

Xiloenergética

Por

Francisco Marcos Martín

Ingeniero de Montes

Departamento de Termodinámica

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes

Introducción

Las conclusiones del “XII Congreso de la Conferencia Mundial de la Energía” celebrada en Nueva Delhi, en septiembre de 1983 destacaban como puntos importantes para paliar la crisis energética, los siguientes: innovación, autosuficiencia, diversidad de la oferta energética, reducción de la dependencia del petróleo, eficiencia en el consumo y ahorro energético.

Con estos puntos, podría desarrollarse una política energética, acorde con las necesidades de energía para uso industrial y doméstico. Estos puntos pretenden paliar crisis, como las de 1973 y 1979, a la vez que intentan evitar, en lo posible, la dependencia de unos países con respecto a otros.

Dentro de la innovación, queda claro que se ha de pretender desarrollar nuevas tecnologías y poner en práctica los últimos trabajos de investigación realizados.

La búsqueda de nuevas tecnologías tiene dos campos, claramente diferenciados: El primero, que busca un desarrollo controlado y pacífico en el uso de la energía nuclear fusión. El segundo, que busca obtener energía, partiendo de energías renovables. Si se buscan energías renovables se cumplen además otros objetivos, como el de la diversidad energética, es decir, procurar que el planificador energético a la hora de pensar en

los vectores energéticos clásicos (carbón, petróleo, hidroeléctrico y nuclear) añada otros vectores energéticos llamados renovables, complementarios o alternativos (energías solar, eólica, geotérmica y biomasa). Aquí debemos indicar que uno de los vectores energético clásico, el hidroeléctrico, es renovable.

También es evidente que una potenciación del consumo de energías renovables conduce a una potenciación del consumo de energía propia, rebajando así la dependencia del petróleo.

Otra de las conclusiones del citado “XII Congreso Mundial de la Energía” hace referencia a la necesidad de preocuparse por el entorno, ya que la contaminación y los impactos ecológicos provocados por la extracción, transporte y uso de la energía, son considerables y causa de preocupación. El entorno físico del hombre se ha visto, y a veces gravemente, perjudicado por el desarrollo energético. Pero, por otro lado, el hombre necesita energía para poder seguir su desarrollo económico y bienestar. Este enfrentamiento entre ventajas e inconvenientes ha hecho pensar en “energías limpias”, como las renovables ya citadas.

Energías Renovables

La radiación solar es la gran fuente de energía de que dispone el hombre. Incluso el petróleo, procedente de grandes bosques de helechos del

Período Carbonífero, Era Primaria, que, como veremos después con otras plantas, son grandes almacenes de energía solar.

Dicha radiación solar puede ser utilizada o captada directamente por los llamados colectores solares. Una vez captada, su aprovechamiento puede hacerse vía fotoeléctrica, mediante las células fotovoltaicas, constituídas por materiales semiconductores como el silicio, creándose relaciones electrónicas que originan una corriente eléctrica, la cual es almacenada en una batería. Si su aprovechamiento se hace por vía térmica, tenemos los colectores solares planos utilizados para calentamiento de agua sanitaria o bien los colectores concentradores tipo cilindro-parabólico. También, por vía térmica, aparecen los aprovechamientos de las centrales solares con grandes campos de espejos, llamados heliostatos.

Por otro lado, la radiación solar se emplea en calentar el aire, que si tiene un gradiente térmico se mueve originando los vientos. Pues bien, esta energía de la masa de aire en movimiento es la que recibe el nombre de energía eólica y puede ser aprovechada por molinos o aeroturbinas. Dichas aeroturbinas pueden dar movimiento a un generador eléctrico o bien a un motor para extraer agua de un pozo. El empleo combinado de la energía solar y la eólica ha dado lugar a proyectos en todo el mundo, destacando en España la central eólico-solar de Manzanares, que utiliza una chimenea de tipo por la que asciende el aire calentado por un “gran colector” negro, de plástico.

Energía solar aprovechada por los vegetales

En la naturaleza también aparecen seres vivos capaces de captar la energía procedente del Sol. Estos seres vivos son las plantas, las cuales,

gracias a su función fotosintética “almacenan” la energía solar en lo que llamaremos sus enlaces químicos. Cuando estos enlaces químicos se ven rotos se produce la liberación de la energía almacenada.

De hecho, el carbón y el petróleo no son más que los restos de inmensos bosques. Cuando el hombre del Siglo XX quema carbón o petróleo, lo que realmente quema es energía, que llegó a la tierra hace millones de años.

La agroenergética es una disciplina que estudia los cultivos agrícolas como productores de energía, no de alimentos. Estos cultivos producen plantas, de las cuales se pueden extraer hidrocarburos que posteriormente son quemados, liberando energía. Es bien conocido el caso brasileño con su gran producción de alcohol, obtenido a partir de la caña de azúcar, para sustituir a la gasolina y al gasoil. Como ejemplo, también están las experiencias realizadas por la NASA, en Louisiana (USA); por el CSN, en Casacria (Italia); por el INRA, en Versalles, o por el INIA, en distintos puntos de España. Jesús González, pionero en este campo, ha estudiado las plantaciones de euforbia y pataca, entre otras, obteniendo resultados satisfactorios.

Xiloenergética y residuos forestales

Dentro del campo del uso de biomasa vegetal, con fines de energéticos, nos encontramos la xiloenergética, que estudia el aprovechamiento de la madera con fines energéticos. Los residuos de madera son ricos en lignina y celulosas. Aquéllos que tienen más lignina, como troncos y ramas, deben ser utilizados para usos energéticos, mientras que las hojas deben quedar en el monte como aporte de materia



XILOENERGÉTICA

orgánica vegetal. Estos residuos, si se quedan en el monte, no son utilizados y su uso puede hacer rentable operaciones selvícolas, que hoy no lo son, y disminuir el peligro de incendio de nuestros montes.

En muchos apeos o cortas finales, los residuos (ramas, copas y hojas) quedan abandonados en el lugar de la corta. Estos residuos son amontonados y, a veces, quemados en el mismo monte. Si no son quemados, el problema de riesgos de incendios aumenta. Baste recordar que en 1980 se quemaron 271.718 Has, lo cual supone unas pérdidas de 23.609 millones de pesetas. Es indudable que el problema de los incendios no quedaría remediado con el uso energético de los residuos, pero es claro que los incendios que hasta hoy son de grandes dimensiones lo serían en menor extensión.

Desde otro punto de vista hemos de tener en cuenta que operaciones selvícolas, tales como claras, limpias y podas, muchas veces no se realizan debido a que no son rentables, pues sus productos no encuentran salida en el mercado. La madera procedente de estos trabajos se debe usar para astillas o producción de combustibles variados, y así pueden resultar rentables. Se obtienen dos beneficios: Mejorar la calidad de nuestras masas forestales y obtener energía renovable.

El potencial de residuos forestales en España

Diversos estudios dan, como producciones de biomasa procedente de residuos forestales, la tabla situada al pie de esta página.

Los residuos de biomasa más importantes son los forestales, y así aparece en publicaciones del Centro de Estudios de la Energía. Por tanto, debe pensarse en una potenciación del sector forestal

como productor de energía propia renovable. El valor medio de 4.500 Kcal/Kg del residuo forestal es excesivo y debe aplicarse 3.200 Kcal/Kg. El precio de estos residuos es variable; así tenemos:

Residuos de limpieza y poda forestales:
entre 4,50 y 8,00 Ptas/Kg

Serrín de madera y corteza:
entre 2,50 y 3,50 Ptas/Kg

Cáscara de piña y piñaca:
entre 4,50 y 6,00 Ptas/Kg

Parece extraño un valor tan variado, de 4,50 a 8,00 Ptas/Kg en los residuos de monte, pero la realidad como veremos a continuación, es así:

Coste de la astilla

La Empresa "Biomasa, S. A." da los siguientes valores:

1. Limpias y aclareos:
Poda (20 Tm/Ha de residuos)... 1,00 Ptas/Kg
Recogida y acordonado (20 Tm /Ha de residuos) 0,46 Ptas/Kg
2. Entresacas:
Poda (20 Tm/Ha de residuos)... 0,65 Ptas/Kg
Recogida y acordonado (20 Tm /Ha de residuos)..... 0,46 Ptas/Kg

Para obtener estos resultados ha desarrollado la tecnología de cuatro astilladoras, modelos B 1, B 2, B 3, y B 4.

La B 1 requiere una potencia de 467 CV, es autopropulsada con cuatro ruedas delanteras y cuatro traseras. Se traslada con velocidad máxima de 25 Km/h y trabajando alcanza los 5 Km/h.

La B 2 requiere menos potencia, 300 CV, también es autopropulsada pero solo lleva dos ruedas delanteras y dos traseras, siendo de menor tamaño, y las velocidades máximas de traslado

	Madera + Leña	Residuos (t)	Biomasa (tec)
Galicia	1.342.089	805.388	115.055
Norte (País Vasco, Oviedo, Santander)	997.842	598.806	85.543
Ebro (Aragón, Navarra, Huesca)	385.514	233.347	33.193
Noroeste (Cataluña y Baleares)	492.745	295.696	42.242
Centro	509.811	305.538	43.715
Castilla - León	676.442	405.933	57.990
Levante	219.288	131.595	18.799
Extremadura	246.694	148.041	21.149
Andalucía Oriental	146.968	88.195	12.599
Andalucía Occidental	512.759	307.707	43.958
Canarias	19.632	11.781	1.683

tec = Tonelada equivalente de carbón = 7.000 Kcal.

y trabajo son iguales a la de la B 1.

La B 3 está impulsada por un tractor y es recogedora-astilladora (la B 1 y la B 2 sólo son astilladoras); el tractor que la remolca ha de tener 120 CV, con toma de fuerza principal de 1.000 r. p. m. y 6 estrías. Su velocidad máxima de trabajo son 25 Km/h.

Por último, la B 4 es específica para sarmientos y va remolcada por tractores de más de 1.225 Kg en vacío, con toma de fuerza a 540 r. p. m. y de 6 estrías.

Con estas máquinas, la Empresa da los siguientes valores:

Astilladora	B 1	B 2	B 3	B 4
Precio en Pesetas/Kg.				
Operación:				
Astillado	0,64	1,00	1,26	2,04
Saca	0,30	0,37	0,34	—
Transporte	0,70	0,70	0,70	—
Almacenamiento	0,21	0,21	0,21	0,21
Transporte-Distribución	0,70	0,70	0,70	0,70
Materia prima	0,50	0,50	0,50	—
Gastos indirectos	0,30	0,30	0,30	0,30
Total	3,35	3,78	4,01	2,95

Como vemos, el valor de las operaciones llega a 4,01 Ptas/Kg a las que hemos de sumar 0,5 como costo de la materia prima, llegamos a las 4,50 Ptas/Kg a que nos referíamos.

En el otro extremo se encuentran los datos facilitados por la Jefatura Provincial de ICONA, en Palencia, que da 8,00 Ptas/Kg para astilla de pino a 10 % de humedad. En este caso la astilla es transportada a planta y almacenada en nave de 4.000 m² con 4 molinos de martillos, ciclones, cintas transportadoras, distribuidoras de silo, sinfines y pala cargadora.

El sistema de astillado en monte parece más caro para ICONA, la astilladora usada es la "Bruks 982" tirada por un tractor de 80 CV.

Los gastos desglosados para un arrastre medio de 350 a 400 m, y la planta a 25 Km, son:

	Salario	Maquinaria y Materiales	Total
1) Arrastre a cargadero en monte	788	630	1.418
2) Astillado en monte y transporte a planta	540	1.896	2.436
3) Detención de astilla industrial	275	2.089	2.364
Total	1.603	4.615	6.218
4) Gastos, cargas y beneficios			1.782
TOTAL			8.000

Valores intermedios, entre 4,50 y 8,00 Ptas/Kg de astilla, son obtenidos por la Jefatura Provincial de ICONA, de Castellón, por particulares en Jaén, Soria y Cuenca, y por trabajos desarrollados por la Generalitat, en Cataluña (5,00 Ptas/Kg). Los factores, tras leer estos informes, que pueden influir en el coste de la astilla, son:

Tipo de monte; accesos al mismo; facilidad de entrada de la astilladora; pendiente; suelo (con mayor o menor contenido de piedras).

Densidad de la masa.

Densidad de vías de saca.

Astilladora empleada.

El tipo de madera así como el tipo de residuos, influyen menos.

Características combustibles de los residuos forestales

La composición química para las principales maderas españolas es la siguiente:

Coníferas:	Carbono	Hidrógeno	Oxígeno
Abeto	52,30 %	6,30 %	40,50 %
Pino	52,60 %	7,02 %	40,07 %
Cedro	48,80 %	6,37 %	44,46 %

Fronzosas:

Chopo	51,64 %	6,26 %	43,74 %
Fresno	49,73 %	6,93 %	43,04 %
Roble	50,00 %	44,00 %	5,00 %

El poder calorífico de estas especies es el siguiente (se entiende como poder calorífico máximo, a 0 % de humedad):

Abeto .. 5.025 Kcal/Kg	Chopo ... 4.950 Kcal/Kg
Pino 5.335 Kcal/Kg	Fresno ... 4.950 Kcal/Kg
Cedro .. 4.665 Kcal/Kg	Roble ... 4.825 Kcal/Kg

Ha de tenerse en cuenta que, en la combustión de los distintos carbones (Hulla 7.000 Kcal/Kg, Antracita 7.000 Kcal/Kg, Lignitos 4.000 Kcal/Kg) aparecen residuos de azufre. También estos residuos de azufre aparecen en la combustión de los distintos petróleos. Este azufre origina



problemas que no aparecen en la combustión de la madera, ya que el azufre no forma parte de los componentes ligno-celulósicos. Si que aparece el azufre en las hojas y partes verdes del árbol.

Otro factor a considerar son las cenizas. Por término medio los carbones tienen un 10,30 % de cenizas, mientras que en las maderas el contenido oscila entre el 0,15 % de la encina y el 0,80 % del abeto.

A la vista de lo citado anteriormente, podemos definir tres ventajas importantes de los combustibles de residuos forestales:

- 1.º) No generan vapores con contenido en SO_2 ; es decir, no contamina la atmósfera con azufre. Ni tampoco cenizas peligrosas.
- 2.º) Los problemas de las calderas originados por la existencia de azufre y de cenizas no destructibles son menos acuciantes en los combustibles de origen forestal.
- 3.º) Su manejo depende del contenido de humedad y, por tanto, puede admitir ser secado en varias fases y a varios cortes; dando muchas utilidades distintas.

Como inconvenientes, aparece el menor poder calorífico.

Utilización de los combustibles originados por los residuos forestales

Este punto se divide en tres apartados:

1. Procesos técnicos.
2. Tipos de combustibles.
3. Usos diversos.

1 - Procesos Técnicos:

Aquí distinguimos los siguientes:

A) Combustión directa

B) Pirólisis

C) Fermentación

C.1 - Fermentación alcohólica

C.2 - Fermentación metanólica

D) Gasificación

E) Carbonero

A) Combustión directa.

La combustión directa de la madera consta de tres etapas, conocidas por todos los forestales: En la primera etapa, el calor se invierte en secar la madera quitando el agua existente en el lumen celular y entre las fibrillas y microfibrillas, en esta etapa no forman componentes químicos nuevos. Posteriormente, en una segunda etapa aparecen destilaciones y cracking en los componentes de la madera, se desprenden gases, tales como el metano y el monóxido de carbono; si el gas es rico en metano se llama "gas pobre", aunque este concepto es bastante confuso y no es recomendable su uso. La segunda etapa se da con temperaturas entre los 150 y 550 °C y a ella sigue una oxidación del carbono desprendiendo CO_2 . Ha de notarse, sin embargo, que los hidrocarburos saturados, que aparecen en la madera, en presencia de vapor de agua, dan hidrógeno; pero es posible que el vapor de agua se mezcle con el metano, produciendo hidrógeno, según la reacción



Esta última reacción es de tal modo que:

en temperaturas entre 350 °C y 700 °C se forma metano y agua,

en temperaturas entre 850 °C y 1.200 °C se forma hidrógeno, si se añaden unas 49,8 Kcal/Kmol.

Es claro que cuanto mayor sea la superficie que expone el combustible a la llama, mejor será la combustión. Pero también es claro que la creación de superficies en el astillado encarece la operación.

B) Pirólisis.

Pirólisis significa destrucción por fuego. Si bien por Pirólisis se entiende tradicionalmente la combustión a 400 °C; en ella se obtiene el carbón.

Según datos consultados, el carbón así obtenido puede tener de 5.000 a 7.000 Kcal/Kg. Si la Pirólisis es a elevadas temperaturas se producen gases de alto poder calorífico, dependiendo de la composición de los mismos.

C) La fermentación tiene como nota especial su realización en medio húmedo. Se da lugar cuando los líquidos exudados por la madera se mezclan produciendo en medio húmedo un líquido combustible.

C.1 Fermentación metánica. Se llama si el combustible es rico en metano. Esta fermentación es rentable en granjas, obteniéndose con purines y otros desechos agrícolas. En el caso de residuos forestales, es costoso obtener líquidos ricos en metano.

C.2 Por fermentación de algunas plantas, entre ellas la caña de azúcar, se pueden obtener abundantes líquidos ricos en alcoholes. Así en el caso de Brasil, país donde el alcohol sustituye a la gasolina en los motores. En España, Jesús González, ha realizado abundantes estudios con diversas plantas (pataca, cardos, bagazo,...). Para el caso de residuos forestales no parece resultar aconsejable este proceso.

D) Gasificación.

A veces, en ciertos hornos y calderas, es necesario

el combustible gaseoso. De la madera se pueden obtener gases cuya riqueza en CO, CO₂, H₂ y CH₄ son índices de su riqueza como combustibles; cuanto mayor sea la proporción de H₂ y CH₄, mayor poder calorífico tendrá el gas.

Dentro de la gasificación, es de notar el proyecto presentado por la Cátedra de Termodinámica de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, para obtener hidrógeno a partir de madera que es "quemada" utilizando energía solar concentrada, es decir, utilizando como fuente térmica el Sol. Estudios de laboratorio se han realizado en Francia, USA e Israel, con diversos resultados no coincidentes; los catalizadores y los inconvenientes del manejo de altas temperaturas son puntos a considerar y que dificultan los trabajos. El problema del H₂ es que ha de producirse en atmósfera libre de oxígeno, ya que rápidamente se produce la reacción $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$ con gran liberación de energía y la explosión consecuente.

E) Carboneo.

Es un proceso que ciertos autores incluyen como Pirólisis. Se diferencia de ésta en que en el carboneo no hay fuego, ni llama por tanto. Si el carboneo se hace con llama, deja de ser carboneo y se transforma en Pirólisis.

El carbón vegetal se ha utilizado y se utiliza en España. En Francia también, y nos detendremos en él al hablar del horno Lambiotte. En España se obtiene artesanalmente en Castilla, Andalucía, Extremadura, Galicia y Asturias principalmente.

2. Tipos de combustibles.

2.1 Sólidos.

En el mercado pueden presentarse como astillas, briquetas, polvo y pelets. Sólo indicar que las briquetas, fabricadas por "Convesa" (Combustibles



Vegetales, S. A.) son de tamaño normalizado y se obtienen en procesos industriales, prensando la madera astillada. En la constitución de las briquetas pueden añadirse otros tipos de biomasa.

2.2 Líquidos.

Son los que se obtienen por fermentación y hoy día, en España, no se comercializan.

2.3 Gaseosos.

Es de notar que en Finlandia, Noruega, Alemania, Suiza y otros países, los gases de la madera se utilizan en gasógenos para mover tractores agrícolas y forestales. En España el gasógeno se utilizó hace ya tiempo antes del petróleo, pero quedó en desuso. Si el gas es rico en hidrógeno, entonces se puede pensar en su uso como hidrogenante en la industria química.

3. Usos.

Los tres usos más importantes de los combustibles de origen forestal, son los siguientes: En calderas, hornos y motores.

En calderas, la combustión se puede dar en lecho fijo o en lecho fluido. A veces se emplean parrillas móviles y a veces mezclados con otros combustibles procedentes de R. S. U. (Residuos sólidos urbanos) o de R. S. A. (Residuos sólidos agrícolas). En este campo, puede consultarse un estudio realizado para Sevilla por el desaparecido "Centro de Estudios de la Energía", ahora IDAE (Instituto de Diversificación y Ahorro Energético). En calderas está la variante de producir vapor que mueve una turbina a la que se acopla un generador eléctrico, obteniendo así energía eléctrica muy versátil y manejable. Han de estudiarse las dos

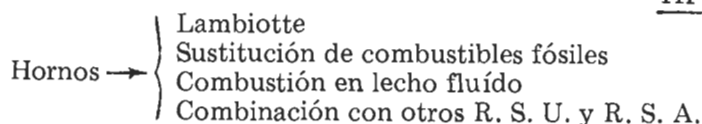
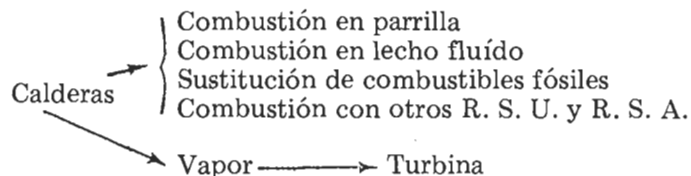
NOTA

Se hace constar que el "Laboratorio de Ensayos y ensayos del Mueble" al que se hacia referencia en el anterior Boletín es propiedad del Ministerio de Industria y Energía, y está cedido a la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes para uso de ésta y de AITIM

posibles formas de obtener energía eléctrica: Una, vía el gasógeno, y otra, vía la caldera con turbina.

En hornos, el combustible forestal sustituye a los convencionales, especialmente en hornos cerámicos y en hornos de panaderías. Es caso particular el llamado horno Lambiotte, que lo que hace es producir carbón vegetal. Dicho proceso consta de tronzado de leña y posterior astillado, las astillas son carbonizadas en un horno tipo CISR, obteniendo el carbón vegetal que luego es triturado y cribado, siendo posteriormente ensacado. Un ciclón separa el carbón fino del grueso y una torre de enfriamiento evapora el agua empleada en refrigerar el proceso. Según datos de la Casa Lambiotte, la producción de su horno es de 2.000 Tm de carbón anuales, que contienen de 85 a 90 % de carbono fijo y 3 a 4 % de agua. Requiere 10 personas para su funcionamiento y su duración es de alrededor de 15 años.

USOS.



Motores → Gasógeno

PROCESOS.

- A) Combustión directa
- B) Pirólisis
- C) Fermentación
 - C.1 Fermentación alcohólica
 - C.2 Fermentación metanólica
- D) Gasificado
- E) Carboneo

TIPOS DE COMBUSTIBLES

