

LA MADERA COMO COMBUSTIBLE

Jorge Bueno Zárate¹

RESUMEN

Se evalúa el potencial energético de los bosques del Perú, estimándose que el poder calorífico de la madera producida anualmente por sus bosques de producción es, al presente, mayor que el de las reservas probadas de petróleo. Se analiza la combustión directa, la carbonización, la destilación seca, la fluidificación y la gasificación como posibilidades para el uso de la madera como combustible. En el caso de la combustión directa se determina la influencia de la humedad en el calor útil.

SUMMARY

The energetic potencial of the Peruvian forests is evaluated. The caloric power of the wood produced yearly by the production forests is at present, more than the proved reserves of all in the country. Direct combustion, carbonization, dry distillation hydrolysis, fluidization and gasification are analyzed as alternatives for wood utilization as fuel. The influence of wood humidity on the useful caloric power is determined in the direct combustion.

1. INTRODUCCION

La madera tiene múltiples aplicaciones. Una de ellas casi tan antigua como la humanidad y, que por la crisis del petróleo ha retomado actualidad, es la producción de energía. Para generar energía la madera puede usarse por combustión directa, caso más antiguo y frecuente, puede carbonizarse, transformarse en alcohol, fluidificarse o gasificarse obteniéndose en estos tres últimos casos, combustible para motores de combustión Interna.

A diferencia del petróleo y del carbón de piedra, recursos no renovables, la madera puede ser producida en cantidades indefinidas por el bosque, recurso renovable. El 57 % del territorio peruano está cubierto de bosques; ocupa el segundo lugar en superficie boscosa, después del Brasil, en Sudamérica. En 1985, se produjeron 4.3 millones de m³ de madera redonda en el país (Ministerio de Agricultura, 1986), de los que el 73 % se destinó a combustible, principalmente domestico y el 27 a la Industria. A nivel, mundial en 1984, se emplearon 1,594 millones de m³ de madera redonda para combustible (FAO, 1986), que representan el 52 % del volumen total de madera producida en dicho año.

La utilización de la madera con finos energéticos en el país es muy reducida con relación al potencial de sus bosques: menos del uno por ciento del incremento volumétrico anual.

2. POTENCIAL ENERGETICO DE LOS BOSQUES PERUANOS

Los bosques peruanos tienen una superficie de 72.9 millones de ha de dicha superficie, 2.7 millones de ha son bosques naturales y 208 mil ha son de plantaciones forestales. Los bosques de producción tienen 59 millones de ha y los de protección 13.9 millones (Ministerio de Agricultura 1986)

¹ Profesor principal, Departamento Académico de Industrias Forestales, Universidad Nacional Agraria La Molina

Los bosques naturales están compuestos, en general, por gran número de especies, pudiendo encontrarse hasta 200 diferentes en bosques de cierta extensión. Los bosques naturales se encuentran principalmente en la cuenca amazónica, en la zona andina hay pequeñas extensiones en áreas altas e inaccesibles y en la parte norte de la zona costera. Las plantaciones forestales son de *Eucalyptus globulus* principalmente y se encuentran en la zona andina.

Entre las especies que componen los bosques peruanos hay especies que tienen un crecimiento muy lento, menos de $1 \text{ m}^3(\text{r})/\text{ha}/\text{año}$, así como otras de crecimiento muy rápido, más de $30 \text{ m}^3(\text{r})/\text{ha}/\text{año}$. La densidad de sus maderas oscila entre 0.15 a más de $1.0 \text{ gr}/\text{cm}^3$, existiendo una correlación inversa entre crecimiento y densidad.

Si se considera un crecimiento de $10 \text{ m}^3(\text{r})/\text{ha}/\text{año}$ y $0.48 \text{ gr}/\text{cm}^3$ de densidad, la madera producida anualmente por hectárea, tiene un poder calorífico superior equivalente a 16 barriles de petróleo aproximadamente. El poder calorífico útil para dicha madera con 20 por ciento de humedad, es de unos 10 barriles de petróleo por hectáreas. Con base en esta última cifra, la madera producida anualmente en los bosques de producción del país (59 millones de ha), equivale a 590 millones de barriles de petróleo; es decir más de las reservas probadas al presente.

En 1985 se produjeron 4.3 millones de m^3 de madera redonda en el país. De dicho volumen el 27 % se industrializó y el 73%, es decir 3.14 millones de $\text{m}^3(\text{r})$, se destinó a combustible como leña (Ministerio de Agricultura, 1986) para necesidades domésticas principalmente. Asumiendo un peso específico promedio de $0.48 \text{ gr}/\text{cm}^3$ para la madera utilizada como combustible, dicho volumen equivale a 5 millones de barriles de petróleo, es decir la producción nacional actual de petróleo de aproximadamente 26 días.

La agricultura migratoria corta una superficie de bosques, quema la madera, cultiva la tierra 2 ó 3 años, vuelve a rozar otra superficie de bosques y así sucesivamente. Se estima que mediante este sistema se deforesta alrededor de 250,000 ha anualmente. Considerando $100 \text{ tn}/\text{ha}$ de materia seca, la biomasa quemada sin un real beneficio en esta superficie, equivale en poder calorífico al petróleo nacional producido en más de un año.

La madera es poco usada en el país para generación de energía industrial. Incluso entre las industrias madereras, raras son las que utilizan los residuos de sus líneas de producción para generar energía para sus necesidades.

3. LA MADERA COMO FUENTE DE ENERGIA

La madera se compone esencialmente de carbono, hidrógeno y oxígeno; tiene también sustancias minerales, que luego de la combustión quedan como cenizas, y trazas de nitrógeno. El carbono, hidrógeno y oxígeno se combinan produciendo los constituyentes principales de la madera: celulosa, hemicelulosa y lignina, en proporción variable según las especies. Igualmente producen otros componentes conocidos genéricamente como extractivos, cuya composición y porcentaje no son constantes en las distintas maderas. Las cenizas también varían en composición y cantidad según las especies.

En términos generales, la madera tiene la siguiente composición química (Kollman 1960): Celulosa (40 a 61), Hemicelulosas (15 a 30), Lignina (17 a 35), Extractivos (1 a 20), y Cenizas (0.2 a 5.8).

La celulosa y las hemicelulosas constituyen la fracción de carbohidratos de la madera, conocida también como holocelulosa. La celulosa se encuentra en la pared celular de los elementos anatómicos

de la madera, siendo las fibras las que contienen la mayor parte de ella los ácidos hidrolizan la celulosa transformándola en glucosa. El calor la descompone produciendo diversos derivados.

Las hemicelulosas son compuestos complejos integrados por hexosanos, pentosanos y polimerizados principalmente. Están estrechamente asociados a la celulosa y forman parte de los carbohidratos de la madera. La hidrólisis ácida la transforma en azúcares simples, xilosa, manosa y galactosa entre otros.

La lignina no tiene una composición química definida y se acepta que no existe una sola clase, sino más bien que se trata de un grupo de sustancias que se conocen como lignina. Por hidrólisis no se transforma en sustancias simples constantes según las especies. El contenido de carbono en la lignina es más elevado que en la celulosa y hemicelulosa. Se encuentra principalmente en la lámina media, pero también se halla en la pared de las fibras siendo la sustancia que las une entre sí

La madera tiene en general un 50 % de carbono, 6 % de hidrógeno y 43 % de oxígeno (Kollman, 1960); dichos valores pueden variar según las especies (GIT, 1984).

El poder calorífico superior de las distintas maderas es similar. Las maderas que tienen resinas o aceites poseen mayor poder calorífico. En un estudio de 20 maderas latifoliadas peruanas se determinó un poder calorífico superior (PCS) entre 4,621 y 4,885 kcal/kg (Uceda, 1980). La madera de coníferas resinosa tienen un PCS de 5,000 a 5,300 kcal/kg (Kollman, 1960). Por otro lado la antracita 7,100 kcal/kg, el carbón de piedra bituminoso 7,300 kcal/kg y el petróleo bruto 10,800 kcal/kg (GIT, 1984).

Para producción de energía, la madera puede usarse por combustión directa, caso más antiguo y frecuente, puede carbonizarse, transformarse en alcohol, fluidificarse o gasificarse, obteniéndose en estos tres últimos casos combustibles para motores de combustión interna.

4. COMBUSTION DIRECTA DE LA MADERA

El calor útil producido por combustión de la madera en calderos y similares depende de varios factores; entre ellos, humedad de la madera, cantidad de agua formada en la combustión, cantidad de aire admitida para la combustión, calor arrastrado por los gases secos de chimenea, pérdidas de calor en los gases no quemados, sólidos no quemados y pérdidas por irradiación

La humedad de la madera incide fuertemente en el calor útil producido. Así, para una madera con 4,773 kcal/kg de PCS, con una temperatura inicial de 16.5°C, una temperatura de gases de chimenea de 232°C y 50 por ciento de exceso de aire, se tienen los siguientes calores útiles en función de la humedad (Panshin, 1959):

| Porcentaje de humedad (Sobre peso húmedo) (%) | Calor Útil (kcal/kg) |
|---|----------------------|
| 0 | 3.939 |
| 10 | 3.600 |
| 15 | 3.100 |
| 20 | 3.015 |
| 30 | 2.500 |
| 40 | 2.150 |
| 60 | 1.628 |
| 66 | 850 |
| 70 | 636 |

El porcentaje de humedad de la madera puede expresarse sobre peso húmedo o seco. Las fórmulas siguientes sirven para determinar el porcentaje de humedad sobre peso húmedo y peso seco, respectivamente.

$$\% H = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco} \times 100}{\text{Peso húmedo}}$$

$$\% H = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso Seco} \times 100}{\text{Peso seco}}$$

Los resultados de humedad obtenidos con las dos formulas son diferentes. Así si se tiene un peso húmedo de la madera de 1 kg y un peso seco de 0.5 kg, el porcentaje de humedad será de 50%, mientras que el porcentaje de humedad sobre base seca será de 100%

El porcentaje de humedad sobre base húmeda no llega a 100 por ciento, en cambio el determinado sobre base seca puede pasar del 100 por ciento.

| Contenido, de humedad de la madera (%) | |
|--|-----------------|
| sobre base húmeda | sobre base seca |
| 0 | 0 |
| 5 | 5 |
| 10 | 11 |
| 15 | 18 |
| 20 | 25 |
| 30 | 43 |
| 40 | 67 |
| 50 | 100 |
| 60 | 150 |
| 70 | 233 |

El contenido de humedad que se aplica en combustión de la madera, así como en el balance de otros procesos de transformación de la madera, es aquel que se obtiene sobre peso húmedo. El porcentaje de humedad sobre peso seco se utiliza principalmente en control de secado de la madera.

La conversión del porcentaje de humedad sobre peso seco a humedad sobre peso húmedo se realiza mediante la relación:

$$Ph = \frac{Ps}{Ps + 100} \times 100$$

Donde:

Ph : Porcentaje de humedad sobre peso húmedo

Ps : Porcentaje de humedad sobre peso seco

Para la determinación del calor útil producido en la combustión de la madera puede emplearse la fórmula siguiente, la cual se basa en otra que expresa las temperaturas en °F (Panshin, 1959).

$$Cu = 0.55 \times (1.8 Cs - (A \times B)) / (1+h)$$

donde :

$$A = H - 0.54$$

$$B = 1068 - 1.8 t_i + 0.83 t_g + 0.43 (t_g - t_a)a$$

En las que:

Cu : Calor útil en kcal/kg.

Cs : Calor superior en kcal/kg.

H : Porcentaje de humedad de la madera sobre peso húmedo expresado en forma decimal

Ti : Temperatura Inicial de la madera y del agua en ella Incluida, en °C.

Tg : Temperatura de los gases de chimenea en °C

a : Porcentaje de exceso de aire en relación el teóricamente necesario para combustión completa de la madera. En teoría se requieren 6 Kg de otro por 1 kg de madera. Si el exceso de aire es de 50 por ciento, a será: $6 + (0.5 \times 6) = 9$.

La producción de energía por combustión directa de la madera se realiza principalmente en calderas de vapor. Hay calderas que pueden utilizar madera húmeda, sea con presecadores, con los gases de chimenea, o con hogares diseñados apropiadamente. Antiguamente los ferrocarriles peruanos tenían locomotoras a vapor alimentadas con leña.

Actualmente la mayor parte de la madera usada como combustible en el país, lo es para necesidades domésticas principalmente en áreas rurales. También se emplean en hornos de tejas, cal y yeso, así como en panaderías. Unas pocas Industrias madereras tienen calderas que utilizan residuos de sus líneas de transformación de la madera.

En áreas rurales en las que no hay madera disponible, se recurre a quemar bosta para cubrir las necesidades domésticas. En dichas áreas es recomendable hacer plantaciones forestales para producción de leña y destinar la bosta para fertilizar cultivos para producción de alimentos.

Igualmente, deben difundirse las cocinas mejoradas para un mejor aprovechamiento calorífico de la madera usado domésticamente, y aumentarse el número de usuarios de este combustible en áreas cercanas a bosques.

5. CARBONIZACION Y DESTILACION SECA DE LA MADERA

El carbón obtenido de la madera tiene varias ventajas sobre ésta: tiene un mayor porcentaje de carbono, puede transportarse a mayores distancias, manipularse más fácilmente, almacenarse en menor espacio y quemarse con menos desprendimiento de productos volátiles

La producción de carbón se realiza por carbonización y por destilación seca de la madera. Por carbonización se obtiene sólo carbón; en tanto que por destilación seca se produce carbón, ácido piroleñoso y gases no condensables CO, CO₂ Y CH₄ principalmente. El ácido piroleñoso contiene alcohol metílico, ácido acético y alquitrán entre otros productos (Flugge, 1960; Kollman, 1960 y Panshin, 1959).

La carbonización de la madera es un proceso conocido desde la más remota antigüedad. Se realiza por combustión parcial de la madera, controlando la admisión de aire durante el proceso. Los productos volátiles de descomposición térmica se pierden por la o las chimeneas de los hornos de carbonización.

La destilación seca de la madera, proceso desarrollado hacia fines del siglo XIX se realiza en ausencia de aire, por calentamiento de la madera en un recipiente cerrado, (retorta), que tiene una tubería de salida conectada a un refrigerante para los productos volátiles provenientes de la descomposición térmica de la madera.

Al comenzar a calentarse la madera, empieza el secado y su temperatura interna llega a unos 100°C hasta que finalice la eliminación del agua de impregnación. En esta etapa también se destilan productos terpénicos de maderas que los poseen. Luego, la temperatura se eleva rápidamente hasta 170 °C eliminándose las otras fracciones del agua de la madera. Entre 170 y 275°C hay formación de gases (CO y CO₂), así como vapores con algo de ácido acético, alcohol metílico y trazas de alquitrán. A 275°C se inicia una reacción exotérmica durante la cual se produce la mayor parte del ácido piroleñoso y gases; se alcanza el máximo de producción de ácido acético, alcohol metílico y alquitrán, los cuales forman parte del ácido piroleñoso durante esta etapa disminuye la producción del CO y CO₂ y aumenta la de hidrocarburos. En la reacción exotérmica la temperatura sube hasta unos 400°C, cuando llega el máximo la producción de hidrocarburos (Flugge, 1960; Kollman, 1960 y Panshin, 1959). Para alcanzar temperaturas mayores a 400°C debe volverse a suministrar calor Interno. En la carbonización por combustión parcial de la madera se llega a temperaturas de hasta 600°C (FAO, 1975).

El carbón obtenido por carbonización tiene 80 a 90 por ciento de carbono (FAO, 1975). El producido por destilación seca tiene 78 por ciento cuando se obtiene entre 280 y 380°C, sube a 84 por ciento entre 380 y 500°C y a 91 por ciento entre 700 y 900°C (Kollman, 1960). En cuatro maderas peruanas el carbón obtenido por destilación seca a 480°C y un tiempo total de 4 horas, presentó de 72 a 84 por ciento de carbono fijo (Remigio 1983).

El rendimiento en peso del carbón en hornos de carbonización oscila entre 30 y 35 por ciento (FAO 1975; Flugge 1960; Kollman 1960 y Panshin 1959). El poder calorífico del carbón, si bien variable en función del contenido de carbono, es del orden de 7,000 kcal/kg, similar al del carbón de piedra.

La producción de carbón en el Perú se realiza actualmente por carbonización, aunque hasta 1940 operó una planta de destilación seca en Piura. En 1985 la producción de carbón fue de 9,491 toneladas. (Ministerio de Agricultura, 1986).

El carbón se produce en su mayor parte de manera artesanal mediante hornos de tierra donde se apila la madera y luego se cubre con tierra u otro material apropiado disponible en el lugar. Hay también algunos hornos de mampostería. Para producir el carbón se enciende la carga de madera y se regula la admisión de otro para que se caliente y se produzca la reacción exotérmica

El tiempo de carbonización varía según la capacidad del horno. Se da por finalizada cuando el humo que sale cambia de blanco espeso a azulino claro, momento en el que se cierra la admisión de otro y se echa agua para acelerar el enfriamiento.

En otros países la producción de carbón de madera para combustible y uso industrial es muy importante. Con la crisis del petróleo, su aplicación como combustible ha cobrado un impulso considerable. Para generación de energía en áreas rurales, es una buena alternativa.

6. SACARIFICACION Y PRODUCCION DE ETANOL DE MADERA

La sacarificación de la madera es un proceso mediante el cual sus carbohidratos, celulosa y hemicelulosas son transformados en azúcares simples por hidrólisis ácida de los azúcares producidos

pueden obtenerse varios productos, entre ellos alcohol etílico (Bungay, 1981; GIT, 1984, Wenzl, 1970).

La hidrólisis de la celulosa produce glucosa, produciéndose teóricamente 111.1 g de glucosa a partir de 100 g de celulosa, pero en la práctica el rendimiento es de 98 por ciento aproximadamente, porque se forman pequeñas cantidades de otros compuestos (Bungay, 1981; GIT 1984 y Panshin, 1959).

De las hemicelulosas se obtienen por hidrólisis azúcares, pentosas y hexosas principalmente, así como derivados de ellos (Bungay, 1981).

De los azúcares fermentables se produce alcohol etílico, por acción de microorganismos como *Saccharomyces cerevisiae* y *Zymomonas mobilis*.

De la glucosa se produce alcohol (etanol) por fermentación.

El rendimiento teórico es de 51.1 %, pero además del etanol se producen en pequeña proporción otras sustancias, tales como ácido acético, ácido succico, alcohol propílico e isopropílico, entre otros, por lo que el rendimiento es algo menos. Se obtiene de 20 a 30 litros de alcohol por 100 kg de madera seca (Panshin, 1959)

La sacarificación de la madera por hidrólisis ácida es un proceso que data del siglo pasado. Durante las dos guerras mundiales tomó auge para obtener alcohol como combustible para motores a explosión, así como otros productos. Actualmente tiene aplicación Industrial en algunos países, como la Unión Soviética en la que hay más de 30 plantas operando (Bungay, 1981).

Los procesos industriales se realizan empleando ácidos concentrados o diluidos como hidrolizantes, tales como los ácidos sulfúrico y clorhídrico (Bungay, 1981; Kollman, 1960; Panshin, 1959 y Wenzl, 1970). En años recientes se han aplicado solventes orgánicos para catalizar la hidrólisis ácida. La acetona en solución acuosa ha dado buenos resultados

Estos mismos autores así como Goldstein (1983) indican que los procesos con ácido concentrado son el Berguis - Rheinau y el Hokbaldo. En el primero se utiliza ácido clorhídrico al 40 % de concentración, a presión atmosférica y temperatura ambiente; se hace actuar al ácido sobre madera seca con un 6 % de humedad en una batería de difusores. Durante el proceso se hidroliza alrededor de 2/3 de la madera y el tercio restante es lignina sólida. Se obtiene un 20 % de azúcar cristalizada en relación al peso seco de la madera y 40 a 45 por ciento de melaza; el rendimiento es cercano al teórico. En el proceso Hokbaldo se emplea ácido sulfúrico concentrado al 80%; se le hace actuar 30 segundos a temperatura ambiente sobre madera que ha sido penetrada con ácido sulfúrico al 1.2 - 1.5 por ciento a 140 – 150 °C 'y luego secada. El rendimiento de glucosa es de 83 a 85 por ciento del teórico. La fermentación directa de la solución azucarada obtenida economiza energía y aumenta el rendimiento de alcohol.

El proceso Scholler - Tornech utiliza ácido sulfúrico diluido, al 0.4 a 0.5%, a 170°C. La madera puede tener cualquier humedad. La sacarificación se lleva a cabo en percoladores. El procedimiento Madison, una modificación del anterior, emplea ácido sulfúrico al 0.5 a 0.6 % y 185°C.

En algunos países el alcohol se mezcla con gasolina para producir el combustible llamado gasol; en dicha mezcla el alcohol interviene en 10 a 20%. El alcohol puede usarse también en motores de explosión adecuadamente fabricados. Brasil está usando gasol y alcohol sólo en sus vehículos.

7. LICUEFACCIÓN DE LA MADERA

La licuefacción de la madera es un proceso distinto a la hidrogenación del carbono para obtener combustible líquido. La licuefacción no agrega hidrógeno a la madera, sino que extrae oxígeno. El agente principal de extracción de oxígeno es el CO₂ que proviene de la propia madera en el proceso; interviene también el hidrógeno, pero en menor proporción. Las sustancias alcalinas, cenizas, catalizan la reacción de velocidades aceptables a temperaturas razonables. Las cenizas de la madera son un buen catalizador; el carbonato de sodio es algo mejor pero resulta mas caro (Bungay, 1981)

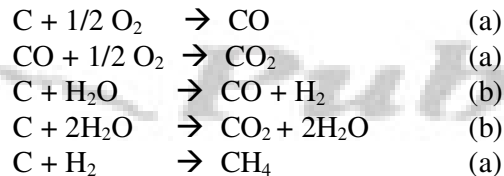
Para la licuefacción se emplea madera pulverizada que se inyecta en el reactor en una suspensión al 30 por ciento en el producto ya obtenido. La reacción se lleva a cabo entre 350 – 450 °C y 30 a 40 atmósferas de presión. El anhídrido carbónico y el hidrógeno liberados de la madera son los reductores en el proceso. Los productos de la reacción son una mezcla de hidrocarburos parcialmente oxigenados (Bungay, 1981 y Gardner, 1976).

8. GASIFICACIÓN DE LA MADERA

La gasificación es un proceso que transforma la madera, o el carbón de la madera, en gas combustible para motores a explosión. Se lleva a cabo en gasógenos que pueden instalarse en vehículos y tractores. Es un procedimiento que cobró gran importancia en Europa durante las dos guerras mundiales, especialmente en la segunda, por escasez de combustibles o derivados del petróleo.

Hay tres tipos de gasógenos: de tiro directo, de tiro invertido y de tiro transversal. Los tres son operables con carbón de madera, pero sólo el de tiro Invertido es apropiado para gasificar madera. (Panshin, 1959).

Las reacciones que ocurren en un gasógeno puedan resumirse de la manera siguiente (Bungay, 1981):



(a) Reacción exotérmica

(b) Reacción endotérmica

El gas producido en gasógeno tiene de 18 a 32 % de CO, 6 a 20 por ciento de H₂, 0.3 a 3 % de CH₄, 2 a 15 % de CO₂ Y 47 a 57 % de N₂, este último procedente del aire admitido en el gasógeno. Los gases combustibles son CO, H₂ y CH₄. El poder calorífico del gas es de 1,290 a 1,340 kcal/m³ y el de la mezcla gas/aire, que ingresa al motor, de 590 a 620 kcal/m³. El de la mezcla gasolina/aire, producida en el carburador, es del orden de 900 kcal/m³ (Panshin, 1959).

Debidamente operados, los gasógenos pueden funcionar continuamente de 900 a 1,000 horas. En automotores se han logrado recorridos totales de 250,000 Km. sin que el gasógeno sufra desperfectos.

Los gasógenos se encienden por aspiración mediante un aspirador eléctrico o del propio motor que se hace funcionar con combustible líquido; los gasógenos con motores diesel se encienden de la

última forma. Se requieren 3 a 5 minutos de aspiración para encender el gasógeno. El gas producido es depurado antes que ingrese al motor.

En marcha normal 2 a 2.5 Kg. de madera o 1.15 a 1.25 Kg. de carbón equivalen a 1 litro de gasolina, es decir 7 a 8.5 Kg. de madera o 4.3 a 4.7 Kg. de carbón por galón de gasolina (Panshin, 1959).

La madera a usar en los gasógenos es preferentemente de alta densidad; las maderas de baja densidad no son recomendables, pero pueden emplearse en mezclas de no más de 25 por ciento con maderas pesadas.

Para los gasógenos alimentados con madera, la leña debe ser lo más seca posible, a fin de obtener mejor resultado. El tamaño de la leña usada debe ser de 5 x 6 x 8 cm.

Los gasógenos ofrecen condiciones favorables para operar motores de vehículos y estacionarlos donde hay disponibilidad de madera. Pueden suministrar energía para industrias de la madera utilizando residuos de sus líneas de producción

BIBLIOGRAFÍA

BUNGAY, H. 1981. Energy, The Biomass Options, Wiley Interscience, Nueva York. FAO. 1975. Informe sobre el Carbón Vegetal, Roma. 94 p.

-----, 1986. ANUARIO DE PRODUCTOS FORESTALES 1973-1984. Roma.

FLUGGE, F. 1960. Carboneo y Destilación de la Madera en Tecnología Química. Gloil, Barcelona. pp. 28-59

GARDNER, L. 1976. Production of a Hydrocarbon - Type Synthetic Fuel from Wood. National Reserch Council Report 15638, Ottawa.

GEORGIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY.(GIT). 1984. The Industrial Wood Energy Handbook.

Van Nostrand Reinhold Company, Nueva York. 1984.

GOLDSTEIN, I. 1983. Acid Processes for Cellulose Hydrolysis and their Mechanismes, in Wood an Agricultural Residues. Academic Press. Nueva York

KOLLMAN, F. 1959. Tecnología de la Madera y sus Aplicaciones, Gráficas Reunidas. Madrid. 789 p.

MINISTERIO DE AGRICULTURA. 1986. Anuario 1985, Estadística Forestal, Lima.

PANSHIN, A. 1959. Productos Forestales, Salvat, Madrid. 605 p.

REMIGIO, D. 1983. Rendimiento y Calidad de Carbón y Análisis del Líquido Piroleñoso de Cuatro Maderas del Perú. Tesis. Universidad Nacional Agraria. La Molina. Lima. 79 p.

UCEDA, M. 1980. Determinación del Poder calorífico de 20 Especies Forestales de la Amazonía Peruana. Tesis. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. 57 p.

WENZL, H. 1970. The Chemical Technology of Word. Academic Press. Nueva York. 692 p.