

UTILIZACIÓN ENERGÉTICA DE RESIDUOS VEGETALES

Waldir Ferreira Quirino
Ing. Forestal, Ph.D.
waldir.quirino@terra.com.br



LABORATORIO DE PRODUCTOS FORESTALES
LPF/ Servicio Forestal Brasileiro / Ministerio de Medio Ambiente

Agradecimiento

El programa de este curso forma parte integral de una acción del Gobierno Brasileiro con el objetivo de evitar a generación de residuos, aumentar el reciclaje o reaprovechamiento de estos, garantizando un destino adecuado a todos los residuos, en concordancia con las normas ambientales.

Una parte de esta publicación integra un conjunto de ocho módulos que formarán el curso “Capacitación de Agentes Multiplicadores en Valorización de Madera y de los Residuos Vegetales”. Esta acción fue propuesta por el Ministerio de Medio Ambiente y ejecutada por el Laboratorio de Productos Forestales –LPF.

El contenido del curso está basado en la experiencia de este laboratorio, acumulada en varios años de investigación y aborda el correcto procesamiento de la madera utilizando tecnologías adecuadas. Con eso, se puede reducir significativamente la generación de residuos, además de hacer posible el reciclaje y transformación de los mismos en nuevas materias primas o insumos agrícolas, generando energía y también una infinidad de otros productos de buena calidad.

Dentro de este programa de capacitación se presentan tecnologías de manejo de residuos, ejemplificando, también los procesos disponibles en Brasil y en otros países. Estas tecnologías pueden ser utilizadas para valorizar los residuos de la industria maderera, como para todos los residuos agrícolas.

La expectativa es que, integrando la gestión ambiental con valorización y conservación de los recursos naturales y, al mismo tiempo, considerando posibles adecuaciones en función de las características regionales, este material favorezca la adopción de tecnologías. Es así que, gradualmente, se consiga promover un mayor y mejor aprovechamiento de los potenciales agro-forestales, de manera de reducir la generación de residuos, agregar valor a los productos forestales y agrícolas, generando empleos y promoviendo el progreso del bienestar social y ambiental de las comunidades.

Patrick Rousset

Coordinador del Proyecto Bepinet para Cirad

INTRODUCCIÓN

Los primeros hombres en conseguir dominar el fuego ciertamente hicieron eso quemando madera. A partir de aquel instante la leña paso a llevar luz y calor a las más incómodas de las cavernas. Aquella etapa fue decisiva en la evolución de nuestra especie y en la manera de vivir del hombre, permitiendo también el desarrollo de las primeras herramientas, fundiciones primitivas e, infelizmente armas.

Hasta hoy, la madera continua siendo la más importante fuente de energía en el mundo.

Todavía en las cavernas el hombre percibió que quemando el carbón residual de las fogatas se obtenía más calor y menos humo. El dominio de la energía y el desarrollo de técnicas apropiadas, admitieron entonces el dominio del hombre sobre el hombre y promovieron alteraciones significativas en su ambiente natural.

El consumo diario de energía del hombre primitivo, era de 2.000 kcal, el hombre contemporáneo de países desarrollados consume 300.000 kcal por día. La demanda por energía creció de una forma alarmante en los últimos siglos.

La fundición de los metales, la construcción de máquinas, el desarrollo de la agricultura, la construcción de canales y modificación de cursos de agua, la formación de asentamientos urbanos e industriales, la acumulación de residuos y alcantarillas y la deforestación, muestran que el dominio de la energía y la tecnología distancian al hombre de su condición integrada con la naturaleza hacia un agente modificador constante de su hábitat.

Indudablemente, tenemos algo para rescatar de nuestro “desarrollo”. Haciendo la reingeniería del fuego o, por lo menos, analizando el empleo energético de nuestros residuos vegetales, tal vez podamos corregir algunos de los caminos mal comprendidos por nuestros predecesores

La madera como fuente de energía en Brasil:

- **Tema estratégico;**
- **Tema ambiental;**
- **Tema social;**
- **Tema económico.**

Brasil posee una reserva significativa de biomasa en forma de vegetación natural y de bosques plantados, y principalmente, en forma de residuos (residuos de la industria maderera, residuos de la industria de base forestal, residuos agroindustriales, etc.). Además de eso, se puede considerar que esta biomasa está bien distribuida, estando presente en todas las regiones brasileras. Donde se dispone de menos residuos agroindustriales, existe más cobertura vegetal natural y viceversa.

Tema estratégico.

La utilización de la madera como fuente de energía representa un tema estratégico. El empleo de la madera como fuente de energía contribuye a la independencia energética del país. La disponibilidad de la auto-suficiencia de energía de un país representa un factor de estabilidad económica frente a las fluctuaciones mundiales del costo de los combustibles fósiles. Se puede considerar como fuente de energía, no solamente la madera, sino a toda biomasa disponible para utilización energética.

Tema económico y social

La capacidad de generar energía primaria en el propio país tanto como en las propias regiones de consumo, representa la posibilidad de inyectar inversiones a nivel local para la generación de esa energía, también, ahorrar o evitar la exportación de divisas. Representa una alternativa a más de generar riquezas, movimiento de la economía y fuente de empleos. El movimiento de

la economía y la consecuente creación de actividades productivas facilitando la inclusión social de ciudadanos y de comunidades aisladas.

Como ejemplo, se puede citar: la energía eléctrica generada a partir de diesel cuesta cerca de 9 veces más de la energía eléctrica generada a partir de biomasa proveniente de los residuos de madera de bosque plantados.

Protección ambiental

La utilización de madera como fuente de energía en sustitución de combustibles fósiles en la industria, limita el crecimiento del efecto invernadero por el equilibrio de las emisiones de dióxido de carbono – CO₂ – y suprime la contaminación por azufre, ausente en la madera. La valorización energética de los residuos de la industria maderera, por ejemplo, evita igualmente la quema contaminante de los mismos residuos a cielo abierto, así como la acidificación del nivel freático o de los cursos de agua por su deposición inadecuada.

Waldir Ferreira Quirino, PhD
Valorización Energética de Residuos

RESIDUOS VEGETALES – MADERA - ENERGÍA

Preguntas básicas sobre residuos

1 – ¿Qué es residuo?

Es todo aquel que sobra de un proceso de producción y explotación, de transformación o de utilización. Es también toda sustancia, material, o producto abandonado por su propietario.

2 – ¿Cuáles son los tipos de residuos generados en la sociedad moderna?

La Comunidad Europea clasifica los residuos en:

- **Residuos urbanos** o también llamados domésticos;
- **Residuos industriales:**
- **Residuo industrial banal** – no posee aditivos tóxicos, como la madera sin tratamiento;
- **Residuo industrial especial:**
- **Inerte** – no libera ni reacciona con otro tipo de sustancia;
- **Final** – sin posibilidad de transformación como las cenizas;
- **Tóxico** o peligroso – libera sustancias tóxicas durante el tratamiento, almacenamiento, ejemplo los residuos nucleares.

Debido a esta variedad de residuos su control no puede ser hecho a través de una legislación homogénea. En Europa, la legislación específica sobre los residuos, es aplicada a la industria o al generador del residuo, y no a un tipo de residuo.

Por tanto, como los residuos son clasificados y codificados, la industria productora de un determinado tipo de residuo solo funcionaria cuando dispone de los mecanismos adecuados para dar un fin correcto y establecido para esos residuos. Todo residuo tiene un origen, un propietario, o mejor, un responsable generador sobre el cual la legislación debería apuntar.

En varios países de Europa se cobra un impuesto por tonelada de residuo producido, creado justamente para incentivar los procesos de valorización de los mismos. Los recursos provenientes del cobro de este impuesto ayudan a financiar proyectos de investigación sobre aprovechamiento y tratamiento de los residuos, creando un estímulo para su utilización y reciclaje.

Valorizando un residuo se elimina un costo, además de posibilitar una ganancia adicional para la industria generadora, agregando valor a la producción.

En Brasil, cuando se establece una industria maderera, no es obligada a decir que va a hacer con los residuos generados, pudiendo de esta manera producirlos sin compromiso. Después de producido el residuo, es de la sociedad y de los organismos gubernamentales de gestión ambiental la obligación de buscar una forma de dar fin o uso al residuo.

Clasificación y utilización de los residuos

3 – ¿Qué son residuos ligno - celulósicos?

Son residuos así llamados porque contiene en su estructura lignina y celulosa siendo, en su mayor parte, de origen vegetal. Como ejemplo podemos citar los desechos provenientes de la madera o de la industria maderera, así mismo viejos trozos de muebles, restos de madera de demoliciones, residuos de cultivos agrícolas o de mejoramiento de productos agrícolas, postes, estacas, durmientes, tablados y paquetes al final de su vida útil, etc. La explotación forestal es una gran fuente de residuos ligno-celulósicos. Incluso en la basura urbana se encuentra un porcentaje significativo de residuos ligno-celulósicos provenientes de utensilios y envases de madera.

4 – ¿Cuáles son las maneras de utilización y valorización de un residuo ligno-celulósico?

Un residuo ligno-celulósico puede ser reciclado, reutilizado como materia prima en un proceso diferente del que se origina. Por ejemplo, puede ser transformado en partículas y constituirse en paneles a base de madera. Puede ser también utilizado energéticamente en la producción de calor, de vapor o de electricidad en grupos de generadores, o termoeléctricas.

Otro aprovechamiento de este residuo es en forma de combustible sólido, como el carbón vegetal. También puede ser gasificado transformándose en un combustible gaseoso o utilizado como gas de síntesis.

La siguiente figura nos da una noción general de las posibilidades de aprovechamiento de los residuos ligno-celulósicos.

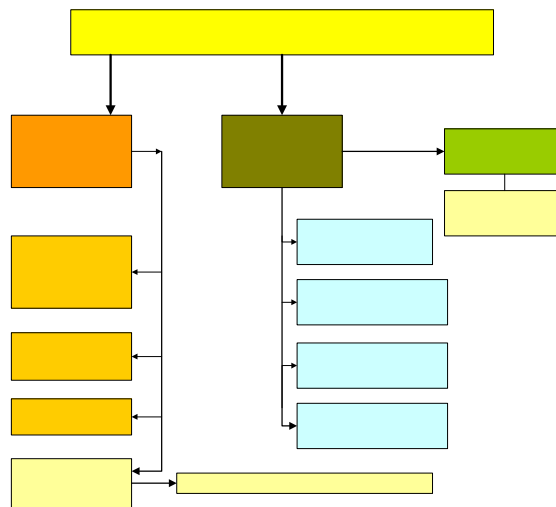


Figura 1 – Posibilidades de aprovechamiento de residuos ligno-celulósicos.

5 – ¿Cuál es la nomenclatura básica en el tratamiento de un residuo?

Eliminación: acción de desechar un residuo sin sacar ningún provecho, como por ejemplo, la incineración sin recuperación de energía.

Recuperación: acto de aprovechar total o parcialmente un residuo, a través de procesos adecuados, reduciendo así el volumen destinado a la eliminación.

Valorización: está ligada a alguna acción de desarrollo de proceso tecnológico, pudiendo ocurrir a través de diversas maneras, como reciclaje, reutilización, regeneración.

La industria debe ser incentivada a abandonar a **eliminación** promoviendo la **recuperación** como la **valorización** de sus residuos. Y, una forma bastante objetiva de conseguir esto, es a través de la normalización y de la legislación específica.

6 – ¿Existen otros residuos que pueden ser aprovechados, semejantes a los residuos ligno-celulósicos?

Si, los residuos de papel, cartón y plásticos de envases provenientes de la basura también pueden y deben ser aprovechados. El papel y el cartón son constituidos de celulosa más algunos aditivos. Ya los plásticos son constituidos de largas cadenas poliméricas. Tanto el papel usado como los plásticos pueden ser reciclados, más, en una segunda hipótesis de que pueden también ser valorizados energéticamente como la madera.

Valorización
Energética

Combustión
directa e
incineración

Gasificación

Briquetaje

Dirrección

Controle las emisi

Residuos d

Valoriz
Mate

7 – ¿Cuáles serían las reglas básicas para el tratamiento de residuos?

- a-** Prevenir, limitar y administrar la producción de residuos, reduciendo su nocividad.
- b-** Asegurar la reutilización, el reciclaje y la valorización de residuos.
- c-** Controlar la eliminación de residuos, los flujos y su calidad.
- d-** Limitar el almacenamiento definitivo solamente a los residuos finales.

Un residuo no podrá ser eliminado por incineración, neutralizado químicamente, descartado o almacenado subterráneamente, siempre que su reciclaje o valorización pueda ser hecha a un costo económicamente aceptable. Esa es una norma de la Comunidad Europea que deberíamos adoptar. Un residuo solo podrá ser descartado o almacenado subterráneamente, cuando las otras formas de aprovechamiento no puedan ser empleadas.

La mejor alternativa para una gestión adecuada de residuos es si se trabaja en su origen, utilizando tecnologías limpias, buscando su valorización y luchando contra el desperdicio y solamente usar el almacenamiento como última opción.

Por eso tener bien claro el concepto de residuo final es extremadamente importante. Residuo final es aquel para el cual no se dispone de ninguna opción técnica y económicamente viable de aprovechamiento. Es solamente allí que se debe recurrir al descarte o almacenamiento del residuo.

La gestión de residuos involucra fases o etapas diferentes y al mismo tiempo básicas, iniciándose por el estudio y caracterización precisa, de la definición de su origen y del flujo de los productos. El estudio técnico y económico de las soluciones alternativas para producción, administración y eliminación de los residuos.

8 – ¿Cuáles son las principales propiedades y características de los residuos?

Los residuos ligno-celulósicos generalmente presentan baja densidad, elevado contenido de humedad y están dispersos geográficamente, encareciendo la recolección, el transporte y dificultando el aprovechamiento energético. La mayoría de las veces presentan, una gran diversidad de formas y granulometría variada. Por tanto, una característica bastante común de los residuos es la heterogeneidad.

Los residuos también pueden estar asociados a otros productos químicos, como por ejemplo, la madera asociada con tintas, resinas, barnices, productos de conservación. Esto puede conferir a estos residuos, características de emisiones de gases altamente tóxicos durante la valorización energética.

9 – ¿Cuáles son las tecnologías que permiten transformar los residuos ligno-celulósicos en energía o en combustible?

Varios son los procedimientos que permiten transformar los residuos en energía. La quema directa puede generar calor y es usada para producir vapor. La gasificación puede generar un gas combustible o un gas de síntesis. La carbonización produce carbón vegetal energético o de termo-reducción en la industria siderúrgica, o carbón activado.

Miremos abajo algunas de estas posibilidades.

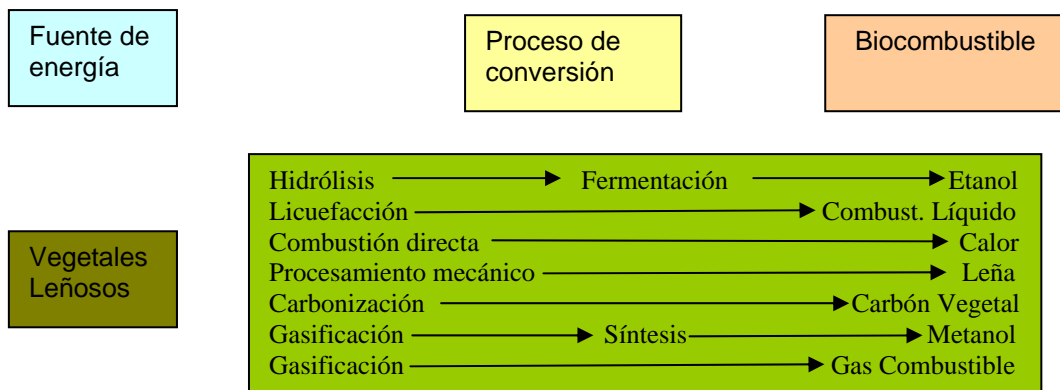


Figura 2 – Procesos de transformación de residuos en biocombustibles.

10 – ¿Cuáles son las maneras para la utilización energética de residuos?

La utilización energética de residuos puede ser a través de:

- Quema directa, en calderas, como leña o residuos, generando calor o un proceso de vapor;
- Quema directa en termoeléctrica para producción y comercio de energía eléctrica;
- Quema directa y quemadora de partículas como ocurre en la industria de cerámica roja,
- Compactación de residuos, transformándolos en briquetes para su posterior utilización como leña, en todos los procesos que tradicionalmente se utilizan leña, sea panaderías, pizzerías, calderas en general;
- Producción de carbón utilizado comúnmente para carbonización de leña;
- Carbonización de los residuos bajo la forma de partículas;
- Producción de carbón activado, a partir de trozos de carbón o de madera, a través de activación física o química.

11 – ¿Cuál es la influencia de la humedad en el aprovechamiento energético de los residuos ligno-celulósicos?

La influencia es negativa. La humedad reduce la cantidad de energía global producida durante la combustión. En la práctica, la madera seca ofrece combustión más rápida y mejor rendimiento en la carbonización. Una parte de la energía contenida en los residuos es utilizada para calentar y vaporizar esa humedad. Son necesarias 580 cal para evaporar 1 g de agua. Si el agua estuviera fuertemente ligada a la madera, es necesario más energía para disipar esa humedad.

12 – ¿Qué es Poder Calorífico?

Es la cantidad de calorías liberadas en la combustión completa de una unidad de masa de combustible. La unidad más usada en Brasil para combustibles sólidos es la kcal/kg o cal/g. Para combustibles gaseosos es kcal/m³. Su determinación puede ser teórica por el conocimiento de la composición química del combustible o experimental con la ayuda de una bomba calorimétrica.

El poder calorífico superior (PCS) es aquel obtenido en la bomba calorimétrica a partir del combustible seco. El poder calorífico inferior (PCI) es aquel calculado a partir del PCS considerando el contenido de humedad a que se encuentra el combustible. El poder calorífico inferior refleja mejor la calidad del combustible. El calor de vaporización del agua es de 580 kcal/kg. La diferencia entre PCI y PCS está en la cantidad de agua presente en la madera, o sea, en el calor necesario para vaporizar esta agua (580 kcal/kg).

En lo referente a una madera seca, con PCS de aproximadamente 4800 kcal/kg, se puede utilizar la siguiente ecuación para obtener el PCI a una determinada humedad.

$$PCI = ((PCS - 25,11 \times H)) / (100 + H) \times 100$$

Donde:

H = humedad de la madera en base de peso seco

Por ejemplo, una madera con PCS de 4800 kcal/kg a 25 % de humedad tendrá un PCI = 3.337,8 kcal/kg.

El calor ofrecido por la combustión de la madera va a variar de acuerdo a sus componentes.

Sin embargo, girará alrededor de 4.700 a 5.000 Kcal/Kg de madera seca a 0% de humedad, independiente de su especie. Los residuos ligno-celulósicos presentan PCS semejantes a la madera, varían en función de la contaminación del residuo.

PODER CALORÍFICO DE COM BUSTIBLES SÓLIDOS	
Eucalyptus	4850 kcal/kg (superior)
Turba	5000 kcal/kg (inferior)
Linhita	6250 kcal/kg (inferior)
Coque	8500 kcal/kg (inferior)
Antracito	8000 kcal/kg (inferior)
Carbón de madera	7250 kcal/kg (inferior)
Carbono puro	8100 kcal/kg (inferior)
Hidrogeno	34000 kcal/kg (inferior)

Fuente: BRIANE y DOIT, 1985

Figura 3 – Poder calorífico de algunos materiales

Arriba podemos visualizar ejemplos de poder calorífico de algunos combustibles.

Caloría, es la cantidad de calor necesaria para elevar de 1°C 1 gramo de agua (14,5 a 15,5 °C).

La velocidad de formación de carbón en una pieza de madera conforme a la norma de procedimiento ASTM E-119 es constante e igual a 38 mm/h. Una pieza de madera rolliza de 15 cm de diámetro sometida a carbonización llevaría aproximadamente 2 horas para ser transformada en carbón.

La combustión de partículas de madera (en forma de cepillo) en un combustible desarrollado en el laboratorio (QUIRINO, 1988), presenta un pico de degradación (velocidad máxima de combustión) entre 5 y 7 minutos. Por tanto, el tiempo de quema depende de la forma de la madera combustible y del equipo donde está siendo efectuada la quema (combustión), habiendo varios factores que influyen a una relación de combustión.

13 – ¿Que es la densidad energética de un residuo?

Densidad energética es la cantidad de energía por unidad de volumen de un combustible.

Por ejemplo, 1 tarea (st) de leña posee 300 kg, según el Balance Energético Nacional – BEM - cada kg de leña cortada posee 3.300 kcal/kg. Por tanto, 1 st de leña (1 m³), posee
 $300 \text{ kg} \times 3.300 \text{ kcal/kg} = 990.000 \text{ kcal}$

Si esta leña es picada y compactada en una briquetadora, 1 st de briquetas tendrá aproximadamente 700 kg. Por las razones expuestas anteriormente cada kg de briquetas tendrá un poder calorífico de 4.400 kcal/kg. Por tanto, 1 st de briquetas posee
 $700 \text{ kg} \times 4.400 \text{ kcal/kg} = 3.080.000 \text{ kcal}$

Se dividimos la cantidad de energía de 1 st de briquetas por la cantidad de energía de 1 st de leña, obtenemos una relación de:

$$3.080.000 \text{ kcal} : 990.000 \text{ kcal} = 3,11$$

Esto significa decir que 1 st de briquetas tendrá 3,11 veces más energía que 1 st de leña. Por tanto la densidad energética del briquete es, comparativamente, tres veces superior a la leña.

14 – ¿Qué es carbón vegetal y cuales son sus características y propiedades principales?

Es el producto resultante de la combustión incompleta de la madera, el carbón es definido como una pirolisis que proporciona una policondensación energética con características bien definidas:

- Densidad muy inferior a la madera;
- Alta reactividad;
- Baja resistencia mecánica,
- Bajo contenido de cenizas.

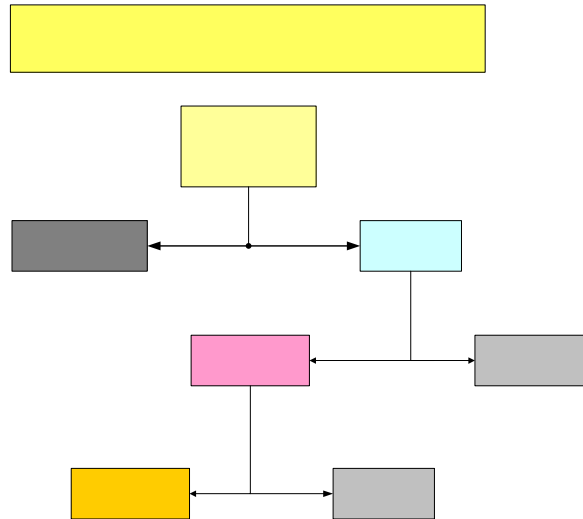


Figura 4 – Degradación térmica de la madera y productos

Factores que influyen en la producción y calidad del carbón vegetal:

En la madera:

- Densidad de la madera;
- Humedad de la madera;
- Dimensiones de las piezas de madera;

En el proceso:

- Temperatura final de carbonización;
- Velocidad de calefacción;
- Control de oxidación.

Tabla 1 - Composición elemental y rendimiento de carbón en función de la temperatura de carbonización.

Temperatura de Carbonización (°C)	Composición elemental			Rendimiento (%)
	C	H	O	
200	52,3	6,3	41,4	91,8
300	73,2	4,9	21,9	51,4
400	82,7	3,8	13,5	37,8
500	89,6	3,1	6,7	33,0
600	92,6	2,6	5,2	31,0
800	95,8	1,0	3,3	26,7
1000	96,6	0,5	2,9	26,5

Fuente: WENZEL, 1970

Productos de la pirolisis

Madera

Pirolisis

Carbón

Líquido
piroleñoso

Deca

Acido
piroleñosos

Tabla 2 - Influencia de la densidad de la madera en el contenido energético del carbón.

Densidad de la madera (g/cm ³)	Densidad a granel de la leña (kg/st)	Densidad energética de la madera (Mcal/st)
0,61	332	1371
0,71	386	1633
0,76	413	1756

Existe una ganancia de 20 % de energía por tarea con el aumento de la densidad de la madera.

Tabla 3 - Etapas de la generación de pérdidas en el proceso del carbón vegetal.

Carvoaria	- 3,7%
Envío / transporte	-5,8%
Almacenamiento	-6,3%
Peneiramento siderurgia	-9,4%
TOTAL	-25,2%

Fuente: CETEC, 1982

Evolución de la carbonización durante la pirolisis de la madera

Temperatura	Reacciones y productos
Hasta 200 °C	Período de secado pérdida de humedad y degradación inicial de lignina y hemicelulosa.
200 a 280°C	Degradación de componentes menos estables, prod. CO ₂ CO, vapor H ₂ O, ácido acético y CH ₄ .
270 - 300°C	Reacciones exotérmicas, madera quemada, fuerte producción de gases de ácido acético, alcohol metílico fracciones leves de alquitrán.
300 - 600°C	Disminuye el volumen de gases, fracciones medianas y pesadas de alquitrán, producción de carbón.
Sobre 600°C	Fase de hidrogeno, disociación del carbón, gases con elevado contenido de hidrogeno

15 – ¿Cuales son los tipos de hornos usado en la producción de carbón vegetal?

Innumerables son los tipos de hornos para la producción de carbón vegetal, lo que torna casi imposible citarlos uno por uno, lo importante es reconocer todas las etapas del proceso de carbonización que son comunes en todos ellos. Estas etapas fueron descritas en el tema anterior, siendo distinguidas en función de las reacciones que ocurren a diferentes intervalos de temperatura.

Los hornos pueden ser construidos en mampostería, de ladrillos sólidos, como es el procedimiento más difundido en Brasil, o en hornos metálicos con formas y tamaños muy variados.

Las siguientes figuras dan una idea de la diversidad de formas de los hornos en mampostería y metálicos.

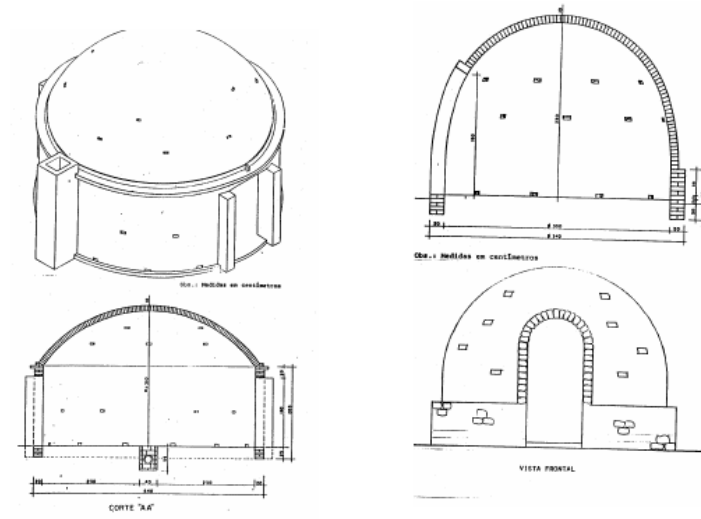


Figura 5 – Hornos de mampostería para la producción de carbón vegetal.

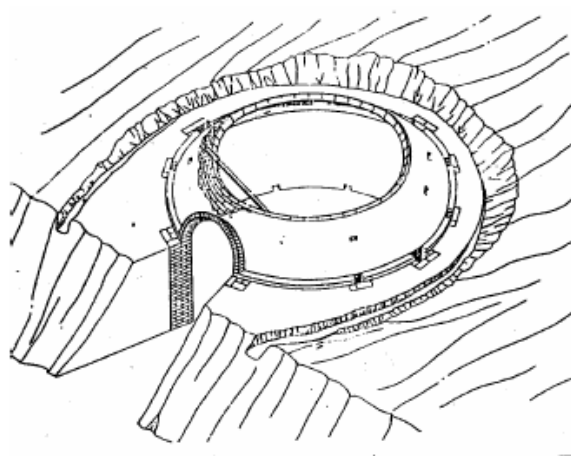


Figura 6 – Horno de ladera para producción de carbón vegetal muy utilizado en regiones irregulares, como Minas Gerais.



Figura 7 – Horno metálico de anillos desmontables.

Todavía podemos disponer de hornos de carbonización continua como el horno Francés de Lambiote, que tiene el principio constructivo basado en el esquema de la Figura 8.

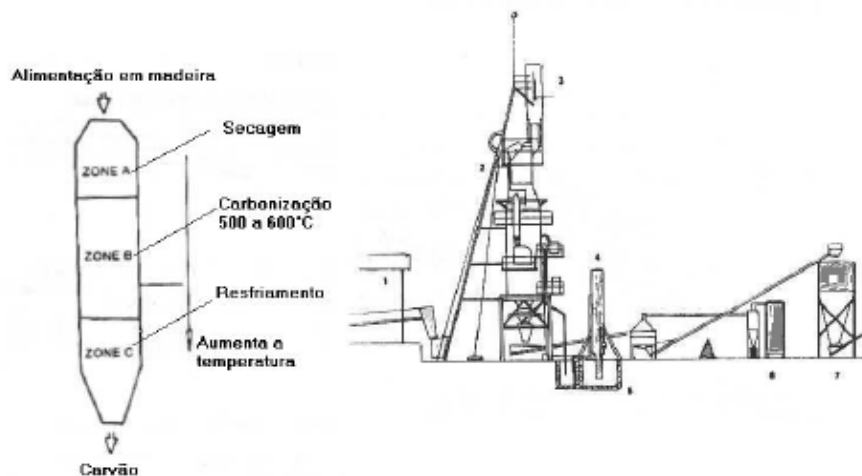


Figura 8 –Esquema de horno Lambiote construido en Francia, utilizado en la producción de carbón vegetal en un proceso continuo (fuente: CTFT-CIRAD).

16 – ¿Cuáles son los procesos de carbonización disponibles para residuos?

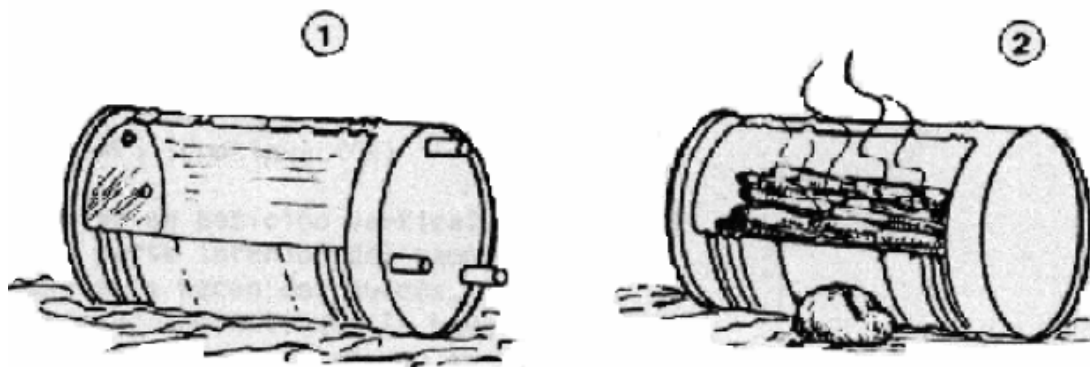
En el proceso de carbonización podemos utilizar equipos más simples o más sofisticados, dependiendo de cada caso.

Los hornos más simplificados y populares (ilustrados en las figuras 9 a 16) son utilizados en algunos lugares del pacifico sur, principalmente para hacer carbón vegetal de cáscaras de cocos, como menciona el International Labour Office Geneva (fuelwood and charcoal preparation, Switzerland, 1989). Por la simplicidad de los mismos, pueden ser construidos y probados en el propio sitio sin necesidad de transporte de los residuos.

A continuación veremos los principales tipos de hornos simplificados y su forma de operación.

Instrucciones de montaje y operación:

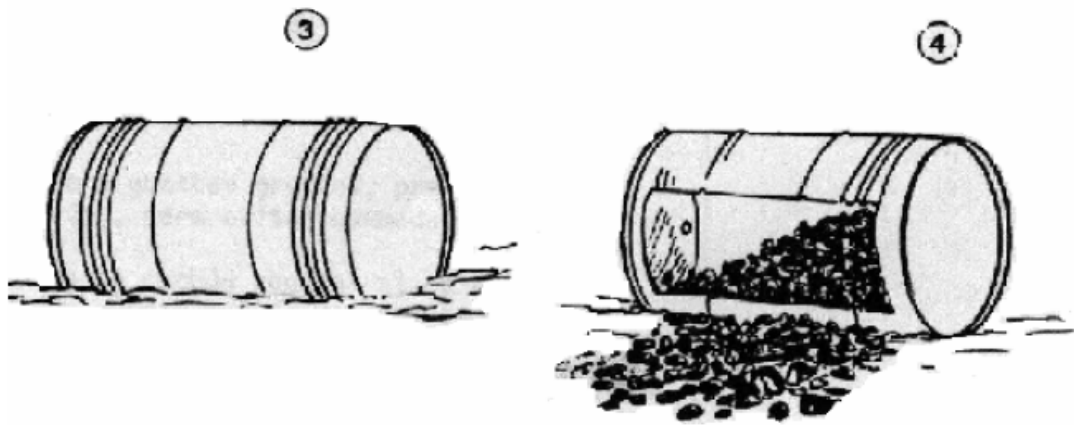
1. En un tanque de aceite de 200 litros, de buena calidad, se realiza una abertura de 20 cm conforme a la figura 9;



Figuras 9 y 10 – Relleno del horno e inicio de la carbonización.

2. Con el tanque sobre el suelo, con la abertura paralela a la dirección del viento a unos 20 cm del suelo, se colocan astillas de leña para dar inicio a la carbonización. A continuación se levanta la abertura 10 cm y se adicionan las cáscaras de cocos. Se repite esta operación hasta que el tanque este completamente lleno de cocos incandescentes y la abertura alcance la posición superior;
3. Se cubre la abertura del tanque con la placa que fue cortada, amarrándose con alambre. Se gira el tanque de manera que la abertura que fue cerrada con la tapa quede virada sobre el suelo.

Impidiendo con la tierra cualquier entrada de aire, como se ve en la figura 11. Se deja el tanque en esta posición por aproximadamente 5 horas, hasta enfriarse.



Figuras 11 y 12– Carbonización, enfriamiento y retirada del carbón de los tanques.

4. Se inicia la carbonización por la mañana, ya al final de la tarde se puede abrir y recoger el carbón.
5. Otra posibilidad de utilizar los tanques en posición vertical, como en las figuras 13, 14 y 15.

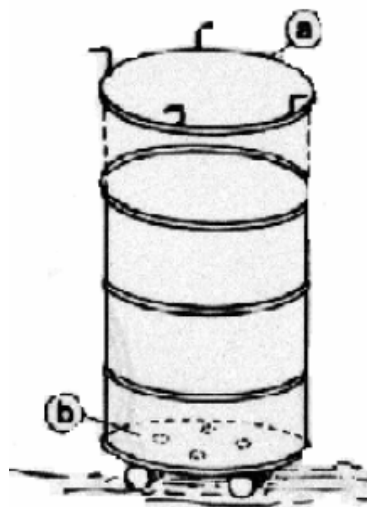
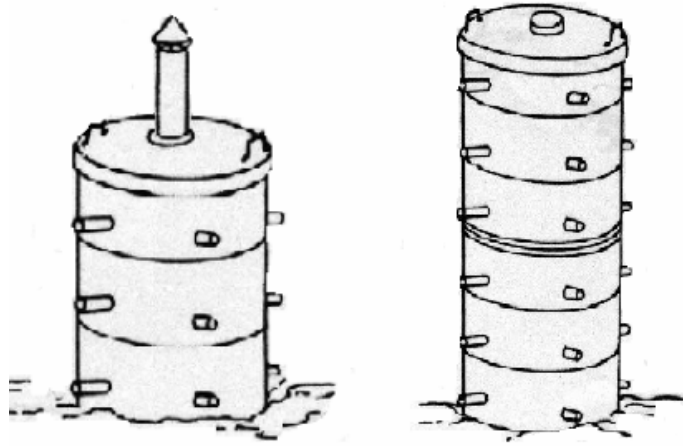


Figura 13– Tanque de 200 litros con tapa removible y orificios en el fondo.

En la figura 13, el costado del tanque se convierte en tapa, y en el otro costado se hacen perforaciones para acceso del aire de combustión (rejilla). Se inicia la combustión por el fondo del tanque, alimentándolo enseguida con cáscaras de coco. Cuando el tanque esta hasta la mitad de carbones vivos, se cubre la parte inferior con tierra. Se espera hasta el final de la carbonización y enfriamiento.



Figuras 14 y 15 – Tanque metálico de 200 litros con chimenea, orificios laterales y en el fondo, mostrándose el fondo cubierto con tierra. Dos tanques juntos aumentando la capacidad de producción.

Se puede usar también tanques verticales con aberturas laterales para la entrada de aire, como se muestra en las figuras 14 y 15. Estas aberturas tienen funciones semejantes a los “tatus” y “baianas” de los hornos de ladrillos. A medida que se eleva el nivel de las brasas dentro del tanque, se sellan las aberturas con arcilla. Como se observa en la figura 15, también se puede utilizar dos tanques soldados.

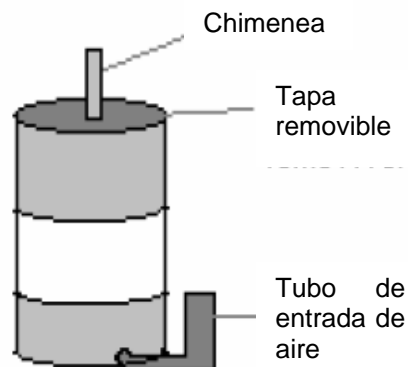


Figura 16 – Sugerencia del Laboratorio de Productos Forestales – LPF - de horno de tambor de 200 litros, funcionando como el horno de la figura 13, sin el fondo del tambor.

Además de estos podemos citar otros procesos que permiten carbonizar residuos en forma de partículas y que son utilizados en otros países (Figuras 17 y 18).

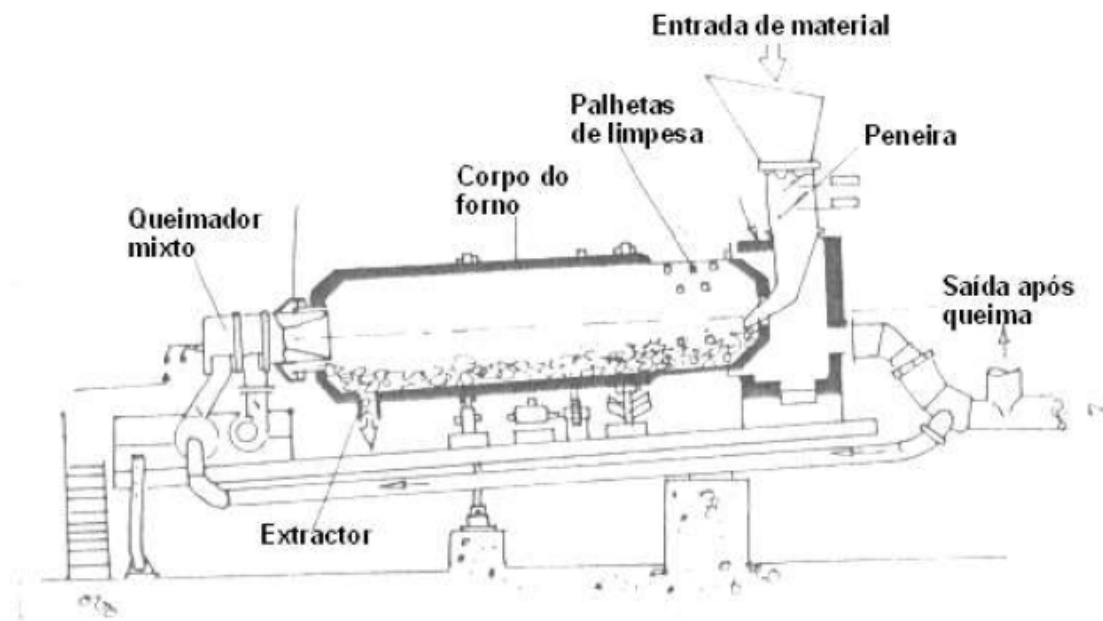


Figura 17 – Horno continuo francés tipo Pillard para carbonización de residuos (*fuelle: CTFT, CIRAD*).

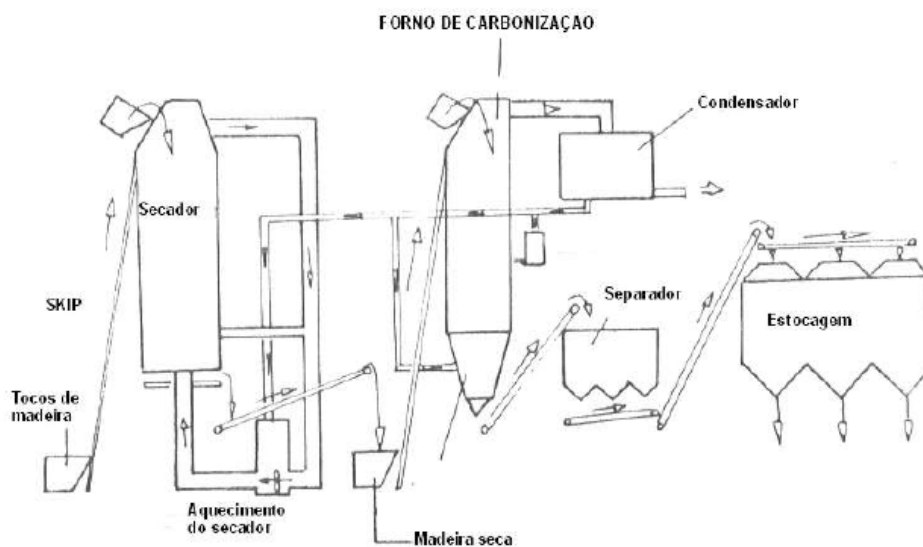


Figura 18 – Horno continuo tipo Lambiote para carbonización de pedazos de madera (*fuelle: CTFT, CIRAD*).

17 – ¿Que es carbón activado y para que sirve?

El carbón activado es un adsorbente universal, bastante difundido, con usos destacados en la refinación del azúcar, tratamiento de agua, envejecimiento de bebidas, recuperación de solventes, purificación de aire, tratamientos medicinales, producción de resinas sintéticas, purificación de residuos industriales, además de aplicaciones analíticas de laboratorio como análisis cromatográficos, etc.

El carbón vegetal se deriva de la formación de cristales gráfiticos, elementales, con disposición irregular, bloqueado estructuralmente por los carbones amorfos y alquitranes, durante un proceso de pirólisis convencional. La activación del carbón consiste en eliminar estos bloqueos por el tratamiento físico o químico.

La capacidad de adsorción del carbón activado es determinada por la estructura porosa y por la composición química. A adsorción del carbón activado puede ser física o química.

Métodos de análisis de eficiencia:

- número de yodo;
- isoterma de Freudlich e isothermas teóricas
- $x/m = kcE^{1/n}$ onde x = masa adsorvida
- m = masa adsorbente, c = concentración adsorbato,
- k e n = constantes del sistema.

Procesos de activación del carbón:

- activación química = carbonización + agente activante;
- activación física = es el carbón tratado con agentes oxidantes (aire, CO₂, vapor H₂O super caliente);

Materias-primas:

- residuos de madera, residuos de la explotación forestal,
- residuos de licores sulfito y linhita, cortezas vegetales en general, antracito, celulosa,
- etc.;

Parámetros del proceso:

- temperatura, tiempo de activación, tipo de horno, agente activante.

Un aspecto importante del carbón activado es que puede ser producido a partir de residuos de madera o residuos finos del proceso de producción del carbón vegetal, que como vimos, puede incluso llegar al 25 % de producción total de carbón. A pesar de la gran disponibilidad de estos residuos en Brasil, el carbón activo continúa siendo importado.

18 – ¿Que es briquetaje de residuos?

El briquetaje es un proceso de **compactación de residuos**. Los residuos generalmente presentan baja densidad dificultando y encareciendo el transporte y el abastecimiento. Para conseguir utilizar o reciclar los residuos es necesario transportarlos y almacenarlos. La densificación de los desechos a través del briquetaje hace posible la valorización de una serie de residuos. Y promueve su homogenización en términos de humedad, granulometría y densidad.

Prácticamente todo residuo de origen vegetal puede ser compactado por el briquetaje, basta con atender las necesidades de granulometría y contenido de humedad exigido por el proceso.

Este proceso posee la ventaja de transformar un residuo de bajísima densidad en una **leña de alta calidad**. El siguiente cuadro da una idea de la compactación alcanzada para algunos residuos.

Tabla 4 – Densidad y poder calorífico de residuos y de los briquetes correspondientes.

Tipo de residuo	Densidad natural del residuo (kg/m ³)	Densidad del briquete (g/cm ³)	Densidad a granel del briquete (kg/m ³)	Poder calorífico (kcal/kg)
Paja de maíz	33	0,91	550	3570
Polvo de sierra	274	1,22	570	4880
Virutas de madera	112	1,16	565 – 615	4800
compensado de Planta	132	0,83	560	4424
Cascarilla de arroz	150	1,28	610	3730
Bagazo de caña	180	1,10	500 - 600	3700

Observamos que los residuos más comunes son compactados al rededor de 5 veces. Eso permite afirmar que tendremos por lo menos 5 veces más energía en 1 m^3 de briquetas que en 1 m^3 de residuos.

Los residuos briquetados son secos, poseen un porcentaje de humedad al rededor de 8-12 %. Estos briquetes son equivalentes a una leña seca, de elevada densidad y con una forma extremadamente homogénea, permitiendo la mecanización en la alimentación del equipo.

Todos los tipos de residuos orgánicos pueden ser briquetados, necesitando apenas ser colocados con una granulometría y un contenido de humedad adecuadas al proceso de densificación.

La densificación de los residuos facilita el abastecimiento y amplía el rendimiento económico de transporte de los mismos, viabilizando técnica y económicamente la utilización de muchos residuos.

Una máquina de briquetaje (como la del LPF) produce un equivalente en briquetas a 5.440 kWh/h en cuanto consume apenas 26,4 kWh/h.

19 - ¿Cuales son los principios del briquetaje de residuos vegetales?

Existen diversas tecnologías para compactación de biomasa. Los residuos después de la transformación en cavacos secos entre 12 a 18 %, pueden ser briqueteados **en extrusoras de pistón mecánico**, extrusoras de pistón hidráulico, extrusoras de rosca sin fin, o aún peletizados. El Laboratorio de Productos Forestales hace la difusión de uno de estos procesos denominado, briquetaje en extrusora de pistón mecánico, mostrado en la figura 19. Este proceso ya se utiliza hace mucho tiempo en Europa. También hace la difusión de la peletización, que son residuos extrusados en diámetros entre 6 mm a 16 mm.



Figura 19 – Briquetera de pistón mecánico (Fuente: Biomax).

Estas briqueteras poseen un sistema de compactación mostrado en la Figura 20, o sea, un pistón ligado a un eje de manivela accionado por un motor eléctrico. El volante sirve para almacenar energía cinética y para mantener el funcionamiento continuo que necesita de gran potencia.

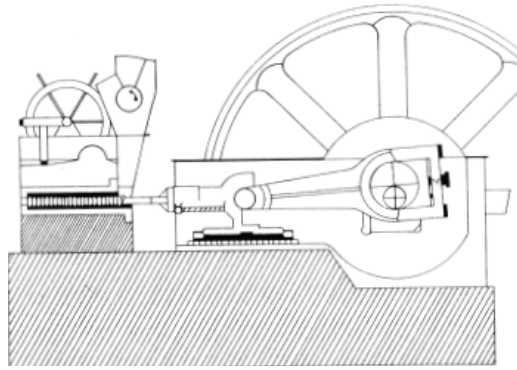


Figura 20 – Principio de briquetaje de las extrusoras de pistón mecánico

Además de este proceso podemos utilizar compactadoras de aserrín como se ilustra en la figura 21, que es una extrusora basada en el funcionamiento de pistón hidráulico.



Figura 21 – Briquetadora de pistón hidráulico, importada de Italia (*fuentes: POR Ecomec s.r.l.*)

La prensa extrusora de pistón hidráulico es un proceso muy utilizado en otros países, presentando óptimos resultados. Es un equipo de fácil mantenimiento, de bajo consumo de energía, comparándolo a otros tipos.

La prensa hidráulica es un equipo que usa un pistón accionado hidráulicamente. El material a ser compactado es alimentado lateralmente por una rosca sin fin. La parte frontal del embolo se abre y expulsa el briquete cuando se alcanza la presión deseada. Este proceso, a pesar de producir un briquete de calidad, presenta un bajo rendimiento de producción.

20 – ¿Cómo se analiza la viabilidad de una planta de briquetes?

Integran los estudios y proyectos para las unidades de compactación de residuos:

- **Estudio de Inventario de residuos** - permite la evaluación de la capacidad de producción de residuos disponibles para compactación en la región. Estimación de la capacidad de producción de la planta de briquetes. Delimita el margen técnico y económico viable de recolección.
- **Estudio de Viabilidad** - realizado el concepto de plantas de briquetes, traer a consideración las posibilidades del mercado consumidor y su radio económico de alcance. Analiza el costo de producción en función de la escala de producción. Debe demostrar las ventajas del proyecto, o

sea, los impactos ambientales positivos, equivalentes a EIA/RIMAS. Este estudio demuestra la producción energética, además de las variables técnico - económica y ambiental.

• **Proyecto Básico** – fase que se caracteriza por el cálculo del valor total de las inversiones a partir de estudios de ingeniería más detallados, para subvencionar la contratación de las obras por los inversionistas. En esta etapa, también son definidas las condiciones ambientales y de gestión de recursos, y residuos necesarios de la producción, respectivamente, la obtención de las licencias ambientales y plan o proyecto para demanda de financiamientos vinculados a organismos de incentivo al desarrollo económico (Fundaciones, Bancos regionales de desarrollo, Organismos de desarrollo y medio ambiente, etc.).

Viabilidad técnica y económica para producción de briquetes de residuos:

- El análisis de la viabilidad técnica, se restringe a la disponibilidad y características de los residuos vegetales, estando relacionada con la necesidad de molido y secado, y la facilidad de compactación;
- La viabilidad económica, es analizada para cada planta, localidad y región. Depende del costo local de los residuos, de la mano de obra, los insumos básicos, los impuestos municipales y estatales, la disponibilidad de energía eléctrica y la dimensión y distribución del mercado consumidor.

Ejemplo de análisis de viabilidad económica, efectuada para una ciudad en el Estado de Rodônia en Brasil.

Este estudio fue efectuado por el LPF y el estudio de viabilidad económica efectuado por CEBRAE-RO en octubre de 2003. No es posible extrapolar para otras localidades, sirve como ejemplo!

Capacidad de producción instalada de la planta: 10.714 toneladas / año.

*Valores convertidos en Dólar americano.

1 - Plan de uso de las inversiones a realizar

Activo Fijo	
Construcciones Civiles	USD \$ 13.168
Maquinarias y Equipos	USD \$ 69.586
Muebles y Utensilios	USD \$ 3.296
Total de Activo Fijo	USD \$ 86.069

Capital de Giro

(Caja mínima, Financiamiento de vendas, Materia prima, Material de embalaje, Combustibles y lubricantes, Productos en elaboración, Productos acabados, Piezas y material de repuesto, Otros).

Elaboración del proyecto (5 %)

2 – Capacidad Instalada de la Empresa (anual=10.714 t) USD \$ 137.366
(operación al 80% de la capacidad instalada)
(costo unitario de producción = USD \$ 12.82)

3 – Régimen de producción = Continuo.

4 - Escala de la producción = consumo en la misma región de producción = radio de transporte no superior a 120 km.

5 – Régimen de trabajo 24 Horas/día
 24 Días/mes
 12 Meses/año => 6.912 h X 1,55 t/h = 10.714 t/año

6 - Necesidad de insumos en la producción

Insumo	Unidad	Valor USD \$
Residuo	m ³	19621
Material de embalaje	milherio	12454
Combustibles y lubricantes	litro	1866
TOTAL		33942

7 – Necesidad de mano de obra anual

Mano de obra fija	USD\$ 3.323
Mano de obra variable	USD\$ 11.789
Total	USD\$ 15.112

8 – Obligaciones Sociales Anuales

Mano de obra fija	USD\$ 2.658
Mano de obra variable	USD\$ 9.431
Total	USD\$ 12.089

9 – Depreciación, Mantenimiento y Seguro Anual US\$ 7.618

10 - Estructura de Costos Totales Anuales

Descripción	Valor USD \$
Costos Fijos	16366
Salarios	3323
Obligaciones sociales	2658
Depreciación	7618
Mantenimiento	1159
Seguros	828
Imprevistos	779
Costos variables	88904
Mano de obra	11789
Obligaciones sociales	9431
Materia prima	19622
Material de embalaje	12454
Combustibles y lubricantes	1866
Energía	20505
Agua	1307
Comunicación	412
Impuestos	5543
Alimentación	1740
Imprevistos	4233
COSTO TOTAL	105270

20 – ¿QUE ES LA PELETIZACION?

La peletización de residuos vegetales es una técnica bastante difundida y empleada en los países templados del hemisferio norte. Son residuos compactados utilizando el mismo principio del briquetaje – presión y calor – donde los peletes en la forma cilíndrica presentan diámetros variados entre 6 mm y 16 mm generalmente. En los países templados o fríos son utilizados, para la calefacción residencial mediante la quema en hornos construidos específicamente para este fin, realizados con estética esmerada contribuyen con la decoración de los ambientes.



Figura 22 – Pelets de diferentes materiales y diferentes diámetros. Fuente: Amandus Khal, 2007.



Figura 23 - Detalle constructivo de una peletizadora vertical. Fuente: Amandus Khal, 2007.

Otro uso importante actual de los pelets, es la generación de electricidad. Algunas termoeléctricas en Europa son movidas mediante la quema de pelets para generación de vapor que acciona las turbinas. Algunas plantas están sustituyendo la quema de carbón mineral por los residuos vegetales. La preocupación por el medio ambiente, donde se procura la sustitución de combustibles fósiles por la biomasa.



Figura 24 – Prensa peletizadora de matriz vertical. Fuente: Promil Stolz, 2007.

22 – ¿El briquetaje de residuos tiene alguna ventaja adicional en la generación de energía?

Si. Podemos ejemplificar y comprender mejor este aspecto haciendo algunas consideraciones.

El Balance Energético Nacional-BEN del Ministerio de Minas y Energía – MME, atribuye para la leña cortada, o sea, aquella que proviene de la colecta residual, de la sobra de la explotación forestal o de residuos y no se originan en plantaciones homogéneas; una densidad de 300

kg/st, con un poder calorífico de 3.300 kcal/kg a 25 % de contenido de humedad. Por tanto, este es el valor adoptado para llegar al siguiente razonamiento.

Para **1 tonelada** de leña tendremos necesidad de **3,33 st de leña**, llamados vulgarmente como metro de leña.

Consideramos que cada tonelada de leña posee 3,33 tareas de leña, o popularmente 3,33 metros de leña. Con un poder calorífico de 3.300 kcal/kg.

El LPF, en varias mediciones recientes del poder calorífico de briquetes de residuos, obtuvo un valor medio de 4.400 kcal/kg con una densidad promedio de 655 kg/t. Los briquetes varían de densidad al granel en función de la forma y del diámetro de la producción adoptada.

Para establecer una comparación entre el rendimiento energético de briquetes de residuos y de la leña cortada necesitamos hacer los siguientes cálculos:

1 t de leña $\Rightarrow 3.300 \text{ kcal/kg} \times 1000 \text{ kg} = 3.300.000 \text{ kcal}$

1 t de briquetes $\Rightarrow 4.400 \text{ kcal/kg} \times 1000 \text{ kg} = 4.400.000 \text{ kcal}$

1 t de leña ocupa $3,3 \text{ m}^3$ - de 1 tonelada de leña, 250 kg es agua.

1 t de briquetes ocupa $1,5 \text{ m}^3$ - de 1 tonelada de briquetes, 80 kg es agua.

La leña es un material heterogéneo que proviene de diferentes especies de madera con forma variable y contenido de humedad generalmente elevado. El briquete presenta forma regular, humedad próxima al 8 % y constitución homogeneizada por el proceso de compactación.

Estos factores hacen que, en un equipo térmico, el briquete alcance un rendimiento térmico superior hasta en un 50 %, mencionado por la literatura técnica y comprobado por el LPF/IBAMA.

Este hecho es bastante comprensible si hacemos una analogía con el desempeño de un vehículo utilizando una gasolina de mala calidad y una gasolina de excelente calidad.

Una industria de cerámica, que utiliza briquetes, consigue realizar operaciones homogéneas, con ciclos de quema más cortos y una proporción de productos de primera calidad bastante superior, facilitándose la regularización y el perfeccionamiento del proceso productivo. Esto significa utilizar menos toneladas de briquetes que toneladas de leña, tanto por el contenido energético como por el rendimiento térmico superior. En consecuencia, la rentabilidad económica del proceso productivo es mayor. Además de esto, la irregularidad de la fuente de leña, identificado por todos los tipos de industrias de cerámicas, puede ser resuelto.

Un industrial de la cerámica es sensible a la importancia de la calidad de la leña o del combustible, el observa en la práctica la diferencia de operar con leña de mala y buena calidad. Como ya se dijo, el briquete representa una leña de alta calidad.

De esta manera, si consideramos el poder calorífico del briquete superior en 1,33 veces al de la leña, y que el rendimiento energético superior hasta en un 50 %, podemos admitir que el costo de una tonelada de briquetes llegue al doble de una tonelada de leña.

1,33 (superioridad del PC del briquete)
x 1,5 (superioridad en el rendimiento del horno)
= 2 (superior al rendimiento de la leña)

23 – ¿Qué es briquetaje de carbón vegetal?

El briquetaje de carbón vegetal es un proceso que permite aprovechar los carbones en forma partículas, o entonces, carbonizar residuos en forma de partículas y después compactarlos. El briquete es un pequeño bloque de forma predefinida, resultante de la aplicación de presión en una mezcla partículas de carbón con un aglutinante, dentro de moldes matriciales, a través de orificios entre cilindros rotativos u otros mecanismos similares. Lo importante es que durante el

prensado exista, surja o se cree, una afinidad entre las partículas haciendo que ellas permanezcan unidas, manteniendo o mejorando las características del material de origen.

Los aglutinantes utilizados en el briquetaje de carbón, son materiales esenciales en el apoyo técnico y económico del proceso.

Las partículas deben tener una distribución granulométrica adecuada para proporcionar calidad del briquete y ahorro del aglutinante.

Los aglutinantes pueden ser de diversa naturaleza, el más utilizado comercialmente es el almidón de maíz. En Brasil se busca utilizar el almidón de mandioca, por la abundancia de este producto.

Los tipos de aglutinantes son:

- Aglutinante tipo matriz, como alquitrán, que envuelven completamente las partículas formando una matriz continua;
- Aglutinante tipo película, usado como soluciones o dispersiones, siendo el agua el solvente más común, como por ejemplo silicato de sodio, almidón, melaza;
- Aglutinante químico, cuyo efecto de adhesión depende de reacciones químicas efectivas de los componentes de los aglomerantes, como por ejemplo los silicatos + CO_2 .

En Brasil, a pesar de la gran oferta partículas de carbón vegetal de residuos carbonizados, los briquetes siguen siendo poco fabricados en función del bajo precio del carbón vegetal común.

Normalmente los briquetes de carbón vegetal son fabricados para uso doméstico. Dependiendo del uso, la calidad del briquete debe ser diferente. Para uso siderúrgico, como termo-reductor, el briquete necesita poseer resistencia al calor.

Para uso doméstico, la baja toxicidad es la propiedad más importante, seguida de la resistencia a la manipulación, facilidad de encendido, facilidad de transporte y nivel de abastecimiento.

Para uso siderúrgico son necesarias las siguientes características: un contenido de cenizas inferior al 12 %, materiales volátiles por debajo de 15 %, carbono fijo encima de 73 %, contenido de azufre inferior a 0,5 % y resistencia mecánica a la compresión en caliente superior a 70 kg/cm².

En la composición de un briquete de carbón vegetal, a más que las partículas de carbón y el aglutinante. Podemos adicionar otros productos que van a contribuir para mejorar las propiedades deseadas, influenciando en todas las características del briquete, incluyéndose los productos que van a agregar el olor característico a los mismos.

Como los equipos de briquetaje de carbón vegetal no poseen una línea de producción en Brasil, esto hace que los mismos sean importados o se produzcan en Brasil sobre pedido, a través de proyectos específicos.

24 – ¿Qué es la gasificación?

La gasificación es un proceso de degradación térmica que permite transformar un combustible sólido, como los residuos vegetales, en gas combustible o gas de síntesis. En esta pirolisis integral, lo que resta son los minerales que forman los residuos o que están asociados a los mismos durante su vida útil. Lo que sobra en la gasificación son las cenizas lixiviadas, normalmente de origen mineral. Este proceso inicia con la combustión, pasando por la carbonización que se da entre 500-600°C iniciando a partir de temperaturas sobre los 600°C en la fase propiamente de gasificación o fase del hidrógeno.

El tipo de gasificador puede ser definido en función del gas deseado, gas de síntesis o gas combustible, o en función del tipo de combustible gasificado, leña, carbón etc.

Los gasificadores que producen gas de síntesis generalmente son más sofisticados y trabajan presurizados con oxígeno, son de mayor tamaño y necesitan de unidades auxiliares de limpieza.

Los gasificadores para producir gas combustible pueden ser más simples, por lo tanto el gas puede ser menos puro conteniendo mayor porcentaje de piroleñosos, no necesitando de alimentación con oxígeno.

La gasificación de madera es conocida por algunos años, generalmente desarrollada de la gasificación del carbón mineral.

Existen gasificadores llamados gasógenos, que ya fueron bastante utilizados en automóviles, durante la Segunda Guerra Mundial. Estos gasificadores producen gas combustible para los motores de explosión. Durante el auge del petróleo, al final de la década del setenta, se utilizó nuevamente este tipo de gasificador en grupos generadores de electricidad, tractores agrícolas y camiones.

También a partir de la Segunda Guerra Mundial, algunos modelos de gasificadores industriales fueron celebres, siendo bastante usados en Europa, principalmente en Inglaterra y Alemania, grandes productores de carbón mineral. Algunos de estos gasificadores fueron posteriormente transformados para utilizar madera en vez de carbón mineral. Los principales modelos fabricados fueron: gasificador tipo Davy con leito móvil (up-draft), flujo de aire – oxígeno a contracorriente, rejilla rotatoria, funcionando a la presión atmosférica. El tipo Lacote, construido en Francia en 1938, que con la carencia de gasolina comenzó a producir gas de síntesis del metanol a partir de madera. Gasificador Winkler, desarrollado en Alemania en 1922, con unidades que funcionan hasta hoy.

25 – ¿Que es madera quemada?

Si la pirolisis de la madera es interrumpida por debajo de los 280°C, tendremos un producto intermedio entre la madera y el carbón vegetal, llamado madera quemada, o madera rectificada térmicamente. Esta denominación dependerá de la finalidad para la que estemos haciendo el tratamiento térmico. Usar este tratamiento para producir un combustible, puede simplemente llamarse madera torrada, como hacen los franceses. Sin embargo, tratar la madera para obtener un producto con características modificadas, allí el término correcto es de madera rectificada térmicamente.

La madera puede ser tratada térmicamente con tres objetivos específicos:

- Obtener una madera más resistente a la biodegradación;
- Obtener un combustible energéticamente más rico que la madera, o sea, dar a esta un poder calorífico aproximado de 6.000 kcal/kg, intermedio entre la madera no tratada y el carbón vegetal;
- Obtener una madera más dura físicamente y estable a las variaciones de dimensiones por las alteraciones del contenido de humedad.

Por ejemplo, una madera suave y de baja densidad, es rectificada térmicamente en una autoclave, adquiere mayor dureza superficial, pudiendo hasta ser utilizada en pisos. Estos productos ya son comercializados por algunos años en Europa. La madera con este tratamiento obscurece muy poco. Las maderas claras de coníferas tienden a adquirir la coloración de una Embuía.

Con respecto a la resistencia a la biodegradación, la madera se torna más resistente a los hongos pero continua susceptible a los cupins.

Frente a las variaciones dimensionales, relacionadas con la humedad, la madera tratada térmicamente adquiere mayor estabilidad dimensional, hecho ya identificado experimentalmente por varios investigadores, hace más de 50 años.

26 – ¿Qué son centrales termoeléctricas de leña?

La quema de biomasa en una caldera produce vapor con presión elevada que es utilizada en una turbina, donde se expande y produce trabajo en forma de eje giratorio; que irá accionar a un alternador y producir, energía eléctrica para consumo en sus bornes (según un "ciclo motor a vapor de Rankine")

La tecnología implicada en el funcionamiento de una pequeña central termoeléctrica es conocida y dominada por la ingeniería brasilera a través de varias empresas nacionales.

La pequeña central termoeléctrica es concebida primitivamente para consumir leña, pudiendo también consumir otras biomásas como, cascarilla de arroz, bagazo de caña, corteza de babaçu y residuos celulósicos en general. Recordemos que el residuo compactado (briquete) es ideal por la homogeneidad de forma y calidad energética pudiendo, inclusive, facilitar la mecanización de la alimentación de la caldera.

Las pequeñas termoeléctricas pueden también ser transportables, de fácil mantenimiento pudiendo ser operada por mano de obra no especializada.

Por ejemplo, una planta que produce en los bornes de su generador 5.000 kW de potencia, presenta un consumo específico de 2 kg de leña por kWh (según datos de un fabricante de Centrales termoeléctricas DEDINI).

Considerando que un briquete de residuos de la industria maderera tiene calidad superior a la leña considerada en este ejemplo, podemos asumir que 1 tonelada de briquete, puede producir 600 kWh.

A medida que aumentamos la dimensión de las centrales termoeléctricas, la tendencia es aumentar la eficiencia (rendimiento).

Como se vio, el aprovechamiento energético de los residuos vegetales es totalmente variable, presentando varias posibilidades de valorización, en función de las diversas tecnologías disponibles. Para cada residuo es necesario analizar la viabilidad técnica y económica. En Brasil actualmente no se permite a negligencia en la conservación del medio ambiente a través de la descarga de residuos, ni de desperdicio energético de esta significativa fuente de energía.

Referencias de "Web sites" sobre energía de biomasa en América y Europa

Como el tema esta sujeto a innovaciones y perfeccionamientos constantes, se recomienda la consulta rutinaria en el internet. Abajo, están relacionados más de 60 "web sites", de entre los más recomendados.

- [ITEBE](#) : Institut Technique Européen du Bois-énergie
- [le bois énergie au Congrès forestier mondial 1997 - FAO](#)
- [Agricultural and Forestry Science](#) (energy crops) : Université d'Helsinki
- [Agricultural research center of Finland](#) : Institut of Crop and Soil Science, Energy Crops
- [BIOENERGIA](#) : programme de recherche sur l'énergie de la biomasse
- [Canadian renewable fuels association](#)
- [Combustion and gasification research](#) : Université d'Åbo Akademi
- [Euroforest : la forêt en tant que ressource renouvelable pour la production d'énergie](#)
- [Forestry Science](#) : Université de Joensuu
- [la Forêt en tant que ressource renouvelable pour la production d'énergie](#) : rapport du Parlement européen (en français, also available in other languages)

- [Les chaudières Géminox](#)
- [valorisation énergéla biomasse par voie thermochimique - IEPF](#)
- [IVO Group](#) : fournisseur pour centrale de production d'énergie
- [Ministry of trade and industry of Finland, Energy department](#)
- [Research on combustion and gasification technology](#) : Université technologique d'Helsinki
- [Research on peat, wood and agrobiomass production and utilization](#) : Université de Oulu
- [le bois énergie chez Rhône Alpes Energie - environnement](#)
- [Sermet Oy](#) : fabricant de chaudières biomasse finlandais
- [TEKES](#) : promotion et support financier pour la R&D en bois énergie en Finlande
- [VTT Energy](#) : technologies de production et de combustion de la biomasse, services d'information sur la biomasse, essences de moteur alternatives
- [VTT Chemical Technology](#) : recherche sur les technologies de l'environnement
- [Atmospheric Impact of Biomass Burning](#) - from the Environmental Geochemistry division of the National Institute for Space Research.
- [Bioenergy](#) - A resource for biomass conversion technology.
- [Bioenergy Feedstock Development Program](#) - aims to developm and demonstrate environmentally acceptable crops and cropping systems for producing high-quality biomass feedstocks.
- [Bioenergy: Its Present and Future Competitiveness](#)
- [Biofuels Information Center](#) - operated by the National Renewable Energy Laboratory.
- [Biofuels Information Network](#) - BIN provides electronic versions of information created and managed by the Oak Ridge National Laboratory and the National Renewable Energy Laboratory.
- [Biomass Energy Businesses in the World](#)
- [Biomass Resource Information Clearinghouse](#) - purpose of this clearinghouse is to provide high-quality biomass resource data for the United States.
- [Energy Technology Center](#) - biomass research center.
- [Greenhouse Gas Mitigation: Biomass Utilization](#) - from the EPA.
- [IEA Bioenergy](#) - information on biomass production, harvesting and supply; biomass utilization; energy recovery from municipal solid waste; greenhouse gas balances of bionergy systems.
- [Regional Biomass Energy Program](#) - goal is to increase the production and use of biomass energy resources.
- [T.R. Miles' Biomass Page](#)

- [U.S. Department of Energy - BioPower](#) - information about creating electricity from biomass.

[Kentucky Pollution Prevention Center KWWAWebpage.htm wood@kppc.org](#)
[Department for Natural Resources \(DNR\), Division of Energy](#)
[Kentucky Department of Agriculture, Division of Value-Added Marketing](#)
[Kentucky Division of Forestry](#)
[Kentucky Forest Industries Association](#)
[Kentucky Wood Manufacturer Association](#)
[East Kentucky Corporation](#)
[Eastern Kentucky University's Center for Economic Development, Entrepreneurship, and Technology](#)
[Kentucky Wood Products Competitiveness Corporation](#)
[KDEP, Division of Waste Management](#)
[KY Business Environmental Assistance Program](#)

<http://www.ibama.gov.br/>
<http://www.lpf.ibama.gov.br/>
[Rede Bras de Inf em Energia - REBIE](#)
[ABRACAVE](#)
sbs.org.br
[Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG](#)
[FAO - Forestry - Home Page](#)
[BIOEXTON](#)
[ITTO Index Page](#)
[Bem-Vindo ao Laboratório de Ozônio](#)
[Ben](#)
[Bolsa de Reciclagem Sistema FIEP](#)
[Frameset1](#)
[KWWAWebpage.htm](#)
wood@kppc.org
[Kentucky Division of Energy](#)
[AJENA énergie et environnement](#)
[ITEBE Institut Technique Européen du Bois Energie](#)
[Resíduos no Brasil](#)