

La Biomasa como Fuente de Energía

La energía constituye un factor primordial en el desarrollo de la humanidad y el consumo energético aumenta con suma rapidez. La reciente crisis del petróleo ha llevado a los Estados a investigar nuevas fuentes de energía con el objeto de disminuir su dependencia en relación con los productos petrolíferos y dar una mayor diversidad a sus abastecimientos.

Un interés particular ha suscitado las fuentes de energía naturales tales como la energía solar, geotérmica, eólica, maremotriz, etc. ... Dentro de este tipo de energía se puede considerar al aprovechamiento de la biomasa.

Los vegetales en su función fotosintética aprovechan la energía

luminosa recibida del sol para fijar el CO_2 del aire, que junto con el agua absorbida por las raíces, forman elementos hidrocarbonados, principalmente glúcidos (tales como la celulosa) y desprendiendo oxígeno a la atmósfera.

Estos elementos hidrocarbonados tienen un poder calorífico bastante importante que se puede cifrar en alrededor de 4.500 Kcal/Kgr y es por tanto, por lo que se puede decir que las plantas transforman la energía solar en energía calorífica susceptible de ser utilizada.

La cantidad de energía generadas en las plantas a lo largo de un año se puede estimar en alrededor de 140×10^{12} Kcal/año que en equivalente de petróleo (T. E. P.) supone

$12,6 \times 10^9$ Tn de petróleo. Esta cantidad de energía producida varía de unos sitios a otros, dependiendo de la cantidad de energía irradiada por el sol y del agua recibida por las plantas. Dividiendo el mundo en los grandes macrosistemas, la producción primaria de éstos son los datos que resumimos en el cuadro adjunto.

Igualmente varía de unas especies a otras, así el trigo puede producir al año 20 Tn de paja por Ha. y año, lo que supone aproximadamente un equivalente a 8 Tn. de petróleo por Ha. y año. En Africa, el *Penisetum Purpureum* produce al año 40 Tn/Ha. de materia vegetal, que en equivalente de petróleo supone 16 Tn/Ha./año.

CUADRO D DUVIGNEAUD (1967) Macrosistema	Superficie que ocupa el macrosistema en el mundo en 10^8 Km^2	Eficacia foto- sintética en %	Carbón fijado en Tn/HA/año	Materia Tn/HA/año	Valor energético (T.E.P.)/Ha/año	Valor energético total (T.E.P.)
Silva (Tropical).....	40,7	0,33	2,5	5	2	$8,3 \times 10^9$
Ager	14,0	0,25	2,0	4	1,6	$2,3 \times 10^9$
Saltus	25,7	0,10	0,75	1,5	0,6	$1,5 \times 10^9$
Desertus	54,9	0,01	0,1	0,2	0,1	$0,5 \times 10^9$
Antártida	12,7	0,00	0	0	0	0
TOTAL	148,0					$12,6 \times 10^9$

Industrial de la Madera y Corcho



trabaja para usted
poniendo la investigación
técnica al servicio de
su industria

y por estas causas es preciso la eliminación de estos elementos.

Reactividad del carbón vegetal

El carbón producido en la **pirólisis** tiene una superficie de alrededor de 1.000 m²/gr que le confiere una reactividad química muy grande. Esta reactividad hace que sea más sencillo obtener gas de síntesis a partir de vegetales, que a partir de otros elementos tales como el metano, por ejemplo.

Fusión de las cenizas

Las cenizas de la mayor parte de los vegetales funden a temperaturas relativamente bajas (800 a 900 °C), inferiores que las necesarias para la gasificación.

Humedad inicial del vegetal

Puede variar mucho, normalmente entre el 15% y el 45% en peso respecto del producto vegetal seco, aunque estos valores pueden ser inferiores y superiores.

Este es un grave inconveniente ya que la parte de las calorías desarrrolladas por el vegetal se invierten en evaporar ese agua, bajando notablemente el rendimiento energético (así para el 15% de humedad el rendimiento es del 82%, para el 30% es el 75%).

Los métodos tecnológicos de aprovechamiento energético de la biomasa son los siguientes:

1.— Por combustión

La técnica más sencilla de utilización de la materia vegetal para

la producción de energía es la combustión. En ella se hace reaccionar una cierta cantidad en peso de materia vegetal con 5 veces este peso en aire, desprendiéndose CO₂, H₂O, N₂ y energía, cuyo valor depende de la humedad de la materia vegetal, pero que suponiendo a ésta seca, es de 4.500 Kcal/Kgr. de materia vegetal.

Con vegetales secos, sin recalentamiento del aire de combustión y sin exceso de aire, se puede llegar a temperaturas de 1.900 °C.

La combustión se suele realizar en calderas especiales caracterizadas, porque el hogar debe ser más grande que en los de aprovechamiento de fuel-oil o gas. Los tipos de calderas de madera más importantes ya se describieron en el Boletín número 97 dentro del artículo: «**Criterios** para realizar una instalación de combustión de madera».

Otra solución muy reciente consiste en **gasificar** primero la materia vegetal en gasógeno de alimentación automática. El gas producido se quema inmediatamente, con la ayuda de un quemador especial en el interior de una caldera tipo **fuel**. Esta solución logra aumentar considerablemente los rendimientos energéticos, además de poder aprovechar calderas de fuel-oil, con el consiguiente ahorro de amortización.

En cuanto a la viabilidad económica de la combustión vamos a estudiar dos casos, ambos utilizando calderas para combustión de maderas.

- a) Caso de calderas para la obtención de culefacción y vapor de uso industrial

El principal inconveniente que tienen los vegetales para su uso económico en la producción energética es el tener que sustituir la caldera de **fuel** por otra que aproveche la materia vegetal. En el Boletín número 99, en el artículo «Sustitución de calderas industriales de fuel por calderas de madera», se estudia este caso, llegándose a las conclusiones siguientes:

Actualmente, menos de la sexta parte de esta producción orgánica es empleada por el hombre y por tanto, el potencial teórico disponible para su utilización energética tiene una importancia mundial.

Para **aprovechar** esta energía existen diversos métodos que analizaremos posteriormente muchos de ellos en ciertas condiciones son rentables, como ya se vio en la revista número 99 de **AITIM**, en la que se estudiaba los costes de sustitución de calderas de **fuel** por calderas de madera. Antes de pasar a describirlos, conviene presentar las características esenciales de la materia vegetal en cuanto a combustible:

Composición elemental

Varía muy poco entre unas especies y otras. Su **composición** media es la siguiente:

Carbono	50%
Oxígeno	44%
Hidrógeno	6%

Celulosa	
Hemicelulosa	
Lignina	24 al 30%
	23 al 26%
	24 al 27%

Índice de materias volátiles

Es el porcentaje en peso de estas en un combustible.

El valor en los vegetales es muy alto, del orden del 80%, mientras que en la **antracita** es sólo del 3%.

Este índice no se puede variar por los medios de regulación utilizados, aunque sí variando la transferencia de calor.

El valor tan alto alcanzado por los vegetales, en cuanto al índice de materias volátiles, es un serio inconveniente para su aplicación industrial ya que produce:

- Contaminación atmosférica.
- Deterioro de la maquinaria, por corrosión de sus elementos.
- Pérdidas de rendimiento, ya que estos elementos son ricos en carbono.

- Caso de una caldera de 1.750 Kw: La sustitución será rentable cuando el valor de la madera puesta en el alimentador de la caldera sea inferior a 2.057,6 pesetas y dudoso (depende de las horas de funcionamiento, etc.) entre 2.057,6 y 3.707 ptas.

- Caso de una caldera de 5.800 Kw: Será rentable cuando el valor de la madera puesta en el alimentador sea inferior a 2.336 pesetas y dudoso hasta 3.139 Pesetas.

Naturalmente, como estos valores se calcularon con precios petrolíferos del 20 de enero de 1980, al subir estos (por lo menos ya va

una subida) los precios en que la madera empieza a ser competitiva son más altos.

Como puede apreciarse, estos precios de madera en fábrica son perfectamente factibles y lo irán siendo cada vez mucho más.

b) Caso de calderas para la obtención de energía eléctrica

A partir de la aparición de la crisis petrolífera, numerosos países y sociedades industriales han estudiado a la madera como materia prima en la obtención de la electri-

cidad, destacando en ello Estados Unidos con el estudio de una central de 90 a 150 MW, Nueva Caledonia, Costa de Marfil, Camerún, Guyana y Filipinas con otras centrales de menores dimensiones.

Para el estudio económico de este aprovechamiento, consideremos dos casos según el tamaño de la Central:

- Caso de centrales de más de 1 MW.—El rendimiento en la transformación de energía calorífica a energía eléctrica es igual en la madera (para cuando está seca) que el fúel-pesado, esto es del 35%.

Teniendo en cuenta que 1 Tn. de fúel tiene de poder calorífico	9.750×10^3 Kcal.
Teniendo en cuenta que 1 Tn. de madera de humedad el 25%	2.640×10^3 Kcal.
Teniendo en cuenta que 1 Tn. de madera de humedad el 15%	3.035×10^3 Kcal.

Como 10^3 Kcal = 1,16 Kw h resulta:

De 1 Tn. de Fúel se obtendrá	$9.750 \times 1,16 \times 0,35 = 3.950$ Kw/h. de electricidad
De 1 Tn. de madera al 25%	$2.640 \times 1,16 \times 0,35 = 1.070$ Kw/h. de electricidad
De 1 Tn. de madera al 15%	$3.035 \times 1,16 \times 0,35 = 1.230$ Kw/h. de electricidad

Teniendo en cuenta que el precio del fúel pesado es de 11.700 ptas/Tn., será rentable el aprovechamiento de la materia vegetal, cuando el precio de ésta sea inferior a:

$$11.700 \times \frac{1.070}{3.950} = 3.188 \text{ ptas.}$$

y será dudoso el aprovechamiento cuando el precio de la madera esté comprendido entre

$$3.188 \text{ y } 11.700 \times \frac{1.230}{2.950} = 3.643 \text{ ptas.}$$

todo ello suponiendo que los costos de la instalación son parecidos.

Suponiendo que las centrales aprovechan materia vegetal de sus alrededores, tendríamos lo siguiente:

- Caso de una central de 25MW que aprovecha materia vegetal con un 25% de humedad.

Las necesidades de vegetales serían

$$25 \times \frac{1.000}{1.070} \times 24 \text{ H.} \times 365 \text{ días} = 200.000 \text{ Tn.}$$

Suponiendo un crecimiento medio de la materia vegetal de 4 Tn/Ha/año, resulta que se necesita explotar un área de 50.000 Ha., con lo que el desplazamiento medio de la materia prima es de 13 Km.

Para una central de 100 MW las necesidades son de 800.000 Tn. lo que supone explotar un área de 200.000 Ha., aumentando el radio de explotación a 25 Km.

Naturalmente esto siempre sería rentable explotando aquellas áreas que actualmente no tienen uso industrial (recordemos que son las 5/6 partes de materia vegetal mundial).

Es interesante lo que se está realizando con *Eucalyptus* híbrido PF1 que en ciertos países produce 30 Tn/Ha/año (40 m³), con lo que se

podría obtener en apenas 6.600 Ha. las 200.000 Tn de madera necesarias para obtener 25 MW, ahorrándose aproximadamente 55.500 Tn de fúel al año (valor 650 millones de pesetas).

- Caso de centrales de menos de 1 MW.—El rendimiento en la transformación de energía calorífica en energía eléctrica es apenas del 12% con lo que las necesidades de madera se triplican, siendo poco rentables estos aprovechamientos.

2.—Por carbonización

Esta técnica consiste en calentar la madera en un ambiente controlado de aire, obteniéndose el proceso siguiente:

De 150 a 170 °C

De 170 a 270 °C

De 270 a 400 °C

De 400 a 500 °C

De 500 en adelante

Se produce la evaporación de la madera

Se desprende CO₂, ácido acético, metanol y algo de alquitrán a 270 °C comienza la reacción exotérmica

Desprendimiento de hidrógeno y metano, formándose ácido acético y alcohol piroleñoso. Comienza la disociación del carbón.

Comienza la fase de hidrógeno, con producción de gran cantidad de alquitrán.

Por término medio y teniendo en cuenta que los productos obtenidos en la carbonización depende del tipo de madera y de la forma de

conducir la carbonización, de un kilogramo de madera seca se obtendrán los productos que reflejamos a continuación:

Producto	% en peso	% en energía
Carbón vegetal	20-35	45-55
Jugos piroleñosos (metanol, ácido acético, fenoles)	30-40	30-45
Alquitrán	10-15	
Gas	10-15	

El carbón vegetal obtenido posee un poder calorífico de 7.000 a 7.500 Kcal/Kgr. lo que implica un rendimiento energético maderacarbón del 30 al 50%.

Los jugos piroleñosos contienen productos de un valor energético químico interesante, en particular el ácido metanol, acetona, etc.

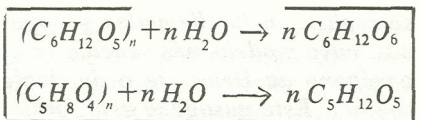
El gas formado contiene anhídrido carbónico, óxido de carbono, vapor de agua, hidrocarburos e hidrógeno. El volumen formado por cada kilo de madera seca es de alrededor de 0,15 m³. Su poder calorífico varía entre 1,2 y 4,8 Kcal/m³.

El proceso tecnológico de fabricación puede ser bien en hornos de carbonización (portátiles o fijos) y de los que hay un claro ejemplo aquí en España, con el horno Prats utilizado hasta hace unas décadas. También se puede obtener el carbón en retortas, donde el aprovechamiento es más completo y donde se obtienen mayores rendimientos (25 al 35%) de carbón vegetal.

Señalamos también la aparición de nuevas tecnologías adaptadas principalmente al aprovechamiento de otras materias vegetales distintas de la madera tales como la paja, viruta, bagazo, etc.

3.—Por hidrólisis y fermentación

La hidrólisis consiste en transformar la celulosa y otros polímeros glúcidos en azúcares simples según las reacciones:



La hidrólisis puede ser efectuada por procedimientos químicos o encimáticos.

Los procedimientos químicos más empleados son:

- Proceso Scholler: La hidrólisis se produce con agua a presión con ácido sulfúrico diluido.
- Proceso Bergius: La hidrólisis se produce a temperatura y presión del ambiente con ácidos muy concentrados. Este procedimiento es el que obtiene mayores rendimientos, así realizando una prehidrólisis con Cl H al 35% seguida de una hidrólisis con Cl H al 41% daría un rendimiento en azúcares del 63% con un gasto de Cl H del 6%, todo referido a madera seca. En este caso la hidrólisis de los carbohidrato-está próxima al máximo teórico.

Los procedimientos encimáticos están siendo objeto de estudio y experimentación por numerosos laboratorios, sobre todo americanos. El ataque de la celulosa está garantizado por encimas o por bacterias.

Los azúcares formados pueden servir para la fabricación de levaduras para un empleo alimenticio o ser fermentados y transformados en alcohol etílico. El primer método está siendo valorado por las regiones de jericitaras en alimentos.

El alcohol etílico se obtiene por la fermentación de los azúcares procedentes únicamente de la celulosa, esto es de los azúcares C₆H₁₂ O₆. El rendimiento de la fermentación es alrededor del 50% (del 35 al 63% según procedimiento) y teniendo en cuenta que la celulosa en la madera alcanza aproximadamente el 50% y que su rendimiento de transformación en azúcares alcanza el 90% resulta que de 1 Tn de madera u otro material vegetal se obtendrá:

$$1 \text{ Tn} \times 0,5 \times 0,9 = 0,45 \text{ Tn de azúcares}$$

$$\text{y } 0,45 \text{ Tn} \times 0,5 = 0,22 \text{ Tn de etanol}$$

El etanol tiene un poder calorífico de 7.100 Kcal/Kg, puede ser utilizado directamente como combustible e incluso como carburante en vehículos.

En Brasil se obtienen grandes cantidades de etanol a partir de bagazo, que es utilizado por turistas en sustitución de la gasolina, 'e incluso mezclada con ella.

Pero la realidad es que el ahorro de energía por utilización del etanol es muy pequeño, ya que para obtener una caloría en forma de este compuesto es necesario invertir una energía de casi el mismo valor, entre los procesos de hidrólisis y fermentación, aparte de la utili-

zada en la obtención y transporte de materias primas.

4.—Por gasificación

Se puede gasificar completamen-

te materias vegetales secas, haciéndolas reaccionar con casi la tercera parte de aire necesario para su combustión total,

por de agua y el dióxido de carbono contenido en el gas caliente según las reacciones químicas anteriormente expuestas.

Estas reacciones son endotérmicas, utilizando el calor producido en la pirólisis.

El gas producido sale por la parte inferior de B a una temperatura de 600 °C (su enfriamiento es producido por dichas reacciones).

Otros gasógenos, que no se describirán, por estar concebidos de forma parecida son: Gasógeno de Duvant o de tiro inverso, Gasógeno de lecho fijo, Gasógeno de Pillard de suspensión, Gasógeno portátil de Gohin Poulenc, etc. ...

5.—Por metanización

Si se deja, por ejemplo paja en cubas cerradas y termoestabilizadas a aproximadamente 35 °C al cabo de un cierto tiempo comenzará a actuar la flora microbiana anaerobia que producirá metano mezclado con gas carbónico, con un rendimiento energético muy variable. (El tiempo de la operación es muy larga, de 6 a 8 semanas).

El metano obtenido puede ser empleado directamente o bien ser convertido en metanol, que es un combustible líquido de fácil utilización y muy interesante. El proceso sería el siguiente:

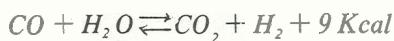
- *Tratamiento del metano con el fin de obtener mayor nivel de pureza.*
- *Tratamiento catalítico del metano para obtener CO y H₂ (reacción muy endotérmica, realizada a 12 barios de presión).*
- *Reciclaje de los gases sobre un catalizador para formar CH₃OH (reacción exotérmica, que consume un 20% de la energía química introducida).*
- *Destilación de la mezcla metanol y agua.*

También se puede obtener metanol directamente de la materia vegetal por gasificación de carbón con oxígeno a partir de la mezcla de óxido de carbono y de hidrógeno comprimido.

Las reacciones químicas de gasificación son las siguientes:



siendo necesario añadir las siguientes reacciones para su combustión total:



Estas reacciones tienen lugar a una temperatura bastante alta (800 a 1.000 °C), siendo también muy rápidas.

El gas producido es un gas muy pobre (1.000 a 1.200 Kcal/m³) comparándolo con otros gases, tales como el metano que posee 8.560 Kcal/m³, pero por el contrario el rendimiento de la operación puede ser muy bueno, alcanzando el 80% con aire de gasificación recalentado a 400 °C sobre el gas producido.

Se señala también la existencia de numerosas investigaciones en este campo, que buscan producir moléculas gaseosas directamente, por ruptura de las cadenas moleculares de los vegetales. Estas se pueden realizar:

Mediante gasificación instantánea, pasando el vegetal por el hogar de una caldera, poniéndose instantáneamente a más de 1.000 °C.

Mediante catalizadores y a baja temperatura.

La utilización del gas producido puede ser:

- *Para obtener calor: Quemándolo se el gas en un hogar.*

- *Energía mecánica: En la combustión en motores. El rendimiento del motor es del 23%, que comparado con el rendimiento del 10 al 12% que se consigue por combustión directa de los vegetales en centrales pequeñas, se aprecia el aumento de rendimiento. Además la inversión es menor.*
- *Química: Aprovechando la gran reactividad de los productos vegetales, de la que ya se ha hablado.*

Tecnológicamente la gasificación se realiza en los llamados gasógenos, cuyo modelo más sencillo es el gasógeno de Delacotte o de doble cámara. Este gasógeno está formado por dos cámaras, una superior A y otra inferior B, situadas una encima de otra y por una cámara anexa C de combustión que se inserta entre las dos cámaras anteriores.

Por la parte superior de A se introduce la madera u otro vegetal, realizándose en ésta cámara su pirólisis. Los productos gaseosos de la pirólisis pasan de la parte superior de A a la parte superior de C donde son quemados con oxígeno (si se quiere producir gas de síntesis) o con aire (si se quiere obtener gas pobre) y los productos sólidos (carbón vegetal) caen de A a B.

El gas caliente (1.000 a 1.000 °C) quemado es reinyectado entre las dos cámaras A y B yendo una parte del gas a la cámara A para asegurar la pirólisis de la madera y otra (las 3/4 partes) pasan a la cámara B. En esta cámara el carbón vegetal es gasificado por el va-

Destaca en este sentido, el experimento llevado a cabo por el Sr. Pineda en Soria consistente en hacer pasar los desechos diversos de madera por fermentación en muchos estados, alternados con fases de agitación y desintegración. A lo largo de esta fermentación (que puede durar de 24 a 48 horas) la materia vegetal se seca por la acción del calor liberado en dicha fermentación, facilitado por su estado de desintegración. Este material pasa a una prensa que produce la compactación del polvo creado, dándole una consistencia que le haga manejable. El producto llamado briqueta tiene un contenido de humedad muy bajo siendo su combustión fácil y con gran rendimiento.

En resumen, se puede decir que el empleo de la biomasa como fuente de energía no pretende resolver todos los problemas ligados con la penuria energética, aunque su utilización puede aportar soluciones muy admisibles en numerosos casos y sobre todo, en aquellas áreas en que el aprovechamiento de los vegetales es casi nulo.

También hay que señalar que muchas de estas técnicas están en fase de estudio y perfeccionamiento y que aunque los rendimientos energéticos son todavía muy bajos, no sería aventurado el pensar que en pocos años estas técnicas mejorarán hasta hacerlas factibles económicamente y el hecho de que la biomasa es renovable, se puede afirmar que posee un interesante futuro.

Santiago Vignote Peña

BIBLIOGRAFÍAS CONSULTADAS

- «Bois et Forest des Tropiques, números 181 y 184
- «La Bois National», 5 de abril de 1980
- «Monografía», núm. 14, de ICONA
- «Le Bois»: «La madera como fuente de energía»