renewable. International Energy Agency, Mayo 2000.
32. <http://www.energiaverde.cl>. Energía Verde, Chile 2003.
33. Instituto Forestal. "Estadísticas Forestales 2002, Boletín Estadístico N°85". Santiago, Chile. Agosto 2003.
34. <http://www.carbonifera.cl>, 1999. Santiago, Chile.

## **Anexos**

## Sección 1

- Instalaciones y maquinaria involucrada dentro del proceso de producción.

Foto 1  
Galpones tipo tubular considerados para la instalación de la maquinaria y la bodega de la planta de pellets.



Fuente: [www.thx.cl](http://www.thx.cl) , 2003.

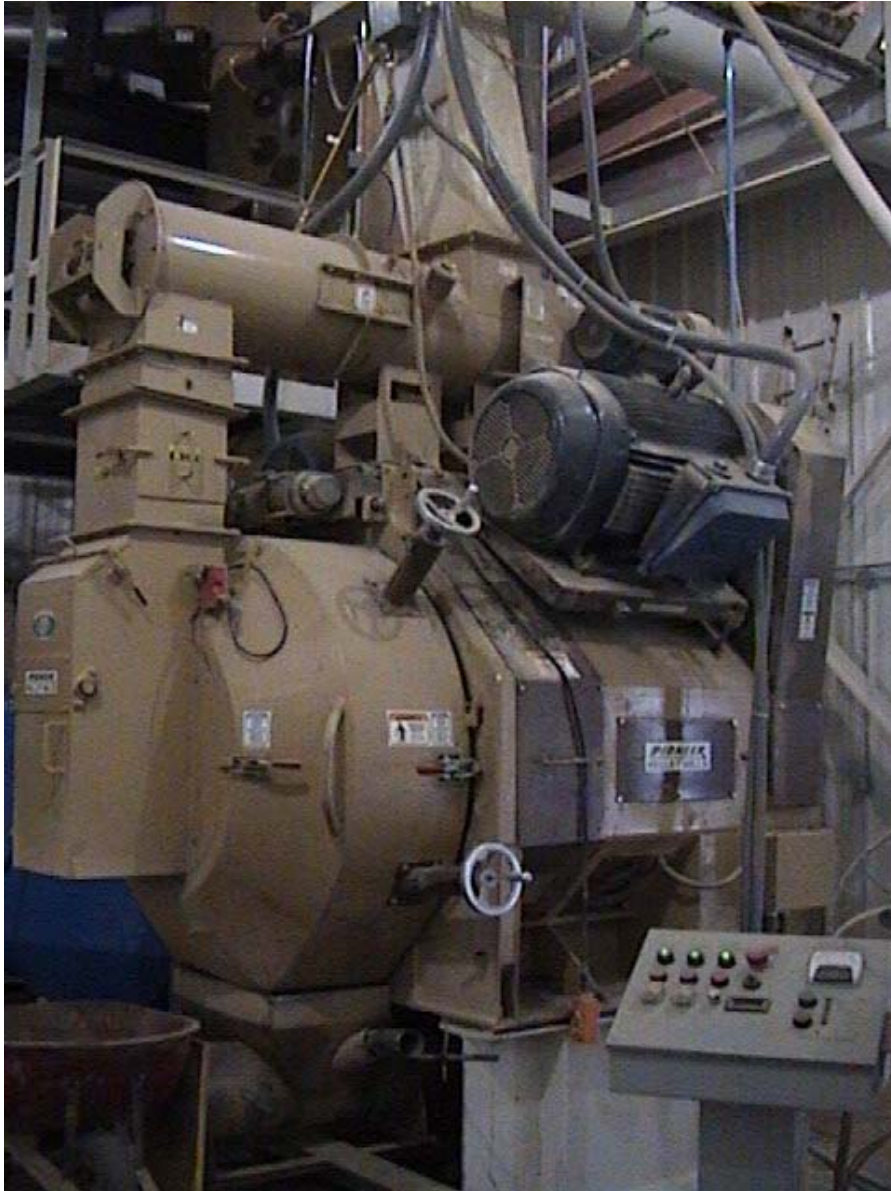


Foto 2  
Combustor de pellets y cámara de almacenamiento de materia prima.



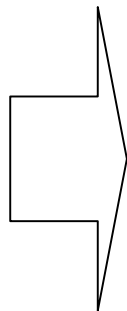
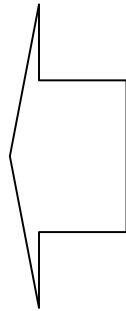
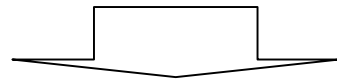
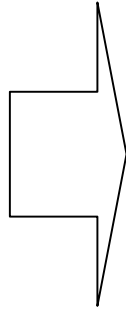
Fuente: Technical Research Centre of Finland, 2002

Foto 3  
Maquinaria principal encargada del peletizado del aserrín, alimentada directamente desde el Hammer mill o molino de triturado.



Fuente: Archivo fotográfico Consorcio Maderero S.A.,2004.

Foto 4  
Maquina empacadora de pellets de madera en envases para la distribución a pequeños consumidores (secuencia fotográfica).



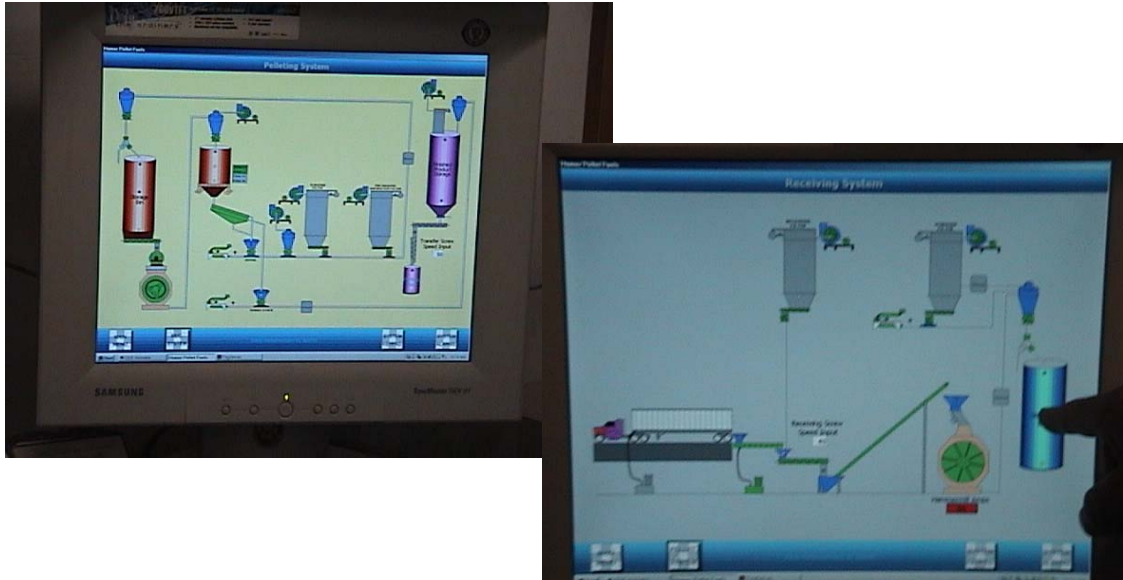
Fuente: Archivo fotográfico Consorcio Maderero S.A.,2004.

Foto 5  
Canchas de acopio de aserrín para la fabricación de pellets de madera.



Fuente: Archivo fotográfico Consorcio Maderero S.A.,2004.

Foto 6  
Panel de control digital del proceso de producción.



Fuente: Archivo fotográfico Consorcio Maderero S.A...,2004.

Foto 7  
Esquema fotográfico.



Fuente: Archivo fotográfico Consorcio Maderero S.A.,2004.

Foto 8

Cancha de acopio para pellets embalados y listos para ser distribuidos a los diferentes centros de consumo y distribución.



Fuente: Archivo fotográfico Consorcio Maderero S.A.,2004.

Foto 9  
Esquema fotográfico planta de peletizado (Hammer Mill).



Fuente: Archivo fotográfico Consorcio Maderero S.A.,2004.



Foto 10  
Esquema fotográfico proceso de paletizado (Hammer mill).



Fuente: Archivo fotográfico Consorcio Maderero S.A.,2004.

Foto 11  
Esquema fotográfico planta de peletizado.



Fuente: Archivo fotográfico Consorcio Maderero S.A.,2004.

Foto 12  
Esquema fotográfico planta de peletizado.



Fuente: Archivo fotográfico Consorcio Maderero S.A.,2004.

Foto 13  
Vista general de las instalaciones destinadas al embalado de los pellets.



Fuente: Archivo fotográfico Consorcio Maderero S.A.,2004.

Foto 14

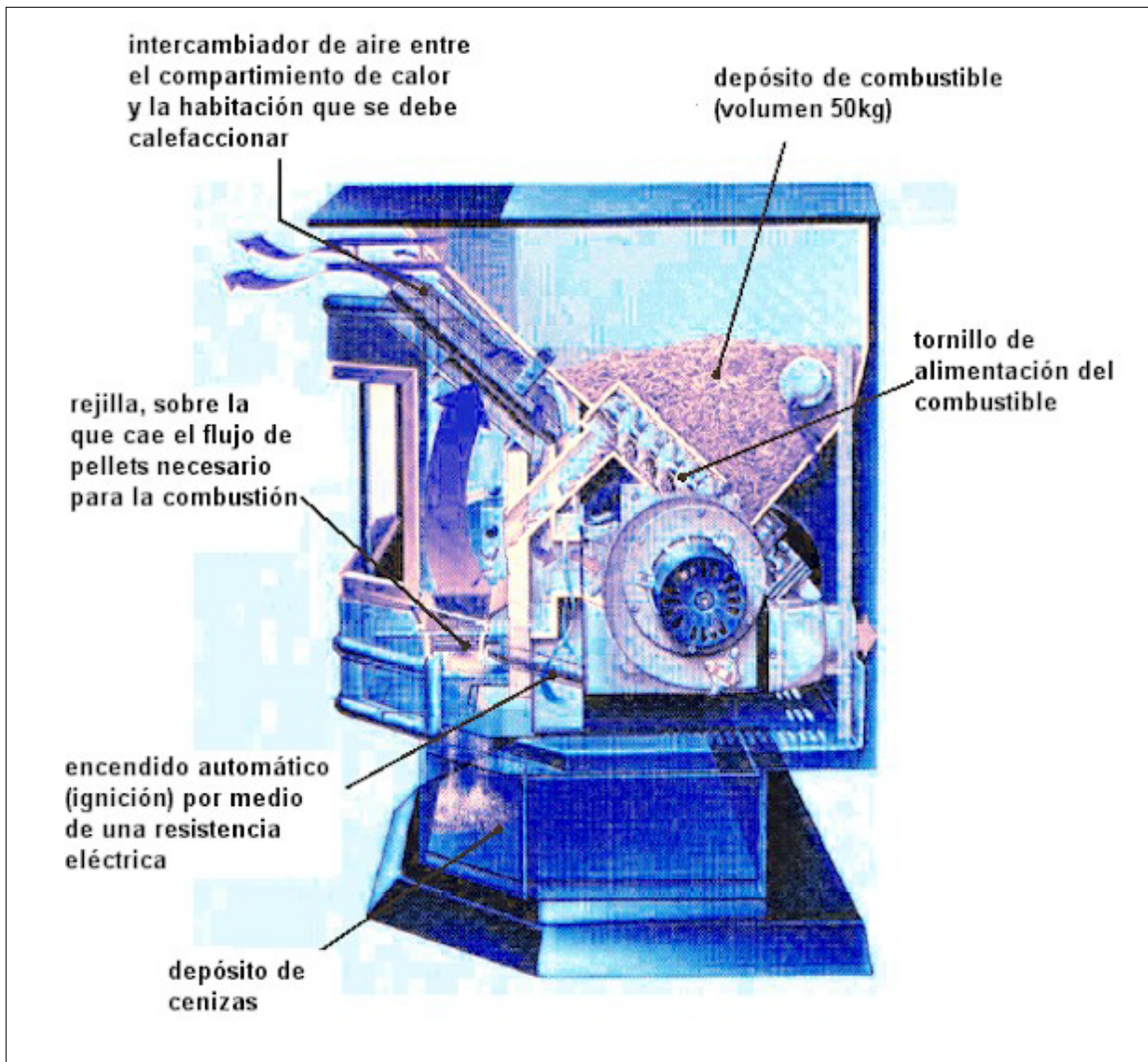
Rodillos de presión destinados al peletizado del aserrín que formara los pellets de madera.



Fuente: Archivo fotográfico Consorcio Maderero S.A.,2004.

Fig 1

Diagrama de una estufa para la combustión de pellets hechos a base de aserrín.

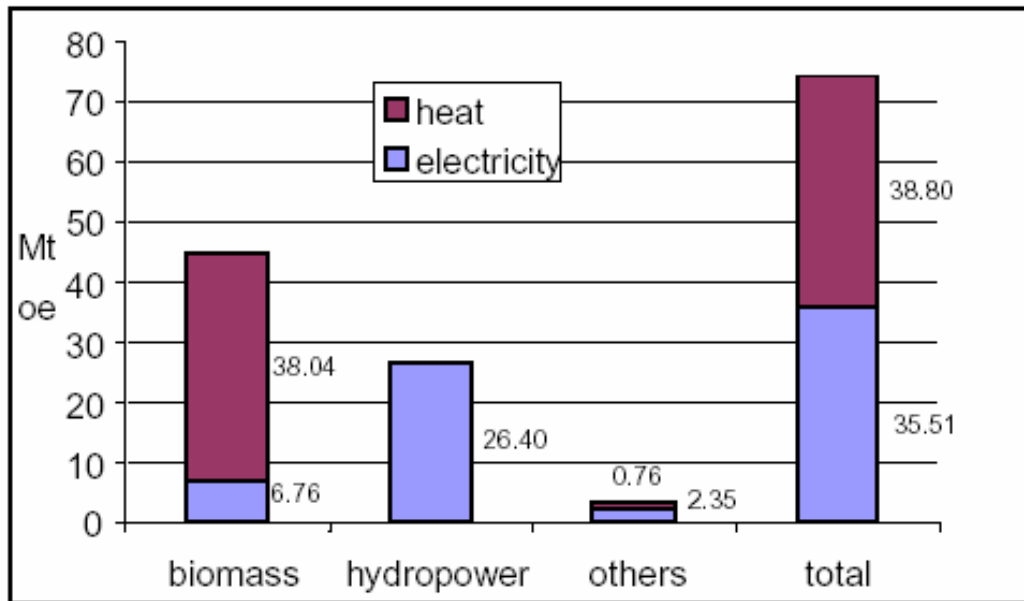


Fuente: Technical Research Centre of Finland, 2002.

## Sección 2

- Gráficos relacionados con la demanda de energía renovable y los precios de comercialización de los diferentes combustibles utilizados en Europa.

Gráfico 1  
Energía renovable existente en la Unión Europea, 1995.



Fuente: Industrial Network on Wood Pellets, January 2000.

Tabla N°1  
Precios de referencia de los diferentes combustibles utilizados en Dinamarca.

Fuel	Average price, excl. VAT (€/t, kg or litre)	Average price, excl. VAT (€/MWh)	VAT (%)
Light fuel oil	617/1000 litre	62	0% (25% for domestic user)
Heavy fuel oil	580/ton	52	0% (25% for domestic user)
Biodiesel for heating purposes	48/1000 litre	50	0% (25% for domestic user)
Natural gas	638/1000 m3	58	0% (25% for domestic user)
Coal	400/ton	57	0% (25% for domestic user)
Sod peat	Not used		
Milled peat	Not used		
Wood chips – for large scale user	45/ton @ 40%H2O	17	0% (25% for domestic user)
Wood pellets - for large scale user	133/ton	27	0% (25% for domestic user)
Wood pellets – for domestic user	200/ton	41	25%
Other pellets (identify)	Not used		
Wood logs – for domestic user	160/ton	38	25%
Straw, large scale user	55/ton @ 15% H2O	13	0% (25% for domestic user)

Fuente: Eubionet, Fuel prices in Europe 2002/2003; Marzo 2003.

Tabla N°2  
Precios de referencia de los diferentes combustibles utilizados en Bélgica.

Fuel	Average price, excl. VAT (€/t, kg or litre)	Average price, excl. VAT (€/MWh)	VAT (%)
Light fuel oil	0.2711 €/litre	24.40	21
Heavy fuel oil	214 €/t	17.16	21
Biodiesel for heating purposes	-	-	-
Natural gas	0.048 €/kWh	43.20	21
Coal	-	-	-
Sod peat	-	-	-
Milled peat	-	-	-
Wood chips (forest) – for large scale user	47 €/t	11.47	6 or 21 (to be fixed) <sup>(1)</sup>
Wood chips (sawmill) – for large scale user	32 €/t	11.97	6 or 21 (to be fixed) <sup>(1)</sup>
Wood pellets – for large scale user	155 €/t	28.23	6 or 21 (to be fixed) <sup>(1)</sup>
Wood pellets – for domestic user <sup>(2)</sup>	260 €/t	47.36	6 or 21 (to be fixed) <sup>(1)</sup>
Other pellets (identify)	-	-	-
Wood logs (wet) – for domestic user	32 €/t	10.47	6
Wood logs (dry) – for domestic user	67 €/t	14.31	6
Other fuel – butane (cylinder)	1.062 €/kg	83.68	21
Other fuel – propane (cylinder)	1.1723 €/kg	88.66	21

<sup>(1)</sup> At the present time in Belgium, there are discussions about VAT for wood fuel.

<sup>(2)</sup> 15 kg bag.

Fuente: Eubionet, Fuel prices in Europe 2002/2003; Marzo 2003.



Tabla N°3  
Precios de referencia de los diferentes combustibles utilizados en Finlandia.

Fuel	Average price, excl. VAT (€/t, kg or litre)	Average price, excl. VAT (€/MWh)	VAT (%)
Light fuel oil	0.318 €/litre	31.0	0% (22% for domestic user)
Heavy fuel oil	238.5 €/ton	21.1	0% (22% for domestic user)
Biodiesel for heating purposes			
Natural gas	15.7 €/MWh	15.7	0% (22% for domestic user)
Coal	88.5 €/ton (100 km transport)	12.7	0% (22% for domestic user)
Sod peat	9.8 €/MWh (100 km transport)	9.8	0% (22% for domestic user)
Milled peat	9.4 €/MWh (100 km transport)	9.4	0% (22% for domestic user)
Wood chips – for large scale user	9.8 €/MWh	9.8	0% (22% for domestic user)
Wood pellets - for large scale user	19.3 €/MWh	19.3	0% (22% for domestic user)
Wood pellets – for domestic user	26.1 €/MWh	26.1	0% (22% for domestic user)
Other pellets (identify)			
Wood logs – for domestic user	46.3 €/stacked m <sup>3</sup> (birch); 35.9 €/stacked m <sup>3</sup> (mixed)	27.2 (birch, 20% moisture); 28.0 (mixed, 20% moisture)	0% (22% for domestic user)
Peat briquettes	112.7 €/t (in Helsinki harbour)	9.8	0% (22% for domestic user)

Fuente: Eubionet, Fuel prices in Europe 2002/2003; Marzo 2003.

Tabla N°4  
Precios de referencia de los diferentes combustibles utilizados en Alemania.

Fuel	Average price, excl. VAT (€/t, kg or litre)	Average price, excl. VAT (€/MWh)	VAT (%)
Light fuel oil	<ul style="list-style-type: none"> <li>0,3621 €/l, if you take 3000 litres (Quelle: Brennstoffspiegel)</li> <li>0,3397 €/l, if you take 3000 litres (Quelle: Tescon)</li> </ul>		16
Heavy fuel oil			
Biodiesel for heating purposes	0,6914 €/l (fuel for cars!)		16 (?)
Natural gas		42,81 €/MWh(Quelle: Brennstoffspiegel)	16
Coal			
Sod peat	Is not traded for heating purpose in Germany		
Milled peat	Is not traded for heating purpose in Germany		
Wood chips – for large scale user	10 €/Sm <sup>3</sup>	8,621 €/MWh	16
Wood pellets - for large scale user	140 €/t	28 €/MWh	7
Wood pellets – for domestic user	170 €/t (Quelle: C.A.R.M.E.N)	34 €/MWh	7
Other pellets (identify)			
Wood logs – for domestic user		28 €/MWh (average of different kinds of wood logs, 33 cm long, splitted and delivered) (Quelle: Handbuch Bioenergie Kleinanlagen, FNR)	7
Other fuel (identify)			

Fuente: Eubionet, Fuel prices in Europe 2002/2003; Marzo 2003.

Tabla N°5  
Precios de referencia de los diferentes combustibles utilizados en Italia.

Fuel	Average price, excl. VAT (€/t, kg or litre)	Average price, excl. VAT (€/MWh)	VAT (%)	Average price, incl. VAT (€/t, kg or litre)	Average price, incl. VAT (€/MWh)
Light fuel oil				1.081 €/litre	0.088
Heavy fuel oil				0.941 €/litre	0.079
Biodiesel for heating purposes	0.763 €/litre	0.072	20	0.916 €/litre	0.087
Natural gas				0.18 – 0.19 €/m <sup>3</sup>	0.019
Coal				0.048 – 0.060 €/kg	0.007
Sod peat					
Milled peat					
Wood chips – for large scale user	0.045 -0.064 €/kg	0.014	10	0.050 – 0.070 €/kg	0.015
Wood pellets - for large scale user	0.091 – 0.182 €/kg	0.034	10	0.10 -0.20 €/kg	0.037
Wood pellets – for domestic user	0.20 – 0.23 €/kg	0.044	10	0.22 – 0.25 €/kg	0.048
Other pellets (identify)					
Wood logs – for domestic user	0.091 -0.182 €/kg	0.034	10	0.10 – 0.20 €/kg	0.037
Other fuel (identify)					
GPL					
ATZ Oil	0.496 €/litre	0.035	20	0.542 €/litre	0.042
BTZ Oil > 1% S				0.247 €/litre	0.049
BTZ Oil < 1% S	0.237 €/litre	0.051	0	0.237 €/litre	0.051
	0.487 €/litre	0.104	10	0.536 €/litre	0.115

Fuente: Eubionet, Fuel prices in Europe 2002/2003; Marzo 2003.

Tabla N°6  
Precios de referencia de los diferentes combustibles utilizados en Portugal.

Fuel	Average price, excl. VAT (€/t, kg or litre)	Average price, excl. VAT (€/MWh)	VAT (%)
Light fuel oil (<1% S)	0.272 €/kg		12%
Heavy fuel oil (>1%S)	Not commercialized since January 2003		
Biodiesel for heating purposes	Not used		
Natural gas – for domestic user		15 €/GJ	6%
Natural gas –for industrial user		8,06 €/GJ	6%
Coal	n.a.		
Sod peat	Not used		
Milled peat	Not used		
Wood chips – for large scale user	Not used		
Wood pellets - for large scale user	Not used		
Wood pellets – for domestic user	0,20 €/kg		19%
Wood briquettes – for domestic user	0,20 €/kg		19%
Other pellets (identify)	Not used		
Wood logs – for domestic user	0,055 €/kg		19%
Forest residues – for large scale user	0,023 €/kg		19%

Fuente: Eubionet, Fuel prices in Europe 2002/2003; Marzo 2003.

Tabla N°7  
Precios de referencia de los diferentes combustibles utilizados en España.

Fuel	Average price, excl. VAT (€/t, kg or litre)	Average price, excl. VAT (€/MWh)	VAT (%)
Light fuel oil	0,36 €/litre	36	16%
Heavy fuel oil	0,24 €/kg	21	16%
Biodiesel for heating purposes			
Natural gas domestic	0,042 €/kWh HHV	42	16%
Natural gas industrial	0,015 €/kWh HHV	42	16%
Coal (Electricity generation)	30 €/t	4,3	
Sod peat			
Milled peat			
Wood chips – for large scale user	0,024 €/kg	5,9	16%
Wood pellets - for large scale user			
Wood pellets – for domestic user	0,24 €/kg	37,5	16%
Other pellets (identify)			
Wood logs – for domestic user	0,09 €/kg	22	16%
Other fuel (identify)			
Olive marc	0,03 €/kg	6,8	16%
Olive stone	0,05 €/kg	10	16%
Shell nut	0,06 €/kg	13	16%

HHV = Higher heating value

Fuente: Eubionet, Fuel prices in Europe 2002/2003; Marzo 2003.

Tabla N°8  
Precios de referencia de los diferentes combustibles utilizados en Suecia.

Fuel	Average price, excl. VAT (€/t, kg or litre)	Average price, excl. VAT (€/MWh)	VAT (%)
Light fuel oil	516,5 EUR/m <sup>3</sup>	52,2	25
Heavy fuel oil	485,6 EUR/m <sup>3</sup>	44,9	25
Biodiesel for heating purposes	-	-	-
Natural gas	364,4 EUR/m <sup>3</sup> 455,3 EUR/m <sup>3</sup>	Industry 37,5 Residential 46,8	25
Coal	240,1 EUR/t	31,8	25
Sod peat	-	13,6	25
Milled peat	-	13,6	25
Wood chips – for large scale user	-	Industry 12,2 Heating plants 11,7	25
Wood pellets - for large scale user	83,3 EUR/t	17,0	25
Wood pellets – residential	164,8 EUR/t	33,6	25
Other pellets (identify)	-	-	-
Wood logs – for domestic user	-	-	-
Other fuel –recovered wood	-	7,0	25

Fuente: Eubionet, Fuel prices in Europe 2002/2003; Marzo 2003.

Tabla N°9  
Precios de referencia de los diferentes combustibles utilizados en Reino Unido.

Fuel	Average price, excl. VAT (€/t, kg or litre)	Average price, excl. VAT (€/MWh)	VAT (%)
Light fuel oil	For domestic customers, kerosene (28s burning oil) €0.2693 per litre, for agricultural/industrial uses, 35s gas oil €0.3113 per litre. Minimum delivery 1000 litres.		5% up to 2500 litres, 17.5% over 2500 litres.
Heavy fuel oil			
Biodiesel for heating purposes			
Natural gas		For domestic customers paying by cash/cheque, the first 1.143MWh per quarter is €0.04, between 1.144 and 73.268MWh is €0.0225, anything over 73.268MWh is €0.0221.	5%
Coal	For domestic customers, one 250kg delivery works out at €0.257 per kg.		5%
Sod peat			
Milled peat			
Wood chips – for large scale user	€22-€45 per tonne		
Wood pellets - for large scale user			
Wood pellets – for domestic user	€135 - €180 per tonne		
Other pellets (identify)			
Wood logs – for domestic user	€75 per tonne		
Other fuel (identify)			

Fuente: Eubionet, Fuel prices in Europe 2002/2003; Marzo 2003.

### **Sección 3**

- Aspectos generales sobre el proceso de peletizado.

#### **a. Equipo de peletizado**

La mayoría de los equipos destinados al peletizado del aserrín, incluyen salvo pequeñas variaciones, los siguientes componentes (Technical Research Centre of Finland, 2002):

- ✓ Sistema de alimentación.
- ✓ Cámara de mezclado
- ✓ Troquel y rodillos de presión.
- ✓ Maquina principal.
- ✓ Engranaje reductor.
- ✓ Chasis.

#### **b. Sistema de alimentación de materia prima**

Consiste en un tornillo sin fin, que tiene como principal característica el que su velocidad pueda ser ajustada a razón de los cambios que puedan sucederse en las condiciones de funcionamiento de la maquina principal, logrando además un flujo continuo en el abastecimiento de materia prima. Además impide que el humo u otro tipo de posibles contaminantes pasen a la siguiente etapa del proceso de producción.

#### **c. Cámara de mezclado**

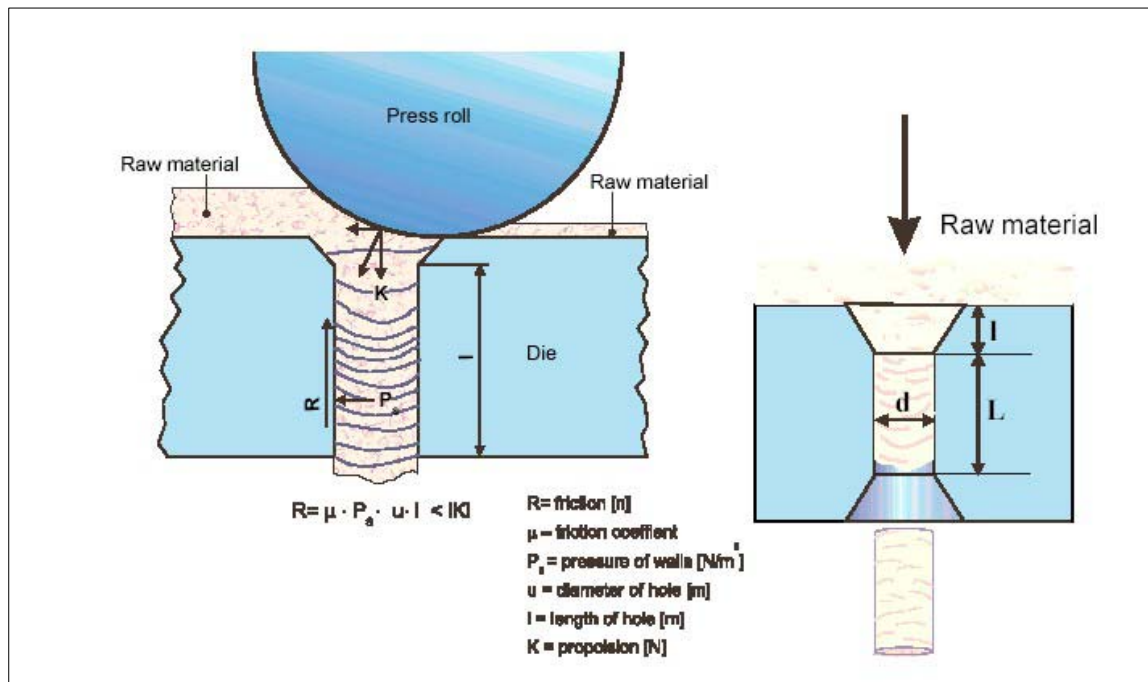
Su función es incluir aditivos a la materia prima, los que son principalmente del tipo aglutinante. Está equipada con sistemas de tuberías para la salida del humo y sistemas de spray, que son utilizados para la aplicación de los aditivos. Actualmente la mayoría de los productores de pellets en Europa y Norte América, han descartado la aplicación de aditivos, debido a que algunos de ellos producen humos al momento de la combustión, lo que hace perder una de las principales características de el combustible pellet, la de ser un combustible libre de emisión de contaminantes (Technical Research Centre of Finland, 2002)

#### d. Troqueles y rodillos de presión

Los rodillos son alimentados con la materia prima de diferentes maneras dependiendo del tipo de maquinaria. Los rodillos empujan la materia prima a través de los agujeros del troquel o matriz, la que posteriormente es cortada por navajas especiales dando a los pellets su forma definitiva. El tamaño de los agujeros del troquel depende de las dimensiones de los pellets que se quiera producir, siendo estas especificadas al momento de su diseño.

Fig. 6

Esquema de funcionamiento de rodillos de presión y troqueles.



Fuente: Wood Pellets in Finland, technology, economy and market. Technical Research Center of Finland; 2002.

La fabricación de los rodillos y troqueles se lleva a cabo utilizando materiales como aleaciones de acero y cromo, con el fin de que estas piezas tengan una alta resistencia al trabajo, el que en este caso, consiste esencialmente en la aplicación de presión y fricción. Los rodillos de presión y las navajas con las que se da el tamaño final a los pellets son

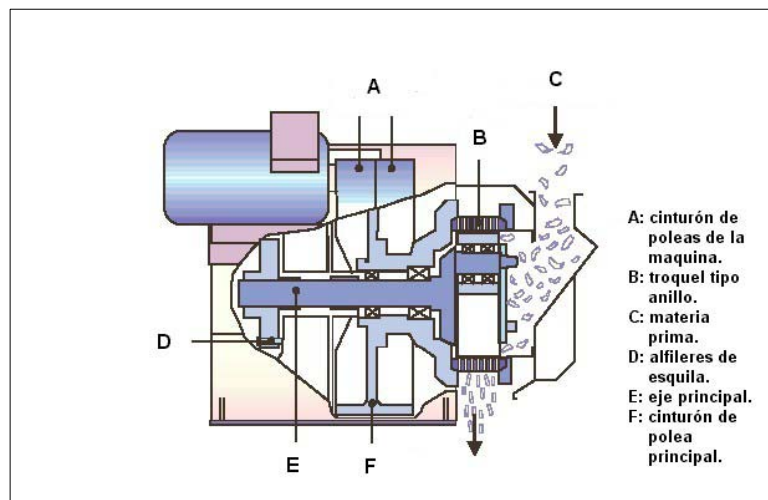
partes removibles, las que deben ser cambiadas periódicamente a causa del desgaste que en ellas se va produciendo a raíz de su uso.

#### e. Troquel del tipo Anillo Vertical Montado

En este tipo de sistema el mecanismo de compresión está basado en un troquel sólido en cuyo margen giran de 1 a 3 rodillos de presión. Hoy en día existen equipos en que los rodillos y el troquel giran, generando una alta fuerza de fricción, la que es traspasada en el proceso al material que esta siendo peletizado (Technical Research Centre of Finland, 2002).

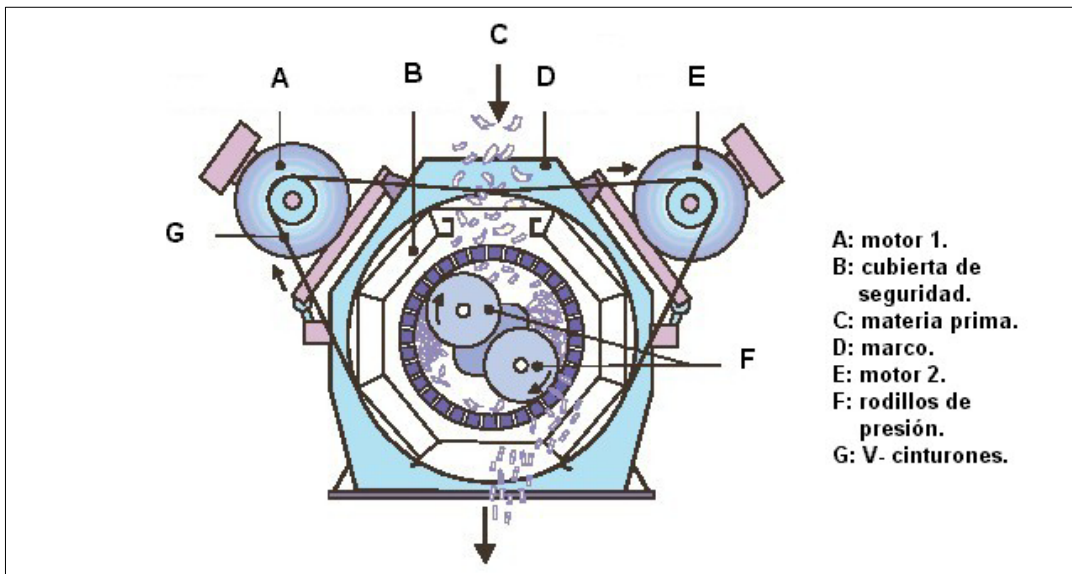
Además del mecanismo de compresión, el sistema de alimentación es un factor de vital importancia, cuando el objetivo es obtener un alto rendimiento y un bajo desgaste en el equipo. En aquellos que solo cuentan con un rodillo, el material fluye dentro del troquel solamente por acción de la fuerza de gravedad o es transportado por un tornillo alimentador. En un equipo de dos o tres rodillos estacionarios, el sistema de alimentación más efectivo es realizado mediante un movimiento de tipo centrífugo, el que dirige el material hacia los rodillos por medio del uso de alerones ajustables. El objetivo es extender el material como una capa sobre los agujeros del troquel y los rodillos.

Fig. 7  
Troquel del tipo anillo vertical montado, vista lateral.



Fuente: [www.salmatec-gmbh.de](http://www.salmatec-gmbh.de)

Fig. 8  
Troquel del tipo anillo vertical montado, vista frontal.



Fuente: [www.salmatec-gmbh.de](http://www.salmatec-gmbh.de)

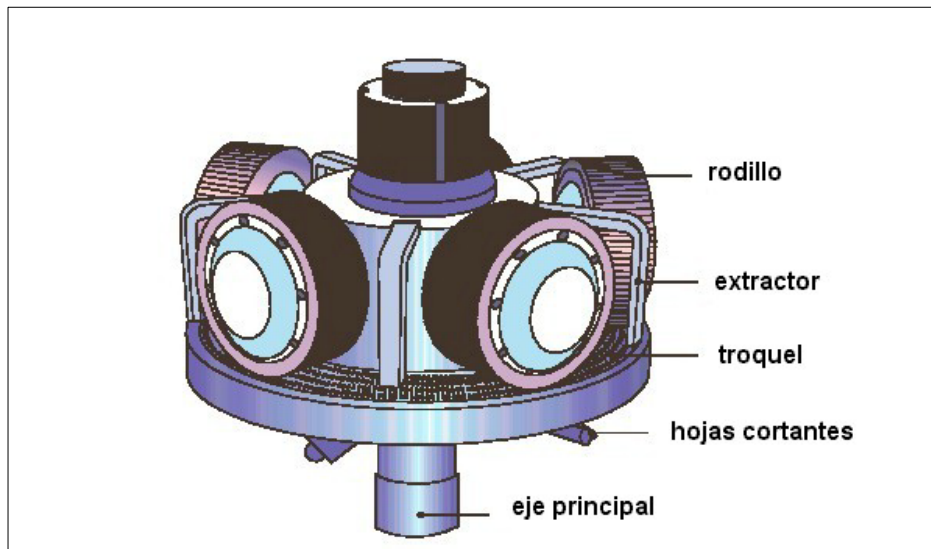
#### f. Troquel liso

El mecanismo de compresión del troquel liso está basado en un troquel plano y redondo equipado con rodillos de presión sobre su superficie. El número de rodillos varía de entre 1 a 6, lo que depende del tamaño de la maquina. En algunos modelos el troquel rota y los rodillos se mantienen estacionarios, aunque también existen modelos en que el troquel se mantiene estacionario y los rodillos son los que rotan (Technical Research Centre of Finland, 2002).

En el troquel liso, el material es alimentado simplemente mediante la acción de la fuerza de gravedad. Una de las ventajas de este tipo de equipo es la simplicidad al momento de su limpieza y cambio de piezas.



Fig. 9  
Esquema Troquel liso.



Fuente: [www.salmatec-gmbh.de](http://www.salmatec-gmbh.de)

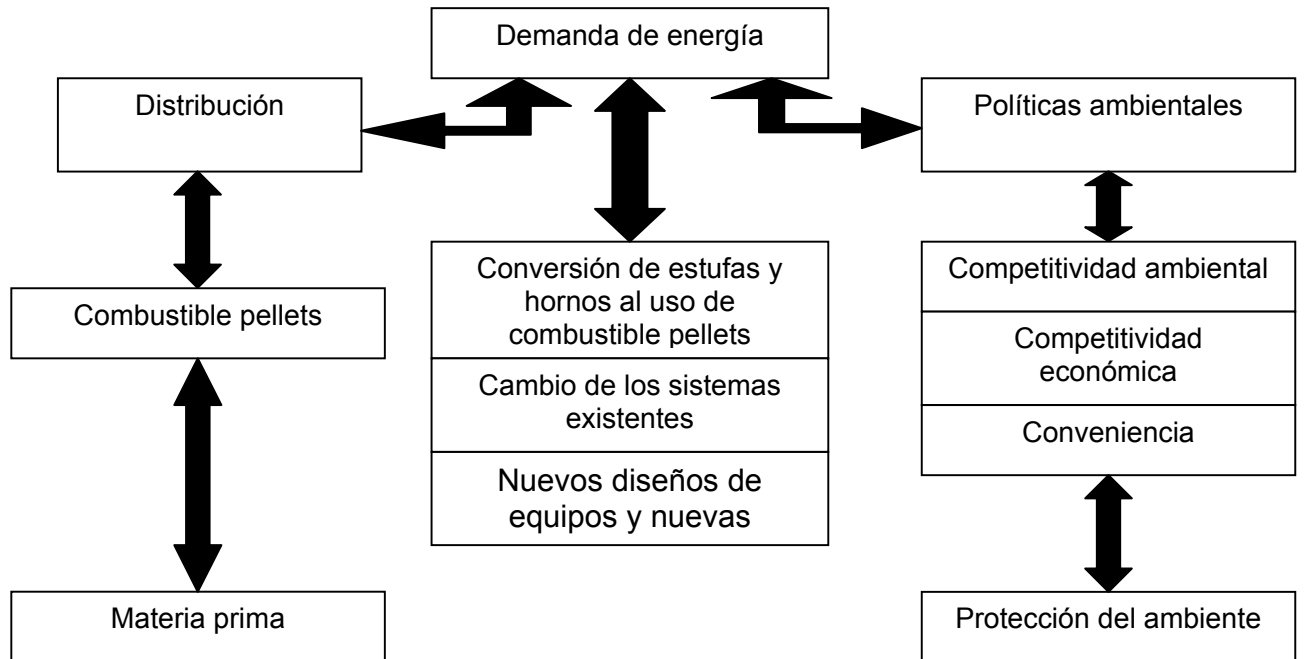
#### g. Efecto de los aditivos

Es posible utilizar aditivos con aglutinantes, lubricantes o protectores para los efectos de la humedad. Los aditivos no son usados a menudo en la fabricación de los pellets, debido a que su aplicación encarece los costos de producción y en la mayoría de los casos no son necesarios. Los aditivos utilizados no deben intervenir la combustión o producir gases tóxicos ni malolientes.

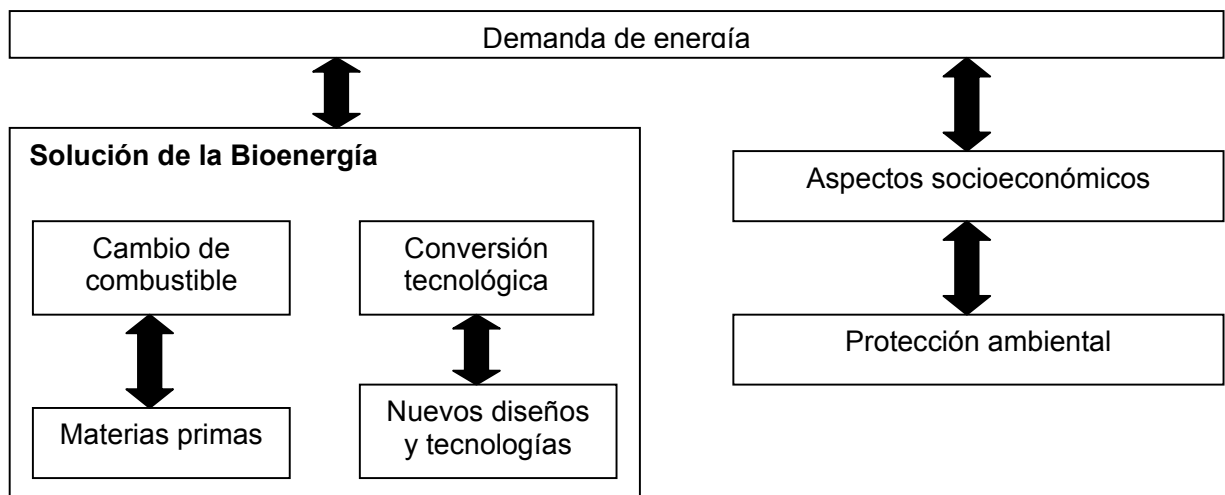
El vapor es el aditivo más utilizado en la peletización. Este puede ser seco o estar ligeramente calentado, con el fin de secar el material, pero teniendo la precaución de no elevar la temperatura de la materia prima en exceso. Se ha logrado determinar que el uso de vapor contribuye a disminuir el tiempo de uso de los troqueles y hace que los pellets sean más fuertes y cohesionados (Kyto & Aijala, 1981, citado por Technical Research Centre of Finland, 2002).

#### Sección 4

- Identificación de barreras en la introducción de pellets de madera para combustible.



Fuente: "Application of fuel pellets for institutional/industrial users, district heating and CHP European experiences", Per S. Nielsen, 2002.



Fuente: "Application of fuel pellets for institutional/industrial users, district heating and CHP European experiences", Per S. Nielsen, 2002.

## Sección 5

- Análisis FODA sobre el negocio de los pellets a base de desechos de madera.

### Fortalezas del negocio

- Combustible renovable.
- Combustible de características homogéneas.
- Forma de energía ambientalmente amigable, particularmente con la disminución de emisiones de CO<sub>2</sub>.
- Fácil de manipular, usar y transportar.
- Llama limpia, bajo contenido de cenizas.
- No se congela o enmohece.
- Requiere pequeño espacio para ser almacenado.
- Alto contenido de energía.
- Alta disponibilidad y bajo precio de la materia prima.
- Precio estable en comparación a los combustibles fósiles.
- Diversos tipos de estufas convenientes incluso para altas generaciones de energía.

### Fortalezas medioambientales

- Inestabilidad de los precios de los combustibles importados, especialmente el petróleo
- Políticas energéticas favorables a la bioenergía.
- Incremento en la producción de la industria del procesamiento de madera, bajo precio de las materias primas.
- Alto potencial de crecimiento.
- Crecimiento de la conciencia ambiental.

### Debilidades del negocio

- Poco conocimiento por parte de los consumidores.
- Debilidades relacionadas al desarrollo del mercado.
- Alto costo de los equipos de combustión.
- El sistema de servicio del combustible es actualmente insuficiente.
- Altos costos de transporte y distribución, falta de vehículos especialmente diseñados para su transporte.
- Falta de estándares para pellets.
- Falta de verificación de la calidad para el uso de los equipos.
- Desarrollo del producto actualmente en periodo inicial.
- Emisión de partículas.
- Heating systems binds the user.

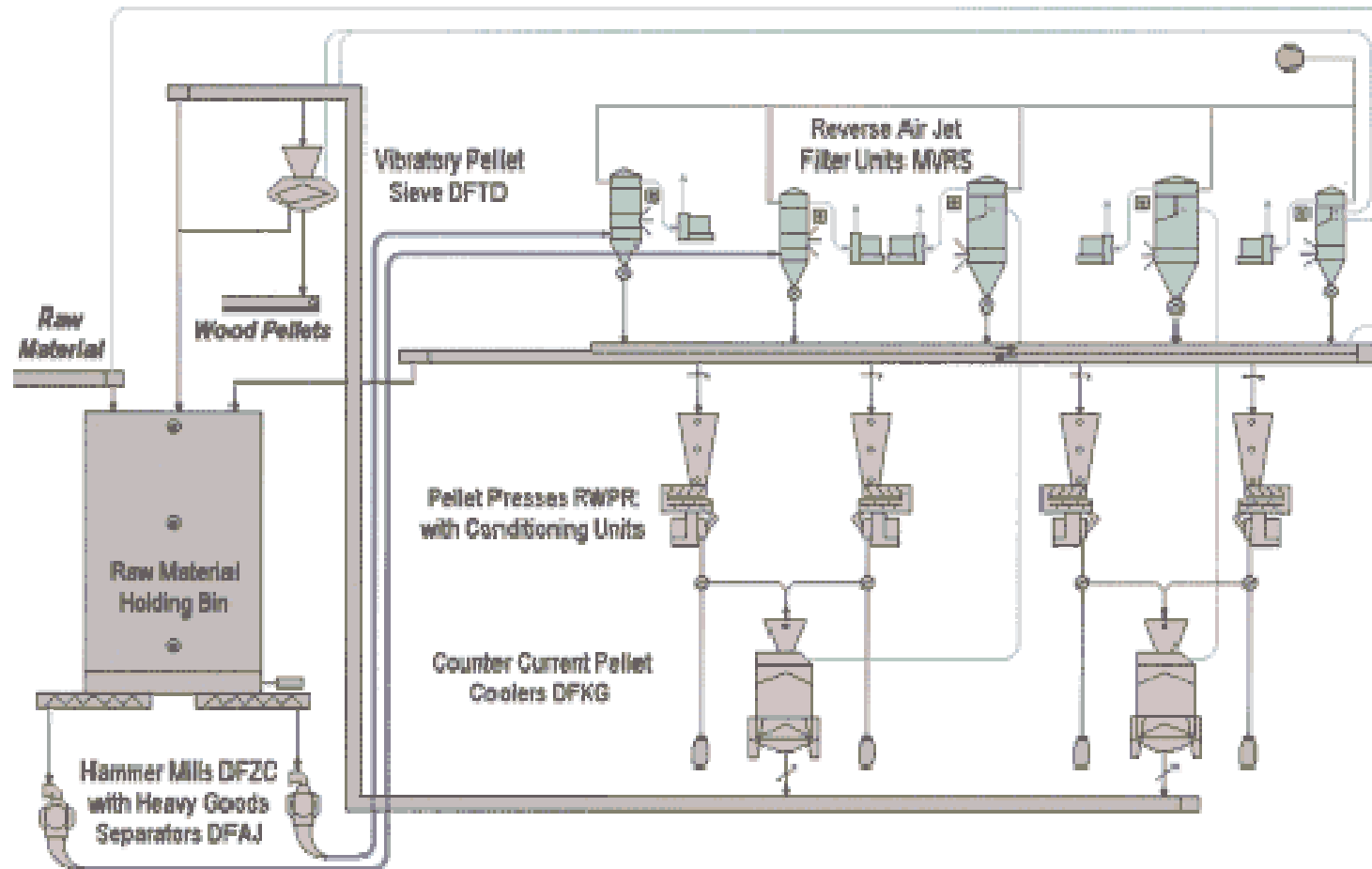
### Problemas para el negocio de los pellets en el sentido medio ambiental

- Políticas ambientales inapropiadas para los pellets.
- Standstill of exports to Sweden and Denmark.
- Materia prima puede ser destinada para otro tipo de procesos relacionados con la industria de la madera.
- Baja en los precios de los combustibles importados.
- Alternativas competitivas: wood chips y energía geotérmica.

Fuente: Pellet Fuels Institute, 2003 ([www.pelletheat.org](http://www.pelletheat.org)).

## Sección 6

- Diagrama de flujo de una planta de pelletizado de desechos de Madera de una capacidad promedio de entre 20 y 24 ton/hr. (Fuente: Bioenergi i Lulea, Suecia 2003)



## Índice de tablas

<b>Capítulo I</b>	
Tabla N°1: Consumo total de madera en trozas de la industria forestal 1997-2002 (miles de mt <sup>3</sup> ssc).	13
<b>Capítulo III</b>	
Tabla N°2: Características físicas de los pellets a partir de desechos de madera.	20
Tabla N°3: Comparación de las principales características de los combustibles de uso común en Europa.	23
Tabla N°4: Propiedades de los pellets de madera ya terminados.	27
<b>Capítulo IV</b>	
Tabla N°5: Comparación de los estándares de calidad usados en la actualidad por los diferentes países productores.	52
Tabla N°6: Estándares Suecos para la producción de combustible pellets".	55
<b>Capítulo V</b>	
Tabla N°7: Especificación de la materia prima necesaria para el desarrollo de la producción anual de pellets.	57
Tabla N°8: Precios de transacción promedio estimado de la materia prima a utilizar en el proyecto	58
Tabla N°9: Cálculo del costo unitario por concepto de materia prima para 1 tonelada de pellets.	58
Tabla N°10: Parámetros económicos utilizados en la evaluación del proyecto.	59
Tabla N°11: Resumen de las inversiones en infraestructura.	61
Tabla N°12: Resumen de las inversiones en maquinaria destinadas al secado y fabricación de pellets.	63

Tabla N°13: Cálculo de las inversiones en Licencias y patentes	64
Tabla N°14: Inversiones menores y en activos nominales	64
Tabla N°15: Cálculo de amortización de intangibles	64
Tabla N°16: Cuadro resumen de las inversiones realizadas al inicio del horizonte de planificación.	65
Tabla N°17: Resumen de los costos directos asociados al desarrollo de la producción.	66
Tabla N°18: Resumen de costos por concepto de mano de obra directa	66
Tabla N°19: Resumen de costos por concepto de mano de obra indirecta.	67
Tabla N°20: Resumen de costos indirectos.	67
Tabla N°21: Resumen de costos por sueldos administrativos	68
Tabla N°22: Resumen costos de administración y ventas.	68
Tabla N°23: Resumen de costos por transporte y exportación.	69
Tabla N°24: Resumen de costos	69
Tabla N°25: Flujo de caja proyectado, con un horizonte de planificación de 5 años y una tasa de interés del 10%.	73
Tabla N°26: Análisis de sensibilidad sobre el precio de venta ( $\alpha=10\%$ )	74
Tabla N°27: Análisis de sensibilidad sobre diferentes precios de venta (US\$/ton) de la producción de pellets.	77
Tabla N°28: Análisis de sensibilidad sobre el nivel de producción ( $\alpha=10\%$ ).	78
Tabla N° 29: Análisis de sensibilidad sobre diferentes capacidades de producción (ton/año).	79

Tabla N° 30: Análisis de sensibilidad sobre los costos ( $\alpha=10\%$ ).	81
Tabla N° 31: Análisis de sensibilidad sobre diferentes niveles de costos (US\$/año).	82