

e. n. adaro

APROVECHAMIENTO ENERGETICO DE RESIDUOS FORES  
TALES PARA OBTENCION DE CARBON VEGETAL  
TOMO II: ANEJO No 1 - BIBLIOGRAFIA

PEN

Febrero - 1984

empresa nacional adaro de  
investigaciones mineras, s.a.  
enadimsa

50301

TITULO	APROVECHAMIENTO ENERGETICO DE RESIDUOS FORES TALES PARA OBTENCION DE CARBON VEGETAL TOMO II: ANEJO No 1 - BIBLIOGRAFIA
CLIENTE	PEN
FECHA	Febrero - 1984

Referencia: P-12710

Departamento: UNIDAD DE RESIDUOS SOLIDOS

ANEJO N<sup>o</sup> 1

BIBLIOGRAFIA

En este Anejo se exponen los artículos, experiencias y trabajos que se han recopilado para la realización de este Informe, indicando su título, autor, fecha de publicación y un pequeño resumen compendio de su contenido.

TITULO: "WOOD WASTE AND THE PYRO SOL PROCESS"

AUTOR: Pyro Sol, Incorporation.

CONTENIDO: La pirolisis, rotura de la estructura de una determinada materia prima, en sus componentes y elementos más simples, se ha venido practicando desde hace siglos mediante un tratamiento térmico en ausencia de oxígeno. La Compañía "Pyro Sol", ha mejorado el conocimiento que se tenía del pasado, con el desarrollo de un proceso continuo, capaz de transformar los residuos orgánicos en productos de gran utilidad y provecho.

Los residuos de la madera representan un excelente campo para la aplicación de este sistema. La industria necesita hacer un continuo esfuerzo para el reciclado de los residuos - que se originan en sus correspondientes procesos. Uno de los mayores volúmenes de residuos es el procedente de la madera. - Mientras que la relación eliminación/reutilización de los residuos leñosos está cambiando, se sigue utilizando la incineración en gran medida, para eliminar este tipo de residuos.

La incineración, que se realiza frecuentemente en unos quemadores de aspecto cónico o tipo silo, presenta dificultades en cuanto a la alimentación de unos residuos no uniformes, en la combustión incompleta y en el control de la contaminación. En muchos casos no se justifican los desembolsos de capital - que hay que efectuar para satisfacer los nuevos requisitos que se exigen para el control de la contaminación atmosférica.

El proceso de pirolisis "Pyro Sol", puede proporcionar:

- Una transformación de los residuos leñosos en un gas limpio y en un combustible sólido de alto poder energético.
- Una reducción de los residuos hasta un volumen insignificante.
- Una suficiente energía, tanto para el mantenimiento del proceso como para la producción de una energía en forma de vapor, para generar potencia, así como en otras aplicaciones donde se necesite calor.
- Una instalación libre de contaminación, con un bajo coste de funcionamiento y por regla general, sin limitaciones en cuanto a su ubicación.

El incremento de costes que supone la producción de energía por medios convencionales, crea una atmósfera que conduce a la máxima utilización de la tecnología actual, tanto en lo que concierne a la conservación, como a la recuperación de recursos y a la generación propia o suplementaria de energía. El gas limpio, un producto constituido principalmente por hidrógeno, monóxido de carbono, metano y etileno, es un eficaz combustible, con un bajo contenido en azufre. El carbón vegetal, un producto de alta calidad, se puede emplear para la fabricación

de carbón activado, para la producción de briquetas, así como combustible de calderas (su contenido en elementos volátiles - se puede ajustar a las necesidades de esta aplicación) y en procesos químicos y metalúrgicos.

Los subproductos adicionales de los aceites y alquitranes se pueden quemar, en virtud de su poder energético, o transformarse en unos compuestos de fácil comercialización. El líquido acuoso de condensación se puede tratar, para recuperar el amoníaco libre y fijo, los alcoholes, ácidos, etc.

Aunque se han efectuado muchos progresos en la utilización de los residuos leñosos, los procesos de pirólisis continuos, son los que ofrecen una mayor versatilidad en cuanto a poder recuperar la energía desde un punto de vista económicamente rentable.

A continuación se muestra un ejemplo relativo a la energía que se puede obtener de los residuos del Abeto Douglas o Pino del Pacífico. El contenido de humedad, la granulometría de la materia prima, la temperatura del proceso y la velocidad de la alimentación, varían los resultados, si bien éstos son bastante representativos dentro de la estructura que se presenta.

También se incluye un diagrama del proceso "Pyro Sol" - para la pirólisis de los residuos leñosos, y sendos gráficos en los que se indica la disponibilidad energética y el balance de materia en la pirólisis de una mezcla de serrín, cáscaras y cortezas de pino.

Finalmente se adjunta la siguiente tabla, en la que se refleja el poder calorífico de diferentes tipos de astillas:

PODER CALORIFICO SUPERIOR MEDIDO EN CALORIMETRO

EN MEGAJULIOS/Kg (Kcal/Kg)

MUESTRA	42% DE HUMEDAD (SOBRE BASE HUMEDA)	SOBRE BASE SECA
1.- Abeto y Pinabete	11,8 (2.828)	19,7 (4.717)
2.- Madera dura y Madera blanda	10,4 (2.472)	17,8 (4.261)
3.- Madera dura y Madera blanda	11,2 (2.672)	19,3 (4.606)
4.- Pinabete	12,2 (2.917)	21,0 (5.028)
5.- Pinabete	12,5 (2.978)	21,5 (5.139)
6.- Madera dura y Madera blanda	12,3 (2.944)	21,3 (5.081)
7.- Madera dura y Madera blanda	12,8 (3.067)	22,1 (5.286)
8.- Arce rojo	11,7 (2.794)	20,2 (4.819)
9.- Arce rojo	10,7 (2.558)	18,5 (4.411)

TITULO: "AMERICA'S WASTED ENERGY RESOURCE..... WOOD GASIFICATION IS THE ANSWER"

AUTOR: Forest Fuels, Incorporation.

FECHA: Año 1982

CONTENIDO: Los Estados Unidos de América poseen una fuente barata de combustible que yace sobre la tierra, pudriéndose. Alrededor de 600 millones de toneladas de leña y posiblemente muchas más, se malgastan cada año en las fábricas y bosques del país. Existen suficientes residuos leñosos como para abastecer el 5% de las necesidades energéticas y sustituir cerca del 50% del crudo de importación. De todos estos residuos no se puede disponer corrientemente. Sin embargo, actualmente, un gran porcentaje de ellos se podrían utilizar mediante el uso de una tecnología avanzada.

Con el empleo de un proceso poco conocido, denominado "gasificación de la madera", los residuos leñosos se pueden transformar en gas, que se quema más limpiamente que el petróleo, el carbón y la propia leña. Esta tecnología no sólo existe, sino que está originando espectaculares mejoras económicas en varias aplicaciones industriales. El fundamento de la gasificación de la madera se conoce desde hace varias décadas, aunque su aplicación práctica y rentable, se tiene que desarrollar.



La Compañía "Forest Fuels", ubicada en Marlborough, New Hampshire, ha desarrollado y patentado un sistema de gasificación de la madera, para reemplazar el crudo y el gas que se consumen en muchos procesos industriales, y que suponen un alto coste.

El desarrollo de esta industria, puede ayudar a solucionar el desastroso y desfavorable equilibrio energético de New England, como consecuencia del pago del crudo, que se estima normalmente en varios miles de millones de dólares anuales. Para muchas compañías de New England, la barata gasificación de la madera, significa la diferencia entre el éxito y el fracaso económico. En aplicaciones adecuadas se consigue un ahorro energético anual, en pesetas, del orden del 50-70%.

En este informe, se comenta la creciente utilización de la leña como combustible. Inevitablemente, su utilización con fines domésticos alcanzará un límite desde el punto de vista del medio ambiente. En su mayoría, la madera que se quema convencionalmente, emite gases y pequeñas partículas, los cuales mientras que se disipan fácilmente en áreas poco pobladas, pueden crear serios problemas en núcleos de mayor densidad de población. Por este motivo, y porque el rendimiento que se obtiene al quemar la leña de forma tradicional en diversas instalaciones, es bajo, nunca se ha considerado la madera como una parte esencial en la solución del problema energético.

Se establece una comparación entre el coste de la leña (astillas con un 50% de humedad) y el de los combustibles fósiles (crudo # 2, Crudo # 4, Crudo # 6, gas natural y carbón bituminoso), llegándose a la conclusión siguiente: la cantidad de leña que se requiere para producir 1 MBTU cuesta la tercera parte y mitad, respectivamente, de los crudos # 2 y # 6, que

se necesitan para producir la misma cantidad de energía, según los precios de Enero de 1982 que rigen en New England.

Se resumen los aspectos económicos de la instalación de gasificación de la madera de la Compañía "Forest Fuels", al compararlo con la utilización de los Aceites # 2 y # 6, respectivamente, para el caso de una caldera industrial de 400 C.V., - que necesita un suministro anual de energía de 118.000 MBTU , para producir vapor o agua caliente y que deja de funcionar durante 10 semanas al año. Los valores que figuran en el mismo se refieren a los costes y necesidades del equipo específico - que hay que adaptar a una caldera que ya existe, en vez de instalar otra completamente nueva.

El ahorro energético que se obtiene al utilizar el sistema de gasificación de la madera en una instalación de este tipo, en vez de los Aceites # 2 y # 6, es de 507.600 y 181.000 dólares, respectivamente. La inversión a realizar se estima en unos 280.000 \$, incluyendo la totalidad de los equipos de manipulación y almacenamiento de combustible. El coste real varía con la ubicación y situación de cada caso concreto.

Un importante aspecto a tener en cuenta, es la reducción del 20% de impuestos, que tuvieron en 1981 los sistemas de gasificación de la madera. Un 10% por inversiones, y otro 10% por tratarse de una fuente de energía renovable.

El período de recuperación del capital es de 7 y 18 meses, respectivamente, según que el sistema de gasificación de la madera sustituya al consumo del Aceite # 2 o al del Aceite # 6.

La tasa interna de retorno es del 115 y 38%, respectiva

mente, según que el sistema de gasificación sustituya al consumo del Aceite # 2 o al del Aceite # 6. Para su cálculo se ha supuesto una amortización de tipo lineal en 5 años y una tasa de impuestos del 40%

A continuación se describe el sistema de gasificación de la madera de la Compañía "Forest Fuels", que consta de tres partes principales: un equipo de manipulación de combustible, para almacenamiento, medida y transporte; un secadero, para reducir el contenido de humedad; y un gasificador, para transformar la madera seca en gas.

Se indican las especificaciones de diseño y funcionamiento de los diferentes modelos de Secadero y Gasificador de la citada Compañía, aptos para abastecer el suministro de calderas de 140 a 400 C.V. de potencia.

Actualmente, lo importante para el que realiza una inversión en un sistema de gasificación de madera son los aspectos económicos y la seguridad en el suministro de materia prima.

Según los datos obtenidos no hace muchos años por el Servicio Forestal de Estados Unidos y de otros países, se podrá disponer en un futuro de hasta 600 millones de toneladas/año de madera con fines energéticos.

En 1980, la industria de pastas y papel empleó alrededor de 103 millones de toneladas de astillas. Los equipos para recolectar y tratar la madera disponible se pueden trasladar desde dicha industria, sin disputarse los mismos recursos de madera.

Explotaciones de este tipo se están adoptando ya en New England, para aprovechar esta enorme riqueza de energía. Varias Compañías tienen "in situ" equipos para clasificar, almacenar, pesar y cargar grandes volúmenes de astillas con destino a diferen

tes mercados.

Los representantes de la Compañía "Forest Fuels" están dispuestos a ayudar en la identificación de las fuentes de suministro. Tienen el objetivo y el compromiso de asegurar un suministro económicamente estable, a través de amplios contactos y convenios comerciales con industrias forestales.

En New England se está realizando un estudio acerca de la rentabilidad de las distintas fuentes de energía.

Esta región no posee ningún combustible propio que sea rentable a excepción de la madera. Como consecuencia, gasta aproximadamente trece mil millones de dólares para adquirir crudos y otros combustibles necesarios para su supervivencia. Su déficit energético se estima en un 20% del total de Estados Unidos, cifrado en unos sesenta y siete mil millones de dólares. Por eso, su economía con tan sólo un 5% de la población total de EE.UU., tiene que soportar una cantidad equivalente al 20% del déficit energético del País. La gasificación de la madera, para la sustitución industrial y comercial del gas y del aceite, podría ayudar inmediatamente a reducir dicho déficit.

Otro aspecto positivo para la región es el impacto que causarían los residuos leñosos, en la utilización y administración de los bosques. El empleo de estos residuos será beneficioso para un extenso número de hectáreas de bosque. Si un elevado porcentaje de residuos leñosos se empleara para generar ingresos, gran cantidad de bosques serían más productivos, con la consiguiente mejora de la economía de la región.

Se comparan las características contaminantes del gas procedente de la descomposición de la madera, con las de fuel oil y carbón mineral.

Los datos que se exponen se basan en las normas mínimas federales que afectan tanto al Aceite como al Carbón mineral. Para satisfacer estas normas, se tienen, que instalar dispositivos de depuración y control de la contaminación, en las nuevas instalaciones e incluso en las existentes, a partir de cierto tamaño, y ubicadas en lugares críticos. En muchas de ellas, el costo del equipo que se necesita para controlar la contaminación que producen el Aceite y el Carbón mineral, iguala o supera al costo total del equipo de gasificación de la Compañía "Forest Fuels".

En la década de los ochenta se tiene que continuar manteniendo las exigencias nacionales, relativas al Medio Ambiente. Cada instalación de gasificación de la citada Compañía ayuda a disminuir la contaminación del aire.

Finalmente se describe la historia de esta Compañía, llegando a la conclusión de que ha tardado seis años en desarrollar y perfeccionar una tecnología de gasificación de la madera.

Al principio, no hubo virtualmente modelos que seguir. En muchos casos, el común esfuerzo de su personal ha sido un ejemplo de la anticuada ingeniosidad yanqui, haciendo algo para explotar recursos, que muchos habían pensado que eran inadecuados a la hora de emprender la tarea.

A causa de tal compromiso y dedicación, ha podido desarrollar un antiguo concepto en un sistema práctico y económico de gasificación de la madera, listo para aplicar. Forest Fuels ha pasado de ser una Compañía de investigación a un negocio maduro que produce sistemas prácticos y económicos para gasificar la madera en aplicaciones industriales y comerciales.

TITULO: "ABBREVIATED PROCESS DESCRIPTION "INTEGRATED CARBONIZATION OF FORESTAL AND AGRICULTURAL WASTE AND RESIDUES OF THE WOOD AND AGRICULTURAL PROCESSING INDUSTRY"

AUTOR: BIO-CARBON GmbH

CONTENIDO: La materia orgánica mediante un proceso de carbonización integral, se puede descomponer en los tres productos siguientes:

- Carbón vegetal
- Aceite
- Gas

Estos compuestos se consideran fuentes de energía transportable, de gran valor comercial.

En este proceso, se puede utilizar cualquier tipo de materia orgánica tal como:

- Residuos de las serrerías y los procedentes de la limpieza, corta y aclarado de montes.
- Toda clase de cáscaras y cortezas (de cacahuete, pacana, coco, etc.).
- Residuos de industrias agrícolas (bagazo de la caña de azúcar, café, cacao, cascarillas de arroz, desperdicios de las desmotadoras de algodón, etc.).
- Residuos de las plantas de tratamiento de frutas y vegetales (naranjas, aceitunas, etc.).

Su rendimiento oscila alrededor del 80-85 %, del poder energético de la materia prima, distribuída de la siguiente forma:

- 30% corresponde al combustible sólido (carbón vegetal)
- 25% corresponde al combustible líquido (aceite)
- 25% corresponde al combustible gaseoso
- 20% de pérdidas.

Una planta de carbonización de tamaño medio, que trate 10.000 toneladas de materia prima (secadas al aire)/año, puede producir:

- 3.500 toneladas de briquetas de carbón vegetal de 5.200 Kilocalorias/Kilogramo
- 2.500.000 litros de aceite de 6.000 Kilocalorias/Kilogramo.
- gas para el proceso/pérdidas.

A continuación se analizan los mercados de estos tres productos. Por regla general, el carbón vegetal se utiliza para formar briquetas. Representan una mercancía de gran valor y alto precio, para el mercado local (combustible de uso doméstico), ofreciendo excelentes oportunidades de exportación para los mercados de ocio de los países industrializados.

También se están empleando crecientemente, como combustible, en los generadores de energía, en los motores de gas de camiones, coches, etc.

El carbón producido en el proceso de Carbonización Integral es una excelente materia prima para la industria del carbón activo, aplicándose en la industria química, en la de filtros, en los procesos de purificación del agua y gases, etc. También se necesita para muchos sistemas de control del medio ambiente.

El aceite de pirólisis que se obtiene por condensación del

gas que se produce en el reactor convertidor, puede sustituir al fuel oil de uso industrial. Se puede emplear como tal o en mezclas con fuel oil (1 Kg de aceite de pirólisis equivale a 0,6 Kg del aceite de los buques tipo "C").

Además, es un producto muy solicitado por la industria química del que se obtienen ácidos, alcoholes, ésteres y creosotas, como componentes principales.

El gas, la fracción no condensable de la mezcla gaseosa que se produce en el convertidor, se utiliza normalmente para el secado de la materia prima y para el secadero de la planta de formación de briquetas.

Su cantidad y calidad se puede controlar según el grado de extracción que se quiera para el aceite. Por lo tanto, ya puede usarse en una caldera de vapor, que se requiera en otras partes de la planta integral, o para satisfacer las necesidades de vapor de las industrias próximas.

Los principales componentes de una planta de Carbonización Integral son los siguientes:

- Equipos necesarios para la preparación de la materia prima (normalmente un molino de martillos y un secadero).
- Estación convertidora o de transformación.
- Sistema de recuperación del Aceite.
- Planta de briqueteado.
- Unidad de envasado.

El proceso de carbonización que tiene lugar en el interior del convertidor es exotérmico. Únicamente se necesita energía eléctrica. Si no se puede conseguir de una red pública, el empleo de un generador de gas sería una solución ideal. Para alimentar a dicho generador, solo se requeriría una pequeña cantidad de la



producción total de carbón vegetal.

Los costes de inversión, dependen mucho de la capacidad de la planta, del diseño (funcionamiento manual o semi-automático) y de la aptitud y medios de los productores de equipos locales.

La clase y calidad de los productos finales que se desean , también influirán en los costes de inversión.

El coste total de una planta de tamaño medio, llave en mano, puede oscilar entre 0,5 y 3 millones de dólares USA.

El periodo de recuperación del capital, no supera por regla general, el plazo de 3 años.

Finalmente, se expone, un diagrama de flujo relativo a los productos y aplicaciones de una planta de Carbonización Integral.

TITULO: "INDUSTRIAL CHARCOAL MAKING FROM FORESTAL AND AGRICULTURAL WASTE"

AUTOR: W. EMRICH

FECHA: Abril de 1981

CONTENIDO: La pirólisis de los residuos agrícolas y forestales presenta una riqueza energética de gran valor para muchos países. El proceso de pirólisis parcial da lugar a un carbón vegetal, un crudo y un gas. Estos tres productos poseen ya, unos buenos mercados establecidos, con una demanda que va en aumento.

Una planta de pirólisis parcial se puede diseñar tanto para funcionamiento manual como continuo, pudiéndose adaptar su capacidad a la de los productores a pequeña escala.

La energía que se recupera de la materia prima es un 60% más alta que en el caso de los métodos tradicionales de producción de carbón vegetal, lo que hace que la pirólisis parcial sea más interesante y atractiva a la hora de invertir.

Por regla general, el término pirólisis se refiere a un proceso de descomposición térmica de la materia orgánica, mediante la aplicación de calor en ausencia de oxígeno. En la Pirólisis Parcial se emplea bastante aire para mantener una reacción química, capaz de generar el calor que se necesita para dicho proceso.

La lista de productos que se pueden utilizar es prácticamente ilimitada. En general, todos los que quedan en las operacio -

nes de limpia y corta de los montes, como los matorrales, ramas , hojas y raíces, son una buena materia prima, así como los residuos de la fábricas de madera y de las industrias de muebles, como serrin, costeros y virutas, que constituyen un producto ideal. Los desechos de las industrias de pastas y papel también se pueden emplear, especialmente las cáscaras y cortezas.

Se describe el proceso de Pirólisis Parcial, que consta de las siguientes fases o elementos:

- Preparación de la materia prima.
- Secadero.
- Reactor (Unidad de Pirólisis)
- Sistema de eliminación y aprovechamiento del gas.
- Manipulación y Almacenamiento del carbón vegetal.

Se muestra el contenido energético del carbón vegetal, aceite y gas, producidos en la pirólisis de una mezcla de serrin y corteza de pino triturada, en función del rendimiento del carbón vegetal. Mientras que en una planta comercial, los rendimientos de carbón vegetal variaron entre un 19,5 y un 38,5%, en una planta piloto oscilaron entre un 8 y un 45%.

Las curvas de distribución energética indican la flexibilidad del proceso. El sistema se puede regular para maximizar aquellos productos de mayor valor o para satisfacer la demanda local. Se indican los datos obtenidos en los balances de materia y energía en unos ensayos realizados a nivel de planta comercial y a nivel de Planta Piloto, con astillas de copas de pino, corteza de pino triturado y una mezcla de serrin y corteza de pino triturada. El poder energético del carbón vegetal, para un mismo rendimiento de este producto, fué aproximadamente igual para los tres tipos de materias primas ensayadas. Sin embargo, para un rendimiento en carbón vegetal del 20%, el poder energético del aceite que se obtuvo con las astillas fué el mayor, mientras que el del que se obtuvo con las cortezas fué el menor. El rendimiento más alto que

se alcanzó para el carbón vegetal fué de un 45,7%, sobre base seca, al tratar corteza de pino triturada.

También se comenta la realización de un estudio para conseguir el mínimo rendimiento de carbón vegetal sin formación de escorias, reflejandose los datos obtenidos al tratar en una planta piloto durante 72 horas, astillas de pino.

Se analizan los mercados de todos los productos que se obtienen en el proceso de pirólisis parcial, que por regla general dependerán del tipo y cuantía de especificaciones que hayan de satisfacer. Actualmente no existen todavía en ningún país, unas normas comunmente reconocidas o disponibles. No obstante la industria, los mayoristas y los minoristas establecen sus propios requisitos.

Por lo tanto, antes de emprender una actividad nueva, se han de investigar cuidadosamente los objetivos y estrategias del mercado. De esta manera se impulsará un negocio provechoso en un mercado con una trayectoria poco usual, al esperarse un notable incremento en la próxima década.

Finalmente se examina el concepto de una planta de pirólisis parcial, completa o integral. El término "integral o completo" se da a la planta de pirólisis parcial que se incorpora a una instalación ya existente, con el fin de conseguir el mayor ahorro económico posible. En otras palabras, la nueva planta se diseña para utilizar de forma óptima los recursos de materia prima disponibles y los productos terminados u obtenidos.

Se indican una serie de industrias relacionadas entre sí. Una planta de pirólisis puede proporcionar su carbón vegetal a una planta productora de carbón activado, reservandose una parte del mismo para su propia fabricación de briquetas, a la vez que suministra a una fábrica de ladrillos, a una de tableros, a las destileras, etc., el aceite producido, para que lo empleen como combustible en un quemador o caldera de vapor.

En los países industrializados existen muchas plantas de pirólisis parcial que tienden a emplear calderas de vapor auxiliares o complementarias, alimentándose con la totalidad de los gases que se producen, sin tener que recurrir a operaciones de condensación. El vapor generado se vende entonces a las industrias adyacentes.

También se han realizado ensayos para ver el comportamiento del aceite de pirólisis en los hornos de cemento. Durante varios meses se alimentaron estos hornos con una mezcla de fuel oil, en la proporción del 20%.

En los mismos se ha comprobado la factibilidad y posibilidades de las plantas de pirólisis "integral", en la mayoría de los países. Un reactor de pirólisis parcial se puede considerar como un generador principal de gas, produciendo parte de la energía que recibe en forma de combustible sólido. Análogamente, un horno de carbón activado, efectúa básicamente las mismas funciones. Por consiguiente, la combinación de ambas operaciones representa un potente generador de gas, según se ha demostrado en muchas plantas. De lo contrario, se está corriendo un gran riesgo, en el sentido de que la energía de que se dispone no se puede utilizar razonablemente. En tal caso se desperdiciaría energía, con la consiguiente disminución de la rentabilidad de la planta.

El equipo para un proceso de pirólisis parcial se puede diseñar para los pequeños hombres de negocios así como para los grandes productores. También, para plantas de funcionamiento manual, si se desea, y para aquellas otras de funcionamiento totalmente continuo.

Es de creencia general, que para la mayor parte de las plantas rentables, la capacidad de tratamiento debe oscilar entre 0,5 y 7 toneladas de materia seca por hora.

La experiencia que se ha adquirido en diferentes países du-

rante muchos años, ha puesto de manifiesto que los costes de inversión no son proporcionales a la capacidad de la planta. Los costos de ingeniería, equipos, etc, varían mucho de unos países a otros. Por lo tanto el volumen de la planta no tendrá gran influencia en los costes iniciales.

Por otra parte, una planta de pirólisis puede emplear perfectamente equipos de segunda mano. Los productores tienden a comprar anticipadamente estos equipos para nuevas ampliaciones, tan pronto como se disponga de ellos en el mercado.

La amortización de las inversiones que se realicen en una planta de pirólisis bien diseñada no deberá superar normalmente un período de 18-24 meses.

Como consecuencia de que una planta de pirólisis parcial se diseña para la total recuperación de los subproductos, se aísla bien y se monta desde un punto de vista integral, se pueden esperar conseguir notables rendimientos energéticos, por encima del 87%. Durante muchos años prevaleció la creencia general, incluso en los Departamentos Forestales, de que la producción de carbón vegetal era la causa del continuo agotamiento de los recursos naturales y de la supresión de las zonas de bosques en muchos países. Aunque la existencia en los países industrializados de una industria de fabricación de carbón vegetal a gran escala es polémica, recientes estudios llevados a cabo únicamente en los países en vías de desarrollo demuestran su función beneficiosa.

No obstante, es evidente que los fabricantes que emplean hornos o fosas de tierra, hacen un trabajo muy malo, pues efectúan cada año talas más intensas de los bosques, a medida que se incrementa la demanda de carbón vegetal. Por otro lado, los leñadores de los pueblos y aldeas, y los rebaños de ovejas y cabras, están haciendo el mismo daño en los recursos naturales de gran valor, continuando el agotamiento de los mismos.

Por ésto es muy importante hacer observar a los ingenieros industriales y de montes, así como a los ecologistas y empresarios privados, que existen tecnologías de las que se puede disponer fácilmente, para utilizar reservas sin explotar hasta ahora, con el consiguiente beneficio para mucha gente.

Se recalca, por último, el hecho de que se ha demostrado la viabilidad técnica y económica de estas tecnologías, al producirse millones de toneladas de energía transportable.

TITULO: "RECOVERY OF CHAR AND PYROLYSIS OIL FROM FORESTAL  
AND AGRICULTURAL RESIDUES BY CARBONISATION"

AUTOR: WALTER EMRICH

FECHA: AÑO-1981

CONTENIDO: Desde hace más de dos mil años la humanidad carbonizó todo tipo de productos leñosos. El carbón que obtenía lo utilizaba principalmente para extraer los metales contenidos en los diferentes minerales.

Hasta hace treinta años, la única materia prima que se utilizó en la industria de la carbonización, fue la madera troceada en grandes fragmentos. Con la aparición de los modernos procesos de funcionamiento continuo, se pudo acceder al amplio campo de los productos agrícolas y forestales, principalmente en los Estados Unidos.

Actualmente las nuevas materias primas que se emplean en la industria de la carbonización son las siguientes:

- Serrines, cáscaras y cortezas
- Residuos de la industria de la madera
- Residuos de las plantaciones de café y algodón
- Cáscaras de arroz, carrizo y bambú
- Bagazo de la caña de azúcar.

También se utilizan satisfactoriamente los residuos de los mataderos y los de las industrias de alfombras.

La totalidad de los modernos procesos de carbonización



producen los tres elementos siguientes:

- carbón, que se emplea por regla general para la fabricación de briquetas, carbón activado y como combustible de los generadores de gas.
- aceite, un sustituto del fuel-oil que consumen muchas industrias como las fábricas de ladrillo, los hornos de cemento, las plantas de abonos y fertilizantes, etc.
- gas, que es la parte incondensable de la fracción gaseosa del reactor o convertidor. Contiene monóxido de carbono e hidrógeno, como elementos principales. Normalmente se utiliza como combustible en los secaderos de materia prima y en las plantas de fabricación de briquetas.

Se muestra el diagrama de flujo general de una planta de carbonización de funcionamiento continuo, indicándose los dos tipos de reactores o convertidores ensayados comercialmente por la Compañía alemana "Carbon International, Ltd."

- El Convertidor de flujo vertical
- El Convertidor de lecho fluido

Asimismo, se expone el fundamento del Convertidor de Flujo Vertical, que se considera apropiado para las instalaciones de pequeño y mediano tamaño, adoptándose por regla general a las necesidades de los países en vías de desarrollo.

El tiempo de permanencia de la materia prima en el seno del reactor varia, según los dos factores siguientes:

- El tamaño de las partículas o elementos que la constituyen.

- Su contenido de humedad al entrar en el reactor.

El reactor se puede construir de acero normal, dotándole internamente de un revestimiento de materiales refractarios. Únicamente se hace de acero inoxidable su parte superior, para evitar los efectos de corrosión que producen los vapores de la pirólisis.

Para enjuiciar el valor comercial de un proceso de carbonización, se han de tener en cuenta, básicamente, los dos criterios siguientes:

- La relación entre la energía que se produce y la contenida en la materia prima.
- la flexibilidad del proceso en cuanto a la variación de la cantidad de productos que se generan.

Por consiguiente, es necesario determinar estas características y reflejarlas en un diagrama.

La distribución energética entre los diversos productos obtenidos varía con el tipo de materia prima.

Si se modifica la producción de carbón vegetal se produce una alteración de la dispersión energética entre el carbón, el aceite y el gas. Una planta de carbonización bien diseñada, con un Reactor de Flujo Vertical, producirá un rendimiento energético total del 85%, aproximadamente, si se le compara con la energía contenida en la materia prima desecada.

Por todo ello, con una moderna planta de carbonización de funcionamiento continuo, no solamente se pueden aprovechar los recursos que hasta ahora estén sin explotar, sino además mejorar sensiblemente su nivel de utilización energética.

TITULO: "INDUSTRY CHARACTERIZATION"

CONTENIDO: En este informe se trata únicamente la producción del carbón vegetal mediante el proceso de destilación seca de la madera, comentándose los dos tipos de procedimientos que se emplean para ello: los discontinuos y los continuos.

Los procesos discontinuos que se utilizan en la actualidad comprenden dos clases de hornos: El Missouri y el Beehive.

El Missouri es el que se usa más ampliamente. Por lo general se construye de hormigón, con una capacidad de tratamiento de 40-50 cuerdas por ciclo. Cada ciclo comprende los períodos de carga, carbonización, enfriamiento y descarga. El tiempo que se requiere para cada uno de ellos varía mucho de unas instalaciones a otras. No obstante, la duración normal de un ciclo oscila entre 10 y 25 días, aproximadamente.

La consecución de una buena carbonización, depende sobre todo del mantenimiento de unas condiciones de combustión adecuadas, en la zona donde va a tener lugar el proceso de pirólisis. Por lo tanto, se debe generar calor suficiente para desecar en primer lugar la materia prima y mantener a continuación las temperaturas necesarias, propias de una eficiente carbonización. La combustión de una parte de los elementos volátiles de la madera produce el calor que se necesita para sostener el proceso de carbonización. En definitiva, el control de la temperatura se logra mediante una mayor abertura o cierre de los dispositivos de admisión de aire. Las temperaturas que se requieren para la obtención de un carbón vegetal de calidad varían por lo general entre los 450 y los 510°C. En el caso de persistir temperaturas más elevadas, disminuye la producción, sin mejora alguna de la calidad. También puede suceder que si las temperaturas del pro-

ceso de pirólisis permanecen bajas, el carbón vegetal contenga una proporción de madera parcialmente carbonizada, tizones, superior a lo normal. Los rendimientos que se obtienen oscilan por lo general alrededor del 25%, respecto a la materia prima desecada.

El Beehive es un cilindro de techo abovedado, que se construye normalmente de hormigón. Posee unas lumbreras de admisión de aire distribuidas por todo él, otras de salida situadas en el techo, una puerta metálica lateral de carga y descarga, y una abertura en la parte superior para poder efectuar las operaciones de carga y encendido. Trata de 50 a 90 cuerdas de madera por ciclo. El tiempo de duración de un ciclo normal oscila entre 10 y 20 días. Su rendimiento es similar al del tipo Missouri.

Uno de los principales sistemas continuos que se utilizan hoy en día es el horno "Herreshoff", de hogares múltiples. Consta de varios hogares o cámaras de combustión, situadas unas encima de otras. Su número depende del proceso y de la cantidad de materia prima que se trate. Se sitúan en el interior de una cuba cilíndrica, metálica, revestida de un material refractario, dividiéndola en una serie de compartimentos. Cada uno de ellos limita con el fondo del hogar situado por encima y con el techo del situado debajo. Para facilitar el avance del material a lo largo del horno se dispone de un eje con dos o cuatro brazos agitadores por hogar. Este horno puede funcionar con cualquier tipo de madera, residuos de la industria maderera y mezclas de los mismos, siendo muy importante el que no tengan un tamaño demasiado grande, a efectos de conseguir una carbonización lo más uniforme posible. El rendimiento de la transformación oscila alrededor del 25% sobre una base de materia seca. Entre sus principales ventajas, destacan las siguientes:

- Gran uniformidad y calidad en la producción de carbón vegetal, con control en el contenido de carbono fijo y

elementos volátiles.

- Reducción de la influencia manual o artesanal al mínimo.
- Fácil recolección de los gases producidos, para su posterior utilización en el proceso o en otros menesteres

Con este tipo de horno se necesitan grandes cantidades de materia prima. Este hecho impide el que se instale en zonas donde no existan muchos residuos madereros. Asimismo, se dificulta la sustitución de los hornos discontinuos por los continuos, al instalarse la mayor parte de aquellos en zonas aisladas.

TITULO: "TIMBER INDUSTRY RESIDUES AS AN ENERGY SOURCE"

AUTORES: P.Y.H. FUNG, R.M. LIVERSIDGE AND E.P. LHUEDE

FECHA: NOVIEMBRE DE 1978

CONTENIDO: Los residuos producidos por la Industria de la Madera Australiana son una pequeña fuente de energía a escala nacional. No obstante, se pueden emplear como combustible en las zonas rurales donde se generan o para satisfacer las necesidades energéticas totales de las correspondientes industrias. En este informe se esbozan las propiedades, disponibilidades y valor de este tipo de residuos, exponiéndose los posibles métodos de utilizarlos.

Según los datos estadísticos de 1973-74, se estima, que en Australia el volumen de residuos de la madera que pueden utilizarse con fines energéticos es de  $5,6 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$ , distribuidos de la siguiente manera:

FUENTE DE LOS RESIDUOS	EQUIVALENTE EN MADERA
Compuestos sólidos y serrín, procedentes de las serrerías (verdes y frescos) .....	$4,3 \times 10^6 \text{ m}^3$
Residuos de la madera aserrada, como consecuencia de las operaciones del trabajo mecánico y fabricación (principalmente secos) .....	$0,5 \times 10^6 \text{ m}^3$
Cáscaras y cortezas de los troncos que entran en las serrerías, suponiendo que un 50% de las mismas se quedan en el terreno (verde y frescas) ..	$0,55 \times 10^6 \text{ m}^3$
Residuos de la industria del astillado, en forma de cáscaras, cortezas, así como partículas finas y de gran tamaño .....	$0,25 \times 10^6 \text{ m}^3$
T O T A L .....	$5,6 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{año}$

Este volumen equivale a unas  $3,4 \times 10^6$  toneladas de madera desecada al horno. Si se supone para la madera seca un poder calorífico bruto de 19.500 KJ/Kg, este tipo de residuos representa una energía de  $6,6 \times 10^6$  MJ, aproximadamente. Aun cuando este valor es muy pequeño si se le compara con el consumo energético nacional, estimado en  $427 \times 10^6$  MJ para 1976, podría merecer la pena el aprovecharlo, a la vez que se soluciona uno de los mayores problemas que presenta la industria de la madera, la eliminación de los residuos que genera. La cantidad de residuos se podría incrementar enormemente en el caso de considerar los procedentes de los bosques.

La composición elemental de la madera no varía mucho con las especies de que procede. Sus característicos análisis iniciales y finales son los siguientes:

ANALISIS INICIAL (Sobre madera seca)	ANALISIS FINAL (Sobre madera seca)
Volátiles ..... 74-83%	Carbono ..... 52 %
Carbono fijo (carbón vegetal) 17-24%	Hidrógeno ..... 6 %
Cenizas ..... 1 %	Oxígeno ..... 41 %
	Cenizas ..... 1 %

\* Los porcentajes son en peso

Por regla general, el poder calorífico de las maderas duras de Australia es más bajo que el de las blandas, debido probablemente a que estas últimas contienen mayor cantidad de resinas y aceites. El de las cáscaras y cortezas suele ser ligeramente más alto que el de la madera.

Los poderes caloríficos brutos de las maderas duras de Australia oscilan por lo general entre 19.100 - 20.500 KJ/Kg, mientras que los de las maderas blandas varían entre 20.500 - 22.600 KJ/Kg, estando en ambos casos desecadas.

El contenido de humedad de la materia prima influye mucho en el poder calorífico de la misma.

Entre los inconvenientes que se presentan al utilizar la madera como combustible dentro del contexto australiano actual, destacan los siguientes:

- Al tratarse de una materia verde en su mayor parte, su poder calorífico es más bajo.
- La mayoría de los residuos de la madera son de baja densidad, por lo que su transporte a largas distancias resulta antieconómico.
- Se requieren hornos especiales y medios para su almacenamiento.

Entre las ventajas, se citan las siguientes:

- Se trata de un combustible limpio, con bajo contenido en cenizas (inferior al 1%) y cantidades insignificantes de azufre.
- Aun cuando se requieren hornos especiales, éstos están fácilmente disponibles, estando actualmente desarrollándose un creciente número de modelos, particularmente en América del Norte.
- Es un producto, que al no poder almacenarse en la mayoría de los aserraderos, se tiene o que consumir o que eliminar, poco después de producirse. A diferencia del carbón, no se puede dejar para utilizar en un futuro.
- Es una fuente de energía barata, siempre y cuando no se tenga que transportar a excesiva distancia.
- Se trata de una fuente de energía continua y renovable.



Se analizan los balances de masa y energía de una fábrica de madera dura, que trata unos  $94 \text{ m}^3$  de troncos desprovistos de cortezas al día, durante un total de 230 días al año, con una producción diaria de  $45 \text{ m}^3$  de madera aserrada. De esta cantidad, una mitad se seca, y la otra mitad se vende para construcción y cercas. Las cortezas, ribetes, orillas, etc. se astillan obteniéndose una producción diaria de  $37 \text{ m}^3$ .

El balance de masa se resume a continuación, indicándose las cantidades de productos y de residuos que se generan al día, a partir de los troncos provistos de corteza que entran en la fábrica. Para las cortezas y maderas frescas con un 100% de humedad se supone una densidad de  $1,1 \text{ t/m}^3$ , mientras que para las maderas secas con un 12% de humedad se estima en  $0,55 \text{ t/m}^3$ .

BALANCE DE MATERIA

ENTRADA	S A L I D A	
	Productos	Residuos
Troncos provistos de corteza 118 t	Tableros frescos. 24,8 t Tableros desbastados y secados ... 11,2 t Astillas ..... 39,2 t Producto total .. 75,2 t Agua evaporada .. 9,9 t	Cortezas ..... 14,4 t Serrín fresco . 12,4 t Residuos de la astilladora ... 2,1 t Residuos del cepillado y desbastado ..... 3,7 t Residuo total . 32,6 t

En el balance energético se indica un consumo diario medio de 3.525 Kwh y 33.750 MJ (para el proceso de secado). La energía se puede suministrar mediante una caldera de leña que produzca vapor a  $315^{\circ}\text{C}$  y 1,45 MPa y accione una turbina que utilice vapor a 6,9 KPa. El rendimiento mecánico de la turbina se estima alrededor de un 60%. Sus necesidades de vapor, teniendo en cuenta

ta el ciclo de Rankine, se cifran en 28.600 Kg. El vapor tiene un poder energético de 61.800 MJ, valor más que suficiente para satisfacer la operación de secado.

En las maderas duras, con un 70-100% de humedad, es frecuente reducir dicho contenido hasta un 25-35% mediante secado al aire libre, procediéndose a continuación a su reacondicionamiento con vapor y al subsiguiente secado al horno, hasta que - dar con un 12%. Para la operación de reacondicionamiento y secado al horno se necesitan 7.950 y 25.800 MJ, respectivamente, como término medio, lo que supone un total de 33.750 MJ. Los compuestos producidos en forma de cortezas, serrín fresco, residuos de la astilladora y los procedentes del cepillado y desbastado (virutas, cortas y serrín seco), se utilizan como combustible de la caldera. Como las cortezas, una vez separadas de los troncos, se manejan con gran dificultad, se pueden triturar a un tamaño adecuado para su transporte y combustión. Su poder calorífico es de 8.610 MJ/t, mientras que el del serrín fresco y el de los residuos de la astilladora es de 8.490 MJ/t, y el de las virutas, cortas y serrín, secos es de 17.160 MJ/t. Cuando se mezclan todos estos residuos, su poder calorífico total es de 9.410 MJ/t. Como la fábrica produce unas 33 t de residuos diarios, genera una energía equivalente a 311.000 MJ.

Para satisfacer la demanda de vapor, basta con quemar 14,7 toneladas de residuos, al suponer el rendimiento de la caldera alrededor de un 60%. Esto, supondría el utilizar únicamente el 45% de los residuos producidos, quedando un exceso de 18 t/día, que se podrían emplear como combustible en otras secciones o departamentos de la industria. Sin embargo, salvo que existan otras industrias a una distancia razonable de la planta, los costes del transporte pueden hacer antieconómico el empleo de este exceso de residuos.

El inconveniente de transportar a grandes distancias, com

bustibles de bajo poder calorífico como los residuos de la industria de la madera, debido a su alto coste, se puede superar transformándolos mediante un proceso de carbonización.

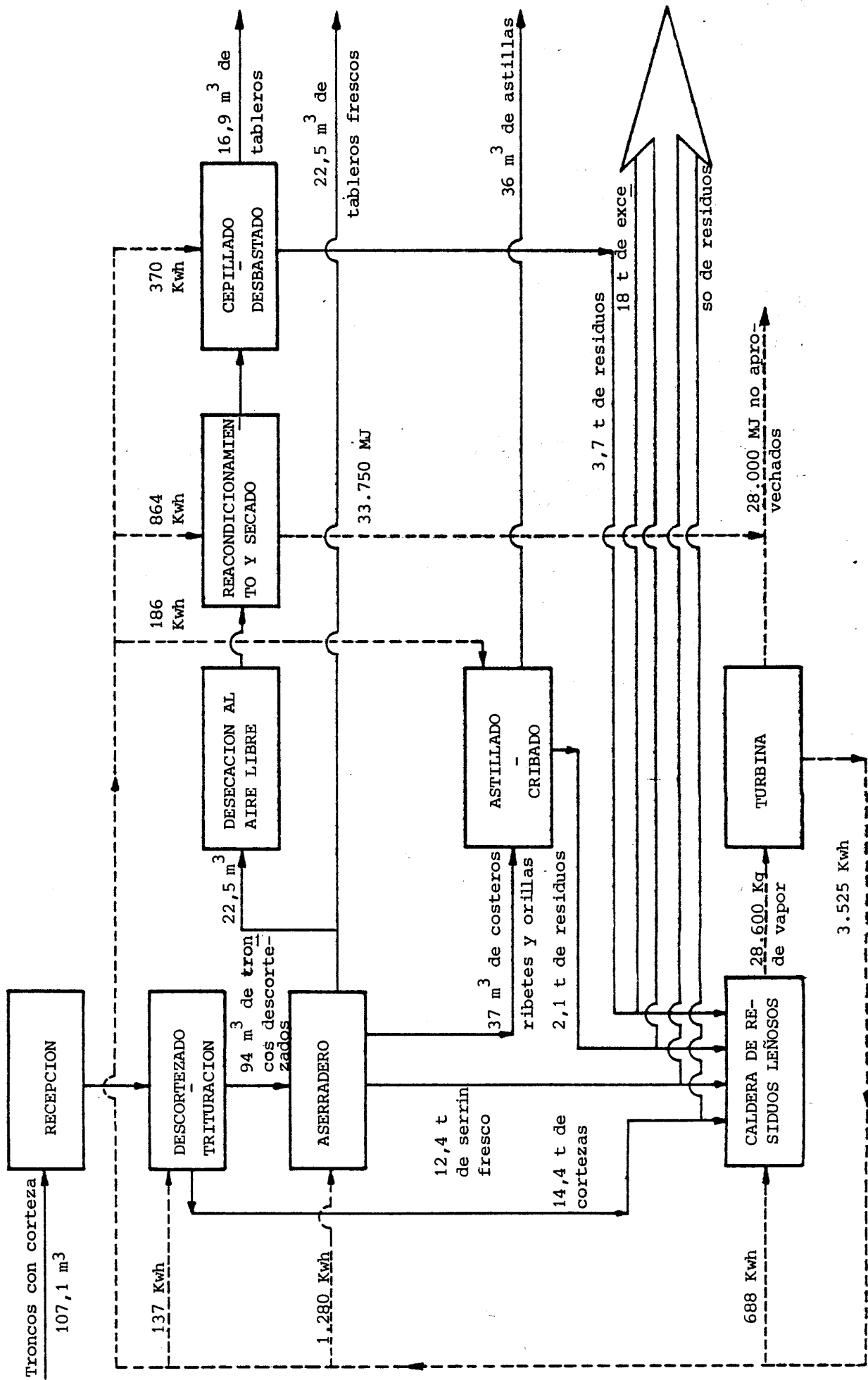
Existen dos posibles alternativas para transformar este tipo de residuos en carbón vegetal. En primer lugar, se podría carbonizar el exceso de 18 t/día, obteniéndose 3,2 t diarias de carbón vegetal, lo que representaría reducir el peso en unas seis veces. Por otra parte, el poder energético se disminuiría de 169.400 a 96.300 MJ o incluso hasta la mitad, aproximadamente. La diferencia energética se pierde en los volátiles que se desprenden en el proceso de carbonización, cuya recuperación no es económicamente viable. En segundo lugar, se podrían carbonizar la totalidad de los residuos generados, 33 t/día, obteniéndose 5,8 t de carbón vegetal al día. Los volátiles se quemarían para producir vapor y satisfacer las necesidades energéticas de la planta. Su contenido energético equivale a 137.300 MJ, cifra aproximadamente igual a la de su demanda de energía. Esta alternativa sería más eficaz desde el punto de vista de utilización de los residuos de la industria de la madera como fuente de energía.

#### BALANCE DE ENERGIA

ENERGIA DE LOS RESIDUOS	NECESIDADES ENERGETICAS DE LA FABRICA		EXCESO DE ENERGIA DISPONIBLE		
	Electricidad (Kwh)	Calor MJ	Alternativa	Peso (t)	Energía MJ
Corteza ... 124.000 MJ	Serrería... 1.280	33.750	1) Residuos de la madera .... 18,0 2) Carbón vegetal. 3,2 3) Carbón vegetal.. 5,8	169.400	96.300
Serrín fresco ..... 105.300 MJ	Secadero .. 864				
Residuos de la astilladora ..... 17.800 MJ	Cepillado y desbastado. 370				
Residuos del cepillado y desbastado. 63.500 MJ	Astilladora 186				
	Caldera ... 688				
	Manipulación de las cortezas ..... 137				
Total .... ≈ 311.000 MJ	3.525	33.750			
	Energía primaria (*) .. 138.400 MJ				
	Residuos quemados (alternativas 1y2) 14,7 t				

(\*) Vapor a 1,48 MPa y 315°C; Rendimiento de la caldera: 60%; Rendimiento de la turbina: 60%; Ciclo de Rankine; Vapor a la salida de la turbina a 6,9 KPa y con una calidad del 90%.

DIAGRAMA DE FLUJO DE LA FABRICA



Finalmente, se determinan los costes de estos residuos, desde el punto de vista energético, comparándolos con los de los combustibles tradicionales, tales como la hulla, el lignito, fuel-oil, petróleo de los hornos, gas natural y la electricidad.

Si se supone para estos residuos un precio de 3 \$/t, con un poder calorífico de 9,5 MJ/kg y un rendimiento en la combustión del 60%, el valor de la energía es de 0,053 centavos/MJ.

En esta cifra se podría incluir un beneficio marginal para el productor del orden de 2-3 \$/t. Por consiguiente, a un comprador le saldría el precio de esta energía a unos 0,11 centavos/MJ, aproximadamente, sin considerar el transporte.

En el caso de tenerlo en cuenta, se suponen, tanto para los largos como para los cortos recorridos, en unos remolques de diseño especial y con una capacidad de carga de 13-15 t, unos valores comprendidos entre 6 y 7 centavos por tonelada y kilómetro

Aunque en este informe solo se trata de la combustión de la madera en su estado normal, también se mencionan otros métodos de obtención de energía a partir de la misma, algunos de los cuales están siendo investigados en varios centros, tales como:

- La carbonización, tanto en el caso de considerar la utilización del gas y elementos volátiles condensables, como en el caso de no tenerlos en cuenta (El carbón vegetal tiene un poder calorífico bruto del orden de 30.000 KJ/Kg).
- La utilización del carbón vegetal pulverizado como componente de una suspensión de crudo-carbón vegetal, para alimentar equipos que quemén crudo.
- La producción de gas.
- El desarrollo de nuevas técnicas para la obtención de etanol o metanol.

- El desarrollo de tipos de hornos alternativos y sistemas de transmisión de calor para optimizar la recuperación de energía.

TITULO: "THE EXTRACTION OF CHEMICALS FROM WOOD DISTILLATION"

AUTOR: A.C. HARRIS

FECHA: OCTUBRE DE 1978

CONTENIDO: Recientemente se ha vuelto a despertar un creciente interés por la obtención de subproductos químicos a partir de la destilación de la madera. Entre los mismos destacan el ácido acético, el metanol, la acetona (los tres son compuestos químicos de una gran importancia), los alquitranes y la creosota.

Los tres primeros se pueden obtener por síntesis orgánica. El ácido acético, en particular, se obtiene principalmente del etileno fabricado por la industria petroquímica, quien también se emplea para la síntesis de plásticos y otros productos químicos. Desde la crisis del petróleo, los precios de estos compuestos han subido muy considerablemente.

Para que en la actualidad, los productos químicos que se obtengan de la destilación de la madera vuelvan a ser rentables, se tienen que presentar unas circunstancias de producción favorables en cuanto a precios y unas condiciones de mercado. Esta situación podría mejorar en un futuro no muy lejano. Una refinería con una capacidad mínima rentable y una planta auxiliar de vapor para la extracción de los ácidos piroleñosos que se originan en la destilación de la madera, podría costar del orden de 1-1 1/4 millones de dólares, con una producción anual de ácido acético alrededor de 1.000-1.200 t, aproximadamente. Esta industria podría tener un buen futuro en los países donde se importa el ácido formico o el acético, por coagulación del látex del caucho. Sin embargo, es esencial asociarla con las complejas retortas de producción de carbón vegetal, a medida que las operaciones de los hornos no son

las adecuadas. Se conocen importantes avances técnicos en cuanto a la extracción de los ácidos piroleñosos, que podrían nuevamente mejorar sus posibilidades de aplicación.

La carbonización de los compuestos leñosos en retortas cerradas permite recoger y condensar los vapores que se desprenden, obteniéndose un líquido acuoso que se conoce con el nombre de "ácido piroleñoso".

Se compone principalmente de agua, ácido acético, metanol, acetona, alquitranes solubles (fenoles), alquitranes insolubles y un gran volumen de gas no condensable. Este gas posee un poder calorífico de 3.000 Kcal./Kg. aproximadamente. Existen pequeñas cantidades de numerosos compuestos orgánicos, tales como el acetato de metilo y la metil-etil-cetona, que se consideran como parte integrante del metanol.

Su composición varía mucho, incluso con la misma retorta y las mismas especies botánicas. Depende de las temperaturas del proceso y de la naturaleza de los compuestos leñosos que se destilan. En los ensayos de laboratorio se obtienen mayores rendimientos que en la explotación industrial. Esto se debe a las pérdidas que se producen en las condiciones industriales, motivado posiblemente por la ruptura de cierto ácido acético en compuestos gaseosos más sencillos, y al menor rendimiento de los condensadores. En la tabla, de la página siguiente, se dan los rendimientos obtenidos en los ensayos de laboratorio y en las retortas, con diferentes compuestos leñosos. Los porcentajes se refieren a materia prima seca.

La gran diferencia en el caso del *Eucalyptus marginata*, en la planta de Wundowie, al Oeste de Australia, ha producido resultados desafortunados e inesperados, influyendo seriamente en la viabilidad de su explotación.

Los ácidos piroleñosos provienen de la celulosa de la ma



P R O D U C T O	Madera dura europea		Wira (madera) de Sri Lanka		Eucaliptus marginata del O. de Australia		Cáscaras de coco de Sri Lanka	
	Laboratorio %	Industria %	Laboratorio %	Industria %	Laboratorio %	Industria %	Laboratorio %	Industria %
Carbón vegetal .....	35	34	33	31,5	37	37	34	33
Acido acético .....	7	5	5,7	3,7	4	2,8	12	10
Metanol .....	2	0,7	2,6	0,75	} 1,7	} 1,25	2	0,75
Acetona y Esteres ....	0,3	0,25	0,4	0,3			0,3	0,3
Alquitran soluble ....	6	6	5	5	10	10	5	5
Alquitran insoluble ..	8	7	6,5	6	10	10	10	10
Gases no condensables	16	-	17	-	20	-	20	-
Agua .....	En cada caso varía entre el 20 y el 30%							

dera. El Eucaliptus marginata tiene bajo contenido en celulosa y su rendimiento en pulpa hace que se le deseche para la producción de pasta de papel. El que una madera sea adecuada para producir pasta de papel puede ser un buen indicador de altos rendimientos en ácidos piroleñosos, mientras que las condiciones contrarias pueden constituir una seria advertencia. La lignina tiene fama de ser una fuente productora de metanol, fenoles y alquitran.

En el proceso de obtención del ácido piroleñoso, el primer paso es la destilación de los compuestos de bajo punto de ebullición con vapor a baja presión. La acetona hierve a 56°C, el acetato de metilo a 57°C, el metanol a 65°C y la metil-etil-cetona a 79°C. Existen también pequeñas cantidades de otros compuestos orgánicos afines a éstos, pero son de escasa o nula importancia.

La primera destilación produce una mezcla líquida de todos estos compuestos, altamente volátiles. Se conoce con el nombre de "nafta de la madera", y se utiliza principalmente como desnaturalizante de alcohol etílico, haciéndose desagradable para la bebida (alcohol desnaturalizado).

La nueva destilación fraccionada de la nafta origina diversas fracciones de metanol puro, algo de acetona pura y una mezcla de punto de ebullición constante que contiene algo de metanol, acetona, acetato de metilo y metil-etil-cetona, cuyos componentes son difíciles de separar en otra posterior destilación fraccionada. Todos estos productos son excelentes disolventes, con distintas aplicaciones.

Una vez separado el metanol, se obtiene una solución acuosa, constituida por varios ácidos, entre los que predomina el acético.

La solución se pasa a la parte superior de una elevada columna de gran diámetro provista de unos anillos de porcelana, por los que fluye. Desde el fondo de esta columna se bombea a contracorriente el disolvente, acetato de etilo, que al ser más ligero que el agua y apenas soluble en ella, sube a través de la solución ácida que desciende, arrastrando a su paso a los ácidos. Por la parte superior de la columna se saca constantemente esta "solución" de ácidos, mientras que el agua desacidulada se extrae y descarga por su parte inferior.

A continuación se destila la mezcla de acetato de etilo/ solución ácida, para recuperar el disolvente acetato de etilo, de bajo punto de ebullición (77°C), que se emplea de nuevo para extraer más ácidos. La solución ácida, de mayor punto de ebullición está constituida por ácidos con puntos de ebullición suficientemente distintos, como para poder separarlos en una nueva destilación fraccionada, con el empleo de vapor a más alta temperatura (alrededor de 375°C). Estos ácidos y sus respectivos puntos de ebullición son los siguientes:

- Acido Fórmico .....	PE	=	100,7°C
- Acido Acético .....	PE	=	118,1°C
- Acido Propiónico ...	PE	=	141,1°C
- Acido Butírico .....	PE	=	163,5°C

El ácido acético constituye alrededor del 95%, mientras que los otros tres representan entre el 1½ y el 2 %, cada uno.

Las fracciones que se obtienen en dicha destilación son:

- Una, de bajo punto de ebullición, que contiene ácido fórmico y algo de acético.
- Otro, de mediano punto de ebullición, que contiene la mayor parte del ácido acético.
- Una tercera, de elevado punto de ebullición, que contiene una mezcla de los ácidos acético, propiónico y butírico.

El ácido acético de la fracción de mediano punto de ebullición se oxida entonces con permanganato potásico para destruir cualquier traza que hubiera de fenoles y se vuelve a destilar para obtener un ácido puro, el denominado "ácido acético glacial", de un gran valor. La primera y última fracción de la destilación se mezclan normalmente, constituyendo el "ácido acético comercial", para industrias que no lo necesitan puro y lo pagan a más bajo precio. Si existen mercados apropiados para los otros ácidos, se pueden extraer algunas cantidades de los mismos, mediante nuevas destilaciones fraccionadas de las primeras y últimas fracciones. El ácido propiónico es especialmente valioso, debido a sus esteres aromáticos. El "Rubber Research Institute" de Sri Lanka, ensayó en el año 1974 la mezcla de los cuatro ácidos, antes de fraccionarla, comprobando que era bastante apropiada para la coagulación del látex. Con este fin no haría falta refinarla ni fraccionarla, por lo que su obtención sería bastante más sencilla y barata, sustituyendo al ácido fórmico o al acético de importación.

Para la separación de estos ácidos se ha desarrollado y patentado en Australia un nuevo proceso, basado en sus diferentes puntos de congelación, que son los siguientes:

Acido Acético .....	PC = + 16,7°C
Acido Fórmico .....	PC = + 8,4°C
Acido Propiónico ...	PC = - 22,0°C
Acido Butírico .....	PC = - 19,0°C

El ácido acético puro se solidifica el primero a temperaturas bastante altas, de aquí que se le denomine "ácido acético glacial", y pueda separarse fácilmente de los otros.

Otra alternativa que se está considerando es la posibilidad de emplear carbón activado para conseguir mayor rentabilidad.

Como disolvente, también se puede utilizar acetato de butilo en lugar de acetato de etilo, aunque habría que alterar el procedimiento descrito. Actualmente no se considera muy propicio, si bien las nuevas investigaciones podrán conseguirlo.

En los países como Sri Lanka, Malasia e Indonesia, grandes productores de caucho, se podría considerar la posibilidad de producir la totalidad o parte de sus necesidades de ácido acético, a partir de las cáscaras de coco, que son las que dan mayor rendimiento. El carbón vegetal que se obtiene de las mismas es sumamente indicado para la producción de carbón activado. Estas dos ventajas, unidas, podrían dar lugar a una industria atractiva en los países del Sudeste de Asia.

Los enormes residuos de leña que se generan en los trópicos en las operaciones forestales, son un gran peligro, aunque su empleo suministraría suficiente materia prima como para reanudar la destilación de la madera y obtener carbón vegetal y productos químicos básicos de gran interés mundial, en los países en vías de desarrollo.

En muchas partes del mundo, la demanda de carbón vegetal está aumentando de nuevo. El autor considera que ha llegado la

época, cuando menos, de volver a mirar cuidadosamente esta tecnología y sus posibilidades, especialmente en los países productores de caucho.

A todo aquel que esté relacionado con el monte, se le presenta un posible medio para limpiar los bosques.

TITULO: "CARBONIZATION OF TIMBER INDUSTRY WASTE AND HEAT RECOVERY IN A FLUIDIZED BED"

AUTOR: P.Y.H. FUNG

FECHA: AGOSTO DE 1979

CONTENIDO: Se examinan las posibilidades de utilizar los residuos que genera la industria de la madera australiana, como fuente alternativa de energía. Cuando se emplean en las zonas rurales próximas a los centros donde se producen, son un combustible barato. Por el contrario, cuando se emplean en zonas lejanas y a menos que se transformen, son antieconómicos, al compararlos con los combustibles clásicos derivados del petróleo, debido al coste del transporte. De los diversos combustibles que se obtienen de la madera, el carbón vegetal es uno de los que ofrecen mayores ventajas.

Actualmente se utiliza más para barbacoas, aunque al ser un combustible de primera calidad, que se quema sin producir humo, también se emplea para fines específicos y concretos. Recientemente se ha demostrado que pulverizándolo se puede usar en los quemadores de petróleo, una suspensión de carbón vegetal - petróleo, suplementando en cierto modo el consumo de combustibles líquidos. Posee unas propiedades esenciales, tales como un alto contenido en carbono, una capacidad selectiva para absorber una amplia gama de vapores, gases y sustancias químicas, una vez activado, y un gran poder reductor, que aconseja su uso en otras muchas aplicaciones, dentro del campo de la industria química, metalúrgica, hortícola y farmacéutica. Sus principales limitaciones se deben probablemente a sus problemas de disponibilidad, calidad y coste.

En Australia se emplea como combustible en la industria del

acero. Los procesos que se utilizan corrientemente para su obtención son muy particulares y específicos. Por regla general no son apropiados para la industria de la madera a causa de su escala de operaciones y a su incapacidad para poder tratar la múltiple variedad y diversidad de los residuos que genera.

La fluidificación es una técnica bien conocida, apropiada para las reacciones solido-gas. Dentro de la industria de la madera han alcanzado un gran desarrollo comercial los hornos de lecho fluido que se utilizan para producir vapor y emplean como materia prima de alimentación, residuos leñosos. Existe un creciente interés a nivel mundial para transformar este tipo de residuos en combustibles tales como el gas, aceite o carbón vegetal, bien por un proceso de lecho fluido o por cualquier otro procedimiento.

Cuando los residuos leñosos se calientan en una atmósfera inerte, experimentan una serie de transformaciones. A bajas temperaturas, 100-120°C, pierden el agua higroscópica y la gravedad. Estos compuestos, cuando están verdes y frescos, contienen entre el 50 y el 120% de agua, sobre base seca, que se tiene que evaporar antes de que la temperatura se eleve muy por encima de los 100°C. La carbonización se inicia a temperaturas más elevadas, de forma que a los 270-400°C, las reacciones de la pirólisis son exotérmicas, con el desprendimiento de gases y vapores, entre los que destacan los de dióxido y monóxido de carbono, hidrógeno, metano, agua, metanol, acetona, alquitran y brea.

El rendimiento y composición del carbón vegetal dependen de varios factores, tales como las especies de madera que se utilicen y la temperatura del proceso de carbonización. Los rendimientos oscilan por lo general entre el 25 y el 40%, sobre peso de materia prima seca. Cuando la carbonización tiene lugar a bajas temperaturas, se consiguen los mayores rendimien -

tos como consecuencia de la inclusión de los elementos volátiles en el seno del carbón vegetal. Esto puede dar lugar a un producto de peor calidad que se inflame y al quemarse produzca humo. Por otra parte, las temperaturas excesivamente altas no incrementarán significativamente su contenido en carbono fijo, una vez que se haya alcanzado el valor límite, si bien pueden disminuir la vida de los equipos. Las temperaturas a que tiene lugar la carbonización oscilan normalmente entre los 400-700°C.

El valor energético de los compuestos volátiles representa el 40%, aproximadamente, del poder calorífico total de la materia prima seca. Aunque dentro de estos compuestos existen importantes cantidades de productos químicos de estimable valor, se requiere una producción a gran escala para hacer rentable la recuperación y el fraccionamiento de los mismos. Esta práctica se realizó en la época en que la producción de carbón vegetal alcanzó su máximo valor. Sin embargo, a la escala que se previó actuar, no se obtuvieron cantidades de compuestos volátiles, económicamente rentables. Además pueden presentar problemas a la hora de manipularlos, debido a su naturaleza ácida y corrosiva, por lo que constituyen un serio problema para la conservación del medio ambiente. Una forma de tratarlos sería el quemarlos a medida que se producen, antes de que se condensen. El calor que se produce se puede aprovechar para satisfacer las necesidades energéticas de la industria, con la consiguiente optimización del rendimiento térmico del proceso de carbonización. Un sistema viable para la industria de las serrerías debería lograr el triple propósito de eliminar los residuos que genera, satisfacer sus propias necesidades energéticas y transformar el exceso de energía en un producto de provechosa utilidad en otros menesteres.

Se ha estimado que un volumen anual de 22.000 m<sup>3</sup> de troncos de madera dura a medio desecar, necesita unas 33.432.000



Kilocalorías/día. La producción de residuos en forma de cáscaras, cortezas, serrín y otros compuestos sólidos es de 72 toneladas/día, aproximadamente. El carbón vegetal que se puede obtener de estos productos equivale a 12,5 t/día, mientras que los elementos volátiles que se desprenden poseen un poder energético de unas 68.535.600 Kcal/día, cantidad más que suficiente para satisfacer las necesidades energéticas totales.

Los residuos que se generan son muy variables, tales como cáscaras, cortezas, serrín, virutas, costeros, etc. Su contenido de humedad varía también enormemente, desde un 8-10 % para las virutas y serrines secos, hasta cerca del 100% para los productos verdes y frescos, e incluso valores más altos para las cortezas y cáscaras húmedas. Por consiguiente, el proceso debe ser capaz de tratar toda esta amplia gama de productos, con contenidos de humedad tan dispares. Para el caso del lecho fluido, este hecho no constituye problema alguno. Esto no es óbice para que los residuos se puedan astillar o triturar a una forma adecuada. No obstante, la idea que se tiene es la de que los procesos de deshidratación, pirólisis y combustión de los elementos volátiles se produzcan dentro del reactor de lecho fluido. El carbón vegetal se extrae a medida que se produce, aprovechándose el calor que se origina en el interior del reactor, por medio de un intercambiador de calor. También se puede recuperar el calor de los gases de combustión. El vapor que se genera acciona un turbogenerador, utilizándose también los vapores de escape. Si la electricidad de que se dispone es barata y no se necesita generar potencia, entonces el aceite transmisor de calor ofrece las ventajas de un fluido que transmite a altas temperaturas y bajas presiones. El vapor también se puede producir en una caldera a presión que utilice este aceite caliente.

A continuación se analiza el proceso de carbonización del serrín en un sistema de lecho fluido experimental, describiéndose:

- El sistema de lecho fluido.
- Su evolución y experimentos realizados.
- El comportamiento de las mezclas arena-serrín al fluidificarse
- El proceso de carbonización del serrín y recuperación del carbón vegetal
- El proceso de carbonización del serrín y recuperación del calor.
- Los balances de materia y energía.

Finalmente se examinan los aspectos económicos relativos a los procesos de producción de carbón vegetal, recuperación de calor y generación de energía.

Se estudia la manipulación de los residuos que genera una típica fábrica de tratamiento de madera dura.

#### Características

- Residuos manipulados .....	17.000 t/año
. Serrín y virutas = 3.940 t	
. Cortezas y cáscaras = 3.560 t	
. Costeros, ribetes y orillas = 9.500 t	
- Carbón vegetal producido .....	2.300 t/año
- Energía eléctrica generada .....	2,4 x 10 <sup>6</sup> Kwh
- Calor utilizado en el proceso (para desecar la mitad de la producción) .....	7,8 x 10 <sup>6</sup> MJ
- Mano de obra .....	2 hombres y 3 turnos
- Coste del sistema producción de carbón vegetal/caldera (3t/hora) .....	320.000 \$
- Coste de la turbina, generador y equipo de distribución (0,5 MW) .....	110.000 \$

Análisis económicoCostes (x10<sup>3</sup> \$)- De Capital

Inversión fija (I.F.)	=	430
Amortización (8% de I.F.)	=	34,4
Intereses (10% de I.F.)	=	43,0
Seguros (1,4% de I.F.)	=	6,0
Total coste de capital	=	<u>83,4</u>

- De Funcionamiento

Mano de obra (3 turnos - 26.000 dólares turno)	=	78,0
Trituración (9500 t a 2,5 \$/t)	=	23,8
Electricidad (322 Mwh a 40 dólares/Mwh)	=	12,9
Mantenimiento (5% de I.F.)	=	21,5
Total coste de funcionamiento .....		<u>136,2</u>

COSTE TOTAL ..... 219,6

Ingresos (x10<sup>3</sup> \$)

- Carbón vegetal (2.300 t a 60\$/t)	138,0
- Electricidad (2.400 Mwh a 40\$/Mwh)	96,0
- Ahorro de calor en proceso (7,8 x 10 <sup>6</sup> MJ a 0,446 centavos/MJ)	34,8
- Ahorro del coste de eliminación (17.000 t a 2 \$/t)	34,0
	<u>302,8</u>

Ingreso total ..... 302,8 = 302,8

Beneficio antes de impuestos ..... 83,2  
 Período de recuperación del capital. 5,2 años

Del análisis económico se desprende, que en el caso de considerar conjuntamente la eliminación de los residuos leñosos, la producción de carbón vegetal, la recuperación de calor y la generación de energía eléctrica, la industria de aserraderos tendría importantes ventajas económicas. Si se tuvieran en cuenta la totalidad de los residuos generados por esta industria, el ahorro nacional producido sería el siguiente:

	Cantidad	Valor(x 10 <sup>6</sup> \$)
Residuos producidos	5,6 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> = = 3,4 x 10 <sup>6</sup> t(OD)	7,4 (coste de eliminación)
Carbón vegetal	= 907.000 t (2,90 x 10 <sup>10</sup> MJ)	54,4
Energía eléctrica	= 9,4 x 10 <sup>8</sup> Kwh (0,34 x 10 <sup>10</sup> MJ)	37,6
Calor procedente del vapor de escape, en el caso de utilizar solo el 50%	= 0,80 x 10 <sup>10</sup> MJ	35,7
Energía recuperada	= 4,04 x 10 <sup>10</sup> MJ	
Ahorro total	=	135,1

La energía que se recupera cada año de los residuos producidos en las serrerías, 4,04 x 10<sup>10</sup> MJ, representa el 1,5% del consumo energético nacional del año 1976, que fué de 266 x 10<sup>10</sup> MJ. Aunque dicho porcentaje es pequeño, sin embargo, representa una importante contribución para la conservación energética, ofreciendo una solución al grave problema de eliminación de residuos generados por las serrerías.

TITULO: "CHARCOAL PRODUCTION"

AUTOR: A.C. HARRIS

CONTENIDO: El carbón vegetal posee unas propiedades únicas, tanto desde el punto de vista doméstico como desde el punto de vista industrial. Es una fuente de energía renovable de alta calidad. En este informe se discuten los datos básicos que se requieren para el proceso de carbonización de la madera, indicándose asimismo los principales tipos de procesos y equipos. El fundamento de la carbonización de la leña es el mismo, cualquiera que sea el método de producción que se utilice.

En primer lugar, se necesita evaporar todo su contenido de humedad. La leña verde puede contener desde un 60 hasta un 120 por ciento de agua, sobre una base completamente seca. Mientras que no esté por completo seca, su temperatura no se eleva muy por encima del punto de ebullición del agua, del orden de 100 a 120°C. Una vez que se ha conseguido, sube rápidamente a 170°C, temperatura a la que se puede encender en presencia de aire. En los hornos, en estas condiciones, se enciende ahora una parte de la leña, y el resto aumenta con gran rapidez su temperatura hasta 270°C, una vez que ha empezado su proceso de descomposición. Se trata de una reacción fuertemente exotérmica que hace que continúe y finalice el proceso de carbonización, incrementándose la temperatura a unos 400°C, aproximadamente. Si el control se ha llevado a cabo de una forma correcta, el carbón vegetal que se obtiene tiene por norma general, un 78-80 % de carbono fijo, algo de cenizas y un 25-20% de elementos volátiles, (incluidos los alquitranes y los gases tales como el monóxido de carbono y el metano). Salvo en el caso de que se consiga una temperatura bastante alta y durante un largo tiempo, parte de la leña se carboniza solo parcialmente, formándose unos "tizones o

teas". Esto se puede atribuir a un calentamiento inadecuado del horno. La producción de carbón vegetal con un 80% de carbono fijo es prácticamente la misma para todos los tipos de leña que tengan alrededor de un 40% de materia seca. Nuevos aumentos de temperatura, sólo posibles en las retortas, se necesitan para disminuir los volátiles e incrementar el contenido en carbono fijo. Un límite práctico es el del 95% de carbono fijo a una temperatura de 650°C. Después de esto, nuevos incrementos de temperatura sólo aumentarán en muy pequeña proporción el contenido en carbono fijo. En los hornos no se pueden obtener temperaturas muy altas. En las retortas de acero dúctil, con menos del 0,25% de carbono, se limitan las temperaturas a aquellas a las que comúnmente se puede someter dicho tipo de acero, sin serios peligros de deformación o distorsión. El empleo de aceros resistentes al calor es necesario cuando se trabaja a altas temperaturas. Cuando el carbón vegetal bien elaborado se enfría y expone al aire, absorbe algo de oxígeno, pero pronto se estabiliza, sin experimentar ninguna combustión espontánea. También absorberá alguna humedad de la atmósfera, que no será mucha si se introduce rápidamente en unas tolvas o depósitos de almacenamiento.

Una vital diferencia entre la producción de carbón vegetal en un horno o en una retorta, es que el primero necesita de 2 a 3 veces más toneladas de aire-leña seca, para producir 1 tonelada de carbón vegetal, que el segundo, el cual es a su vez mucho más eficiente desde el punto de vista térmico.

En Wundowie, al Oeste de Australia, una buena retorta necesita de 3,25 a 3,50 toneladas de aire-madera de eucalyptus seca (con un 35% de contenido de humedad) por tonelada de carbón vegetal. En contraposición, el Dr. Earl, afirma que se requieren 12 estéreos de madera dura tropical, para obtener 1 tonelada de carbón vegetal en Uganda, con el empleo del horno portátil de acero "Mark V". En cambio, en Estados Unidos, se necesitan cerca de 8 estéreos de madera dura por cada tonelada de carbón vegetal con el horno "Missouri", y en Brasil, unos 7 estéreos, aproximadamen

te, de madera de eucalyptus, con el horno "Beehive".

Hay que señalar que el peso de un estéreo varia con la especie y contenido de humedad de la madera, así como con el tamaño y la forma de sus fragmentos o tarugos.

Aunque el funcionamiento de la retorta requiere algún aporte adicional de calor, para aumentar el suministro calorífico o que proporciona la propia reacción exotérmica que se produce en su interior, se pueden emplear los gases que se desprenden en el proceso. Dicho aporte adicional, también se puede obtener, según las circunstancias de cada caso mediante el gas de los altos hornos, el gas natural, el gas pobre, el aceite, el alquitran de la madera y los gases de la combustión.

Las necesidades caloríficas totales de los hornos y retortas, tanto si el proceso de calefacción es externo o interno, dependen en gran medida del contenido inicial de humedad de la leña. En el secado es mejor dejar su contenido acuoso por debajo del 15%, aunque normalmente contiene hasta un 20-25%. Bajo unas condiciones apropiadas, la leña seca con un 8,5% de humedad, se puede carbonizar por completo en la retorta, sin necesidad de aportar calor adicional, una vez que la reacción exotérmica ha empezado y que la energía del carbón vegetal se recupere.

Por lo que se refiere a los hornos, se llega a la conclusión de que el portatil de acero "Mark V", el "Missouri" y el "Beehive", son excelentes representaciones de las mejores técnicas de los mismos, con aplicación tanto en situaciones particulares como generales. Sin embargo, todos ellos adolecen del excesivo consumo de leña por tonelada de carbón vegetal producido.

Muchos tipos de hornos se han desarrollado en varias oca—

siones, abandonándose por diversos motivos con el paso del tiempo.

En cuanto a las retortas, son de dos tipos principales: Las de calentamiento exterior por medio de gases calientes, en una operación discontinua y las de calentamiento interno por medio de gases limpios y calientes, libres de oxígeno. Estas últimas pueden ser de funcionamiento continuo o discontinuo, siendo las primeras las de mayor desarrollo tecnológico.

Se describen las siguientes clases de retorta, consideradas en la actualidad como las más importantes:

- Retortas de calentamiento externo:

- . La de Tunel Horizontal en forma de U invertida desarrollada en los Estados Unidos por la Compañía Crossett (sistema discontinuo).
- . La Cilindrica Horizontal, "Constantine" (sistema discontinuo).

- Retortas verticales de calentamiento interno:

- . Proceso "Reichert" (sistema discontinuo)
- . Sistema "Lambiotte" (sistema continuo)
- . Sistema "Constantine" (sistema discontinuo)
- . Las Rotatorias (sistema continuo)

- Retortas Portátiles:

- . Retorta "Lambiotte"
- . Retorta "Constantine"

En las retortas hay que efectuar unos grandes desembolsos iniciales, pero si se les calcula en función de las toneladas de



carbón vegetal que producen durante su larga vida y se comparan con los hornos, los costos serán como mucho del mismo orden. Los costes de la leña son por regla general los más importantes, por lo que las retortas que consuman pocas cantidades de materia prima tienen gran ventaja. Estos costes pueden llegar a ser hasta el 60% del coste total del carbón vegetal.

Una retorta pequeña y portátil de Australia Occidental, con una capacidad de 1 tonelada de carbón vegetal al día, constituye una tecnología intermedia y adecuada para los países en vías de desarrollo. Es de fácil funcionamiento, quema la leña y los propios gases que produce, enfriándose rápidamente por sí misma. El funcionamiento puede ser más complejo si se sitúa en un lugar fijo. En tal caso se pueden reducir los costes de capital total por tonelada.

La mayoría de las situaciones en que se produce carbón vegetal son tan diferentes con respecto a factores tales como la mano de obra, los recursos de leña, el mercado, la industria y el capital, que se deben valorar individualmente "in situ". Las reducciones de algunos de los costes se equilibran por otros incrementos o problemas. Los casos más típicos son las ventajas y los inconvenientes de las instalaciones portátiles frente a las fijas, hornos o retortas, así como la de los procedimientos que emplean grandes cantidades de mano de obra frente a aquellos otros que requieren elevadas inversiones, o combinaciones de ambos casos.

También se incluyen los costes de los diferentes equipos de carbonización. Puesto que las cargas de capital por tonelada de carbón vegetal producido no son muy diferentes de unos sistemas a otros, se tienen que contemplar y analizar los otros costes de producción principales. De aquí la necesidad de disponer de una tecnología "apropiada" e "intermedia".

Finalmente se comentan las plantaciones de Eucalyptus que se cultivan para obtener carbón vegetal.

Hay una tendencia a plantar *Eucalyptus*, para suministrar leña con vistas a la producción de carbón vegetal a gran escala, como ocurre en Brasil. Es un error el utilizar esta madera en hornos no rentables, que obligan a plantar el doble o incluso más superficie de la requerida, con el consiguiente incremento de la distancia de transporte y de los costes de la leña. También se debe entender para la leña que se destina a la fabricación de carbón vegetal, que su volumen de producción por hectárea y año no es necesariamente el criterio verdadero para las especies a plantar, sino el peso de madera desecada al aire por hectárea y año. De esta manera, los *Eucalyptus* de especies de menor densidad y crecimiento más rápido, como el *E. Grandis*, no produce más madera por hectárea y año, que los de especies de mayor densidad y crecimiento más lento, como los *E. Paniculata* y *E. Globulus*. No obstante, puede suceder que los incrementos de producción de carbón vegetal por hectárea y año, sean aproximadamente iguales.

En tal caso, se prefiere un carbón vegetal de mayor densidad a partir de especies más pesadas, especialmente para su empleo en los altos hornos. Este carbón debería incrementar proporcionalmente la velocidad de producción de los mismos, por razones obvias. En Monlevade, Brasil, el peso específico del carbón vegetal es de unos  $250 \text{ Kg/m}^3$ , aproximadamente, mientras que en Wundowie, al Oeste de Australia, el que se obtiene del *Eucalyptus marginata*, posee un valor de  $290 \text{ Kg/m}^3$ , lo que representa un incremento de un 16 %.

A efectos de transporte, y en vista de que el carbón vegetal es un producto, por regla general, de baja densidad, se prefieren evidentemente los más densos, puesto que el transporte es un problema más de volumen que de peso.

Nuevos estudios adicionales podrían demostrar, que en el caso de las malezas, monte bajo y bosquecillos, se obtendrá me-

nos leña y un carbón vegetal de menor densidad, si se dan cuatro cortas en vez de tres, a lo largo de un período de 30 años.

TITULO: "BHP'S PYROLYSIS PROCESS"

AUTOR: B.H.P. Ltd.

CONTENIDO: Se define la pirólisis como un proceso en el que se produce una descomposición térmica de la materia orgánica sólida, en ausencia de aire o en presencia de una cantidad muy limitada del mismo. Constituye un método de transformación de dicha materia, entre la que se incluyen los residuos orgánicos, en gas, aceite y carbón vegetal, productos que se pueden utilizar como combustibles. Si se aplica satisfactoriamente, se pueden obtener combustibles a un menor precio que en el caso de los procedentes del tratamiento de crudos convencionales (petróleo).

A continuación se describe el proceso de lecho fluido B. H.P., patentado por la Compañía B.H.P. en Australia y en otras partes del mundo, tales como Estados Unidos, Canadá, República Federal Alemana, Francia y Japón. Se ha ensayado en una planta piloto de 10 t/h, en Port Kembla, utilizando briquetas de carbón mineral. A pesar de la similitud que existe entre la pirólisis de las briquetas de carbón mineral y la de los residuos leñosos, se efectuaron nuevos ensayos experimentales, a nivel de planta piloto, para determinar los resultados del proceso BHP en la pirolización de la madera.

Se adjunta un diagrama de flujo, en el que se indica de forma esquemática, los diversos pasos que se requieren para pirolizar los residuos leñosos, mediante el proceso BHP.

Los ensayos realizados hasta la fecha indican que en una planta comercial se deberían conseguir los rendimientos siguientes:

- En el caso de maximizar la producción de Aceite:

Aceite .....	34%, en peso de materia prima seca
Carbón vegetal .	21%, en peso de materia prima seca
Gas .....	45%, en peso de materia prima seca

- En el caso de maximizar la producción de Carbón vegetal:

Aceite .....	20%, en peso de materia prima seca
Carbón vegetal .	30%, en peso de materia prima seca
Gas .....	50%, en peso de materia prima seca

TITULO: "THE PRODUCTION OF CHARCOAL IN A PORTABLE METAL KILN"

AUTORES: A.R. PADDON Y A.P. HARKER

FECHA: ENENRO DE 1979

CONTENIDO: En la Sección de Productos Forestales y Tecnología de los Combustibles del Instituto de Productos Tropicales, se han llevado a cabo ensayos de producción de carbón vegetal, utilizando un horno metálico portátil del que se dispone en el comercio.

Como resultado de los mismos, se ha adquirido una experiencia considerable y se ha desarrollado un modelo modificado de horno, el cual ha sido empleado por los técnicos de la Sección para programas de adiestramiento profesional en países en vías de desarrollo, según distintos planes de cooperación técnica.

Se dan detalles de los principales datos obtenidos durante su funcionamiento, utilizando leñas con un contenido de humedad comprendido entre el 27 y el 38% (sobre base húmeda), y se comparan con los resultados conseguidos al utilizar cáscaras de coco como materia prima. Asimismo, se describen los métodos de manejar el horno cuando se enciende por la parte superior o por la inferior de la carga, discutiéndose las ventajas e inconvenientes de cada uno de ellos.

En cuanto a las principales conclusiones, destacan:

- Las relativas a la producción de carbón vegetal a partir de la madera:

En los hornos metálicos portátiles se consiguen mayores temperaturas y menor duración del tiempo de carbonización al emplear maderas desecadas, con un contenido de humedad por debajo del 30%. Se recomienda encender el horno por suparte superior cuando no se puedan evitar los altos contenidos de humedad de la materia prima, así como cuando se utilicen compuestos de pequeño tamaño (por ejemplo: las cascara de los cocos) y procesos en los que se desee recuperar la máxima cantidad de alquitran posible. No obstante, en este tipo de hornos, la obtención de alquitran no merece la pena. Se necesitarían equipos adecuados, con una base impermeable, para recoger y vaciar el líquido alquitranoso a intervalos regulares.

- Las relativas a la producción de carbón vegetal a partir de las cáscaras de coco:

En estos hornos, el carbón vegetal que se obtiene de las cáscaras de coco es de buena calidad, con rendimientos satisfactorios. A pesar de las cáscaras, relativamente densas, se produce todas las veces un flujo de gas a través de la carga. El desarrollo de la carbonización según un sistema de corriente descendente, impide la rotura del carbón vegetal obtenido, en fragmentos más pequeños, como consecuencia de la presión que ejerce desde arriba el material no carbonizado. Para una producción centralizada de carbón, donde el transporte del horno no es un asunto principal, se aconseja el construirlos con una base cónica, para poder apoyarse en unas patas y efectuar la descarga por gravedad, a unos envases metálicos timbrados, a través de unos tragantes de accionamiento mecánico. El empleo de estos recipientes permite la descarga en caliente del carbón vegetal, sin tener que enfriar el horno antes de realizar esta

operación. Esto aumentará considerablemente su capacidad de producción.

- Resumiendo:

Estos hornos son ideales de utilizar en los países en vías de desarrollo, en donde la mano de obra es barata y los programas de aclareo/repoblación forestal van en aumento.

Todas estas consideraciones se pueden aplicar a los hornos de mampostería, que se construyen al calentar la arcilla local, con la consiguiente reducción de los costos de producción. Esto será de sumo interés cuando no se disponga de medios para fabricar hornos metálicos, evitándose de esta manera los elevados costos que origina su envío al punto de destino. Para que estos hornos de mampostería funcionen con éxito, se debe asegurar un suministro continuo de materia prima en sus zonas de ubicación, pues de lo contrario los costes del transporte harían inviable el proceso desde el punto de vista económico.



TITULO: "THE CONSTRUCTION OF A TRANSPORTABLE CHARCOAL KILN"

AUTOR: W.D. J. WHITEHEAD

FECHA: AÑO 1980

CONTENIDO: Se describe la manera de construir un horno portatil, para producir carbón vegetal de una forma más rápida y eficiente, que en el caso de recurrir a los métodos tradicionales clásicos, como los fosos y montones de tierra.

Se fabrica con chapas metálicas, pudiendolo construir en un taller los artesanos de cada país que posean un cierto grado de maña y experiencia.

Su vida es de 3 a 4 años en el caso de que se utilice continuamente.

Se incluyen croquis y detalles, acotados, así como la lista y dimensiones de los materiales que se necesitan y la forma de ejecutar las diferentes partes de que se compone: la virola inferior, la virola superior, la cubierta o tapadera, las chimeneas y los tamices que se utilizan en el proceso de descarga.

TITULO: "CHARCOAL IN THE ENERGY CRISIS OF THE DEVELOPING WORLD"

AUTOR: Harry Booth

FECHA: DICIEMBRE 1979

CONTENIDO: Se define el carbón vegetal como el residuo que queda cuando se somete la leña a un proceso de pirólisis bajo unas determinadas condiciones y en un espacio cerrado tal como un horno o retorta. El control se ejerce sobre la admisión de aire, durante la pirólisis o proceso de carbonización, de forma que la leña no se reduzca simple y lentamente a cenizas como en un fuego convencional, sino que se descomponga químicamente para producir carbón vegetal.

En el proceso de pirólisis no se requiere aire. De hecho, las tecnologías más avanzadas en cuanto a la producción de carbón vegetal no permiten la entrada de aire, dando lugar a unos mayores rendimientos, al no quemarse una leña adicional con dicho aire, y a un mejor control de su calidad.

Este proceso, una vez que empieza, continua por sí solo, liberando considerables cantidades de calor. No obstante, la pirólisis o descomposición térmica de la celulosa y lignina de que se compone la leña no se inicia hasta alcanzar una temperatura de 300 ° Celsius.

En él se obtiene un carbón vegetal con un 80% de carbono fijo, como elemento principal, junto con una pequeña cantidad de residuos alquitranosos, cenizas, gases combustibles, alquitranes, un cierto número de productos químicos, tales como el ácido acético y el metanol, y una gran cantidad de agua que se

desprende como vapor en el secado y pirólisis de la leña.

Cuando el proceso ha finalizado, el carbón vegetal esta a una temperatura de 500º Celsius, por lo que se debe enfriar sin que entre aire alguno, para poder descargarlo con seguridad y estar listo para su uso.

La mayor parte de la producción mundial de carbón vegetal se sigue obteniendo todavía por procedimientos primitivos, que no han evolucionado desde siglos, y en los que se malgasta parte de la leña y no se aprovecha la energía calorífica de los productos químicos y demás subproductos. Actualmente se están ensayando procesos industriales capaces de producir carbón a partir de la leña y otros compuestos leñosos, con unos rendimientos próximos al teórico, es decir 3,3 t de leña por tonelada de carbón vegetal. Por ello, son de dos a cuatro veces más eficaces en cuanto a utilización de la materia prima, que los métodos clásicos.

El carbón vegetal es un producto que posee, entre otras, las siguientes ventajas:

- Un poder calorífico muy superior al de la leña. Si se comparan ambos productos sobre una base seca, lista para utilizar, el carbón vegetal tiene un poder calorífico neto 2,3 veces superior al de la leña de buena calidad. Con leña de peor calidad, dicha proporción puede ser hasta tres o incluso más veces superior. Asimismo, dicho poder calorífico es muy constante, y no disminuye con el paso del tiempo o el almacenaje, ni se puede adulterar fácilmente.
- Una vez que se enciende, se quema a velocidad constante, liberando una gran parte de su contenido energético por radiación, lo que representa una ventaja sobre la leña en la preparación de alimentos.

- No produce humo, requisito esencial para la calefacción y preparación de alimentos en lugares cerrados.
- No le afecta la humedad, ni los hongos, ni los insectos.
- Los costes de su transporte son bastante menores que los de la leña, desde el punto de vista energético. Una tonelada de carbón vegetal equivale por lo menos a 2,3 de leña seca de buena calidad y a 4 t de leña verde o fresca. Por lo tanto, aun cuando pueda costar mucho más que la leña desde el punto de vista de producción, los menores costes de transporte durante distancias superiores a los 100 km, favorecen su consumo o utilización. Su densidad es un 40% inferior a la de la leña seca, por lo que los transportes a gran escala con camiones especiales y por vía férrea, merecen la pena.

Se analizan los tres aspectos principales que hay que considerar en un programa de política energética referente a la leña y carbón vegetal, dentro del contexto energético total de un país. Estos aspectos son los siguientes:

- Volumen actual y características de los recursos de materia prima, así como su futuro desarrollo o evolución.
- Consumo actual de leña y carbón vegetal y su probable evolución futura.
- Distribución del suministro actual y posibilidades de racionalizarlo y mejorarlo.

Existen muchas clases de diferentes equipos para producir carbón vegetal, siendo difícil decidir que métodos son los más apropiados sin poseer un gran conocimiento y experiencia. La proliferación de equipos tiende a concentrar una excesiva aten

ción en todo lo referente al proceso de carbonización. En realidad, esta circunstancia tiene una repercusión secundaria en la estructura total de costes. La fabricación del carbón vegetal se divide en las siguientes etapas o unidades de operación:

- Recolección de la leña.
- Desecación y preparación de la leña para el proceso de carbonización.
- Carga del equipo que se utilice para el proceso
- Carbonización propiamente dicha
- Enfriamiento y descarga del carbón vegetal
- Tamizado y carga.

Los costes de producción se analizan convenientemente mediante el empleo de los siguientes valores medios, que muestran claramente las ventajas de los diferentes sistemas:

- Coste de la leña a pié de horno o retorta, incluyendo los gastos de financiación.
- Coste de la mano de obra que requiere el proceso de carbonización, incluyendo la carga y descarga.
- Coste del transporte del carbón vegetal a los principales mercados o centros de distribución.
- Capital circulante.
- Inversiones de los hornos o retortas.

La totalidad de los mismos se refieren a la misma unidad básica, la tonelada de carbón vegetal producido.

En aquellos lugares donde se utilizan los clásicos hornos de ladrillo y como materia prima, los bosques de las sabanas, con producciones de 40 m<sup>3</sup> de leña/ha, los costes unitarios expresados como porcentajes del coste total del carbón vegetal, son los siguientes:

. Coste de la leña a pié de horno .....	60 %
. Coste de la mano de obra que requiere el horno .....	9 %
. Capital circulante .....	3,5%
. Inversiones fijas .....	1,5%
. Coste del transporte del carbón vegetal.	26 %
	<hr/>
Total .....	100 %

Son claros y de una gran notoriedad los costes de recolección de la leña y los de transporte del carbón vegetal. Representan un 86% del coste total. En casos de emplear retortas de tipo continuo, las inversiones aumentan y los costes de la leña disminuyen, pues se requiere menos de la mitad de la misma por cada tonelada de carbón vegetal producido. Si se utiliza como materia prima los bosques de las sabanas, con producciones de 40 m<sup>3</sup> de leña/ha, los nuevos costes unitarios expresados como porcentajes del coste total del carbón vegetal son los siguientes:

. Coste de la leña a pie de retorta .....	45 %
. Coste de la carbonización, incluyendo la mano de obra y los gastos de financiación	28 %
. Coste del transporte del carbón vegetal .	27 %
	<hr/>
Total .....	100 %

Las ventajas principales del sistema de retorta son el ahorro de leña, con su consiguiente menor coste, y el beneficio que se obtiene al vender la energía eléctrica que se genera por la combustión de los gases que se producen en su interior. Su mayor inconveniente es la elevada inversión que hay que realizar.

En donde se utilizan procesos de alta tecnología para pro

ducir carbón vegetal es costumbre recuperar el calor que se desprende en la carbonización, para obtener energía, recuperándose también en algunos casos los subproductos químicos que contienen los gases originados en el proceso, al hacerlos pasar por unos condensadores.

Aunque la recuperación de estos subproductos químicos parece una idea atractiva y de hecho fue una rama de cierta importancia dentro de la industria química, en la actualidad su rentabilidad es más que dudosa, ante el gigantesco desarrollo de la industria petroquímica.

Lo mejor es utilizar simplemente como combustible los gases que se desprenden en la pirólisis, en una estación térmica convencional, proporcionando una excelente respuesta en forma de energía eléctrica fácilmente vendible. Esta respuesta oscila alrededor del 20-25% del coste de producción del carbón vegetal que se obtiene en retortas de tipo continuo.

Finalmente se describen las aplicaciones especiales del carbón vegetal. La principal de todas es con fines metalúrgicos, debido a su gran compresión y alta resistencia a desmenuzarse o hacerse pedacitos, durante su manipulación. El hierro que se obtiene con carbón vegetal tiene una ventaja respecto al que se obtiene con coque, como es su mayor pureza, debido al bajo contenido en cenizas y a la ausencia de elementos indeseables, tales como el azufre, por parte del carbón vegetal.

La mayoría del carbón vegetal que se emplea con fines químicos tiene lugar en los países desarrollados, siendo por tal motivo, un producto de exportación para los que se encuentran en vías de desarrollo. Su principal aplicación dentro de este campo es como agente de adsorción, una vez activado. Posee una estructura porosa extremadamente fina, que le permite adsorber moléculas de otras sustancias o detenerlas en su su

perficie interna amplificada. A medida que se produce el carbón vegetal ordinario tiene obstruida una gran parte de su fina estructura porosa por alquitranes y otros materiales adsorbidos en su superficie. El proceso de activación se diseña para eliminar estos compuestos y dejarlo con la máxima superficie de reacción. La mayor parte de este proceso consiste en calentar el carbón vegetal hasta el rojo, en una atmósfera de vapor sobrecalentado, enfriándolo entonces en unos recipientes carentes de aire. El carbón vegetal activado, de forma granular, se muele o tritura a varios tamaños, según las diferentes aplicaciones a que se destine. El carbón vegetal, como simple combustible, para utilizar en procesos y sistema de calefacción industrial no tiene gran importancia, aun cuando es bastante eficaz. El motivo es que los hornos industriales se pueden diseñar casi siempre para quemar la leña con un elevado rendimiento. Como el precio de la leña es normalmente más bajo que el del carbón vegetal en función de sus respectivos contenidos energéticos, es preferible no quemarlo desde un punto de vista industrial, salvo en el caso de que sea absolutamente imprescindible. Un buen ejemplo de esto último es el empleo del carbón vegetal pulverizado, como combustible, para la quema del cemento y la calcinación de los minerales en los hornos rotatorios.



TITULO: "PORTABLE STEEL CHARCOAL KIINS. A COMPARISON WITH  
TWO TRADITIONAL METHODS"

AUTOR: H.E. BOOTH

FECHA: DICIEMBRE-1980

CONTENIDO: Un horno metálico portátil, con dos cuerpos cilíndricos de acero, una tapadera o cubierta cónica y cuatro chimeneas, se ha ensayado durante bastantes años por todo el mundo.

Se ha utilizado con gran éxito, a pequeña escala, en cierto número de países desarrollados, por lo que en Europa sigue desempeñando un papel muy útil en la producción de carbón vegetal, al darse las siguientes condiciones:

- Un mercado del carbón vegetal de alto precio.
- Una disponibilidad de acero barato, con su consiguiente repercusión favorable a la hora de fabricarlo y reparar posibles averías.
- Unos medios de transporte, tales como carreteras y vehículos, y la necesidad de tratar o procesar escasas cantidades de leña procedentes de lugares muy diseminados y dispersos, con el empleo de una mano de obra eventual altamente cualificada.
- Unas grandes inversiones y unos altos costes de funcionamiento.

En los países en vías de desarrollo no se dan estas circunstancias, por lo que solo se empleó durante una época, ha-

biendose vuelto últimamente a los métodos tradicionales.

El más primitivo de todos consiste en carbonizar la leña en unas fosas excavadas en el suelo o en la ladera de una colina, cubriendo la pila de madera con tierra y lodo.

El siguiente es el de los hornos de ladrillo, lo que exige un suministro de dichos materiales o el fabricarlos mediante el simple calentamiento directo de una arcilla arenosa. Su mantenimiento es muy sencillo, estando a prueba de cualquier daño que se produzca como consecuencia de un sobrecalentamiento local o puntual. Cuando se han de trasladar a un nuevo lugar distante unos cuantos kilómetros del anterior, se desmontan y vuelven a montar fácilmente. No obstante, se emplean en aquellos casos en los que no es frecuente ésto, y en donde la leña se puede transportar hasta ellos. Algunos tipos, no tienen nada de acero, tan solo lodo y ladrillos. Otros, como el modelo "Brasileño" poseen unas armaduras de tracción en la base de su cubierta. Son más grandes que los metálicos, por lo que producen de 10 a 20 veces más carbón vegetal por cada ciclo o periodo de carbonización. Dispone de puertas, por lo que las operaciones de carga y descarga son muy sencillas, con el empleo de carretillas, vagonetas y en algunas ocasiones transportadores de rodillos.

El horno metálico requiere que tanto la leña como el carbón vegetal producido se carguen y descarguen respectivamente por encima del borde superior de la parte del fondo, una tarea laboriosa que genera una gran cantidad de polvo. Asimismo obliga a reducir la leña a unos fragmentos o tarugos no superiores a 30 x 10 x 10 cm. Presenta dos problemas especiales. El primero al originarse unos puntos calientes durante el ciclo de carbonización pues debido a las fugas de aire que tienen lugar a nivel del suelo, se produce un pandeo, con el consiguiente hundimiento de sus distintas secciones. El

segundo se debe al bajo nivel de aislamiento del revestimiento metálico. Bajo la acción de la lluvia y de los vientos fríos, sus paredes se pueden enfriar en exceso, por lo que la descomposición térmica de la leña que se enciende próxima a ellas es muy lenta, produciéndose una gran cantidad de compuestos parcialmente carbonizados (tizones).

Se debe tener muy presente que el periodo de carbonización es sólo una pequeña, aunque esencial etapa, en el proceso de producción del carbón vegetal. Lo realmente importante es la recolección y transporte de la leña, así como el posterior envío y distribución del carbón vegetal.

A título orientativo, se indican en una tabla las características más notables de los sistemas de producción de que se ha hablado:

- El horno metálico portátil
- El horno o fosa de tierra
- El horno de ladrillo.

TITULO: "CARBON VEGETAL"

AUTOR: DEREK D. EARL

FECHA: AÑO 1976

CONTENIDO: El elevado precio de los crudos está afectando adversamente al desarrollo de Chile, como también al de otros países, y llama la atención sobre las enormes reservas de energía vinculadas al sector forestal. Este recurso renovable, con algunas excepciones, no ha sido explotado hasta el momento a escala comercial, debido principalmente a que la economía chilena se ha estructurado según un esquema norteamericano y europeo y, hasta hace poco, a uno industrial. Generalmente, resultaba más barato y conveniente emplear petróleo o carbón mineral en lugar de madera o carbón vegetal, como fuente de energía. La creencia de que la energía se abarataría en comparación con otros recursos, se ha visto desvirtuada por los acontecimientos recientes.

Se examinan los costes de importación de combustibles, en un país como Chile, que posee abundantes recursos forestales y que se encuentra en delicada situación por su escasez de divisas. También se analiza la posibilidad de utilizar la leña y el carbón vegetal para fines domésticos y en procesos industriales modernos. En distintas partes del mundo existen plantas modernas que emplean recursos forestales renovables, en especial carbón vegetal, para satisfacer gran parte de sus necesidades energéticas. Tal es el caso de la industria del hierro en la región occidental de Australia. Si un país dispone de tierra y bosques, cuenta con un amplio campo para adminis -

trarlos, con miras a garantizar un suministro permanente de combustible barato, para usos similares. A menudo resulta que el transporte es el factor de mayor coste en la cadena de operaciones que se requiere para producir leña a un precio comercial. Su poder calorífico es bajo con relación a su volumen y peso. El modo más sencillo para reducir los costos de transporte por unidad térmica consiste en aumentar la relación entre el poder calorífico y el volumen o peso, convirtiendo la leña en carbón vegetal.

La clave del éxito reside en comprender los efectos ecológicos que sobre el medio ambiente produce la tala de árboles, para luego tomar las medidas apropiadas encaminadas a salvaguardar los intereses a largo plazo de los habitantes mediante la aplicación de técnicas adecuadas de manejo. Un enfoque económico es necesario, pero no podría alcanzar las finalidades sociales deseadas en la mayoría de los planes de desarrollo, si no se contemplan conjuntamente los objetivos ecológicos y los costos de oportunidad financiera involucrados (tierra, capital y mano de obra).

Se lleva a cabo un análisis relativo al consumo, producción, mercados, costos de producción y precio, equilibrio entre la oferta y la demanda, y posible futura demanda, del carbón vegetal en Chile.

Se estudia el carbón vegetal en relación con los bosques y la economía en general.

En el bosque natural, casi toda la madera que se obtiene de las operaciones de mejora se puede convertir en carbón vegetal, incluyendo las especies comerciales y los desperdicios de árboles que se cortan con finalidades de uso industrial. Entre estas operaciones se incluyen las destinadas a reducir el peligro de incendios y conseguir una mayor insolación para beneficio

de los árboles restantes. Si la densidad no es adecuada se pueden plantar especies de rápido crecimiento. Este tipo de labores se ha realizado en países tropicales y en aquellos otros donde de la tierra no constituye un factor limitante.

Actualmente, la limpieza de terrenos con bosque natural degradado, incluyendo operaciones de quema, para establecer plantaciones está subvencionada parcialmente en Chile, y ocasiona la pérdida de valiosos recursos. La usual quema de residuos de la corta final de bosques de pino, constituye otra pérdida adicional de combustible. Si los árboles y los residuos se utilizaran para fabricar carbón vegetal y no se quemaran, el aumento marginal en los ingresos procedentes del bosque y la reducción en los costes de la tala podría cambiar positivamente la rentabilidad de la producción de madera y pulpa de las plantaciones de pino. Se sostiene que una ventaja importante de la quema es la eliminación de las agujas caídas de los pinos, lo que permite germinar a la semilla y sobrevivir a la sequía. Sin embargo, la quema destruye gran parte de la valiosa capa de humus y muchos de los microorganismos que contribuyen a mantener el ecosistema en equilibrio. Las operaciones de fabricación del carbón vegetal permiten la extracción de grandes trozas de madera para transformarlas en carbón, y la alteración de la capa de residuos vegetales resultante produce unas condiciones ideales para la regeneración natural, lo que facilita los trabajos subsiguientes de cultivo, sin necesidad de la quema.

Para mantener una ventaja comparativa en lo que respecta a precios, al poseer Chile vastas reservas forestales y una prolongada costa que permite transportar cargas voluminosas a largas distancias y a un costo muy bajo, es esencial que los precios de las materias primas de que se dispone sean muy bajas, por cuanto el costo de la preparación y manipulación de suministros de maderas dispersos y a veces heterogéneos, tiene un alto grado de incidencia sobre el costo total de producción del carbón vegetal.

Existen tres campos de actividades donde se podría producir carbón vegetal a un precio suficientemente bajo como para competir muy favorablemente con combustibles alternativos. Dichos campos son los siguientes:

- Aserraderos
- Conversión del bosque natural degradado en plantaciones
- Preparación de terrenos para la segunda producción de pino o subsiguientes.

En cada uno de ellos se calcula el potencial de producción anual de carbón vegetal procedente de las operaciones forestales, así como el consiguiente ahorro en divisas al compararlo con el petróleo importado.

Se examina la fabricación de carbón vegetal a escala comercial. Probablemente, los hornos portátiles de acero son el mejor método de producirlo en aquellos lugares donde la mano de obra no es demasiado costosa, por cuanto pueden trasladarse a través del bosque hasta las fuentes de madera y no se requieren equipos pesados. Cada horno lo puede manejar un hombre con la ayuda del trabajo de un hombre y medio preparando manualmente la madera, para obtener una producción de 6 a 9 toneladas de carbón vegetal al mes.

Es posible que los hornos fijos requieran menos mano de obra, pero toda la materia prima debe ser transportada hasta ellos, lo que puede resultar muy caro. Los hornos fijos de tipo "Missouri" pueden producir hasta 30 toneladas de carbón vegetal al mes, debiendo estar situados en lugares cercanos a los aserraderos o a otras industrias en donde se disponga fácilmente de residuos.

Se efectuaron demostraciones con dos hornos portátiles de acero tipo "Mark V" en las que se vió que la madera de las latifoliadas de mediana densidad y 30% de humedad produce un carbón

vegetal que es aproximadamente un 25% en peso y un 50% en volumen de la materia prima original, es decir, los rendimientos son similares a los de las latifoliadas de las zonas templadas septentrionales.

Aun cuando se estima que en Chile se producen alrededor de 40.000 toneladas de carbón al año, la mayor parte de esta producción corresponde a pequeños agricultores y empresarios que no están en condiciones de adoptar métodos más racionales. Los fabricantes de carbón vegetal, a menudo talan árboles en terrenos montañosos o en zonas donde la cubierta de árboles es escasa, ocasionando en algunos casos daños ambientales. Una cierta racionalización del mercado y del transporte, acompañada de una legislación encaminada a garantizar que las actividades de fabricación de carbón vegetal no causen erosión, servirá para reforzar este sector de la industria. La mejor perspectiva para el futuro la ofrecen los proyectos de conexión con explotaciones forestales y con industrias privadas, debiéndose iniciar esta actividad con hornos portátiles de acero.

Se incluye un análisis económico y financiero de un proyecto preliminar para producir 1.000 t de carbón al año, en el que se consideran los siguientes aspectos:

- La materia prima está formada por las ramas y los troncos no comerciales de los árboles que se han cortado durante la tala del bosque natural degradado para reemplazarlo por plantaciones de "Pinus radiata". Se ha supuesto que los operarios pueden cortar la madera con sierra de cadena así como con sierras manuales y con hachas, en longitudes de 50 cm o mayores, según las condiciones. Diez hombres deberán trabajar en parejas para cortar suficiente madera como para mantener en funcionamiento 20 hornos tipo "Mark V" durante todo el año. Cada pareja tendrá que cortar 3.000 estéreos al año, es decir 60 estéreos a la semana, lo que es suficiente para cuatro hornos por pareja.



- El ciclo del horno dura dos días, pero considerando los domingos y otros días festivos, se estima que cada horno se encenderá un promedio de 2,5 veces a la semana, es decir un total semanal de 10 encendidos por grupo de 4 hornos. Con una producción de 400 kg por encendido, se obtendrá un rendimiento de 4 t a la semana por todo el grupo. De este modo, el rendimiento total anual sería igual a  $4 \times 5 \times 50 = 1.000$  t.

Se ha supuesto envasar en sacos, pero como para el mercado industrial puede resultar innecesario, se debe investigar ciertas formas de transporte de carbón a granel. Tres hombres deberán trabajar en equipo y cuidar 4 hornos.

- Los hornos se fabrican en Chile, en donde se dispone de acero "Corten". Si se emplea este material, el costo de cada horno no deberá sobrepasar los 1.000\$ US.
- A los operarios se les deberá adiestrar tanto en el uso de herramientas manuales (sierra de cadena), como en mantenimiento de las mismas en óptimas condiciones.
- Se utilizarán sacos de yute de producción local.
- Los costos de transporte se han estimado en 5\$ US por tonelada.
- La supervisión se incluye dentro del cuidado de las herramientas y del control del carbón producido y despachado. Un ingeniero forestal atenderá el desenvolvimiento general de las operaciones de fabricación de carbón como parte de sus otras obligaciones.
- No se ha asignado ningún valor a la madera, por cuanto en la actualidad su extracción tiene un costo y en lo

que a esto respecta, resultaría más lucrativo talar el bosque para fabricar carbón vegetal que cortar y quemar los residuos.

- Como capital de trabajo se ha estimado un 10% de los costos recurrentes.
- Se ha supuesto un precio de 50 \$US para la tonelada de carbón vegetal, que no es demasiado elevado, por lo que deberá tener una acogida favorable en el mercado.

La principal diferencia entre el análisis económico y el financiero del proyecto, radica en que algunos costos de mano de obra para cortar la madera se deberán cargar a la operación de desmonte, ya que la madera extraída y carbonizada producirá un beneficio neto a las operaciones forestales integradas. El costo de preparación de la madera se ha estimado en la mitad de los costos reales del caso, lo que produce utilidades sustancialmente superiores a las obtenidas en el análisis financiero. En forma similar, el manejo, que está relacionado con las operaciones forestales en forma global, se beneficiará por no tener que organizar las operaciones de corte y quema, cargándose la mitad del mismo a la preparación del terreno.

Finalmente, se indican una serie de conclusiones y reco-mendaciones. Las principales ventajas que obtendría Chile al utilizar los combustibles de los bosques, particularmente carbón vegetal, son las siguientes:

- Sociales: Se proporcionaría trabajo a los hombres de los núcleos rurales, contribuyendo a una mejor distribución del trabajo y del dinero.
- Económicas: Por cada tonelada de carbón vegetal que se utilice en lugar de petróleo importado, se producirá un ahorro aproximado de 100 \$ U.S. en divisas.

- Forestales: El rendimiento económico de los planes y programas forestales se acrecentará enormemente con una industria de carbón vegetal bien organizada.

En definitiva, el carbón vegetal puede contribuir a la solución del problema energético, si bien la explotación de los bosques se debe planificar con el fin de asegurar el mantenimiento de los recursos para beneficio de las generaciones futuras, así como para los consumidores actuales.

TITULO: "INFORME DEL GRUPO TECNICO SOBRE LEÑA Y CARBON VEGETAL"

AUTOR: COMITE PREPARATORIO DE LA CONFERENCIA DE LAS NACIONES  
UNIDAS SOBRE FUENTES DE ENERGIA NUEVAS Y RENOVABLES

FECHA: FEBRERO DE 1981

CONTENIDO: Se divide en tres capítulos. El capítulo I es un resumen de la labor del Grupo Técnico, en el que se expone el carácter del problema, se determinan los componentes de los programas de acción en relación con las limitaciones, y se enuncia una serie de recomendaciones.

La tala de los árboles y la vegetación leñosa para satisfacer la demanda, cada vez mayor, de madera como combustible, ha acelerado el proceso de deforestación excesiva, principalmente en los países en vías de desarrollo, amenazando gravemente la estabilidad del medio ambiente en grandes zonas. La destrucción de los frágiles ecosistemas de las tierras áridas, así como la erosión e inundación que han acompañado a la eliminación de la cubierta forestal, amenazan a la agricultura y a la producción de alimentos de una manera alarmante.

Los medios principales de superar este problema consisten en mejorar el suministro, la distribución y la utilización de la leña y otros combustibles orgánicos. La tarea de aprovechar el potencial de madera no será fácil. Hay muchas limitaciones que dificultan su ejecución y la magnitud de los problemas es ya formidable. Sin embargo, a diferencia de otras formas de energía, la leña y el carbón vegetal no requieren una nueva tecnología. Se trata esencialmente de difundir y aplicar conocimientos de

probada eficacia y de movilizar los recursos para hacerlo en gran escala.

Fundamentalmente, lo que se requiere es voluntad política en todos los niveles. Se establecen y describen los seis programas de acción siguientes:

- Intensificación de la productividad de los recursos de leña existentes.
- Creación de nuevos recursos de leña.
- Organización de la distribución de leña.
- Mejora de las tecnologías de conversión.
- Cocinas y estufas de leña.
- Posibilidades de sustitución.

Las mejoras de las tecnologías de conversión son de gran importancia, pues representan una posibilidad sustancial de ahorrar energía al reducir la demanda de leña. Estas mejoras van desde la desecación y elaboración previa de la madera como combustible hasta la producción más eficaz de carbón vegetal. La producción tradicional de carbón vegetal se puede mejorar mediante el empleo de normas y técnicas de fabricación más eficientes. Las limitaciones que afectan al programa son el costo relativamente alto que tiene incluso la tecnología intermedia, las circunstancias socioculturales, económicas y las relativas a la organización, y la falta de información sobre las tecnologías mejoradas. Las soluciones para perfeccionar su fabricación requieren un aumento del nivel de los conocimientos técnicos y la mejora del equipo, la promoción de la agrupación de productores y la organización y control de la producción y comercialización, especialmente en las zonas en que se concentra la demanda.

La sustitución de la leña es una alternativa obvia en al

gunos casos, ya sea como medida temporal para aliviar la presión a fin de que puedan restablecerse los suministros o como una forma permanente de reemplazar los recursos agotados. Los residuos agrícolas son el sustituto al cual se recurre naturalmente en los núcleos rurales cuando escasea la leña. Al destinarse grandes cantidades de residuos vegetales y animales para combustible, disminuye el volumen de fertilizantes orgánicos, lo que afecta a la productividad del suelo para futuros cultivos. Sin embargo, existe y se puede utilizar una cierta cantidad de residuos agrícolas y de industrias rurales, como cáscaras de cacahuete y cascarrillas de café o arroz. De hecho, hay tecnologías de aglomeración y densificación que permiten aumentar el contenido energético de esos residuos de manera que iguale al de la leña y facilitan su manipulación y transporte. Los residuos agrícolas se deben utilizar en forma selectiva y, cuando fuera posible, habría que mejorar su valor como combustible.

Se llega a la conclusión de que es urgente poner en marcha programas de acción masivos y permanentes para responder a las necesidades mínimas de energía actuales y futuras. Esto solo se puede conseguir con una voluntad política concertada y la dedicación probada de los gobiernos. La urgencia y dimensiones de los problemas indican claramente que los gobiernos deben asignar la más alta prioridad a estos programas, analizando y mejorando los siguientes puntos:

- Infraestructura política
- Financiación
- Enseñanza y capacitación
- Investigación y desarrollo
- Corrientes de información
- Infraestructura rural.

En el capítulo II se presenta un exámen general de la situación mundial con respecto a la leña y el carbón vegetal. En

los países desarrollados la utilización generalizada de combustibles fósiles ha desplazado a los combustibles derivados de la madera, que ahora ocupan una posición secundaria en el suministro total de energía. Sin embargo, para unos 2.000 millones de personas que residen principalmente en las zonas rurales de los países en vías de desarrollo, la leña y el carbón vegetal, junto con los residuos agrícolas, nunca han dejado de ser el combustible principal, cuando no el único a su disposición.

La producción conocida de leña y carbón vegetal procedente de los bosques aporta la quinta parte de la energía consumida en los países en vías de desarrollo. Además, en las tierras no cultivadas y en los predios agrícolas se recoge una cantidad considerable de leña, aunque las cifras correspondientes no se conocen con exactitud. La mayor parte de la energía almacenada en la biomasa se acumula en la vegetación leñosa, apta para la utilización como leña o carbón vegetal. Se calcula que el potencial teórico de crecimiento anual de los recursos forestales del mundo es de  $110.10^9$  terajulios, cifra que supera a las necesidades actuales por un amplio margen. Sin embargo, las condiciones imperantes respecto a la leña dependen en gran medida del lugar.

Los suministros conocidos de leña y carbón vegetal constituyeron en 1978 el 5,4% del total de la energía consumida a nivel mundial, y proporcionaron unos  $15.10^6$  terajulios, mientras que la energía producida en forma comercial proporcionó  $257.10^6$  terajulios. En todo el mundo, la leña y la madera destinada a la fabricación de carbón vegetal representan el 59% del volumen total de madera recogida en los bosques ( $1.566 \times 10^6 \text{ m}^3$  de unos  $3.050 \times 10^6 \text{ m}^3$  que se recogieron en 1978). En los países desarrollados el consumo ascendió a unos  $145 \times 10^6 \text{ m}^3$ , lo que equivalía aproximadamente a una décima parte del consumo total de madera en rollo, mientras que en los países en vías de desarrollo la cifra correspondiente fue de  $1.421 \times 10^6 \text{ m}^3$ , o sea,

el 85% del total de la madera en rollo utilizada en esos países.

A continuación se analiza:

- La situación en los países desarrollados.

La energía procedente de la madera sólo produce entre el 1 y el 2% de la energía total consumida en dichos países en conjunto. Esta proporción varía desde niveles insignificantes en los países urbanizados que tienen pocos bosques hasta el 5% o más en los países que poseen amplios recursos forestales.

Los principales usuarios de la energía de la madera son los habitantes de las zonas rurales y las industrias forestales. Los primeros suelen ser ellos mismos los dueños de los bosques o tienen fácil acceso a los suministros de leña. Las industrias forestales son importantes productores y usuarios de madera para generar energía. En América del Norte, el 80% de la energía producida por la madera se emplea en las industrias forestales mientras que en Europa la proporción correspondiente es del 44%. Básicamente, las industrias consumen los residuos de sus propios procesos de producción para satisfacer, al menos en parte, sus necesidades de energía. Varios sectores de la industria forestal, especialmente los aserraderos, las fábricas de madera contrachapada y las industrias de producción de pasta por medios químicos pueden ser autosuficientes en materia de energía o "exportadores netos" de energía, pero este potencial rara vez se hace efectivo.

Aunque quieren proteger el suministro de materia prima de las industrias forestales, varios gobiernos han reconsiderado el lugar que corresponde a la madera en sus polí-



ticas de suministro de energía y prevén la posibilidad de aumentar su uso, especialmente mediante el aprovechamiento de residuos de explotaciones e industrias forestales y del producto de las claras.

A medio plazo, las perspectivas indican que se producirá un aumento en la contribución de la madera al suministro de energía. Sin embargo, los recursos forestales resultan escasos en comparación con la inmensa demanda total de energía y por ello no es probable que la madera represente una fuente importante de energía, salvo tal vez en algunos países o zonas donde la relación entre los recursos forestales y la demanda de energía es particularmente favorable. En el futuro inmediato, la pauta de consumo ha de ser semejante a la actual: la madera de calidad inferior, sin elaborar, en astillas o posiblemente prensada, se quemará para producir calor o vapor para los habitantes de las zonas rurales o para las industrias forestales. A más largo plazo, las plantaciones de especies de crecimiento rápido destinadas a la producción de energía y los combustibles en forma líquida o gaseosa derivados de la madera podrán desempeñar también un papel importante en algunos países. En la actualidad estas opiniones son objeto de intensas investigaciones.

- La situación en los países en vías de desarrollo.

Según diversos informes, el consumo medio "per cápita" de leña y carbón vegetal es de  $0,5 \text{ m}^3$  al año (lo que equivale a 4,3 gigajulios), aunque las cifras varían mucho de un país a otro y dentro de cada país. En algunos países, como el Brasil y Argentina, se emplean grandes volúmenes de leña y carbón vegetal en industrias en gran escala. Como la mayor parte de la leña se recolecta y utiliza localmente, y no se adquiere mediante

un sistema de mercado, generalmente no se tiene en cuenta en las estadísticas oficiales sobre la energía. Las estadísticas de la silvicultura por lo general proporcionan información únicamente sobre los suministros de madera que se recolectan oficialmente en las reservas forestales. No incluyen los suministros que provienen de los árboles en campo abierto, los huertos de las propiedades agrícolas, etc. y de las zonas que no se consideran bosque.

- La situación con respecto a los sistemas de energía rural.

La leña y el carbón vegetal desempeñan un papel esencial como energía doméstica en millares de hogares del mundo en desarrollo. Las necesidades domésticas de energía para cocer los alimentos y calentar el agua oscilan aproximadamente entre 6 y 10 gigajulios por persona y año, es decir, entre 0,5 y 1 m<sup>3</sup> de leña. Estas necesidades varían considerablemente de acuerdo con las condiciones climáticas y las costumbres alimentarias. Si se incluye la calefacción ambiental, las necesidades totales de energía doméstica varían aún más, y llegan a 25-30 gigajulios por persona y año en los climas montañosos fríos. Las variaciones estacionales, las especies forestales, el contenido de humedad y la disponibilidad, modifican sustancialmente los niveles de consumo efectivos.

Diversas industrias rurales, como las fábricas de ladrillos, las caleras, las herrerías, las alfarerías, los secaderos de té y tabaco, utilizan frecuentemente leña y carbón vegetal como fuente de calor.

La leña suele ser reemplazada por el carbón vegetal, combustible más cómodo y eficaz en cuanto al uso de ener-

gía pero que a la vez se produce normalmente mediante un proceso que entraña desperdicios de energía.

Para producir carbón vegetal, combustible que se transporta, almacena y distribuye más fácilmente, se necesitan grandes cantidades de leña. Los sistemas tradicionales de producción de carbón tienen una eficiencia media de uso de energía baja, llegando a un 20% aproximadamente. Su contenido energético varía mucho, siendo la producción media de energía por unidad de peso el doble que la de la leña. Por eso, desde el punto de vista de la economía, resulta posible transportar el carbón vegetal a distancias mayores que la leña.

- La evolución de las situaciones anteriores.

En el capítulo III se examinan las posibilidades de mejorar la producción y utilización de la leña. Para ello se analizan cinco actividades que podrían mejorar sustancialmente la situación con respecto a la energía en las zonas rurales. Se podrían emprender inmediatamente, sobre la base de soluciones técnica y económicamente viables. Si se aplicaran sin demora y en una escala suficiente, producirían mayor cantidad de madera para combustible y aumentarían la eficiencia con que se utilizan. Dichas actividades son las siguientes:

- Aumento de la productividad de los recursos de leña existentes:

- . Bosques altos cerrados
- . Bosques residuales
- . Recursos de árboles dispersos
- . Bosques abiertos y zonas de vegetación leñosa.

- Creación de nuevos recursos de leña:

- . Plantaciones en gran escala

- . Bosques de las comunidades o aldeas
  - . Plantaciones en predios agrícolas o de particulares
- Organización de la distribución de leña.
- Mejora de las tecnologías de conversión.
- . Mejora de la elaboración previa de los combustibles
  - . Mejora de la fabricación del carbón vegetal
  - . Mejora de las cocinas y estufas y de los hábitos de preparación de alimentos.
- Posibilidades de sustitución.

TITULO: "INFORME SOBRE EL CARBON VEGETAL"

AUTOR: D.E. EARL

FECHA: AÑO 1975

CONTENIDO: Se describen las principales características físicas y químicas del carbón vegetal que dependerán de la materia prima original y de las condiciones del proceso de carbonización. Estas características son las siguientes:

- Rendimiento en peso
- Rendimiento en volumen
- Peso específico:
  - . aparente
  - . real
- Superficie específica
- Estabilidad
- Dureza
- Humedad
- Contenido de sustancias volátiles
- Contenido fijo de carbono
- Poder calorífico
- Azufre
- Fósforo
- Cenizas

Se analizan las materias primas más significativas de las que se obtiene éste producto.

Se indican las condiciones más adecuadas para la utilización de los diversos tipos de equipos que se emplean en su fa-

bricación. Aunque las técnicas son muy variables, el principio fundamental es común a todas ellas, pudiéndose dividir en las siguientes modalidades:

- Hornos, en los que se aprovecha la combustión parcial de parte de la carga para iniciar la carbonización.
- Retortas, en las que la carga se calienta por una fuente externa de calor que se aplica a la parte exterior del recipiente.
- Retortas parciales u hornos continuos, en los que la carga recibe energía de una fuente externa combustible durante una parte, al menos, del ciclo de carbonización.
- Hornos en los que la carga de madera se conduce mecánicamente a través del mismo, en determinadas condiciones.

Se estima la producción, consumo y comercio mundiales de este producto, al no poder calcularse con exactitud, por no facilitar muchos países ningún dato estadístico.

Se tratan algunas de sus principales aplicaciones y mercados, entre los que destacan:

- El carbón vegetal como combustible para satisfacer las necesidades domésticas.
- El carbón vegetal como combustible para fines industriales.
- El carbón vegetal en la separación de metales.
- Otros usos industriales (Reparación de altos hornos, producción de silicio cristalino, producción de sílice/cromo, eliminación del hollín, etc.).
- Empleo en horticultura.
- Otros usos (para la producción de caucho, para fuegos artificiales y pólvoras, para plásticos, para piensos, para dibujos, etc).
- Carbón en briquetas

- Carbón vegetal activado.

Una industria viable del carbón vegetal permite aumentar la rentabilidad de los montes. La explotación de los bosques tropicales presenta, en particular, grandes dificultades, por la poca abundancia de árboles maderables y el rápido crecimiento de la vegetación no aprovechable comercialmente. La fabricación de carbón vegetal es uno de los medios de transformar productivamente esta vegetación con el consiguiente aumento de los beneficios económicos y la oportunidad de incrementar el número de árboles de más valor.

Se enumeran los beneficios de carácter social o no comerciales que se pueden obtener planificando la fabricación del carbón vegetal, y alguna de las formas en que la industria del carbón podría contribuir al desarrollo industrial. Se ponen de relieve las ventajas que pueden alcanzarse con la expansión de la industria del carbón vegetal, señalándose, al mismo tiempo, la atención que debe concederse a que la planificación se haga de forma que sólo permita una explotación prudente de los recursos forestales, en interés del futuro de la humanidad.

TITULO: "THE CHARCOAL MARKETS IN INDUSTRIALISED COUNTRIES AND THE IMPACTS OF CHARCOAL EXPORTS IN DEVELOPING COUNTRIES"

AUTOR: DR. WALTER EMRICH (CARBON INTERNATIONAL, LTD.)

FECHA: SEPTIEMBRE DE 1980

CONTENIDO: En este informe se expone la situación actual en que se encuentran los mercados de carbón vegetal de los países industrializados. También se indican los principales problemas que surgen entre la demanda doméstica de este producto y sus envíos a los mercados exteriores por parte de los países en vías de desarrollo. Consta de tres partes. En la primera, se describen las características de los mercados del carbón vegetal (mercados doméstico e industrial, respectivamente), con inclusión en lugares apropiados de algunas especificaciones que se han considerado oportuno realizar. Se tratan las fuentes de suministro de dichos mercados, así como las estrategias de comercialización. Finalmente, se hace una predicción sobre la panorámica futura de los mercados del carbón vegetal.

En la segunda se presenta un estudio sobre la situación de la tecnología y las tendencias futuras de los equipos de producción de carbón vegetal. Asimismo se dan algunos consejos y datos respecto al tamaño de las plantas e inversiones a realizar.

En la parte tercera se analizan las consecuencias de las exportaciones de carbón vegetal por parte de los países en vías de desarrollo. Se estudian los recursos de materia prima desde los siguientes puntos de vista:



- Utilización directa de la leña o fabricación de carbón vegetal.
- Los residuos leñosos como recursos del futuro
- La utilización de los residuos agrícolas para producir carbón vegetal.

Se especifican las modificaciones obligatorias que hay que introducir en la fabricación del carbón vegetal, por parte de:

- Aldeanos, Empresas familiares y Cooperativas
- Industrias

Por último se resume la opinión de la Compañía "Carbon International, Ltd.", a la que pertenece el autor de este informe, en cuanto a los aspectos positivos y negativos de las explotaciones de carbón vegetal.

TITULO: "FOREST BIOMASS AS A SOURCE OF ENERGY IN THE ECE REGION"

AUTOR: ECE/FAO AGRICULTURE AND TIMBER DIVISION

CONTENIDO: El valor energético de la madera depende en primer lugar de su contenido de humedad así como de las especies botánicas y partes vegetales de que procede (troncos, cortezas, ramas, etc.). En función de su contenido acuoso se dan los siguientes valores medios:

Contenido de Humedad (% sobre peso total)	Poder calorífico (Kcal./Kg.)
0	4.300
25 (secado al aire)	3.225
50	1.900
60	1.350

Se analizan ligeramente los procesos de transformación tales como la combustión, pirólisis, gasificación y licuefacción.

A continuación se exponen los recursos forestales de Europa y su posible potencial energético, que se resumen en las dos tablas de la página siguiente.

Se cree que para incrementar la contribución de la biomasa al suministro energético se tienen que efectuar plantaciones de especies vegetales de rápido crecimiento, debiéndose mejorar las características genéticas de las especies elegidas, sus mé-

ESTIMACION DE LOS RECURSOS DE BIOMASAS EUROPEAS

	Bosques y otras superficies maderables (x10 <sup>6</sup> ha)	Estimación de la biomasa de los bosques (x10 <sup>9</sup> t de materia seca) (1)	Estimación de la producción anual de biomasa (x10 <sup>6</sup> t de materia seca) (2)	Poder energético anual de la biomasa (x 10 <sup>6</sup> TJ ) (3)	Producción de biomasa como % del consumo energético global anual
Países Nórdicos ..	58	12 - 23	116 - 232	2,0 - 3,9	70 - 140
C.E.E. ....	33	7 - 13	66 - 132	1,1 - 2,2	3 - 6
Europa Central ...	5	1 - 2	10 - 20	0,2 - 0,3	11 - 22
Europa del Sur ...	52	10 - 21	104 - 208	1,8 - 3,5	31 - 62
Europa del Este ..	28	6 - 11	56 - 112	1,0 - 1,9	6 - 11
<b>TOTAL .....</b>	<b>176</b>	<b>35 - 70</b>	<b>350 - 700</b>	<b>6,1 - 11,8</b>	<b>10 - 19</b>

(1) - Se supone una producción de 200 - 400 t/ha.

(2) - Se supone una producción de 2 - 4 t/ha/año.

(3) - Se considera la biomasa desecada al aire

PODER ENERGETICO DE LOS RECURSOS DE BIOMASA EUROPEOS (1)

	Troncos procedentes de operaciones de limpieza, aclarado, etc (x 10 <sup>3</sup> TJ )	Leña (x 10 <sup>3</sup> TJ)	Copas y ramas de los troncos (x 10 <sup>3</sup> TJ)	Residuos de los tratamientos primarios de la madera (x 10 <sup>3</sup> TJ)	Residuos que no se utilizan como materia prima (x 10 <sup>3</sup> TJ)
Países Nórdicos.	904	64	316	201	43
C.E.E. ....	752	91	263	154	42
Europa Central .	170	17	59	35	12
Europa del Sur .	576	202	202	82	64
Europa del Este.	784	119	274	141	73
<b>TOTAL .....</b>	<b>3.186</b>	<b>493</b>	<b>1.114</b>	<b>613</b>	<b>234</b>

(1) - Se suponen 10 TJ/1.000 m<sup>3</sup> (secados al aire)

todos de cultivo (espaciamiento y fertilización) y de recolección. Se manejan cifras entre 8 y 25 t de materia seca/ha/año con otras más elevadas de 30-40 t/ha/año. Un factor limitante es la disponibilidad de terreno. Si los rendimientos son del orden de 12-25 t/ha/año, un millón de hectáreas producirían la energía equivalente a unos 200.000 - 425.000 TJ/año, o lo que es lo mismo 50 millones de t.e.p./año. En otras palabras, para cubrir el consumo energético europeo del año 1976 se tendrían que plantar unas 1,5-3 millones de hectáreas con cultivos agroenergéticos. De hecho, en Europa existe una enorme superficie marginal agrícola. La C.E.E. la cifra alrededor de 34 millones de hectáreas, una tercera parte de la superficie cultivada, si bien no es cierto que la totalidad de la misma sea adecuada para este tipo de cultivos.

Otras fuentes energéticas muy importantes son los residuos forestales así como los de sus industrias. El poder energético de las copas, ramas y troncos procedentes de las limpiezas y aclareos de los bosques se estimó en el año 1970 por encima de 1 millón de terajulios. No obstante, el principal inconveniente que presentan estos productos es su elevado coste de recolección. La mejor solución económica es probablemente recoger las copas y ramas junto con los troncos y utilizarlos bien como fuente energética o como materia prima de las industrias forestales.

Posteriormente se comenta el descenso mundial del consumo de leña así como su resurgimiento después del año 1973.

Por último se habla del creciente empleo de la madera como fuente de suministro energético y de los cambios habidos en los modelos de desarrollo.

TITULO: "STATE OF THE ART. REVIEW ON PYROLYSIS OF WOOD AND AGRICULTURAL BIOMASS"

AUTOR: ANIL K. CHATTERJEE

FECHA: MARZO DE 1981

CONTENIDO: Este estudio, que fue realizado para el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, abarca los siguientes temas:

- La perspectiva histórica de la creciente demanda energética.
- La evolución técnica (Aspectos teóricos y descripción de diferentes procesos de transformación energética).
- La justificación económica (Equipos, Materias primas y productos energéticos).
- Los factores del medio ambiente (Aire, Residuos y Suelo)
- La evaluación del proceso de pirólisis en los países menos desarrollados.
- Un resumen final y una serie de recomendaciones.

La biomasa es una riqueza renovable que podría desempeñar un importante papel a la hora de satisfacer las necesidades energéticas de las diferentes naciones. Actualmente se están desarrollando varios procesos de transformación energética de la biomasa, tales como la combustión, gasificación, pirólisis y conversión bioquímica. La pirólisis de la biomasa no es una idea nueva. Esta tecnología se practicó desde el comienzo de la civilización. Constituye un proceso no contaminante que transforma los productos sólidos y residuos en unos compuestos combustibles limpios tales como el carbón vegetal, el aceite y el gas. A finales de la década de los sesenta muchos de estos trabajos

se concentraron sobre el contenido celulósico de los residuos sólidos urbanos. Sin embargo, a mitad de los setenta, la pirólisis de la biomasa (compuestos agrícolas y forestales) adquirió mayor relevancia. Por tal motivo se analizan detenidamente los siguientes aspectos:

- Teoría de la transformación termoquímica.
- Procesos de pirólisis básicos.
- Descripción de los procesos más típicos.
- Recolección y tratamiento de la materia prima.
- Recuperación y obtención de productos.
- Estudios de las actividades realizadas en los países desarrollados y en los que están en vías de desarrollo.

También se presenta un examen profundo respecto a los procesos de producción del carbón vegetal, su utilización y mercados. Este producto es un combustible limpio que se quema sin producir humo, siendo un compuesto ideal para la preparación de alimentos domésticos. Asimismo, puede tener gran utilidad como combustible industrial en los procesos de secado, producción de cemento y fabricación de hierro. Se emplea en gran medida para la purificación de productos químicos y del agua, así como en otras muchas aplicaciones de la industria química. Más del 70% del poder energético de la madera permanece en el carbón vegetal, siendo su contenido energético por unidad de peso doble que en el caso de la madera desecada al aire.

Análogamente se expone la aplicación del aceite y gas de pirólisis como combustible de uso industrial, con rendimientos y datos característicos.

El aceite se puede usar en calderas y cámaras de combustión, en cocinas y lámparas de diseño apropiado y en la obten

ción de compuestos químicos.

El gas, de bajo poder calorífico, se emplea como:

- Combustible de combustión directa en las calderas.
- Combustible de un generador de energía eléctrica.
- Combustible de los motores de combustión interna para el bombeo de aguas de riego, para accionar tractores agrícolas y camiones de transporte de corto recorrido, para producir aire caliente y secar las cosechas, y para calentar los edificios y almacenes durante los meses de invierno.

TITULO: "BIOMASS ENERGY IN CANADA. ITS POTENTIAL CONTRIBUTION TO FUTURE ENERGY SUPPLY"

AUTOR: PETER LOVE

FECHA: MARZO DE 1980

CONTENIDO: Este informe proporciona una amplia panorámica sobre el potencial energético de la biomasa en Canadá. Las estimaciones que contiene se basan en la mejor información de que se dispone actualmente.

Canadá ha entrado en una era en la que todas las oportunidades para reducir la importación de energía, principalmente la derivada del petróleo, se tienen que perseguir activamente. Además, para garantizar que la futura demanda energética se reduzca en realidad en la medida de lo posible mediante la conservación, se requerirán técnicas que transformen las nuevas fuentes energéticas, con el fin de sustituir a las ya tradicionales procedentes del petróleo, en primer lugar, y en menor proporción al gas natural. Estas fuentes nuevas incluyen las arenas bituminosas, los aceites pesados, las energías solar y eólica, así como la biomasa.

Aunque la biomasa respondió virtualmente de toda la energía que se utilizó en Canadá hace un siglo, en la actualidad contribuye solo en la proporción del 4,1%. De esta cantidad, más del 95% se debe a la transformación "in situ" de los residuos producidos por la industria forestal.

Los principales tipos de biomasa que se estima que exis —



ten en Canadá son los siguientes:

F U E N T E S	Cantidad disponible (Mt/año)	Poder energético (PJ/año )	Porcentaje respecto a las necesidades totales de combustibles fósiles de 1978
Fábricas de pastas y papel ...	0,5	8	0,2
Aserraderos, fábricas de cepillado, desbastado y de maderas terciadas .....	7,2	144	3,0
Paja .....	15,0	219	4,6
Estiercol animal .....	10,0	221	4,6
Explotaciones forestales de las granjas .....	3,2	64	1,3
Residuos de las cortas, talas, y transportes de trozas .....	50,4	1.008	21,0
Bosques degradados y abandonados .....	-	-	-
Excedentes de madera valiosa .	19,3	386	8,0
Plantaciones energéticas .....	310,0	6.200	129,0
TOTAL .....	451,6	8.250	171,7

Todos estos tipos poseen un precio de costo que oscila entre los 10 y 50 \$ por tonelada de materia desecada al horno.

Existen diversas tecnologías, en diferentes etapas de desarrollo, para poder convertir la biomasa en energía, entre las que destacan:

- . La Combustión: Este proceso representa la quema de los compuestos orgánicos para producir calor.
- . La Hidrólisis Ácida: Este proceso transforma los productos celulósicos, normalmente la madera y la paja, mediante un tratamiento con ácidos, en hidratos de carbono.

- La Hidrólisis Enzimática: Este proceso también transforma los productos celulósicos en hidratos de carbono, mediante la acción de unas enzimas especiales.
- La Fermentación: Desde la antigüedad se obtuvo alcohol a partir de los azúcares y almidón, mediante un proceso de fermentación.
- La Destilación Seca: Este proceso, que transforma la madera en carbón vegetal, se remonta a los primeros tiempos de la humanidad y todavía se emplea en muchos países para producir este combustible, ideal en la preparación de alimentos. Aunque el metanol, un subproducto de la producción del carbón vegetal, se obtuvo al principio, íntegramente por este procedimiento, actualmente se produce casi exclusivamente a partir del gas de síntesis.
- La Digestión Anaerobia: Ciertas bacterias, en ausencia de oxígeno, transforman las suspensiones de compuestos orgánicos, en un gas combustible, que contiene un 70 % de metano, aproximadamente.
- La Purificación: El gas producido por la digestión anaerobia se puede purificar para obtener metano puro (gas natural de síntesis), que se podría distribuir por la red de tuberías del gas natural.
- La Hidrogasificación: Este proceso convierte en primer lugar la biomasa en hidrógeno, quien entonces reacciona con los materiales sobrantes para producir un gas, que se puede tratar hasta que adquiera la calidad de gas natural.
- La Gasificación: Cuando se aplica calor a la materia orgánica, en ausencia de oxígeno para conseguir una com-

bustión completa, se obtiene un gas combustible compuesto principalmente por hidrógeno, monóxido de carbono y, en algunos casos, nitrógeno.

- La Síntesis del Metanol: El gas que se produce en un gasificador se puede depurar, obteniéndose un gas de síntesis, compuesto por monóxido de carbono e hidrógeno. Este gas se puede transformar en metanol, utilizando los procesos comerciales que se emplean actualmente para su obtención a partir del gas natural o de la nafta.
- El Proceso de la Compañía Mobil Oil: Este nuevo proceso, que ha sido desarrollado por la Compañía Mobil Oil, transforma el metanol en gasolina.
- La Conversión en Vapor: El gas natural de síntesis o metano se puede transformar en un gas, mediante un proceso frecuentemente utilizado en la industria petroquímica, la denominada "Conversión en Vapor".
- La Síntesis de Fisher-Tropsch: Este proceso, que puede convertir la biomasa en un crudo sintético, se desarrolló y utilizó, primitivamente, en Alemania, antes de la Segunda Guerra Mundial, siendo empleado corrientemente en Sudáfrica para transformar el carbón en aceite. La síntesis del metanol es una reacción del tipo Fisher-Tropsch.
- La Hidrogenación/Carboxilación: Estos procesos convierten la biomasa en un combustible líquido o gas de síntesis, mediante la adición de catalizadores alcalinos y monóxido de carbono o hidrógeno, respectivamente.

- . La Licuefacción: La aplicación de calor a la materia orgánica, en ausencia de suficiente cantidad de oxígeno para que tenga lugar la combustión completa y en el caso de que se fijen ciertas variables del proceso, tales como la temperatura, presión, tiempo de permanencia, etc., originan un combustible líquido sintético, el fuel-oil.
- . La Oxidación Parcial: El crudo sintético obtenido tanto en la hidrogenación como en la carboxilación y licuefacción, se puede transformar en un gas de síntesis, mediante un proceso de oxidación parcial.

Mediante la aplicación de estas técnicas, se obtienen nueve tipos de combustibles o formas de energías. Cuatro de ellos son líquidos (etanol, metanol, hidrocarburos y aceites de pirólisis), tres gaseosos (metano/CO<sub>2</sub>, metano y gas de síntesis) y uno sólido (carbón vegetal). La última forma energética es el calor.

Estos nueve diferentes tipos de energía se pueden transformar en cuatro agentes de energía finales: vapor, energía mecánica, energía eléctrica y calor. Las tecnologías que se emplean para ello son las siguientes:

- . La caldera: Como su nombre indica, produce vapor cuando se le suministra calor.
- . La turbina de vapor (ciclo de Rankine): Transforma el vapor, al pasar a través de una serie de paletas, en energía mecánica.
- . La máquina de émbolo: En este proceso se suministra calor a un ciclo Otto o Diesel, transformándose dicho calor en energía mecánica.

- . La turbina de Ciclo Brayton: Transforma el calor en energía mecánica al expansionarse los gases a través de las aspas de una turbina rotatoria.
- . El turbogenerador: Transforma la energía mecánica en eléctrica al producirse unos giros o rotaciones en el seno de unos campos magnéticos.

Para fomentar la investigación y aplicación del potencial energético de la biomasa, el Gobierno Federal ha establecido los siguientes programas:

- . FIRE (Forest Industry Renewable Energy): Posee un presupuesto total de 103 millones de dólares en sus cinco años de duración (1979-1984), proporcionando hasta un 20% del coste de los equipos que aprovechen los residuos forestales con fines energéticos. Está patrocinado y dirigido por el Departamento de Energía, Minas y Recursos.
- . ENFOR (Energy from the forest): Posee un presupuesto total de 29,9 millones de dólares durante sus cinco años de duración (1979-1984) y proporciona fondos para los proyectos de investigación, desarrollo y demostración, con el fin de conseguir una tecnología que permita el empleo de la biomasa como combustible. Está coordinado por el Servicio Forestal del Departamento del Medio Ambiente de Canadá.
- . BELG (Biomass Energy Loan Guarantee): Posee un presupuesto total de 150 millones de dólares durante el periodo 1978-1984, proporcionando préstamos de hasta un 50% del coste de ciertos proyectos y del 66% para aquellas que incluyen la coproducción. Está administrado

por el Departamento de Energía, Minas y Recursos.

- . AERD (Agricultural Engineering Research and Development)  
Este programa que va hacia adelante, coordinado por el Ministerio de Agricultura, proporciona medios financieros para la investigación, desarrollo y demostración de métodos que disminuyan la dependencia agrícola de los combustibles fósiles.
- . DRECT (Development and Demonstration of Resource and Energy Conservation Technology): Este programa, coordinado por el Departamento del Medio Ambiente, proporciona fondos para el desarrollo de nuevas tecnologías que utilicen los residuos sólidos urbanos y los industriales con fines energéticos.
- . Convenios Federales/Provinciales: El Gobierno Federal ha presupuestado 114 millones de dólares durante un período de cinco años, en el que se igualarán las aportaciones que se otorguen a todas las provincias para investigar y poner de manifiesto tanto las tecnologías de energía renovable como las de conservación energética. Está coordinado por el Departamento de Energía, Minas y Recursos.

Se cree que una meta real para los próximos diez años será duplicar la utilización actual de los residuos leñosos, dentro de la industria forestal, principalmente los procedentes de las fábricas, incluyendo también parte de los residuos forestales. De esta manera, la madera contribuiría a satisfacer la demanda de energía primaria total de 1977 en una proporción del 8%. A medio plazo, el empleo de los residuos de las granjas y los excedentes forestales, así como las especies leñosas no comerciales, podrían proporcionar como mucho, hasta 0,8 - 1,0 EJ ( $1\text{EJ} = 10^{18}$  Julios). A largo plazo, la biomasa podría satisfacer hasta un 10-20% de la demanda energética primaria, mediante el cultivo de plantaciones con fines energéticos. Finalmente, se describen con una

gran amplitud los tres temas siguientes:

- Utilización "in situ" de la biomasa.
- Producción y distribución de la energía que se obtenga a partir de la biomasa.
- Cultivos y plantaciones agroenergéticas.

TITULO : "ENERGY IN THE FOREST INDUSTRIES"

AUTORES : Ian E. Efford and S.M. Pneumatics

CONTENIDO: Se valora la demanda energética de la industria forestal canadiense, explicándose en términos generales el papel que desempeña en la conservación y sustitución de combustibles. Puesto que la biomasa forestal es la energía renovable más importante de Canadá, si se exceptua la hidroeléctrica, la industria forestal puede ejercer una importante función a la hora de reducir la dependencia del petróleo importado. El sector de pastas y papel es el que consume mayor energía. De sus propios residuos genera  $50 \times 10^{12}$  Kcal, utilizando además  $12 \times 10^{12}$  Kcal a partir de otros restos triturados de las industrias madereras. La mitad de esta energía se utiliza aproximadamente para producir vapor. La capacidad para sustituir las  $85 \times 10^{12}$  Kcal. que aporta el petróleo, el gas natural, la electricidad y otros combustibles se puede llevar a cabo mediante el empleo de residuos procedentes de otros sectores de la industria forestal, puesto que no existe virtualmente ningún residuo sin utilizar en las fábricas de pastas y papel. Este sector prometió reducir en 1980 en un 12% el consumo de la energía que compran, llegando a un 18 por ciento para 1985.

Los sectores de las industrias madereras y de las explotaciones forestales originan a partir de sus propios residuos  $35 \times 10^{12}$  y  $239 \times 10^{12}$  Kcal., respectivamente. Ambos sectores poseen una capacidad limitada a la hora de emplear sus residuos y sustituir los combustibles que adquieren de fuera. Las industrias madereras pueden utilizarlos en sus operaciones de secado, en las prensas y para calefacción. A largo plazo, cuando se mejore la tecnología de aprovechamiento y se eliminen barreras institucio-



nales y económicas, ambos sectores pueden llegar a ser suministradores de energía. A estos residuos es posible prensarlos o emplearlos en la obtención de gas y quizá combustibles líquidos, con su consiguiente aplicación y venta a usuarios comerciales e industriales.

Por otra parte es esencial tomar iniciativas a gran escala para garantizar el suministro maderero a largo plazo a unos precios razonables. El Gobierno canadiense, en cooperación con la industria forestal, necesita emprender un plan de repoblación forestal de todas las áreas superexplotadas y taladas. Las mejores zonas de bosques y los terrenos agrícolas marginales se tienen que repoblar intensivamente con especies arbóreas muy seleccionadas y mejoradas genéticamente. La insuficiencia energética actual ha de servir como impulso para la revitalización forestal de Canadá.

La energía de la biomasa, producida y utilizada principalmente por las industrias forestales de este país, representa aproximadamente unas  $70 \times 10^{12}$  Kcal, el mismo valor de la opción nuclear. La disponibilidad de los residuos forestales así como los de las fábricas de madera y explotaciones forestales puede duplicar al final de esta década el aporte energético y quizá triplicarlo al terminar el presente siglo. La contribución eventual de las plantaciones forestales intensivas establecidas y dirigidas bajo el principio de la superproducción puede alcanzar varios exajulios. Es responsabilidad del Gobierno establecer programas que fomenten la consecución y logro de estos desarrollos. Asimismo la industria y comunidad forestal tiene el deber de realizar las inversiones necesarias para tal fin. Asunto especial será el analizar los costes reales de utilización de los recursos forestales y su explotación, bien como fibra o desde el punto de vista energético.

TITULO : "FLUIDIZED BED GASIFIERS"

AUTOR : Richard Assaly

CONTENIDO: La producción de gas por descomposición de compuestos orgánicos sólidos (materiales leñosos) tiene lugar a elevadas temperaturas en una atmósfera controlada con limitación en el contenido de oxígeno. La gasificación es una pirólisis, un proceso de destilación seca. Generalmente se realiza a la presión atmosférica y a unas temperaturas de hasta 2.000 °C. Las altas temperaturas y la falta de oxígeno originan una descomposición química de los productos leñosos, con la formación de los siguientes elementos:

- . Gas, compuesto principalmente por  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$  y otros hidrocarburos de mayor peso molecular.
- . Productos de destilación, compuestos por alquitranes insolubles (derivados fenólicos) y ácidos fenólicos. Estos últimos están constituidos por una mezcla de metanol, ácido acético, acetona, ésteres, aldehidos y furfural.
- . Productos sólidos, integrados por cenizas y carbón vegetal.

A ciertas temperaturas, según el equipo que se utilice, se puede conseguir la gasificación directa de la madera, obteniéndose combustibles gaseosos. Otros factores que influyen en la composición y rendimiento de los productos obtenidos son el grado y velocidad del calentamiento, el contenido de oxígeno, la clase de materia prima y la presión que se alcance.

La pirólisis se puede llevar a cabo por calentamiento di

recto o indirecto de la biomasa, en procesos de lecho fijo, arrastrado y fluido. En el primer caso se puede efectuar de dos maneras: a contracorriente o corriente única.

En el proceso de lecho fijo a contracorriente, la materia prima se carga por la parte superior del reactor, mientras el aire fluye ascendentemente por la parte inferior del mismo. Como la materia prima desciende muy lentamente, se verifican las diferentes etapas de desecación, destilación, reducción y oxidación. Finalmente, según la temperatura a que se trabaje en el reactor, se procederá a la evacuación de cenizas o de una mezcla de cenizas y carbón vegetal.

Las principales ventajas del lecho fijo son el alto rendimiento de la transformación energética, la baja emisión de partículas y la capacidad de tratar compuestos con un alto contenido de humedad. No obstante, carece de dispositivos de eliminación de cenizas y de sistemas de canalización. Además, la modalidad de contracorriente maximiza el contenido de alquitranes en el seno del gas, por lo que se requiere un diseño estudiado del dispositivo de limpieza. La temperatura en la zona de combustión varía entre 1.300 y 2.000 °C.

Las temperaturas relativamente bajas evitan las incrustaciones y acumulaciones de cenizas, con lo que se evitan las paradas técnicas, sumamente costosas. Se prolonga la vida del reactor, se disminuye al máximo la formación de alquitranes y se reducen las necesidades de limpieza.

La humedad que se elimina durante el proceso disminuye el rendimiento térmico y la temperatura de trabajo, afectando a la dinámica de la reacción, con el consiguiente consumo energético en la evaporación del agua. Todos los sistemas funcionan mejor con un tamaño parejo de materia prima, compatible con su contenido de humedad. Excepto en el caso de que se vaya a auti

lizar suficiente materia prima seca, se debe disponer de equipos que reduzcan su tamaño y humedad.

Todos los productos que se obtienen se pueden enfriar, purificar, peletizar, almacenar y utilizar directamente en calderas, hornos, secaderos y generadores.

Los gases que se aprovechan directamente sin lavar ni enfriar, tienen un mayor poder calorífico, causan menos problemas con respecto al almacenamiento y utilización de los alquitranes, y originan menores costes de instalación.

Una nueva solución a la hora de eliminar los residuos orgánicos de las industrias forestales y agrícolas es el proceso "Thermex-Reactor", un procedimiento de gasificación de lecho fluido, el primero de tecnología avanzada desarrollado hace más de siete años por la Compañía Alberta Industrial Developments, Ltd, en Edmonton (Canadá).

Se analiza detenidamente este proceso, incluyéndose la descripción y lista de equipos, los sistemas de funcionamiento más típicos, un cuadro resumen sobre sus límites operacionales y una estimación de la inversión y costes de la instalación y explotación.

TITULO : "WOOD GASIFICATION AN OLD TECHNOLOGY WITH A FUTURE"

AUTOR : Ralph OVEREND

FECHA : OCTUBRE DE 1977

CONTENIDO: Se explica en primer lugar la teoría del funcionamiento de un gasificador.

En una unidad de lecho fijo y tiro ascendente se establece una doble corriente de sentido contrario entre la materia prima y el aire inyectado. Mientras la materia prima descendente atraviesa las zonas de desecación, pirólisis y oxidación, el aire ascendente pasa por las de oxidación, pirólisis y desecación.

Las reacciones que se producen en cada una de ellas son las siguientes:

. Zona de desecación (100 - 200°C)

Compuestos leñosos + Calor → Compuestos leñosos secos + Vapor.

. Zona de pirólisis (200 - 500°C)

Compuestos leñosos secos + Calor → Carbón + CO + CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O + CH<sub>4</sub> + C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> + Acido piroleñoso + Alquitranes.

. Zona de oxidación (1.100 - 1.500°C)

Carbón + O<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O (Vapor o añadido o en el seno del combustible) → CO + H<sub>2</sub> + CO<sub>2</sub> + Calor.

Las dos primeras reacciones se originan por el calor que se desprende en la zona de oxidación. Los fenómenos termoquímicos que tienen lugar durante la gasificación se pueden resumir como sigue.

Reacción	Características termoquímicas a 500°C (H <sub>2</sub> /KJ/mol)
1) $C + O_2 \rightleftharpoons CO_2$	- 394 Exotérmica
2) $C + CO_2 \rightleftharpoons 2CO$	+ 172 Endotérmica
3) $H_2O + CO \rightleftharpoons CO_2 + H_2$	+ 2,85 Endotérmica
4) $H_2O + C \rightleftharpoons CO + H_2$	+ 175 Endotérmica

Por consiguiente la reacción 1) es la única fuente de calor que aporta el proceso. Este hecho explica el rendimiento de la gasificación que no supera por regla general el 70% (sobre la base de gas frío), al necesitarse una parte de la materia prima que entra para mantener las altas temperaturas de la zona de pirólisis.

A continuación se analizan brevemente y de forma genérica varios tipos de gasificadores: de tiro ascendente, descendente y transversal.

Finalmente se exponen sus características de funcionamiento llegándose a la conclusión de que los retos tecnológicos actuales son los siguientes:

- Funcionamiento automático.
- Rendimientos más elevados
- Menores costes de capital

- Dispositivo de carga.
- Disponibilidad de motores baratos, que utilicen dos tipos de combustibles para grupos electrógenos.

TITULO : "GASIFICATION AN OVERVIEW"

AUTOR : RALPH OVEREND

FECHA : AÑO 1979

CONTENIDO: La gasificación es un proceso que transforma a un combustible sólido en gases combustibles de fácil manipulación. Los gases más corrientes que se obtienen en la gasificación de los compuestos leñosos son los siguientes:

	<u>Poder calorífico superior (Kcal/Nm<sup>3</sup>)</u>
Nitrógeno N <sub>2</sub> (no combustible)	--
Dióxido de carbono CO <sub>2</sub> (no combustible)	--
Vapor de agua H <sub>2</sub> O (no combustible)	--
Monóxido de carbono CO	2.898
Hidrógeno H <sub>2</sub>	2.925
Metano CH <sub>4</sub>	9.126
Etano C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	16.137
Etileno C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	14.670

A la gasificación la pueden acompañar otros procesos productores de líquidos y carbón.

La pirólisis es un proceso térmico que tiene lugar en ausencia de oxígeno, obteniéndose gas, aceites y carbón a partir de cualquier compuesto sólido que se trate.

Cuando se calientan las sustancias leñosas en ausencia de



oxígeno, se desencadenan una serie de reacciones cuya magnitud relativa dependerá de la velocidad del calentamiento. En el caso de que se efectue lentamente, tendrán lugar los siguientes hechos:

- 1) A los 100°C habrá una pérdida de agua
- 2) Entre 100 y 250°C se desprenderán principalmente dióxido de carbono y agua.
- 3) Entre 250 y 500°C se producirá una rápida desvolatilización y formación de alquitranes.
- 4) Al final quedará un residuo sólido compuesto fundamentalmente por carbono.

Los compuestos leñosos se componen de las tres sustancias polímeras siguientes: lignina, hemicelulosa y celulosa. Cada una de ellas tiene una estructura química diferente según las distintas funciones que desempeñen en las plantas. Estas diferencias estructurales darán lugar a distintos productos de pirólisis.

La lignina está formada por largas series de cadenas aromáticas unidas por anillos furano o eslabones de tipo etéreo. Cuando se calienta se rompen los enlaces etéreos C-O relativamente débiles, produciéndose fragmentos aromáticos tales como la vainillina, el siringaldehído, fenoles y cresoles.

La hemicelulosa se descompone fácilmente y la nueva descomposición de los monómeros pentosanos tales como la xilosa origina compuestos como el furfural, furano, ácido acético y aldehídos.

La pirólisis de la celulosa se ha estudiado exhaustivamente, observándose que los polímeros de unidades de glucosano se descomponen por hidrólisis y deshidratación dando lugar a altos rendimientos de levoglucosano. Este compuesto es estable a

210°C, pero alrededor de los 270°C experimenta una descomposición con formación de agua, ácidos fórmico, acético y fenoles. La compleja rotura de los enlaces y los procesos de reordenación que sufren los componentes polímeros de la madera durante la pirólisis conduce no sólo a una caótica profusión de productos con más de 230, sino a unas proporciones relativas de los mismos que son función del grado y velocidad del calentamiento. Así por ejemplo, si los compuestos leñosos se trituran muy finamente y se calientan con gran rapidez, originan una mayor cantidad de gases en relación con el carbón y el aceite. Por el contrario, el calentamiento lento de grandes trozos de madera maximiza la producción de carbón a expensas de las de aceite y gas.

A continuación se describen brevemente los gasificadores de tiro ascendente, descendente, de lecho fluido, y de flujo transversal.

Finalmente, se analizan los requisitos constructivos y auxiliares de estos gasificadores, su coste, funcionamiento y control, así como sus aplicaciones, tanto en el caso de que se utilice directamente el gas como en aquel otro de que se tenga que depurar.

También se incluye un Apéndice en el que se calcula el coste de cualquier sistema productor de energía durante el ciclo de su vida.

TITULO : "CANADIAN PYROLYSIS/GASIFICATION EXPERIENCE"

AUTOR : R.G. GRAHAM

FECHA : JUNIO DE 1982

CONTENIDO: Se da un repaso a las actividades de pirólisis y gasificación de la madera que actualmente se están llevando a cabo en Canadá. Estas actividades se dividen en tres categorías siguientes:

- . Investigación fundamental (a nivel de laboratorio y planta piloto).
- . Desarrollo del proceso (unidad de ingeniería de tipo continuo)
- . Demostración Comercial (unidad de prototipo comercial)

La mayor parte de la primera categoría se basa en el programa patrocinado por el Gobierno canadiense a través del ENFOR (Energy from the Forest), siendo administrado y dirigido por los Servicios Forestales del Medio Ambiente, con un presupuesto anual de cinco millones de dólares. El programa abarca la valoración de los recursos de la biomasa, el estudio del impacto medio ambiental, las tecnologías de recolección y transformación, algunos aspectos básicos tales como la cinética y catálisis, y los estudios de la manipulación de la materia prima y transferencia de tecnología (pretratamiento, transporte y almacenamiento).

En la Universidad de Waterloo se está investigando una pirólisis instantánea en un reactor de lecho fluido de tipo continuo. El principal objetivo es maximizar la producción de acei

te mediante cortos tiempos de residencia del vapor (0,4 a 1s), altas velocidades de calentamiento y temperaturas moderadas (450 - 650°C). Se ha desarrollado un alimentador de materiales leñosos que podría alimentar constantemente a una velocidad entre 5 y 100 g/h, para un tamaño máximo de partículas de 600 µm. Sus condiciones óptimas de funcionamiento son las siguientes:

Temperatura del reactor	:	500°C	
Velocidad de alimentación	:	10-20 g/h	
Tiempo de residencia del vapor	:	0,44 s	
Rendimientos de productos	:	Alquitrán (aceite)	62 %
		Líquidos orgánicos	4 %
		Agua	10 %
		Carbón vegetal	14 %
		Gas	11 %

El trabajo finalizó satisfactoriamente a mitad de 1981, habiéndose iniciado el diseño y construcción de una mayor unidad que trate 1-3 kg/h.

En la Universidad de Sherbrooke se obtuvo un aceite no viscoso en una unidad de pirólisis al vacío. Se trataron muestras de madera (de 40 g cada una) de forma discontinua a una temperatura de 375-540°C, a una presión al vacío de 1-20 Kpa y velocidad de calentamiento de unos 10°C/minuto. El funcionamiento al vacío sirve para arrastrar rápidamente de la zona de reacción los principales aceites ligeros antes de que se produzca la coquización y polimerización secundaria. Sus óptimas condiciones de funcionamiento son las siguientes:

Temperatura del reactor	:	375°C	
Presión al vacío	:	1,3 Kpa	
Tiempo de residencia del vapor	:	1 s	
Rendimientos de productos	:	Aceite	48 %

: Líquidos de pirólisis	23 %
Carbón vegetal	18 %
Gas	11 %

En la Universidad de Ontario se ha desarrollado un proceso instantáneo de "ultrapirólisis", como respuesta al trabajo que ha demostrado la necesidad de reducidos tiempos de residencia, altas temperaturas y rápida finalización de la reacción para evitar la degradación de los productos de pirólisis primarios en aceite y coque. El principal objetivo de este trabajo es maximizar las olefinas, hidrocarburos ligeros y otros gases estables entre los primeros productos de la pirólisis primaria.

Las altas velocidades de transmisión de calor y las temperaturas del reactor se consiguen mediante un precalentamiento de partículas sólidas que actúan como transportadores de calor, siendo conducidas a un reactor vertical turbulento (VORTACTOR) en donde las partículas de madera se mezclan violentamente con los sólidos calientes. La mezcla de sólidos calientes/gas se enfría rápidamente con sólidos fríos en un segundo reactor vertical. Los principales parámetros de diseño son los siguientes:

Temperatura de precalentamiento de sólidos	: 1.100°C
Temperatura del reactor	: 1.000°C
Tiempo de la mezcla sólidos/compuestos leñosos	: 20 ms
Tiempo de residencia en reactor	: 50-200 ms
Tiempo de enfriamiento	: 20 ms
Velocidad de calentamiento	: $10^4$ °C/s

Dentro del segundo tipo de actividades destacan las siguientes compañías:

- B.C. Research, con más de 30 años de experiencia en la gasificación de la madera en lecho fluido. Utiliza un

lecho de carbón vegetal, cenizas y partículas de madera sin reaccionar en vez de arena inerte. Por consiguiente, el lecho se gasifica continuamente por sí mismo, siendo sustituido por cenizas residuales y madera recientemente carbonizada. Las astillas tienen que poseer un tamaño en cualquier dimensión inferior a 80 mm, con un contenido de humedad por debajo del 55% (sobre base húmeda). El programa de investigación se diseñó para maximizar las producciones de gas combustible o carbón vegetal/producto gaseoso, minimizándose la de los subproductos líquidos.

- . Forintek Canada Corp, que diseñó en 1979 un gasificador de lecho fluido para 7 Kg de materia seca leñosa/h. El diámetro interior del reactor es de 0,15 m, siendo la temperatura del lecho de 750°C. Los principales problemas se presentaron en el diseño del sistema de alimentación y de la pendiente, verificándose actualmente las modificaciones oportunas.
- . INCO Metals, fue fundada por ENFOR para demostrar la viabilidad de la gasificación de la madera en un lecho fluido y presencia de oxígeno, con el subsiguiente diseño de una planta prototipo de 100 t/día.
- . Inproheat Industries Ltd., realizó diez ensayos de 48 horas de duración en un reactor de lecho fijo y tiro descendente con la intención de disponer de datos útiles a la hora de diseñar gasificadores comerciales. La velocidad de alimentación fue de 107 kg. de materiales leñosos/h con la obtención de un gas equivalente a 1,48 GJ/h. El reactor posee un diámetro interior de 0,46 m, admitiendo mezclas de astillas/serrín con un contenido medio de humedad del 30% (valor máximo:50%). Las temperaturas que se alcanzaron en las zonas de oxidación y reducción, fueron del orden de los 1.000°C.

Los sistemas de Demostración Comercial se han subdividido en

dos amplios grupos: Los ensayados por los Diseñadores/Fabricantes y los que se han experimentado por las Agencias independientes.

Entre los primeros destacan los siguientes:

- El sistema "Thermex" de la Compañía Alberta Industrial Developments Ltd. Se trata de un gasificador de leño fluido que no emplea arena inerte. Funcionando a temperaturas comprendidas entre 300 y 950°C, se puede optimizar la producción de carbón vegetal o la de gas combustible.

La primera planta a escala comercial se instaló en Edmonton, en un aserradero. Posteriormente se desmanteló y envió el reactor de 2,1 m de diámetro interior a Wisconsin donde estuvo funcionando entre 1976 y 1979 durante más de 6.000 horas. Esta nueva instalación se diseñó para tratar 2.700 Kg de madera/h., con un contenido de humedad alrededor del 30% y un tamaño de partícula no superior a 50 mm.

En agosto de 1980 se montó para una Compañía de Williams ton (North Carolina) este sistema, con una capacidad de tratamiento de 2.680 Kg de materia seca leñosa/h. En el reactor, de 2 m de diámetro interior, se produce un gas de bajo poder calorífico que se emplea para secar turba, y carbón vegetal que se emplea para fabricar briquetas. El contenido medio de humedad de la materia prima después de pasar por un secadero rotatorio oscila alrededor del 20%.

Alberta Industrial está planeando montar una unidad cerca de Nanaimo (B.C.) para tratar materiales leñosos (troncos) previo paso por un secadero instantáneo, con el fin de reducir su humedad desde un 62 a un 30%. Su capacidad de tratamiento se estima en unos 3.740 Kg de materia

leñosa/h. El gas se piensa emplear en una caldera de combustible sólido (astillas) para operaciones de secado.

- La Compañía Omnifuel Gasification Systems Ltd. ha construido el gasificador comercial de lecho fluido que más éxito ha tenido en Canadá. Su diseño se basó en la planta piloto CIL/ECO que estuvo funcionando en Kingston (Ontario) entre 1976 y 1980. La primera planta comercial se construyó en Hearst (Ontario) para Levesque Plywood Company y empezó a funcionar en abril de 1981. Sus principales características son las siguientes:

. Capacidad de tratamiento de <u>materia</u>	
les leñosos con un 27% de humedad ....	5.900 Kg/h
. Producción de gas caliente .....	72 GJ/h
. Producción de gas frío y seco .....	63 GJ/h

Los máximos contenidos de humedad y tamaño que se exigen a la materia prima son el 50% y 50 mm, respectivamente. El reactor, con un diámetro interior de 3 m, utiliza arena silícea como medio fluidificante, funcionando a una temperatura próxima a 760°C. Se obtiene un gas con un poder calorífico medio de 1.225 Kcal/Nm<sup>3</sup>.

Actualmente esta Compañía está negociando el diseño de dos gasificadores de lecho fluido que utilicen oxígeno. Uno de ellos funcionaría a elevada presión y produciría un gas apropiado para la síntesis del metanol.

- El Sistema "Westwood Polygas" instalado en Ainsworth Lumber Company. Es una unidad de lecho fijo y tiro ascendente que consta de dos reactores idénticos. Cada uno de ellos tiene 3 m de diámetro interior, habiéndose diseñado para el tratamiento de 2,13 t de materia prima leñosa/h. La instalación presentó numerosos problemas de fun



cionamiento entre 1977 y 1979, habiéndose resuelto la mayoría de ellos en 1980. En este año se efectuaron con éxito dos ensayos. Durante los mismos estuvieron funcionando los reactores por espacio de 73 días, permitiendo el funcionamiento continuo de los hornos de secado de la fábrica. La materia prima con un contenido de humedad entre el 25 y el 50% se astilló a menos de 100 mm. El gas se produjo a una velocidad equivalente a 12-17 GJ/h, con un poder calorífico de 1.400 Kcal/Nm<sup>3</sup>

- El sistema "Pyrosol" diseñado por la Compañía Pyrolysis Services Ltd. Es uno de los pocos procesos de pirólisis de calentamiento indirecto que está funcionando a nivel comercial. Actualmente se está ensayando en Letbridge (Alberta). Posee una capacidad nominal de tratamiento de 100 t de materias primas leñosas con un 35% de humedad/día. En función de los datos obtenidos en una planta piloto de California, se estima que se requiere el 23 por ciento de la energía producida para mantener la temperatura del reactor y evaporar la humedad de la materia prima. Por consiguiente se puede esperar una producción de energía equivalente a 42 GJ/h, distribuida de la siguiente forma:

Gas	:	47 %
Aceite	:	5 %
Carbón vegetal:		48 %

El calor que requiere el proceso se suministraba hasta ahora por medio de gas natural que se quemaba en los tubos de un radiador situado dentro del reactor. Este dispositivo se ha modificado para quemar el gas obtenido en dichos tubos.

- El sistema "Hudson Bay", construido en 1978 por Saskatchewan Power Corporation, al basarse en el diseño de B.C

Research. Su capacidad de tratamiento es de 290 Kg de materia seca leñosa/h. obteniéndose una energía en forma de gas equivalente a 4,3 GJ/h. Aunque inicialmente se diseñó como un lecho fluido, el reactor, de 1,2 m de diametro interior, funcionó como si se tratara de un lecho semifluido, según se comprobó por el registro no uniforme de temperaturas. En la zona de oxidación alcanzan valores superiores a los 1.000°C. Durante el curso de los ensayos se utilizaron astillas y fragmentos leñosos con contenidos de humedad comprendidos entre el 11 y el 60% y tamaño no superior a 50 mm. El gas obtenido con un poder calorífico de 1.350 Kcal/Nm<sup>3</sup> se utilizó como combustible de motores Deutz acoplados a un generador Brown Boveri de 150 Kw.

Entre los sistemas experimentados por las Agencias independientes destacan los siguientes:

- Levesque Plywood Company (Hearst, Ontario) y Peat Fuels Inc (Williamston, North Carolina) han comprado y ensayado los sistemas Omnifuel y Thermex, respectivamente.
- Forintek Canada Corp (Ottawa) compró un gasificador de Biomass Corp (California) con una capacidad de tratamiento de 70 Kg. de materia seca leñosa/h y una producción energética en forma de gas equivalente a 1 GJ/h. Se trata de una unidad de lecho fijo y tiro descendente que se empleó inicialmente en un proyecto de investigación para estudiar la influencia de los siguientes parámetros:
  - . clasificación botánica de las especies leñosas.
  - . contenido de humedad de los productos leñosos.
  - . tamaño y configuración de los productos leñosos.
  - . tiempo de permanencia de los sólidos,

sobre la producción, cantidad y calidad del gas.

En función de distintas condiciones de funcionamiento y diversas características de la materia prima se obtuvo un gas de un poder calorífico comprendido entre 1.250 y 1.850 Kcal/Nm<sup>3</sup>. El contenido de humedad de los materiales leñosos osciló entre un 5 y un 35% y su tamaño varió entre el típico de las mezclas serrín/astillas y el máximo de 50 mm. Actualmente se está utilizando el gasificador junto con un rectificador de alquitranes para optimizar la reducción de los alquitranes condensables en el gas producido.

- Island Energy Corp y ADI (ambas compañías ubicadas en Charlottetown) han ensayado y controlado el funcionamiento de dos gasificadores, respectivamente.

El primero, un sistema Forest Fuels es una unidad de tiro transversal que se diseñó para tratar 107 Kg de materiales leñosos/h. Sin embargo su funcionamiento actual ha puesto de manifiesto una capacidad máxima de tratamiento de 56 Kg/h, con la obtención de una energía en forma de gas equivalente a 0,8 GJ/h. Las astillas que se emplearon en los ensayos fueron bastante uniformes de tamaño (13 mm) con un contenido de humedad, antes del período de secado, entre un 37 y un 58%. Después de su paso por el secadero, dicho contenido osciló entre un 13 y un 47%. El gas obtenido con un poder calorífico comprendido entre 260 y 930 Kcal/Nm<sup>3</sup> se utilizó directamente en una caldera Volcano de baja presión y 60 HP. El sistema ha visto reducido su experiencia de funcionamiento como consecuencia de la baja demanda estacional, por problemas de manipulación y secado, y por una excesiva relación aire/materia leñosa. Esta alta relación ha dado lugar en el interior del reactor a una combustión en lugar de una gasificación, debido probablemente a una combinación de una baja velocidad de alimentación de materia prima y un fácil acceso a la zona de reacción, a través de unas

lumberas abiertas, de aire del exterior.

El segundo gasificador, un sistema Duvant es una unidad de lecho fijo y tiro descendente. Posee una capacidad de tratamiento de 380 kg de materia seca leñosa/h, con una producción de energía en forma de gas equivalente a 5,3 GJ/h. Según el contenido de humedad de la materia prima el poder calorífico del gas obtenido varió entre 885 y 1.430 Kcal/Nm<sup>3</sup>, pensándose utilizar en una caldera Volcano de 150 Hp. El tamaño de los productos leñosos no superó los 75 mm con una proporción de serrín inferior al 20%.

- Manitoba Research Council adquirió una unidad Mellenger Gasodyne que nunca funcionó satisfactoriamente. Posee una capacidad nominal de tratamiento de 9,7 GJ/h de materiales leñosos, con una producción de energía en forma de gas equivalente a 6,3 GJ/h, que se piensa utilizar en un generador eléctrico-diesel Blackstone de 250 Kw. Según un informe técnico del ENFOR, Manitoba Research terminó prematuramente por las siguientes razones:

- . Insuficiente información sobre el montaje del sistema.
- . No haber realizado importantes modificaciones en la realimentación tal como lo exige un buen funcionamiento.

- Saskatchewan Power Corporation adquirió una unidad móvil Imbert que fue ensayada en el Laboratorio SPC de Regina. Se trata de un gasificador de lecho fijo y tiro descendente, con una capacidad de alimentación de 56 Kg de materia seca leñosa/h y una producción de energía en forma de gas equivalente a 0,8 GJ/h. La materia prima que se empleó en los ensayos fueron astillas de 40 mm, con un contenido medio de humedad del 15%.

El segundo sistema Imbert fue adquirido por Snowshoe Industries of Fort Providence. La unidad se acopló a un motor diesel francés MWM de 12 cilindros/generador de 120 Kw. Del mismo no se tiene todavía mucha información.

TITULO : "AN EVALUATION OF WOOD WASTE ENERGY CONVERSION SYSTEMS"

AUTORES : B.H. LEVELTON AND ASSOCIATES LTD.

FECHA : MARZO DE 1978

CONTENIDO: Para evaluar el potencial de los residuos leñosos de British Columbia desde el punto de vista energético, se ha constituido "The British Columbia Wood Waste Energy Co-Ordinating Committee". Para una parte de su programa, este Comité ha encargado un estudio relativo a las tecnologías de que se dispone para recuperar la energía de los residuos leñosos, así como una evaluación de las ventajas e inconvenientes de los diversos sistemas existentes en el mercado.

En este informe se comentan y exponen los tres puntos siguientes:

- . La posible aplicación en la industria forestal de los residuos leñosos, sustituyendo a los combustibles fósiles tradicionales.
- . La identificación y valoración de las ventajas de las distintas clases de sistemas disponibles para la transformación energética de la madera.
- . La identificación y evaluación específica de los sistemas que existen a nivel de planta piloto y comercial para la transformación energética de los compuestos leñosos, con especial dedicación a las posibles aplicaciones finales de cada uno de ellos.

Abarca únicamente la utilización de los residuos leñosos disponibles en sustitución de los combustibles fósiles que se utilizan en la industria forestal. Por el contrario no se ana

lizan las cantidades y ubicaciones de los residuos leñosos, ni tampoco los métodos de recolección y manipulación, tal como la tala de los árboles y el corte de la madera sobresazonada. No obstante, es evidente que cualquier sistema o proceso que pueda usar los residuos de los aserraderos también podrá utilizar casi con toda seguridad otros residuos leñosos.

En el primer capítulo, Resumen y Recomendaciones, se abordan los temas siguientes:

- . Tecnologías experimentadas de los equipos y sistemas de demostración.
- . Aplicaciones dentro de la industria forestal en donde los residuos leñosos puedan sustituir a los combustibles fósiles.
- . Selección de los equipos y sistemas en cada caso concreto, teniendo en cuenta algunos factores tales como el problema de eliminación de los residuos, la calidad del combustible a obtener, la manipulación de la materia prima, las necesidades energéticas de la planta y la mano de obra que se requiera.
- . Dimensionamiento idóneo de las instalaciones.
- . Recursos y limitaciones de cada uno de los sistemas, tales como su estado de desarrollo, emisión de partículas y gases, automatización, contenido de humedad y tamaño de las materias primas, tamaño de las unidades, costes, forma de energía que producen y necesidades de combustibles auxiliares.

En el segundo capítulo, Lugares dentro de la industria forestal en donde se pueden reemplazar los combustibles fósiles, se analizan:

- . Los hornos de secar madera, comentándose:
  - . ¿Cómo se seca la madera en su interior?

- . Los tipos de hornos que se utilizan.
  - . Las necesidades caloríficas requeridas.
  - . La relación producción máxima/producción mínima.
  - . Las consecuencias de sustituir en ellos los combustibles fósiles por residuos leñosos.
  - . Su potencial de energía disponible.
- . Los secaderos de chapas, comentándose:
- . Su construcción y funcionamiento.
  - . Su consumo energético.
  - . La calidad de los gases de combustión requeridos.
  - . Su potencial de energía disponible.
- . Las cubas o tinas de acondicionamiento de troncos, comentándose:
- . Su funcionamiento.
  - . Cantidad de energía que utilizan.
  - . Necesidades caloríficas.
- . Los hornos de cal, comentándose:
- . Sus necesidades energéticas.
  - . Las temperaturas requeridas para la calcinación.
  - . La viabilidad de utilizar materiales leñosos para su encendido.
  - . Una serie de consideraciones como consecuencia de encenderlos con productos leñosos o con gas obtenido a partir de ellos.
- . La calefacción de los locales de la instalación
- . Las unidades motogeneradoras siguientes:
- . Generador eléctrico - motor diesel
  - . Generador eléctrico - turbina de gas



- . Los secaderos genéricos siguientes:
  - . De calentamiento directo.
  - . De calentamiento indirecto.
- . Las calderas, comentándose:
  - . Las posibles formas de sustituir en ellas los combustibles fósiles por productos leñosos.
  - . El potencial sustituible de combustibles fósiles.
- . Los fluidos que se utilizan en los procesos para calentar.
- . La industria de B.C., con la exposición de los dos casos siguientes:
  - . Aserradero que corta  $236 \text{ m}^3/\text{día}$
  - . Fábrica de madera contrachapada con una producción anual de 14 millones de  $\text{m}^2$  de  $3/8"$ .

En el tercer capítulo, Clases de Sistemas de que se dispone para recuperar la energía de los residuos leñosos, se analizan:

- . Los quemadores de suspensiones de partículas leñosas finas mezcladas con aire.
- . Las cámaras de combustión de lecho fluido.
- . Las cámaras de combustión múltiples.
- . Las cámaras de combustión únicas.
- . Las calderas enterizas o unitarias.
- . El proceso de gasificación.

- . El proceso de pirólisis.
- . La producción de alcohol a partir de los residuos leñosos.
- . La compresión de la madera.

En el cuarto capítulo, Criterios para la evaluación de los sistemas, se analizan:

- . El grado de desarrollo actual de la tecnología en sus etapas de funcionamiento, prototipo, piloto y experimental o de laboratorio.
- . La calidad de la materia prima que se requiere (tamaño, humedad, presencia de elementos extraños como metales pesados, etc.)
- . Las propiedades de la energía producida.
- . El rendimiento energético.
- . La contaminación del medio ambiente.
- . La flexibilidad de funcionamiento.
- . La conveniencia de aplicarlo en la Industria Forestal.
- . Los costes de los equipos básicos, de instalación y de los equipos auxiliares instalados.
- . Los costes de operación.
- . La vida de los equipos.

En el quinto y último capítulo, Valoración de los Siste-

mas, se examinan:

- . Los quemadores de suspensiones siguientes:
  - . Energex
  - . Waycot Systems Ltd.
  - . Coen Company
  - . Peabody Gordon-Piatt
  - . Guaranty Performance Co. Inc.
  
- . Las cámaras de combustión de lecho fluido siguientes:
  - . Energy Products of Idaho Inc.- Fluid Flame
  - . Incinergy Systems Ltd.
  - . Combustion Power Company Inc.
  - . Johnson Boiler Company Inc.
  - . Copeland Systems Inc.
  - . Dorr-Oliver Inc.
  
- . Las cámaras de combustión múltiples siguientes:
  - . Basic Enviromental Engineering, Inc.
  - . Consumat Systems, Inc.
  - . Lamb-Cargate Wet-Cell Burner
  - . Envirometrix Systems
  - . Anga and Värme A.B.
  - . Berg and Starck A.B.
  - . Konus-Kessel
  
- . Las cámaras de combustión única siguientes:
  - . Enertherm Inc.
  - . Olivine Corporation
  - . Lochhead-Haggerty Engineering and Manufacturing Co.Ltd.
  - . Irvington-Moore

. Las calderas unitarias siguientes:

- . Wellons Inc.
- . Ray Burner Company
- . Gebr Weiss Boiler Co.
- . Babcock and Wilcox Ltd.

. Los sistemas de gasificación siguientes:

- . Westwood Polygas Ltd.
- . B.C. Research
- . Mellenger Gasodyne
- . Forest Fuels Inc.
- . Andco-Torrax
- . Union Carbide-conversion of Solid Waste by gasification, Purox process.
- . Bio-Solar Research and Development Corp. (Woodex).
- . Canadian Industries Limited.
- . University of California at Davis
- . Eugene Water and Electric Board

. Los sistemas de pirólisis siguientes:

- . Tech Air Corporation
- . Alberta Industrial Developments Ltd.
- . Occidental Research
- . United States Bureau of Mines

. Los sistemas de compresión de los materiales leñosos siguientes:

- . Pres-to-log process, Lewiston Wood Briquetting Co. Inc.
- . Woodex process, Bio-Solar Research and Development Corporation.
- . Guaranty Performance Co. Inc.

Finalmente, se incluye un apéndice con los nombres y direcciones de los distintos fabricantes mencionados.

TITULO : LA EMBAJADA DE CANADA FACILITO UN ARTICULO SIN NOMBRE ESPECIFICO, AUTOR Y FECHA.

CONTENIDO: En Canadá existen tres tipos básicos de carbón vegetal:

- Fragmentos o pedazos relativamente grandes
- Gránulos
- Briquetas

La mayor parte de la producción corresponde al tercer tipo, al igual que ocurre con las importaciones procedentes de los Estados Unidos, que representan un poco menos del 30 % del consumo canadiense.

Se utiliza principalmente para barbacoas. Las briquetas son de pequeño tamaño y fáciles de encender, quemándose lentamente con una llama incandescente que da un distinto sabor a los alimentos.

Mediante una serie de tablas se exponen brevemente las importaciones, precios, exportaciones, producciones y consumo doméstico de este producto a lo largo del período 1966-1973.

En cuanto a sus canales de distribución, tres son las principales formas de venta al por menor:

- Supermercados y cadenas de alimentación,
- Grandes almacenes,
- Tiendas de ultramarinos y estaciones de servicio.

En los supermercados y cadenas de alimentación se producen un 60-65% de las ventas totales, en los grandes almacenes un 20%

y el resto en las tiendas de ultramarinos y estaciones de servicio.

En la mayoría de los casos las compras se efectúan a través de los mayoristas centrales, que por regla general tratan directamente con las empresas productoras o con los distribuidores. No obstante, en algunos casos tales como las tiendas de ultramarinos, las compras se hacen independientemente.

Los nuevos fabricantes eligen entre vender directamente a los minoristas o tratar con los distribuidores ya existentes.

Por norma general los minoristas efectúan sus pedidos con un año de anticipación y reciben la mercancía un par de meses antes de hacer la distribución a sus clientes. La mayor parte del comercio de este producto tiene lugar entre los meses de abril y septiembre. Las entregas empiezan aproximadamente en marzo, disminuyendo al principio de septiembre.

Finalmente se comentan las perspectivas del mercado. La creciente demanda que está experimentando el carbón vegetal en Canadá se espera que continúe en un futuro inmediato. Las oportunidades de que aumente la participación canadiense en este mercado se atribuyen a los tres hechos siguientes:

- . Abastecimiento de una gran parte del creciente mercado canadiense.
- . Reconquista de una parte del mercado de Canadá, abastecido actualmente por importaciones.
- . Expansión de los mercados de Estados Unidos y Europa.

TITULO : LA EMBAJADA DE CANADA FACILITO UN ARTICULO SIN NOMBRE ESPECIFICO, AUTOR Y FECHA.

CONTENIDO: Se pretende dar una información general respecto a lo que está ocurriendo en Quebec con el sector del carbón vegetal, en virtud de las reuniones mantenidas entre productores y unos pocos mayoristas. Los datos estadísticos que se desprenden de estas reuniones y de otras fuentes diversas, permiten ofrecer una panorámica global sobre la evolución de este mercado.

El carbón vegetal procede de la quema parcial de la madera, En Quebec, los fabricantes sólo queman madera dura, como es el caso de la de abedul, haya y arce, poniendo en los envases el rótulo "obtenido con el 100% de madera dura". Este carbón es de la máxima calidad al ser su densidad superior en un 20% con respecto al que se obtiene de la madera blanda. Su contenido en carbono oscila alrededor del 75%, caracterizándose especialmente por el distinto sabor que otorga a los alimentos.

La industria metalúrgica busca su pureza química y un poder calorífico superior de unas 7.400 Kcal/Kg, tanto para purificar metales como para mantenerlos en estado líquido durante la fundición. También se utiliza para otros usos tales como alimentos de las aves, tratamiento del suelo y calefacción de los ferrocarriles.

Según sus aplicaciones se vende con varias granulometrías: De 2,5 a 12,5 cm para barbacoas principalmente y de 1,25 a 3,75 cm para usos especiales. Las porciones inferiores a 1,25 cm se emplean para fabricar briquetas.



Como su nombre indica, la briqueta tiene la forma de un pequeño ladrillo redondeado de 3,75 cm de longitud. En Quebec se fabrican a partir de polvo de carbón vegetal. En las ladrilleras de fuera de Quebec se elaboran por mezcla de lignito con cenizas de madera carbonizada. Ni que decir tiene que en este caso su pureza química es inferior, no comunicando tan buen sabor a los alimentos. Otra propiedad importante de las briquetas es que su densidad y velocidad de combustión son dos y tres veces mayores que las del carbón vegetal, respectivamente. Los fabricantes sólo emplean procesos discontinuos para la quema de los fragmentos y leños de madera dura. Los hornos son de forma cúbica o cilíndrica con una capacidad entre 2½ y 11 cuerdas, bajo la supervisión de personal especializado que regula la entrada de aire (oxígeno) conforme evoluciona la combustión. Cada ciclo dura de 7 a 10 días, según el contenido de humedad de la materia prima y las dimensiones del horno, realizándose las operaciones siguientes: carga, encendido de la leña menuda, quema, enfriamiento y descarga del carbón vegetal en sacos o carretillas. La temperatura máxima que puede alcanzar un horno en la combustión se eleva a 450°C

El rendimiento de carbón vegetal es aproximadamente de 1 tonelada por cada 2 1/4 - 2 1/2 cuerdas de materia prima, es decir un 32% en peso sobre base seca.

A continuación se muele, criba y se transporta a una planta de envasado o de fabricación de briquetas. En ésta, todo él se reduce a polvo, mezclándose con agua y almidón para obtener una pasta. Esta pasta se comprime para formar briquetas que se secarán con una corriente de aire caliente, enviándose en bolsas de 2½, 5 y 10 Kg, como en el caso de los fragmentos de carbón vegetal.

En Quebec, esta novedad no ha tenido un gran impacto en la industria del carbón vegetal, que todavía se sigue desarrollando a pequeña escala.

Sin embargo, en Estados Unidos, probablemente como consecuencia de las economías de escala se ha desarrollado un proceso continuo para la obtención de briquetas (El horno de hogares múltiples Nichols Freeman) y otro discontinuo (El horno Missouri) para la fabricación de carbón vegetal y de briquetas. El horno Nichols quema los residuos finos y menudos, tales como el serrín y las virutas, al igual que el Missouri. Se caracteriza por necesitar poca mano de obra con la consiguiente mayor rentabilidad que los hornos convencionales.

Asimismo, se analiza la organización de esta industria igual que los puestos de trabajo y jornales que representa.

La materia prima constituye el coste principal. Así por ejemplo, por cada dólar que aumenta el precio de una cuerda se incrementará en 2,40 \$ la tonelada de carbón vegetal. Los fabricantes compran por regla general la materia prima a pié de planta a un precio comprendido entre 32 y 34 \$/cuerda. Actualmente no existe ningún problema de suministro ni tampoco parece que lo vaya a haber en un futuro próximo.

La situación es algo diferente entre los usuarios de recortes, pedacitos, etc. procedentes de las fábricas de muebles y entarimados. En la disponibilidad de este tipo de materia prima influye el descenso de producción que tiene lugar en esos sectores. En el futuro tendrán que mirar a una amplia gama de otras industrias tales como las fábricas de jergones y ataúdes y los aserraderos, para garantizar su suministro.

La quema de estos productos secos ofrece ciertas ventajas respecto a la de los troncos, tales como la reducción del tiempo de quema a la mitad, mayores rendimientos, costes más bajos de la materia prima alrededor de un 25% menos, y la quema del humo desprendido sin tener que realizar gastos adicionales para evitar la contaminación atmosférica.

El precio de la tonelada de carbón vegetal oscila alrededor de los 100-110 \$, y el de su polvo hacia los 80 \$.

La capacidad de producción depende de los tres factores siguientes: Suministro de materia prima, capacidad financiera y física para almacenar las existencias y motivos tradicionales. Los dos primeros factores se explican por sí solos mientras que el tercero surge como consecuencia del carácter estacional de esta industria. Su volumen se estima en 15.900 y 2.900 toneladas anuales para el carbón vegetal y las briquetas, respectivamente.

Finalmente se examina el mercado canadiense.

TITULO : LA EMBAJADA DE CANADA FACILITO UN ARTICULO SIN NOMBRE  
ESPECIFICO Y AUTOR.

FECHA : ENERO DE 1979

CONTENIDO: Se describe en primer lugar el mercado canadiense del carbón vegetal por lo que se refiere a volumen, fabricantes e importadores.

Se analiza el proceso que sigue la compañía norteamericana Husky Industries, con sede en Atlanta, para la fabricación de briquetas, destacándose las siguientes fases o etapas:

- Adquisición de materia prima.
- Carbonización.
- Molienda.
- Mezcla
- Prensado.
- Secado.
- Envasado.
- Carga.
- Transporte.
- Almacenamiento.
- Venta.

Por último se exponen las normas de fabricación, el procedimiento de efectuar los ensayos, las especificaciones del producto sobre base seca y el control de calidad.

TITULO: "SYNTHETIC FUEL: HOW AND WHY"

AUTOR: John Q. Duffy

AÑO: 1982

CONTENIDO: La gasificación es un fenómeno tan antiguo como el propio fuego. La madera por sí sola no se quema. Son los productos de la descomposición de las largas cadenas moleculares quienes dan a la madera su naturaleza inflamable. Este proceso de descomposición, denominado Pirólisis, se produce cuando se aplica calor a las fibras. Inicialmente, se elimina el agua, y a medida que la temperatura aumenta se desprenden diferentes gases, tales como el monóxido de carbono, hidrógeno, metano y etileno. La naturaleza de los gases emitidos depende de la velocidad o intensidad de la fuente calorífica que se aplique y de la eventual temperatura del fuego.

En una combustión normal se pretenden combinar los gases emitidos con el oxígeno, tan completamente como sea posible, para producir calor. En un gasificador, el objetivo es que se combinen los gases desprendidos en la pirólisis con tan poca cantidad de oxígeno como sea posible para el mantenimiento del proceso de descomposición. El carbono residual se combina con el oxígeno que se inyecta al sistema para obtener más monóxido de carbono. Los subsiguientes gases se pueden fácilmente almacenar o utilizar en el proceso.

Los gasificadores se clasifican en cuatro grupos básicos. En los de contracorriente, la biomasa penetra por la parte superior del reactor y el aire se inyecta por el fondo del mismo, saliendo los gases desprendidos por el extremo su-

perior de la cámara y las cenizas residuales por su parte inferior. En los de corriente única tanto la materia prima como el aire penetran por la parte superior de la cámara, mientras que el gas y las cenizas salen por el fondo de la misma. En los de corriente transversal la materia prima desciende a lo largo de un plano inclinado, el aire se inyecta lateralmente a través del flujo de biomasa, saliendo los gases producidos por una pared lateral de la cámara y las cenizas por su parte inferior.

El cuarto tipo, el de lecho fluido, se diseña con fines industriales, pudiendo dar lugar continuamente a una alta producción de gas. Esta es la tecnología que tendrá importancia mayor, habiéndose instalado la primera unidad en una fábrica de madera contrachapada en Hearst (Ontario). Se trata de un cilindro no presurizado de acero de 3 m de diámetro y 12 m de alto, revestido de un material refractario que desempeña la misma función que los ladrillos de un horno. En su fondo yace una gruesa capa de arena que se agita con violencia por medio de una corriente de aire, formándose burbujas.

El serrín y las astillas penetran dentro de la masa de arena hasta una velocidad de 5 t/h, por medio de un sistema de tornillo herméticamente cerrado para evitar las pérdidas de calor y de gases del reactor. El arranque inicial se efectúa merced a un quemador, que se para a continuación. A medida que el sistema se calienta la temperatura se eleva a 750-800 °C, con la consiguiente descomposición de la madera en los tres productos siguientes: carbón vegetal, gas y alquitran. El gas que consta de monóxido de carbono, hidrógeno, metano, dióxido de carbono, agua y nitrógeno, sale por la parte superior del reactor dejando sólo una pequeña cantidad de cenizas. Entonces se utiliza en el proceso o en un sistema motor/generador.

El principal problema que presenta este nuevo procedimiento es el efluente acuoso, que ha de tratarse antes de eliminarlo. Los alquitranes que se producen se queman normalmente con

el gas, aunque sí éste se enfria pueden obturar las conducciones. La solución es mantener caliente el gas, a unos 440° C , o condensar los alquitranes fuera del gas.

La gente que trabaja en el problema energético a nivel de investigación están muy convencidos del potencial a largo plazo de la gasificación.

TITULO: "DESCRIPTIVE INFORMATION ON THE TECH AIR PROCESS"

AUTOR: AMERICAN CARBONS, INC.

CONTENIDO: American Carbons, Inc. es una compañía que se instaló en Georgia para producir energías alternativas y compuestos químicos a partir de la biomasa residual, por aplicación del proceso de transformación termoquímica Tech-Air.

Para ello propuso en primer lugar la realización de un estudio de factibilidad del proceso en el que se utilizará como materia prima residuos procedentes de la recolección y astillado de los bosques, obteniéndose un crudo combustible, un gas y uno de los cuatro productos sólidos siguientes: Carbón vegetal con alto contenido en volátiles, carbón vegetal con bajo contenido en volátiles, carbón activado y cenizas. El objetivo del estudio es determinar cual de estos cuatro productos sólidos junto con el aceite y el gas será el mejor desde el punto de vista comercial, en el Condado de Lumpkin, zona donde existe la mayor concentración y abundancia de materia prima.

Se hace un breve resumen del proceso Tech-Air así como una descripción más detallada de los sistemas de producción de carbón activado y de finalización o acabado de dicho producto.

A continuación se analiza la viabilidad técnica de las cuatro opciones ya mencionadas:

- producción de carbón vegetal con alto contenido en volátiles,
- producción de carbón vegetal con bajo contenido en volátiles,



- producción de carbón activado,
- producción de "cenizas" (El residuo carbonoso sólido se gasifica hasta el punto de obtenerse unas "cenizas" que no contienen más del 5% de la energía de la materia prima seca).

La viabilidad económica de cada una de ellas dependerá de la disponibilidad a largo plazo de la materia prima a un precio razonable y de la comercialización y mercado de los productos químico/energéticos que se obtengan.

Se comentan brevemente las características y aplicaciones de estos productos.

- Carbón vegetal con alto contenido en volátiles (18-22 % en peso).

Se utiliza ampliamente en la fabricación de briquetas. No obstante, también se puede emplear como combustible sólido pulverizado. Debido a su bajo contenido en nitrógeno, las emisiones de  $\text{NO}_x$  son mucho más bajas que en el caso de los carbones minerales. Las emisiones de  $\text{NO}_x$  que se obtuvieron con una mezcla al 50-50 % de carbón vegetal-carbón mineral con alto contenido en volátiles de Pittsburgh, fueron la media de los valores que se alcanzaron para ambos combustibles por separado. Análogamente, las emisiones de  $\text{SO}_2$  son más bajas cuando se utiliza sólo carbón vegetal. Las emisiones de  $\text{SO}_2$  de la mezcla anterior fueron la media de los valores alcanzados para ambos combustibles por separado. Por esto, el carbón vegetal es un interesante y atractivo combustible sólido para mezclar con carbones minerales con alto contenido de azufre. Es un buen método de regular las emisiones de  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_x$ , no necesitándose más dispositivo de control que el que se requiere para las partícu -

las. También se han investigado las características de combustión de una mezcla 60-40 de carbón vegetal y aceite de destilación de la madera mezclado con fuel-oil número 6, para obtenerse una concentración en peso del 30 por ciento de carbón vegetal. Se pudo comprobar la excelente estabilidad de la llama así como el rendimiento de la combustión, similar a la del fuel-oil nº 6 y a la de una combinación de carbón mineral-aceite. Las emisiones de  $\text{NO}_x$  fueron muchísimo menores que en el caso de una mezcla carbón mineral-aceite, y las de  $\text{SO}_2$  un 50 % más bajas. El empleo del carbón vegetal o de una mezcla de carbón vegetal-aceite de destilación de la madera podría producir una importante disminución en el consumo del fuel-oil nº 6 (por lo menos un 25%), al mismo tiempo que permitiría el uso del fuel-oil con alto contenido de azufre. Sólo se necesitaría controlar las partículas para satisfacerse las disposiciones y regulaciones existentes en cuanto a emisiones.

El mercado de las briquetas de carbón vegetal en U.S. oscila alrededor de las 700.000 t anuales, existiendo diversos fabricantes en Alabama, Florida y Tennessee, quienes podrían pagar como precio FOB 125 \$/t de carbón vegetal del Condado de Lumpkin. En Atlanta, las briquetas de carbón vegetal al por menor se pagan a 300-400 dólares/tonelada, según la calidad.

En North Georgia diversas industrias de gran consumo energético han instalado o instalarán calderas de carbón mineral para sustituir a las de gas natural y fuel-oil. Ello representa un mercado potencial para el carbón vegetal al mezclarlo con carbones minerales con alto contenido de azufre. En este caso, se podría esperar para el carbón vegetal un precio similar al del carbón mineral con bajo contenido de azufre. No obstante,

es evidente que este mercado está en clara desventaja respecto a otros posibles mercados del carbón vegetal.

Existen también en la región numerosas calderas de vapor que utilizan fuel-oil. El empleo de carbón vegetal pulverizado en una mezcla carbón vegetal-fuel oil disminuiría hasta en un 25% en peso el consumo del fuel-oil nº 6. En esta aplicación se podría esperar para el carbón vegetal un precio semejante al del combustible que reemplaza.

- Carbón vegetal con bajo contenido en volátiles (5-7% en peso).

Se utiliza como materia prima en la industria química. Es una excelente sustancia para los procesos convencionales de producción de carbón activo. También se puede emplear como combustible sólido pulverizado. Se ha investigado su empleo en una mezcla 50-50 de carbón vegetal-carbón mineral con alto contenido en volátiles de Pittsburgh y en otra de carbón vegetal-aceite de destilación de la madera -y fuel-oil nº 6, con un contenido en peso de sólidos del 30%. Los resultados obtenidos fueron esencialmente los mismos que en el caso del carbón vegetal con alto contenido en volátiles.

El precio FOB para el carbón del Condado de Lumpkin oscila alrededor de 200 \$/tonelada.

El empleo de este carbón pulverizado en una mezcla de carbón vegetal-fuel oil tiene el mismo mercado potencial que en el caso del carbón vegetal con alto contenido en volátiles.

Se debe indicar que los equipos para producir carbón vegetal con alto o bajo contenido en volátiles, aceite y

gas, o sólo aceite y gas, serán bastante más baratos que los que se requieren para obtener carbón activo.

- Carbón activo

Existen muchas aplicaciones para los carbones activos que se pueden producir por el proceso de American Carbons, único, de buen rendimiento energético y de una sola fase. No obstante, el producto inicial será una mezcla de carbón-agua, polvorolienta. Este compuesto se emplea en los sistemas de tratamiento de aguas y aguas residuales para eliminar los contaminantes orgánicos causantes de olores, sabores, colores y otros efectos negativos. Un sistema físico-químico de tratamiento de las aguas residuales que utilice carbón vegetal pulverizado produce un efluente similar al que se origina en cualquier tratamiento biológico al que sigue un tratamiento terciario para la eliminación del fósforo. El carbón consumido o gastado, habiendo alcanzado el límite práctico de adsorción de contaminantes orgánicos, se descarga como una porción de los lodos de los sistemas de tratamiento de las aguas y aguas residuales. En el subsiguiente proceso de eliminación de lodos, el carbón sirve como un filtro que ayuda a la eliminación del agua, permitiendo que se obtengan sedimentos más secos. Es en la incineración de los lodos cuando se utiliza como combustible, en virtud de su poder calorífico superior (7.500 Kcal/Kg de carbón seco), reduciéndose el consumo de combustibles auxiliares. En otras aplicaciones es posible recuperar el carbón gastado, eliminando el agua y utilizarlo directamente como un combustible sólido con bajo contenido en cenizas y nulo porcentaje de azufre. Con ello también se consigue la incineración de los contaminantes orgánicos. Es por consiguiente posible y altamente deseable el hacer uso final del carbón activado como combustible que

sustituirá normalmente al fuel-oil y/o gas natural.

Mientras se investiga el aspecto energético de este producto sólido, se debería tener en cuenta que en las plantas convencionales de carbón activo, se consumen importantes cantidades de gas natural y/o fuel-oil en la activación del carbón vegetal. Este no es el caso del proceso de American Carbons.

En Estados Unidos la producción anual de carbón activo oscila entre 165.000 y 200.000 t. Con la fabricación de American Carbons se piensa incrementar dichos valores en un 2-3% aproximadamente.

- Aceite

El aceite que se obtiene en cada una de las cuatro opciones comentadas es esencialmente el mismo, variando más en cantidad que en calidad. En él se han identificado multitud de componentes, 200 ó incluso más. Los principales tipos de compuestos orgánicos son los fenólicos, polihidroxiolos neutros, los muy aromáticos neutros y los ácidos volátiles.

También se indican las características de combustión y propiedades más importantes del aceite obtenido a partir de una mezcla de serrín y corteza triturada de pino en la planta que Compañía Tech Air posee en Cordele.

TITULO: "AMERICAN CARBONS, INC.'S GAS RECIRCULATION PYROLYSIS  
PROCESS (GRPP)"

AUTOR: AMERICAN CARBONS, INC.

CONTENIDO: Durante una década o incluso más tiempo, la Compañía America Carbons ha estado trabajando en el tema de pirólisis. La última novedad, el proceso GRPP, requiere eliminar el aire de un reactor vertical, manteniéndose el elevado rendimiento térmico del mismo. Este proceso de recirculación del gas ofrece una particular ventaja por lo que a la producción de carbón vegetal para briquetas se refiere, la habilidad de conseguir continuamente un carbón con el contenido de volátiles prescrito, independientemente del tamaño de las partículas. Esto se consigue mediante el control de la máxima temperatura a la que se exponen las partículas y por el largo tiempo que permanece una partícula en un reactor vertical. Sus limitaciones residen en el hecho de que el carbono fijo no se puede gasificar. El carbón vegetal producido se puede procesar hasta que su contenido en volátiles sea casi nulo, aunque su producción no se puede nuevamente reducir. No obstante, se puede elegir y presentar el contenido de volátiles prescrito dentro de los límites establecidos por la relación de equilibrio temperatura-gas-sólido. La corriente de gas que se inyecta a la máxima temperatura determina el contenido de volátiles.

Además de la ventaja señalada, el proceso GRPP ofrece otras varias adicionales tales como:

- Poder funcionar con contenidos de humedad de la materia prima comprendidos entre un 0 y un 25%, aproximadamente.
- El aceite que se produce se expone a temperaturas más uni

formas y a un ambiente mucho menos oxidante, por lo que su potencial valor como producto químico aumenta.

- No hay necesidad de enfriar el gas mediante unos tubos por donde circule agua fría. Limitándose la temperatura de funcionamiento entre 426 y 760°C se pueden seleccionar materiales apropiados desde los puntos de vista térmico y químico.
- El poder calorífico del gas será mucho mayor que en el caso de que se inyectara aire.
- No hay gran diferencia en el rendimiento térmico total de este proceso y el de aquel otro en el que se inyecta aire.
- No se requieren paredes refractarias como sí ocurre en el caso de que se inyecte aire.
- El rendimiento en carbón vegetal es el máximo posible. Este proceso de recirculación del gas produce más del 19 por ciento de carbón vegetal si se le compara con aquel otro en que se inyecta aire, a partir de idéntica materia prima.

A continuación se discute la viabilidad técnica del proceso haciendo especial hincapié en los dos aspectos siguientes:

- Manipulación de la materia prima.

Se inicia en una tolva de recepción y termina en elevadores de cangilones que descargan en los reactores. Comprende una criba, una astilladora y un depósito dosificador.

- Transformación termoquímica.

Este proceso es el ideal para producir carbón para briquetas.

El aceite que se obtiene en el mismo es muy similar desde el punto de vista energético al que se produce en el sistema Tech Air con inyección de aire. Su poder calorífico oscila al rededor de las 6.300 Kcal/Kg de producto húmedo (con un 15% de contenido de humedad). En unas tablas se indican sus principales propiedades de combustión, comparándolas con las del fuel-oil nº 6 y gas natural (metano), así como otras características adicionales del aceite obtenido en la pirólisis de una mezcla de serrín y corteza de pino triturada al aplicar la tecnología Tech Air.

Finalmente se describen las principales propiedades de combustión del gas que se obtiene en el proceso a la temperatura de 94,5°C y 30,4 cm de columna de agua, con un poder calorífico de unas 836 Kcal/Nm<sup>3</sup>, aproximadamente. La tecnología GRPP permite eliminar por condensación gran cantidad del vapor de agua contenido en el gas, sin originar ningún importante problema en el tratamiento del agua residual. No obstante, sólo se elimina el agua que requiere el propio proceso.

En el mercado se disponen de quemadores comerciales para su quema. Así por ejemplo la Compañía Coen posee quemadores para gases de bajo poder energético, con valores comprendidos entre 240 y 3.600 Kcal/Nm<sup>3</sup>. Considera que este gas de 836 Kcal/Nm<sup>3</sup> es fácil de manejar, incluso a una presión de 20 cm de columna de agua cuando la combustión es forzada. La única preocupación que hay que tener con estos gases de bajo poder calorífico es la intensidad del encendido. Con los combustibles convencionales, como por ejemplo el gas natural y el fuel-oil, es corriente diseñar sistemas de combustión tales como las calde-



ras unitarias, para una intensidad de encendido de 890.000 Kcal/hora y  $m^3$  de volumen de horno, o incluso más. Mientras un quemador se puede suministrar para que dé esta intensidad con el gas del proceso, es probable que el contenido en monóxido de carbono de los gases de la combustión sea inaceptable desde el punto de vista del medio ambiente. Se considera buena práctica el limitar la intensidad de fuego o encendido a unas 450.000 Kcal./hora y  $m^3$  de volumen de horno. Existen dos modos de conseguirlo. Uno de ellos consiste en calentar un horno refractario de suficiente volumen en el momento de la descarga. El otro es un procedimiento más convencional. Utilizar un dispositivo de calentamiento directo en un horno de doble volumen, o en el caso de que se disponga ya del de mayor capacidad, emplear dos unidades.

TITULO: "FORMATION AND REACTIVITY OF CELLULOSIC CHARS"

AUTORES: F. SHAFIZADEH, A.G.W. BRADBURY AND W.F. DEGROOT

CONTENIDO: La carbonización de las moléculas de celulosa se produce como consecuencia de la deshidratación, descarboxilación y descarbonilación del substrato (a temperaturas por debajo de 300 °C) y de las unidades de azúcares (en el alquitrán, formadas a altas temperaturas). Estos procesos se catalizan por los ácidos de Lewis, dejando residuos carbonosos y fosfóricos, altamente reactivos. Entre los reactivos se incluyen los radicales libres, los no saturados, varios óxidos y el área superficial que se podría medir por métodos físico-químicos. La concentración y reactividad de estas funciones depende de la temperatura del tratamiento calorífico.

En primer lugar se analiza la formación del carbón. En la pirólisis de los compuestos celulósicos se produce una serie de reacciones consecutivas y concurrentes, respectivamente, sumamente complejas. Los estudios de laboratorio demuestran que sus mecanismos químicos y cinéticos son muy diferentes, originándose una amplia variedad de productos tales como gases, volátiles condensables, alquitran y carbón vegetal.

La pirólisis a temperaturas inferiores a 300 °C favorece la despolimerización (oxidación), descarbonilación, descarboxilación y deshidratación, quedando un residuo carbonoso, el carbón vegetal. A temperaturas por encima de 300°C se favorece la formación de alquitranes por despolimerización de las macromoléculas de azúcares. Nuevos calentamientos, especialmente a temperaturas de 500°C, dan lugar a reacciones de escisión, deshidratación y dismutación, con predominio de los compuestos volátiles, aunque también se produce carbón vegetal por condensación de los a

quitranes y productos volátiles. A continuación se examinan los profundos efectos que desempeña sobre la combustión latente la adición de compuestos inorgánicos, desde la intensificación hasta la inhibición. Para determinar los mecanismos de estas interacciones se han llevado a cabo numerosas investigaciones, particularmente en el sentido de ver la influencia que ejercen los distintos aditivos sobre la formación y propiedades del carbón vegetal.

TITULO: "PRODUCTION OF HIGH VALUE SOLID FUELS FROM CELLULOSIC  
FEED MATERIALS BY THE KOPPELMAN PROCESS"

AUTOR: ROBERT G. MURRAY

FECHA: MARZO DE 1979

CONTENIDO: Cuando los compuestos celulósicos húmedos se calientan en un autoclave a 500°C y 100 atm. de presión , se obtiene un producto sólido seco con un poder calorífico comprendido entre 6.700 y 7.800 Kcal/Kg. Este tratamiento es la base del Proceso Koppelman.

Este proceso somete a las materias primas carbonosas y celulosas a una temperatura elevada y alta presión en una atmósfera de gran contenido de humedad. En una reacción en serie, la materia prima se mantiene en un medio acuoso y se calienta hasta que se incremente la presión por encima de 113 Kg/cm<sup>2</sup>. En este momento, la presión permanece constante al dejarse escapar una fracción del gas y vapor generados.

Como resultado de este tratamiento se eliminan de la materia prima tanto el H<sub>2</sub>O como el CO<sub>2</sub>, quedándose un producto sólido con el poder energético ya indicado anteriormente.

En la siguiente tabla se da la composición y poder calorífico del producto sólido obtenido en el tratamiento de diversos compuestos celulósicos

	Corteza de Pino y Abeto	Algodón	Canadian sphagnum	Canadian sphagnum	Roble	Eucalipto
Contenido de humedad (%)	0,25	1,58	1,49	0,41	1,18	1,63
Análisis inicial (libre de humedad)						
Volátiles (%)	11,04	17,45	47,50	6,34	44,40	50,40
Carbono fijo(%)	84,09	62,00	50,40	89,30	50,60	46,50
Cenizas (%)	4,87	20,55	2,13	4,40	4,46	3,11
Análisis final (libre de humedad)						
C (%)	88,58	72,28	74,10	90,70	68,50	59,40
H (%)	2,71	2,62	5,69	3,35	5,00	4,47
S (%)	0,06	0,69	0,14	0,14	0,13	0,06
N (%)	1,36	1,20	0,88	0,83	0,44	0,27
O (%)	2,42	2,66	17,10	0,61	21,00	32,70
Poder calorífico (libre de humedad)						
Kcal/Kg	7.932	6.394	7.519	8.030	6.743	6.480

El porcentaje de volátiles se puede controlar alterando la máxima temperatura y el tiempo de retención en el proceso. El contenido de humedad se controla también fácilmente entre valores próximos a cero y cinco por ciento. El porcentaje de azufre es normalmente inferior al 0,2 por ciento.

Sus características físicas dependerán del método que se emplee para extraerlo del reactor.

Un combustible alcanzará el precio máximo posible cuando se diseñan sus propiedades físicas y químicas para un uso específico. Así por ejemplo, un producto sólido que se mezcle con un determinado carbón mineral para satisfacer las normas existentes en cuanto a la emisión de azufre, tendrá un valor mucho mayor que el que le corresponda por su poder energético.

Durante el tratamiento se producen como subproductos gas y una pequeña cantidad de alquitrán. La composición del gas varia con la materia prima y severidad del tratamiento. En la siguiente tabla se dan las características del gas obtenido en unos ensayos de laboratorio a partir de tres tipos distintos de materias primas.

	Corteza de Pino y Abeto (Porcentaje en moles sobre base seca)	Algodón	Eucalipto
Hidrogeno	5,87	10,3	0,85
Monóxido de carbono	7,55	3,7	8,03
Acido Sulfúrico	0	0	0
Dióxido de carbono	50,19	45,0	90,48
Metano	29,32	34,4	0,26
C <sub>2</sub>	4,65	4,1	0,08
C <sub>3</sub>	0,99	0,6	0,07
C <sub>4</sub>	1,38	0,8	0,21
Peso molecular medio	31,9	29,2	42,0
Poder calorífico superior (Kcal/m <sup>3</sup> )	4.486	4.762	356

También se hacen algunas consideraciones sobre el diseño de una planta comercial para el aprovechamiento energético de la biomasa. En ella deberían estar funcionando en paralelo varios reactores continuos, con un sistema común de alimentación de materia prima y dispositivos también comunes para la manipulación y enfriamiento del producto. Su capacidad dependerá del suministro de materia prima, estando comprendida probablemente entre 400.000 y 2.000.000 t/año. Se situará junto a una fábrica con el fin de que suministre su propio combustible y el vapor que requiera para el accionamiento mecánico.

En definitiva la biomasa como compuestos celulósicos residuales llegará a ser una importante fuente de suministro energético. El valor de los combustibles que se obtengan de las materias primas celulósicas, dependerá de su poder energético, de la conveniencia de utilizarlos y de su aptitud para no dar lugar a emisiones molestas e indeseables. El gran poder calorífico del producto sólido que se obtiene en el proceso de Koppelman permite transportarlo por barco a las áreas donde existen mejores mercados. El tamaño relativamente pequeño de la planta posibilita producirlo con los sobrantes o excedentes de materias primas. La acción combinada de buenos mercados, bajo coste de transporte del producto y reducidos gastos de producción permitirá una rápida amortización de los equipos.

TITULO: "TRANSPORTATION FUEL FROM BIOMASS BY DIRECT LIQUEFAC-  
TION AND HYDROTREATING"

AUTORES: DONALD H. WILHELM, ANTHONY Y KAM AND JEFFREY W. STA  
LLINGS

FECHA: ENERO 1981

CONTENIDO: En los últimos años ha aumentado considerablemen-  
te la atención prestada a la obtención de combus-  
tibles a partir de los recursos de biomasa renovable. Bajo  
el patrocinio del DOE (Departamento de la Energía de los Es-  
tados Unidos) se están investigando dos procesos de licuefac-  
ción directa para transformación de la biomasa en aceites pe-  
sados.

Estos procesos se denominan PERC y LBL, por estar in-  
vestigándose en el U.S. Bureau of Mines Pittsburgh Energy Re-  
search Center y en los Lawrence Berkeley Laboratories, res-  
pectivamente.

En este informe se valoran los aspectos técnicos y eco-  
nómicos de ambos procesos así como el mercado del producto  
que se obtiene.

En ellos los reactores están funcionando a la misma pre-  
sión y temperatura ( $210\text{Kg/cm}^2$  y  $330\text{-}360\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

En el PERC se requiere secar la materia prima leñosa,  
molerla muy finamente y mezclarla con aceite reciclado, agua  
y carbonato sódico (catalizador) con el fin de facilitar el



bombeo de la mezcla en el seno del reactor.

En el LBL las astillas frescas se reducen de tamaño al hidrolizarlas con ácido sulfúrico diluido, obteniéndose una mezcla con 25% de madera (sobre base seca), fácilmente bombeable. Este pretratamiento elimina las necesidades de molienda y los problemas de bombeo que se presentaron en el proceso PERC. También se suprime la corriente de aceite de reciclado, permitiendo reducciones de tamaño dentro del reactor, según el tiempo de permanencia relativa y los caudales volumétricos totales. Su principal desventaja es la pérdida calorífica unida al tratamiento adicional del agua y vapor producidos.

En la tabla siguiente se resumen los aspectos más interesantes de cada uno de ellos:

	PERC	LBL
Preparación de la materia prima	Secado y molienda para pasar por una malla de 35. Mezcla con aceite reciclado, carbonato sódico y agua.	Hidrólisis ácida de las astillas.
Licuefacción	Reciclado de la fracción aceitosa y posiblemente algún residuo sólido (carbón vegetal y carbonato sódico).	
Separación gas-líquido	Evaporación instantánea	Evaporación instantánea
Recuperación de producto	Destilación al vacío	Destilación al vacío.

No obstante, existen grandes dudas respecto al comportamiento y diseño de ambos procesos, por lo que cualquier análisis técnico-económico se debe tomar con muchas reservas y gran precaución.

Los aceites pesados que se producen en la licuefacción directa de la biomasa contienen importantes cantidades de oxígeno, siendo muy inestables y debiendo someterse a algún tratamiento para mejorar su mercado potencial. Por tal motivo se analiza tanto técnica como económicamente la hidrogenación del aceite crudo con el fin de facilitar su transporte como combustible.

Finalmente se comparan los resultados obtenidos con otros procesos competitivos, entre los que se incluye la licuefacción indirecta de la biomasa. Por la información que se dispone no parece que la licuefacción directa sea económicamente viable, debido a las siguientes causas principales:

- El crudo que se obtiene es un compuesto altamente oxigenado, de baja calidad y dudosa aplicación y mercado. Al utilizarlo como combustible de calderas se demostraría su carestía e ineficacia relativa al compararlo con la combustión directa de la madera. Tampoco es un buen sustituto del petróleo. Su alto contenido de oxígeno y su baja relación H/C indican que se requiere gran cantidad de hidrógeno para el hidrotratamiento.
- Los costes de hidrogenación del aceite son muy elevados.
- Aunque es posible una hidrogenación intermedia, que sería más barata, los productos que se obtienen también tendrán menos valor.
- Además, la vía alternativa a los combustibles líquidos -la gasificación y licuefacción indirecta- origina productos como el metanol y la gasolina por medio de tecnologías más sencillas, menos molestas, mejor

controlables y de más fácil predicción. En la licuefación indirecta la composición del aceite no depende tanto de la composición de la biomasa como en el caso de la licuefación directa.

Otros factores críticos que influyen a la hora de evaluar las tecnologías de transformación de la biomasa son la disponibilidad, suministro y coste de la materia prima en relación con la vida económica de los proyectos y las dimensiones de la planta.

TITULO: "HYDROCARBON LIQUIDS AND HEAVY OIL FROM BIOMASS: TECHNOLOGY AND ECONOMICS"

AUTOR: ANTHONY Y KAM

FECHA: ENERO DE 1980

CONTENIDO: La biomasa es un recurso renovable que puede desempeñar un importante papel a la hora de satisfacer las necesidades energéticas futuras de Estados Unidos. Desde el punto de vista tecnológico es factible transformar la biomasa en combustibles sintéticos de varias formas.

Con respecto a ésto, se están llevando a cabo actualmente numerosos proyectos de investigación.

La biomasa se puede transformar en combustibles líquidos por medios bioquímicos y termoquímicos. Dentro de los primeros es muy bien conocida y practicada comercialmente la fermentación de la biomasa para producir alcohol. Dentro de los segundos se está actualmente desarrollando la licuefacción, tanto directa como indirecta.

En este informe se analizan tanto desde el punto de vista técnico como económico seis procesos de producción de combustibles líquidos sintéticos a partir de los materiales leñosos (madera). Tres de ellos son de licuefacción directa (procesos PERC, LBL y Pirólisis), dando lugar a productos semejantes a los aceites pesados. Estos compuestos contienen importantes cantidades de sustancias oxigenadas, requiriéndose estudios adicionales sobre su estabilización y refino. Los otros

son de licuefacción indirecta, como la síntesis del metanol, la producción de gasolina vía metanol (proceso Mobile) y la de la gasolina a partir de olefinas (proceso Lake China). Estos procesos originan combustibles de mayor calidad que los de licuefacción directa, aunque también a costes bastante mayores.

Por lo que respecta al proceso de Pirólisis se puede obtener un aceite o crudo por descomposición térmica de los compuestos leñosos en una atmósfera pobre en oxígeno. Hoy en día se están desarrollando varias tecnologías avanzadas. Tal es el caso de la Tech-Air que esta siendo investigada por esta Compañía y la Estación Experimental de Ingeniería del Instituto Tecnológico de Georgia, de la de pirólisis de lecho fluido de la Compañía ERCO, y de la de pirólisis instantánea de la sociedad Occidental.

El proceso genérico es relativamente simple. Las astillas con menos de 5 cm como tamaño preferido se secan hasta que poseen un 7% en peso de contenido de humedad, penetrando por la parte superior del reactor a través de unas tolvas herméticas. El reactor es de lecho móvil y contracorriente, pues se establece una doble corriente de sentido contrario entre el gas y los sólidos (materia prima). Por su parte inferior se inyecta aire en suficiente cantidad con el fin de mantener bastante alta la temperatura del lecho, para la descomposición térmica de la madera mientras se consigue una atmósfera deficiente en oxígeno. Los gases calientes salen por la parte superior a unas 205°C y el carbón vegetal por la inferior por medio de una parrilla móvil a 425-535°C, aproximadamente.

El gas, a la salida del reactor, se enfría y purifica con el aceite de pirólisis reciclado. Un filtro de vacío separa los residuos sólidos del aceite, reciclándose el sedimento del filtro a través del reactor. Los gases ligeros incondensables se emplean como combustible para los servicios de la planta y el secadero.

Para una planta que trate 2.000 t de materia leñosa fresca al día, se estima una producción diaria de 240 t de aceite y 295 t de carbón vegetal. Desde el punto de vista energético, el 60% de la energía corresponde al carbón y el 40% al aceite. El rendimiento térmico total de la planta (aceite y carbón vegetal) se valora alrededor del 74%.

En la tabla siguiente se indican las propiedades del aceite y carbón que se obtienen a partir de la pirólisis de la madera.

	Carbón vegetal (% en peso)	Aceite (% en peso)
C	77,1	52,7
H	5,2	5,9
O	10,2	25,2
N	Trazas	Trazas
S	Trazas	Trazas
H <sub>2</sub> O	5,8	16,1
Cenizas	1,7	0,04
Peso específico	--	1,14
Poder calorífico superior (Kcal/Kg)	7.550	5.900

El aceite por su bajo contenido en azufre, nitrógeno y cenizas es apropiado para utilizarlo en calderas. No obstante, es también ácido, algo inestable y miscible con el agua. Se deben tomar ciertas precauciones a la hora de manipularlo y almacenarlo. En la tabla de la página siguiente se reflejan las inversiones que se estiman realizar en una planta de pirólisis con una capacidad de tratamiento de 2.000 t de astillas verdes al día (con un 50% de humedad).

	Inversión (x 10 <sup>6</sup> \$)
Manipulación y secado de la materia prima ...	6,4
Sección de Pirólisis .....	2,7
Recuperación de producto (obtención de aceite)	2,5
Servicios .....	6,1
Equipos Generales .....	2,8
	<hr/>
Total de Equipos de la planta .	20,5
Terrenos .....	0,3
Royalties .....	1,0
Intereses durante la construcción .....	1,6
Organización y puesta en marcha .....	1,1
Capital circulante .....	1,3
	<hr/>
TOTAL .....	25,8

Finalmente se llega a la conclusión de que los seis procesos de licuefacción de la biomasa mencionados y analizados, se pueden mejorar y optimizar con la consiguiente reducción significativa de los costes.

TITULO: "RECOVERY OF HYDROCARBON-LIKE COMPOUNDS AND SUGARS FROM EUPHORBIA LATHYRIS"

AUTORES: STEPHEN M. KOHAN AND DONALD J. WILHELM

FECHA: AGOSTO DE 1980

CONTENIDO: Este estudio presenta una evaluación técnica y económica sobre la recuperación de productos energéticos a partir de la Euphorbia Lathyris, una de las plantas que estan despertando mayor interés como posible fuente de obtención de hidrocarburos, particularmente hidrocarburos líquidos y cauchos naturales.

Se comenta la descripción y diseño del proceso, haciendo especial hincapié en los siguientes aspectos:

- Características de la materia prima.
- Consideraciones que se han tenido en cuenta a la hora del diseño del proceso.
- Balances de materia y energía de una futura planta con capacidad para tratar 900 t/día.
- Principales costes de funcionamiento de una planta de 900 t/día.
- Circunstancias adicionales que se han considerado en los tres casos analizados: básico, optimista y pesimista.
- Propiedades del producto obtenido.

También se analizan las inversiones, costes e ingresos de una planta de 900 t/día en los tres casos anteriormente mencionados.



Finalmente, se llega a la conclusión de que se deberían investigar los siguientes parámetros de diseño fundamentales:

- Rendimiento y velocidad de extracción del solvente en función de su propia naturaleza, tiempo de permanencia de los sólidos, tipo de equipo de extracción, relación solvente/sólidos y contenido de humedad y alcance de la reducción de tamaño de la Euphorbia.

- Condiciones de la extracción/recuperación de azúcares, según su composición y potencialidad de los subproductos.

- Velocidades de filtrado y contenido de humedad final de los residuos de la planta.

- Propiedades físicas y químicas de la colofonia con relación a cualquier nuevo proceso que se pueda requerir para la transformación en un producto final.

- Naturaleza y concentración de toxinas en la Euphorbia, residuos de la misma y productos de extracción, en relación con las consideraciones de seguridad, así como los posibles efectos de utilizar los azúcares.

Si se dispone de esta información básica, la tecnología e ingeniería del proceso convencional se podrá aplicar en el desarrollo y diseño de los procedimientos que se adopten para la recuperación de los productos de la Euphorbia.

TITULO: "PYROLYTIC OIL FROM TREE BARK: ITS PRODUCTION AND COMBUSTION PROPERTIES"

AUTORES: C.S. FINNEY AND J.G. SOTTER

CONTENIDO: Después de cuatro años de estudios a nivel de planta piloto, el proceso de pirólisis instantánea Garrett muestra un gran porvenir para la transformación de los residuos orgánicos en aceite.

Cualquier sólido orgánico como los residuos urbanos, cáscaras y cortezas de árboles, cascarillas de arroz, lodos de aguas residuales, neumáticos usados, etc., se puede someter a este proceso para la obtención de aceite o gas. La capacidad de producir energía a partir de ellos, a escala industrial, es muy grande. En Estados Unidos si se trataran mediante este procedimiento todos los residuos urbanos, agrícolas, cáscaras y cortezas de árboles, estiércol y neumáticos se obtendría la energía equivalente a 1.600 millones de barriles de aceite/año. Esta cifra representa el 27,6% del aceite que se utilizó en 1971 y 200 millones de barriles más que la cantidad de crudo que se importó durante ese año.

En la tabla siguiente se indica la energía que se obtendría al someter diversos tipos de residuos sólidos a este proceso.

MATERIA PRIMA	Producción anual (x 10 <sup>6</sup> t )	Producción de energía (Kcal/t )	Energía total disponible al año (Kcalx10 <sup>12</sup> )
Residuos sólidos urbanos con vidrios, metales y 25% de agua	260	1.612.800	419,3
Cáscaras y cortezas secas de árboles	50	4.158.000	207,9
Residuos animales secos	200	3.830.400	766,-
Neumáticos de caucho	2,5	8.366.400	20,9
Residuos agrícolas secos	400	2.822.400	1.129,-
TOTAL	912,5		2.543,1

Como se desprende de la misma, los residuos agrícolas y animales son mucha mayor fuente potencial de energía que los urbanos. Por supuesto que muchos de ellos están muy dispersados, en zonas aisladas y alejadas para su aprovechamiento energético.

Actualmente se está terminando el programa de investigación Garrett dotado con 440.000 \$ y en el que se está estudiando en un reactor de laboratorio de 2,25 Kg/h y en una planta piloto de 4t/día, la pirólisis del estiércol, cáscaras y cortezas de árboles, cascarillas de arroz y paja.

Se comentan los rendimientos y producciones del aceite obtenido. En general se trata de un fluido complejo, orgánico, viscoso, altamente oxigenado, con bajo contenido de azufre y un poder calorífico alrededor del 75% del que posee el fuel-oil (envolumen).

En la tabla siguiente se reflejan los productos obtenidos en la pirólisis de varios compuestos sólidos.

MATERIA PRIMA	Porcentajes en peso sobre materia prima seca			
	Aceite	Carbón vegetal	Gas	Agua
Corteza de abeto Douglas	35 - 50	50 - 25	5 - 15	10
Cascarilla de arroz ....	40	35	10	15
Paja .....	50	20	15	5
Estiércol de vaca .....	30	45	15	10

Finalmente se analiza la combustión de este aceite de pirólisis, llegándose a la conclusión de que es un combustible adecuado para calderas con un sistema de diseño apropiado para su manipulación y almacenamiento.

TITULO: "PEAT DEWATERING AND UPGRADING BY THE KOPPELMAN PROCESS"

AUTORES: RUSSELL C. PHILLIPS, ROBERT G. MURRAY AN EDWARD KOPPELMAN

FECHA: JULIO DE 1979

CONTENIDO: El proceso Koppelman, que seca y mejora las características de los combustibles de bajo poder energético, se ha aplicado a la turba procedente de diversas fuentes. En este artículo se describe una adaptación del mismo a la turba que se extrae hidráulicamente y se conduce como una suspensión a una planta donde se transforma en un combustible sólido de alta calidad, denominado K-Fuel. En este proceso las materias primas húmedas se calientan bajo presión para conseguir una parcial carbonización. Se eliminan el agua y el dióxido de carbono obteniéndose un producto con un poder calorífico superior entre 2.225 y 2.775 Kcal/Kg. mayor que el de la turba secada convencionalmente, como consecuencia de eliminar el oxígeno. Este producto K-Fuel tiene un poder calorífico de hasta 7.775 Kcal / Kg., según su contenido de cenizas y la severidad del tratamiento. Se puede emplear en un quemador de combustibles sólidos o se puede pulverizar y dispersar fácilmente en el fuel oil para quemar como una suspensión. Un pretratamiento térmico convierte la turba en una forma a la que se puede quitar parcialmente el agua por filtración. Esta turba se transporta entonces al reactor en donde se calienta de nuevo para su parcial carbonización. El producto se extrae de la cámara, se enfria y se desmenuza o corta a una forma adecuada. El agua producida en el reactor se puede tratar mediante un proceso de oxidación con aire húmedo para disminuir su contenido orgánico y generar el vapor requerido en el mismo.

TITULO: "ENERGY FROM BIOMASS AND SOLID WASTES: PROSPECTS AND CONSTRAINTS".

AUTOR: PAUL F. ROTHBERG

FECHA: JUNIO DE 1980

CONTENIDO: Se trata de un resumen del seminario "Energy from biomass and solid wastes: Prospects and Constraints" patrocinado por The Science Policy Research Division (SPRD) of the Congressional Research Service, que se celebró el 25 de octubre de 1979, en cooperación con The House Committee on Science and Technology.

Los temas que se trataron se dividieron en nueve capítulos. Los cinco primeros abordaron la producción de energía a partir de la biomasa. Los cuatro restantes versaron sobre la recuperación de energía y materiales a partir de los residuos sólidos.

Se comenta brevemente lo expuesto en cada uno de ellos:

#### Capítulo 1: Repaso a la Bio-Energía

En los Estados Unidos, los recursos de biomasa para combustible son inmensos. Representa veinticinco veces más que la cantidad total de energía que se consume cada año procedente de otras fuentes. Se dispone fácilmente de suficiente cantidad de residuos de la biomasa como para incrementar en cinco o diez veces el consumo actual de combustibles de la biomasa. Muchos investigadores están trabajando en nuevos procesos o mejorando los existentes, tales como los de lecho fluido para combustión direc

ta, la gasificación y la pirólisis (calentamiento en ausencia de oxígeno) rápida.

## Capítulo 2: Actividades del Departamento de la Energía en relación con los combustibles procedentes de la biomasa

El programa de biomasa del Departamento de la Energía (D. O.E.) busca tecnologías avanzadas para la transformación de plantas terrestres, acuáticas y estiércoles animales, en combustibles de fácil aplicación. Utiliza procedimientos polifacéticos, entre los que se incluyen la investigación aplicada, los equipos de plantas piloto y la divulgación de la información. Entre los trabajos de investigación se encuentran: la producción y suministro de la biomasa, la mejora de los equipos de recolección de la madera y de los gasificadores de la biomasa, y el progreso en cuanto a las tecnologías de producción de alcohol. La comercialización de varios procesos consolidados por el D.O.E. podría contribuir de forma sustancial en el suministro energético estadounidense. Además, los nuevos cultivos o la mejora de los existentes podría reducir el coste de algunos combustibles obtenidos a partir de ellos.

## Capítulo 3: Producción de combustibles líquidos a partir de la biomasa

La biomasa se puede convertir en combustibles líquidos mediante una gran variedad de procesos, entre los que incluyen: la fermentación, la pirólisis, la licuefacción catalítica, la síntesis de Fischer-Tropsch, la gasificación seguida de síntesis de líquidos y la reacción Mobil. Dichos procesos originan productos con diferentes calidades de combustión, rendimientos y poder energético. Se necesitarán muchos años de investigación, desarrollo y demostración antes de que se pueda disponer de muchos de ellos en el mercado.

#### Capítulo 4: El problema ambiental de utilización de la biomasa

El impacto medioambiental y los problemas de seguridad están asociados a la producción de combustibles a partir de la biomasa. Así por ejemplo, muchos diseños de unidades de producción de alcohol a pequeña escala no se aceptan del todo por motivos de seguridad. Las cocinas domésticas de leña pueden contribuir a contaminar la atmósfera con monóxido de carbono y otros productos orgánicos cíclicos. Algunos científicos e ingenieros están preocupados porque el impacto medioambiental de los grandes sistemas de producción de etanol han recibido poca e insuficiente atención, por lo que conducirán a procesos ineficaces y contaminantes. Se deberá investigar adicionalmente la evaluación y tratamiento de los factores mediambientales que se deriven de la utilización de la biomasa.

#### Capítulo 5: Perspectivas y empleo de la biomasa en los países menos desarrollados

Los combustibles que se obtienen de la biomasa ayudan a satisfacer las necesidades energéticas de los países menos desarrollados. No obstante, se utilizan de forma distinta en estos países que en los desarrollados.

Una investigación adicional podría incrementar el uso de estos combustibles en los países menos desarrollados.

#### Capítulo 6: Energía de los sistemas de tratamiento de residuos sólidos y Actividades del Departamento de la Energía en este área.

Procesos mecánicos, térmicos, pirolíticos y biológicos pueden recuperar parcialmente el contenido energético de los residuos sólidos urbanos. Los mecánicos producen combustibles sólidos o materiales, que una vez reciclados, conservan la energía. Los térmicos producen vapor o agua caliente. Los pirolí

ticos originan diversos combustibles y materias primas, y los biológicos metano y acondicionadores del suelo.

El DOE dirige un programa de investigación, desarrollo y demostración para aquellos procesos más avanzados, tales como:

- La digestión anaerobia, un proceso biológico que transforma selectivamente los residuos en metano y dióxido de carbono.
- La conversión enzimática de los residuos sólidos urbanos en azúcares que fermentan con la consiguiente producción de alcohol.
- Los nuevos métodos térmicos que reducen el tamaño de los residuos antes de su procesamiento.

#### Capítulo 7: Perspectivas de la Agencia de Protección del Medio Ambiente y de las Actividades relativas a la energía de los residuos sólidos

La Agencia de Protección del Medio Ambiente dirige varios programas que ayudan a comercializar proyectos de recuperación de recursos, como es el caso de las plantas "de producción de energía a partir de los residuos sólidos". La Agencia provee sociedades con asistencia técnica y financiera para fomentar la recuperación de recursos como método deseable de administración de los residuos sólidos.

#### Capítulo 8: Actividades y perspectivas del Centro Nacional para la Recuperación de Residuos

Las plantas de producción de energía a partir de los residuos sólidos reducen el volumen de los mismos a la hora de eliminarlos, originando combustibles de gran utilidad y en algunos casos materiales recuperables. El principal factor estimulante



es la necesidad de encontrar el mejor medio de eliminar los residuos sólidos. No obstante, el beneficio energético y la producción y conservación de materiales son también de gran importancia.

Durante los diez últimos años, los empresarios que han buscado la comercialización de proyectos de producción de energía a partir de los residuos sólidos se encontraron con dificultades técnicas, económicas e institucionales. Esto ha hecho que el entusiasmo inicial se haya moderado. No obstante, muchas empresas privadas, el Gobierno Federal, y el Centro Nacional de Recuperación de Recursos continúan desarrollando estas tecnologías

Muchos de los participantes en el tema buscan incentivos gubernamentales para el resurgimiento de esta industria, al ser los riesgos y costes de su montaje y funcionamiento muy altos. Se sugiere un incremento de fondos estatales para el desarrollo de nuevos equipos o mejora de los existentes, con el fin de incrementar la viabilidad económica de este tipo de proyectos.

#### Capítulo 9: Actividades en el Estado de Nueva York y sus perspectivas en relación con los proyectos de obtención de energía a partir de residuos sólidos

Los Gobiernos de los diferentes Estados también promueven la administración de los residuos sólidos y la ayuda financiera a los proyectos relacionados con ellos. Tal es el caso del Estado de Nueva York. Sin embargo los fondos que se destinan a tal fin son insuficientes para ayudar a todos los proyectos que se están llevando a cabo actualmente. Se recomienda un programa de subvenciones equilibrado por parte del Estado Federal para ayudar a los diversos Estados en la financiación del desarrollo y construcción de este tipo de proyectos.

TITULO "CONVERSION OF FOREST RESIDUES TO A CLEAN GAS FOR FUEL  
OR SYNTHESIS"

AUTORES: H.F. FELDMANN, K.T. LIU, J.R. LONGANBACH, L.M.CURRAN  
AND S.P. CHAHAN

FECHA: NOVIEMBRE DE 1979

CONTENIDO: Este artículo describe un programa del Departamento de la Energía de los Estados Unidos cuya meta final es el desarrollo de un sistema de gasificación, específico para la madera y otros materiales constituyentes de la biomasa, que permita aumentar considerablemente los rendimientos y la catálisis directa de la madera.

Se analizan dos novedades capaces de reducir el coste del gas obtenido a partir de los residuos forestales y de otros materiales de la biomasa. La primera de ellas es el haber encontrado que las cenizas de la madera aumentan por si mismas la reactividad del proceso de gasificación de los compuestos sleñosos. La segunda novedad es la aplicación de un nuevo reactor que permite tratar una amplia gama de residuos forestales, desde el serrin a las astillas, con altos rendimientos, sintener que efectuar operaciones de tratamiento previo tales como la molienda o la peletización. Una preliminar evaluación de costes indica que se puede producir un gas limpio y transportable, apropiado tanto para la industria química de síntesis como combustible, a un precio competitivo con los de otros combustibles.

TITULO: EXTINGUISHMENT OF BURNING WOOD CHARCOAL SURFACES"

AUTOR: PHIROZ M. BHAGAT

FECHA: NOVIEMBRE DE 1980

CONTENIDO: Aunque la combustión del carbón ha sido objeto de nu  
merosas investigaciones, existe poca bibliografía que  
trate de la aplicación del agua sobre la superficie de combus-  
tión.

En este estudio del fenómeno de extinción, se utiliza car  
bón vegetal procedente de la leña, para evitar los complejos pro  
cesos de pirólisis de la madera y sustancias plásticas.

En el mismo se ha visto que la capa de ceniza que se de  
posita sobre la superficie de combustión del carbón vegetal, de  
sempeña un importante papel en la conducta del proceso de com-  
bustión, influyendo en las características de transferencia de  
masa y energía (calor). La aplicación de pequeñas cantidades  
de agua sobre la superficie de combustión disminuye el espesor  
de la capa de ceniza, con el consiguiente incremento de la ve-  
locidad del proceso.

Se desarrolla un modelo analítico relativo a los efec-  
tos que origina la aplicación del agua sobre el espesor de la  
capa de ceniza.

Se presentan una serie de datos experimentales acerca de  
la velocidad con que se extingue la combustión del carbón vege

tal, según la velocidad con que se aplique el agua y las condi  
ciones del flujo de aire. También se exponen algunas técnicas  
experimentales para introducir y medir el agua dentro de la co  
rriente de aire.

TITULO: "HARVESTING AND UTILIZING WOOD AND WOOD BY-PRODUCTS  
FOR CHEMICALS"

AUTOR: ARTHUR W. NELSON, Jr.

FECHA: AÑO 1980

CONTENIDO: Desde el principio de la humanidad se utilizó la ma  
dera para obtener una amplia variedad de productos  
químicos. Posteriormente, muchos de ellos se obtuvieron de otras  
fuentes más rentables. Sin embargo, la conciencia que se ha ad  
quirido desde la crisis energética, en el año 1973, en lo refe-  
rente a las limitaciones de suministro de petróleo y gas natu-  
ral, ha hecho que se considere de nuevo la situación inversa ,  
es decir, que muchos de los productos procedentes del petróleo o  
se puedan obtener a partir de la madera.

Entre los temas que se tratan en este informe, destacan  
los siguientes:

- El alquitrán y el betún.
- El ácido tánico
- La destilación de la madera
- La pasta, papel, celulosa y otros componentes químicos  
de la madera.
- Las posibles aplicaciones futuras de la madera desde el  
punto de vista químico.
- ¿Será el suministro de madera adecuado?

La carbonización de la madera se realizó desde tiempos an  
tiguos. Cuando en el proceso sólo se obtiene carbón vegetal,

los otros productos químicos de la madera se disipan con el humo. Estos gases, si se recogen y condensan, originan los ácidos piroleñosos.

Las maderas duras y pesadas, tales como las de abedul , haya, arce, roble y nogal americano, son las más apropiadas para el proceso de carbonización. Por la ubicación de estas especies, las plantas de destilación de la madera se concentran en New England, New York, Pennsylvania, Lake States, Tennessee y Arkansas.

Esta industria floreció durante los primeros años del presente siglo, alcanzando probablemente su cima durante la Primera Guerra Mundial, al aumentar la demanda de los productos que de ella se obtenían, tales como el carbón vegetal, el ácido acético y el metanol.

Posteriormente vino a menos, al disminuir los mercados del metanol y ácido acético, aunque el empleo y demanda del carbón vegetal continuó aumentando.

En algunos casos se utilizó el carbón vegetal en los altos hornos para la producción de lingotes de hierro.

Las pequeñas plantas de destilación trataban unas cien cuerdas de madera al día, poco más o menos, realizandose su aprovisionamiento mediante camiones locales. En las mayores , dicho aprovisionamiento tenía lugar por ferrocarril.

Por lo que respecta a la industria de destilación de la madera, también se empezaron a emplear residuos leñosos.

Las grandes fábricas de madera dura instalaron plantas de destilación, para utilizar los costeros, guarniciones, ribetes y demás residuos, pues de lo contrario los hubieran quemado en un incinerador u horno crematorio. Una de las mayores se

instaló en Michigan por la Compañía de Motores Ford.

Fue la única que utilizó retortas de tipo continuo, mientras que el resto de las de Estados Unidos empleó el sistema discontinuo con retortas que se cargaban con vagonetas de acero repletas de leña, desplazándose a lo largo de unas vías de ferrocarril.

A diferencia de las fábricas de pastas, que no podían emplear cáscaras y cortezas, estas materias primas no constituyeron ningún problema para las plantas de destilación, al transformarse en carbón vegetal junto con la madera.

En Arkansas, funcionó durante muchos años una planta de destilación de madera dura, propiedad de la Compañía "Crossett Lumber", que fue única en su género, al diseñarse para tratar la madera procedente de las talas que se daban a los bosques con fines mejorantes así como los residuos de las grandes serrerías de madera dura.

TITULO: "POWER FROM WOOD"

AUTOR : BOB SCHWIEGER

FECHA: FEBRERO DE 1980

CONTENIDO: Se presenta un amplio estudio sobre la utilización de la madera como fuente generadora de energía, describiéndose con bastante detalle los siguientes apartados:

- Disponibilidad de recursos.
- Propiedades de los combustibles leñosos.
- Preparación de los combustibles leñosos.
- Sistemas de transporte.
- Secado.
- Almacenamiento.
- Tolvas, conducciones y alimentadores.
- Quema de la pila.
- Quema en estado de suspensión.
- Combustión en lecho fluido.
- Pirólisis, gasificación y licuefacción.
- Calderas, control de la contaminación y tratamiento de las cenizas.

Antes de empezar a diseñar los sistemas de manipulación de la madera, combustión y control de la contaminación, se deben conocer perfectamente las propiedades físicas y químicas de la materia prima que se vaya a tratar. Aunque los análisis de laboratorio demuestran que la mayoría de las especies leñosas, así como sus cáscaras y cortezas, tienen aproximadamente la misma composición química referida sobre base seca, el contenido de hume-



dad puede variar dentro de un amplio margen. Este factor es el más influyente en el diseño del equipo de pirólisis y en el de la caldera o generador de vapor, pudiendo oscilar entre 10 y 65%. Con altos contenidos de humedad, la combustión es inestable y el fuego se apaga. Por regla general, la madera que se tritura contiene un 45-55% de humedad sobre base húmeda.

Hay que señalar que existen dos formas de expresar el contenido de humedad, bien sea sobre base húmeda o sobre base seca. Las ingenierías lo expresan normalmente como porcentaje del peso que se recibe en la planta, es decir sobre base húmeda, mientras que las industrias de la madera lo expresan como porcentaje de peso seco. Existen unos gráficos que permiten pasar de una forma a otra.

La materia volátil es la porción de la madera que se elimina en forma gaseosa cuando se somete a una determinada temperatura. Se compone tanto de elementos gaseosos combustibles como incombustibles. Puesto que el contenido en volátiles indica la cantidad de gases combustibles que se producen, afecta pues a la mecánica del proceso de pirólisis. También influye en el volumen del horno y en la colocación y distribución de las superficies de transmisión de calor. Por regla general las cáscaras y cortezas de los árboles tienen un contenido en elementos volátiles inferior en un 10% al que poseen la madera de los mismos. Asimismo, este contenido en las cáscaras, cortezas y madera de los árboles es mucho más elevado que en el caso del carbón mineral.

El carbono fijo es el residuo combustible que permanece una vez que los elementos volátiles se han destilado. Está constituido principalmente por carbono aunque también contiene algo de hidrógeno y oxígeno y algunas pequeñas cantidades de azufre y nitrógeno, que no se han desprendido con los gases. Las cáscaras y cortezas tienen un mayor porcentaje de carbono fijo que la madera, mientras que el del carbón mineral es de dos a tres

veces superior al de la madera.

Las cenizas son la parte mineral no combustible, que queda una vez que el proceso de carbonización ha terminado. En la madera, dicho contenido es bajo, normalmente inferior al 1%. Por el contrario en las cáscaras y cortezas de especies de madera blanda llega hasta un 3%, y en las procedentes de especies de madera dura oscila entre un 2 y un 5%.

El poder calorífico desempeña un papel primordial a la hora de valorar un combustible, pues al comprarlo, lo que en realidad se paga son las unidades energéticas que posee. Cuando una muestra de madera, cáscara o corteza desecada al horno, se quema en un calorímetro tipo bomba lleno de oxígeno a presión, lo que se determina es su poder calorífico superior. Se supone que el calor latente del vapor de agua que contienen los productos de la combustión se absorbe en la caldera.

Como el vapor de agua de los gases de combustión no se enfría por debajo de su punto de condensación o de rocío, durante el funcionamiento normal de la caldera, no se dispone de su calor latente para producir vapor. Por ello, algunas veces se substraen del poder calorífico superior, obteniéndose el poder calorífico inferior o neto.

Otra medida del poder energético de la madera es el poder calorífico bruto o potencial calorífico total, según se recibe. Se calcula restando de 100 su contenido de humedad (sobre base húmeda) y multiplicándolo por el poder calorífico superior.

Las maderas de las diferentes especies arbóreas des provistas de su contenido de resina y humedad, tienen aproximadamente el mismo poder calorífico, alrededor de 4.610 Kcal/

/Kg. Puesto que el poder calorífico de la resina es mucho mayor que el de los compuestos celulósicos predominantes, y oscila al rededor de 9.400 Kcal/Kg, las maderas resinosas, tales como las procedentes del Abeto Douglas o pino de Pacífico y del pino, poseen unas 5.000 Kcal/Kg. El poder calorífico de las maderas duras, como el roble, está próximo a las 4.600 Kcal/Kg, mientras que el de las cáscaras y cortezas de especies no resinosas puede llegar hasta 5.450 Kcal/Kg, y el de las cáscaras y cortezas de especies de madera blanda varían entre 4.890 y 6.000 Kcal/Kg.

El tamaño de los residuos leñosos puede variar desde 100-150 micras (polvo de lijadora) hasta varios pies (cortezas de las serrerías). Los que se trituran muy finamente y se secan, se quemán en estado de suspensión, como el carbón mineral pulverizado. Los de mayor tamaño, ya secos y los húmedos se trituran generalmente hasta que la mayor dimensión no supere las dos pulgadas.

El tamaño y la forma de los residuos leñosos, influye también en el contenido energético total de cualquier cargamento o envío de leña. Se demuestra que el poder calorífico de las cáscaras y cortezas es substancialmente mayor que el del serrín y las virutas, para un mismo contenido de humedad.

Los residuos leñosos se transportan generalmente por camión, desde la fuente de suministro hasta la planta generadora de energía, por ser el medio más económico de transportar materiales voluminosos por encima de los trayectos normalmente cortos. El transporte por ferrocarril se prefiere cuando los recorridos superan los 240 km. En algunas ocasiones, se utilizan barcazas, como en las zonas del noroeste del Pacífico, en donde se puede acceder tanto a los bosques como a las plantas por medios navegables. Las barcazas son las que transportan las mayores cargas, 600 unidades o más, mientras que los vagones de tren 30-40 unidades y los camiones más grandes, 15.

El transporte es uno de los factores que más influye en el coste del producto total, para plantas que se tienen que abastecer de materiales situados a largas distancias de ellas. Su coste se estima en unos 0,90 \$/km (1,50 \$/milla) en el caso de transportar maderas, cáscaras y cortezas en camiones de 25 t, o incluso más. No obstante, con la creciente y continua subida de los precios de los combustibles diesel, son de esperar mayores incrementos en el coste del transporte.

En las plantas generadoras de energía que emplean leña como combustible, existen dos formas distintas de transportarla: mecánica y neumáticamente. Dentro de la primera se utilizan las cintas transportadoras, los transportadores de cadena sin fin con paletas, los de paletas o rastras, los de tornillo sin fin y los vibratorios.

El transporte neumático típico consta de cuatro elementos: un ventilador volumétrico o de desplazamiento positivo, una tubería de transporte, una antecámara de compresión rotatoria para inyectar combustible en el interior de la tubería y un ciclón para separar la leña del aire. Este último se suprime cuando se emplea leña triturada del almacenamiento, al inyectarse directamente en el interior del horno de mezcla de leña/corriente de aire.

Este tipo de transporte resulta económico para distancias rectas que superen los 150 m. Incluso para trayectos más cortos puede ser interesante en caso de que existan recodos. El motivo es que los transportadores de tipo mecánico, no pueden superar normalmente cambios de sentido, sin instalar dos o más de ellos, lo que incrementa substancialmente el coste. También se ha de tener en cuenta que los sistemas neumáticos necesitan potencias 10 veces superiores a la de los transportadores de cinta.

Los fabricantes de los sistemas neumáticos destacan rápidamente, el hecho de que este medio de transporte se ca en parte

la leña que circula, con el consiguiente beneficio económico. Se estima que se elimina un 3% de humedad, si se transporta leña con un 50% de contenido acuoso, aunque lo más probable es que llegue e hasta un 4-6%.

Antes de que la leña se someta al proceso de pirólisis, se tiene que evaporar parte de su contenido de humedad. Existen varias formas de lograrlo, entre las que destacan las siguientes:

- Quemar aceite o gas por encima de la parrilla del hogar. Un método similar, consiste en quemar la madera, en estado pulverulento y seca, tal como el polvo de la lijadora, en suspensión, en un quemador de combustible sólido. Esta opción se limita a plantas que reciben residuos leñosos con bajo contenido de humedad (10-15%, o incluso menos).
- Quemar un combustible con bajo contenido de humedad en unión de la leña triturada. El carbón mineral es un buen combustible auxiliar o suplementario.
- Seleccionar una parrilla que pueda manipular el aire de combustión a altas temperaturas. Las parrillas agujereadas fijas, refrigeradas por agua, que se adaptan a la temperatura de 315°C del aire, pueden mantener la combustión de residuos leñosos con más de un 60% de humedad.
- Instalar un secadero. Esta opción ofrece grandes ventajas, además de favorecer la estabilidad de la combustión. Disminuye las necesidades de exceso de aire y mejora el rendimiento al disminuir la cantidad de calor que se pierde por la chimenea, minimizando el carbón sobrante dentro de la corriente de los gases de combustión. También ayuda a la emisión de pequeñas partículas, facilita el control del proceso de combustión y permite producir más

vapor (energía en definitiva) que cuando se quema un combustible con mayor contenido de humedad. Hay dos tipos básicos de secadero, según que utilicen la energía mecánica o gases calientes, para la evaporación del agua.

La leña triturada se almacena al aire libre, en unas pilas enormes, o en el interior, en unas tolvas o silos que se diseñan para que contengan la materia prima que se necesita para el funcionamiento de la caldera durante un largo fin de semana. Los residuos leñosos con alto contenido de humedad se albergan normalmente al aire libre, mientras que los finos y secos se protegen del viento y de la lluvia en unos silos. Algunas plantas disponen de almacenamiento tanto exterior como interior.

Aunque a primera vista puede parecer que existen muchos métodos de almacenaje, en la práctica se dividen en los cuatro siguientes:

- Pilas sofisticadas, que contienen decenas de miles de unidades, desde las que se fabrica y recupera automáticamente el combustible.
- Transportadores convencionales de tipo mecánico y neumático y equipos móviles, para fabricar y recuperar el combustible desde las pilas de almacenaje de tamaño limitado.
- Tolvas, diseñadas para contener más de 1.500 unidades, pudiéndose llenar y vaciar automáticamente.
- Silos y tolvas pequeñas, diseñadas para contener hasta 200 unidades aproximadamente, pudiéndose llenar y vaciar automáticamente.

El sistema de alimentación de la caldera, que transporta residuos leñosos desde el almacenamiento hasta los distintos distribuidores del horno, es una parte muy delicada y crítica en cualquier planta generadora de energía. Su diseño deberá cumplir los siguientes objetivos:

- Controlar la cantidad de combustible de cada alimenta-  
dor según la demanda de vapor.
- Poder desviar la corriente de combustible hacia uno o  
más distribuidores del horno para subsanar los desequi  
librios del sistema.
- Evitar que entre aire al horno a través de las tuberías  
por donde circula el combustible.

El proceso de combustión o quema, se puede dividir en tres fases: evaporación del agua, destilación y quema de la materia volátil, y combustión del carbono fijo. Después de que el agua se ha evaporado, la materia prima absorbe calor, elevándose su temperatura y desprendiéndose los compuestos volátiles, que se quemán, manteniendo la reacción de combustión. Cuando la mayoría de los volátiles se han disipado, la superficie altamente reac-tiva del carbono fijo que permanece, se quema en presencia de oxígeno.

Los sistemas de combustión se clasifican por regla gene-ral, según el modo de que quemen los residuos leñosos, ya sea en una pila, en un lecho espeso (también llamado semipila), en semisuspensión y en suspensión. Los quemadores de pilas -entre los que se incluyen los hornos Dutch, las celdas de combustible y equipos similares- se eligen a menudo cuando hay que tratar le-ñas con un alto contenido de humedad.

Se conocen dos tipos básicos de quemadores de residuos le

ñosos en estado de suspensión, para utilizar en los generadores de vapor.

- Los de tipo ciclónico, hornos cilindricos, que se diseñan para mezclar el aire y la materia prima en proporción correcta, y para que finalice la combustión antes de que los remolinos de partículas leñosas alcancen el final de la cámara refractaria.
- Los de combustibles sólidos, que mezclan el aire y la madera, simultáneamente, en la debida proporción, encendiendo la mezcla combustible. El apagado de las partículas combustibles finaliza en el horno de la caldera.

La pirólisis es un proceso extremadamente flexible, que se puede aplicar con gran eficacia a la mayoría de los compuestos sólidos orgánicos. La cantidad y calidad del gas, aceite y carbón vegetal que se producen dependerá del tipo de reactor -entre los que se incluyen los hornos rotativos, los de lecho fijo, arrastrado y fluido-, así como de las propiedades de la materia prima y de las condiciones de la reacción entre otros factores. Los rendimientos de la transformación energética llegan hasta un 80%. El carbón vegetal contendrá los inertes que arrastre la materia prima.

La gasificación de los residuos leñosos es una tecnología viable para producir un combustible aceptable desde el punto de vista de contaminación del medio ambiente, y que genera energía. Los elementos constituyentes de la biomasa se gasifican por calentamiento directo o indirecto en reactores de lecho fijo, arrastrado y fluido.

La composición y producción de gas depende del contenido de oxígeno de la corriente de aire, del diseño del gasificador,



de la velocidad de la combustión, de la calidad de la materia prima, de la presión y temperatura del proceso, etc. Cuando el aire se utiliza como agente oxidante se produce un gas de bajo poder calorífico ( $900-1.800 \text{ Kcal/Nm}^3$ ), mientras que cuando se emplea aire enriquecido con oxígeno o simplemente oxígeno se obtiene un gas de poder calorífico medio ( $1.800-4.450 \text{ Kcal/Nm}^3$ ).

La liquefacción directa de la madera la está realizando por lo menos una firma, que tiene un contrato con el Gobierno. En este proceso, las astillas se mezclan con agua, y al conjunto se añade carbonato sódico y ácido sulfurico, con el fin de romper su estructura química y física (en partículas más pequeñas). La pasta que resulta se calienta y se somete a presión durante dos intervalos de 45 minutos, el primero a  $10,5 \text{ Kg/cm}^2$  y  $180^\circ\text{C}$ , y el segundo a  $211 \text{ Kg/cm}^2$  y  $360^\circ\text{C}$ . El producto que se obtiene es un aceite No.6. Los costes de producción, sobre la base de ensayos realizados en planta piloto, se estiman en  $25-29 \text{ \$/bbl}$ , suponiendo las astillas a un precio de  $20\text{\$/tonelada}$ .

TITULO: "A STUDY OF THE EFFLUENTS FROM THE COMBUSTION OF SOLID -  
WASTE MATERIAL"

AUTOR: M.S. MASSOUDI

FECHA: AÑO 1979

CONTENIDO: Se describen unos experimentos llevados a cabo en el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Teherán, sobre la gasificación-combustión de los residuos sólidos orgánicos, para ver la influencia de los principales parámetros del proceso, en la contaminación del medio ambiente. Los residuos sólidos urbanos y los leñosos se gasificaron en un reactor de lecho agitado. Se comprobó que dichos parámetros son la temperatura, el tiempo del proceso y el contenido de humedad de la materia prima. A medida que se incrementa la temperatura, disminuyen las emisiones de partículas, humos e hidrocarburos. Cuando la temperatura alcanzada, supera los  $800^{\circ}\text{C}$ , se reduce drásticamente la descarga a la atmósfera de elementos contaminantes.

Durante el proceso de combustión de los compuestos leñosos, se producen los siguientes fenómenos: inestable transmisión de calor, descomposición térmica, ignición de los productos gaseosos y sostenida combustión. El problema de predecir los resultados es muy complicado, al concurrir todos estos fenómenos físicos y químicos.

Se dispone de modelos matemáticos referentes a la combustión de la madera, sin embargo, al no disponerse de datos sobre las propiedades físicas de la madera durante la combustión, no se pueden aplicar universalmente dichos modelos.

La combustión de los residuos leñosos se puede considerar como un medio de recuperación de energía, por lo que se debería investigar mucho más profundamente la repercusión de este proceso en la contaminación del medio ambiente.

El contenido de humedad de la madera y la velocidad del flujo de aire son factores importantes en lo que a la velocidad de combustión se refiere. No obstante, con altas temperaturas en la zona de combustión, estos factores no influyen en el grado de contaminación de los gases de combustión.

TITULO: "WOOD ENERGY AND RURAL COMMUNITIES"

AUTOR: J.E.M. ARNOLD

FECHA: AÑO 1979

CONTENIDO: En los núcleos rurales de los países en vías de desarrollo, la leña y el carbón vegetal, son los combustibles predominantes desde el punto de vista energético, y probablemente continuarán siéndolo. El creciente agotamiento de los recursos de leña, puede conducir a una disminución de las disponibilidades energéticas en cuanto a la calefacción y preparación de alimentos se refiere, aumentando el empleo de los residuos agrícolas para estos fines, con el consiguiente deterioro de las propiedades físicas de los suelos. En este informe se examinan los diferentes modos de tratar el problema, sosteniéndose que se debe prestare atención sin paliativos, a corto plazo, a la demanda de los combustibles derivados de la madera, mediante el empleo de su ministros más eficaces, e incrementarlos a largo plazo.

Se hace referencia al consumo mundial de leña y carbón vegetal, a los factores que influyen en su utilización y a las consecuencias negativas de su empleo.

Cuando en los países en vías de desarrollo se desplaza el consumo de leña, lo es generalmente por el carbón vegetal. Este producto es por muchos motivos un combustible de alta calidad. Su poder calorífico es el doble que el de la leña, por unidad de peso, siendo más eficaz energéticamente en cualquier tipo de aplicación. Por lo tanto se puede transportar a largas distancias en condiciones económicas favorables. No produce humos ni al-

quitranes y no se deteriora al almacenarlo. Sus características de combustión son muy apropiadas para muchas prácticas culinarias tradicionales, al impartir un atractivo sabor a muchos alimentos.

Puesto que al obtenerlo se pierde entre el 50 y el 70% del poder calorífico de la leña, puede ser más eficaz el utilizar - la leña en aquellos casos en que las distancias a transportar - sean cortas y los costes del mismo bajos, o en donde el suministro de leña sea reducido. Sin embargo, la leña presenta varios problemas cuando se compara con el carbón vegetal. Se puede deteriorar durante el almacenaje al ser atacada por insectos y hongos, así como partir y trocear con gran dificultad en trozos de tamaño utilizable. También produce hollín y humo cuando se quema, necesitándose estufas y cocinas más complicadas para conseguir una eficiente combustión.

Los límites de rentabilidad en cuanto al suministro del - carbón vegetal dependerán de sus costes de producción y transporte, de los precios que alcance en los diferentes mercados y de los combustibles que se puedan emplear alternativamente. En un - reciente estudio realizado en Africa oriental, se ha comprobado que es mejor utilizar la leña hasta distancias en carretera de 82 km, y el carbón vegetal para mayores recorridos. En muchas - zonas, los suministros de carbón vegetal se transportan a varios cientos de kilómetros, entrando este producto dentro del comercio internacional.

Finalmente se habla del futuro empleo de la madera como fuente de energía rural, abordando los aspectos siguientes:

- Su sustitución por otros combustibles y fuentes de energía.
- La utilización de combustibles de la madera de mayor efectividad.

- La obtención de combustibles más eficaces a partir de los recursos leñosos.
- La creación de recursos leñosos combustibles adicionales.

TITULO: "BIOCOAL AS AN ENERGY CARRIER"

AUTOR: E. THORESEN

FECHA: AGOSTO DE 1978

CONTENIDO: Los residuos procedentes de las talas de los bosques de Noruega representan la energía equivalente a 1/3 de su consumo de petróleo anual. Las plantaciones con el solo propósito de producir energía son una posibilidad a considerar. Los terrenos pantanosos noruegos son apropiados para las cortas rotaciones forestales, pudiendo proporcionar un rendimiento del 1% - aproximadamente, al cabo de un año. Si se utiliza como radiación global anual la cifra de 900 kwh/m<sup>2</sup>, el consumo energético noruego con fines calefactores se podría cubrir con la biomasa que se produjera en un 10% de los terrenos pantanosos disponibles.

La biomasa que se produzca se deberá transformar en una energía barata, de fácil manejo y que no contamine apenas. Se cree que el carbón vegetal satisface todas estas condiciones.

Bajo un programa de investigación patrocinado por el Gobierno, se está buscando la posibilidad de desarrollar hornos que quemen el carbón vegetal con fines domésticos. Estos hornos deberán ser tan sencillos y baratos como los quemadores de petróleo. Su rendimiento térmico será más elevado. El empleo del carbón vegetal es aceptable desde el punto de vista de la contaminación del medio ambiente. El producto de su combustión en los quemadores actuales, es casi por completo dióxido de carbono, pudiéndose retornar la pequeña cantidad de cenizas obtenida al terreno agrícola.

Por lo tanto la transformación de la biomasa en carbón vegetal es una posibilidad real, habiéndose realizado un análisis del sistema junto con un programa de desarrollo técnico para encontrar las unidades de producción adecuadas.

Su precio es comparable al de la energía de hoy en día , por lo que el carbón vegetal parece ser la única fuente de energía alternativa que se puede aceptar desde el punto de vista económico en el actual estado de desarrollo tecnológico. También se trata de su producción y empleo. El método clásico, utilizado desde hace miles de años, consiste en cubrir una pila de leña con una capa de tierra para aislar y controlar el suministro de oxígeno. Una parte de la materia prima se quema, para calentar al resto a la temperatura de 400°C, continuando la pirólisis por sí sola sin ningún suministro de calor, por tratarse de una reacción exotérmica con una producción de 0,32 kwh/kg. Aproximadamente, del 30 al 50% del contenido energético de la leña permanece en el carbón vegetal.

Teóricamente se puede conservar en el carbón vegetal hasta el 70% de la energía de la madera, aunque este alto porcentaje puede que no sea el óptimo desde el punto de vista económico. Quizá sea más beneficioso emplear el calor producido en la propia planta o en industrias próximas.

Los gases constituidos por hidrocarburos volátiles se pueden quemar y emplearse junto con el calor producido en la pirólisis, en el calentamiento de la materia prima hasta la temperatura de la reacción o en la evaporación de su contenido de agua , que puede ser necesario.

Todos los productos indeseables por contaminar el medio ambiente, tales como los hidrocarburos poliaromáticos y los benzopirenos, se depositan en el alquitrán, un subproducto de gran utilidad y provecho.



El carbón vegetal se puede comprimir en unas bolas o briquetas, para quemar en hornos. Otra posibilidad es producir una especie de suspensión, compuesta por un 60% de carbón vegetal en polvo, un 20% de aceites y un 20% de agua.

Por último se considera el aspecto económico. Actualmente los residuos forestales se ofrecen gratis. Si se estableciera una industria que los utilice se incrementará su precio hasta un punto en el que la demanda y el suministro se equilibren. No es fácil predecir este punto, aunque en una primera aproximación - puede ser el precio por contenido energético de la madera. En el mismo se incluyen el trabajo de recolección y el transporte por carretera.

Hoy día este precio es aproximadamente de 1 centavo/Kwh entregado a pie de carretera. Estudios de sistemas preliminares han demostrado que los costes de manipulación y transporte de la materia prima hasta la planta de pirólisis varían, según se trate de una unidad de producción local o de una centralizada de mayor tamaño.

En Noruega los precios de producción de las briquetas o bolitas de carbón vegetal, obtenido a partir de residuos forestales, y expresados en centavos por Kwh de energía, son los siguientes:

	Unidad Central Velocidad de Producción 9,5 x 10 <sup>4</sup> Kwh/día	Unidad Local Velocidad de Producción 10 <sup>4</sup> Kwh/día	
Materia prima	1	1	Materia Prima
Transporte	0,2	0	
Tala	0,03	0,17	
Manipulación y Almacenamiento	0,05	0,05	
Precio de la materia prima	1,28	1,22	
Amortización e intereses del préstamo solicitado para rea lizar la inversión	0,14	0,04	Producción de carbón vegetal
Mano de obra y seguros Sociales	0,86	1,50	
Precio de producción	1,00	1,54	
Producción de briquetas y boli tas	0,50	0,50	
Precio total	2,78	2,26	Total

Estos precios son algo conservadores. Se han obtenido de experiencias realizadas actualmente en el campo de la producción del carbón vegetal. Las nuevas tecnologías y los sistemas de producción de mayor eficacia pueden reducirlos. También se puede haber supervalorado el coste de la materia prima. Experimentos efectuados en Suecia indican que el precio de la materia prima en rotaciones forestales cortas puede ser de 0,65 centavos, por Kwh. Una gran parte del mismo se debe a una abundante fertilización, que no se ha considerado en el caso de Noruega.

TITULO: "COMBUSTION OF LOW-SULFUR-LOW-NITROGEN CHAR PRODUCED BY  
PYROLYSIS OF WOOD WASTES"

AUTORES: J.J. DEMETER, C.R. McCANN, J.M. EKMAN, AND D. BIENSTOCK

FECHA: AGOSTO DE 1978

CONTENIDO: En primer lugar se describen los ensayos de combustión, con combustible sólido, que se realizaron en una cámara de combustión experimental para carbón mineral pulverizado. Este horno, con una capacidad de 227 Kg/hora, se diseñó para simular a la unidad industrial generadora de vapor de que disponen las plantas comerciales productoras de energía.

Los combustibles que se ensayaron fueron los siguientes:

- 1.- Carbón mineral de Pittsburgh (37,7% de volátiles)
- 2.- Una mezcla con 50% de carbón mineral de Pittsburgh y 50% de carbón vegetal con bajo contenido en elementos volátiles - (2,5%).
- 3.- Una mezcla con 50% de carbón mineral de Pittsburgh y 50% de carbón vegetal con alto contenido en elementos volátiles - (28%).
- 4.- Carbón vegetal con alto contenido en elementos volátiles.

Los resultados conseguidos fueron:

COMBUSTIBLE	GRADO DE FINURA	EMISION DE NO <sub>x</sub> DE 200	EMISION DE SO <sub>2</sub> DE 10 <sup>6</sup> Kcal	EMISION DE CO p.p.m.	RENDIMIENTO DE LA COMBUS TION DEL CAR BONO, %	TEMPERATURA A LA SALIDA DEL HORNO, °C
	% A TRAVES DE UNA MALLA DE 200					
1	76,7	0,80	2,42	10	99,1	1.082
2	70,5	0,52	1,23	50	96,1	1.065,5
2	71,1	0,53	1,32	70	98,6	1.093
3	75,6	0,55	1,53	10	98,6	1.054
4	67,5	0,25	0,18	10	97,3	1.038

A continuación se comentan los ensayos de combustión que se efectuaron en una caldera de fuel oil No.6 de 100 C.V. de potencia, ligeramente modificada.

Los combustibles que se ensayaron fueron los siguientes:

- 1.- Fuel Oil No.6
- 2.- Una suspensión de carbón mineral y aceite
- 3.- Una suspensión de carbón vegetal y aceite. Esta suspensión se preparó haciendo una mezcla 60/40 de carbón vegetal con bajo contenido en elementos volátiles y aceite, respectivamente, procedentes del proceso de pirólisis. Dicha mezcla se combinó con fuel oil No.6 hasta obtener una suspensión que contuviera el 30% de carbón vegetal.

Los resultados alcanzados fueron:

		FUEL OIL No.6	SUSPENSION DE CARBON MINERAL -ACEITE	SUSPENSION DE CARBON VEGETAL -ACEITE
CONCENTRACION DE SOLIDOS	(% en peso)	0	30	30
SOLIDOS DE TAMAÑO SUPERIOR A LA - MALLA DE 200	(% en peso)	-	93	92
TEMPERATURA DEL COMBUSTIBLE EN EL QUEMADOR	(° C)	93,9	91,6	98,3
O <sub>2</sub>	(%)	4,8	5,7	4,4
CO <sub>2</sub>	(%)	9,8	9,9	11,2

CO	(ppm)	50	235	-
NO <sub>x</sub>	(ppm)	223	357	235
SO <sub>2</sub>	(ppm)	340	490	260
VELOCIDAD DEL FLUJO DE VAPOR	(Kg/h)	1.528,6	1.360,8	1.587,6
VELOCIDAD DEL FLUJO DE COMBUS- TIBLE	(Kg/h)	100,4	106,5	114,3
EXCESO DE AIRE	(%)	27,1	27,0	23
CARGA DE POLVO	(kg/h)	0,54	2,72	1,48
CONTENIDO DE CAR- BON EN LAS CENI- ZAS	(%)	46,4	49,8	29,3
PERDIDAS DE CARBONO POR LA CHIMENEA	(%)	0,2	1,1	0,3
PODER CALORIFICO	(Kcal/Kg)	10.540	9.620	9.540

Los bajos contenidos en azufre y nitrógeno del carbón ve getal lo convierten en un combustible muy interesante y atracti vo, para mezclar con aceite o carbón mineral con altos conteni- dos en azufre. Asimismo se satisfacen las emisiones toleradas de SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>, sin otros dispositivos de control que un filtro de bol sa o un precipitador electrostático.

TITULO: "POTENTIAL OF BIOMASS TO SUBSTITUTE FOR PETROLEUM IN CA  
NADA"

AUTORES: C.R. PHILLIPS, D.L. GRANATSTEIN, AND M.A. WHEATLEY

FECHA: JUNIO DE 1978

CONTENIDO: Se examina la capacidad de la biomasa para sustituir al petróleo, en función de la disponibilidad y coste de los recursos, de la tecnología de transformación y de los costes de la conversión y aplicación final. El proceso de mayor rendimiento energético y menor costo en cuanto a la utilización de la leña es la combustión directa, seguida de la gasificación y la licuefacción en último lugar. Se determina la disponibilidad y costes de los residuos leñosos, excedentes de troncos de madera, plantaciones de árboles con fines energéticos, y residuos sólidos urbanos (principalmente celulósicos) y se analizan los fenómenos térmicos, químicos y bioquímicos que se producen durante el proceso de transformación.

Los combustibles líquidos poseen una alta densidad energética y una amplia aplicación, aunque con un bajo rendimiento de transformación a partir de la biomasa.

En Canadá se estima que existen 450 millones de hectáreas de bosques, de las que alrededor del 50% son actualmente productivas y de fácil acceso. Sin embargo solo se utiliza corrientemente el 40-50% de la producción permisible anual.

Los residuos leñosos no utilizados, como subproducto de las operaciones forestales corrientes, se estiman en unos 140 millo

nes de m<sup>3</sup>. Exceptuando los que se están empleando ya, se cifran en unos 200 millones de m<sup>3</sup> anuales los excedentes de troncos de madera. Esta materia prima se podría transformar en metanol o fuel-oil, en una proporción equivalente a los 2/3 de la producción petrolífera anual de Canadá, en el caso de que estuviera fácilmente accesible y se pudiera disponer de ella a un precio razonable.

Además de este exceso de biomasa, existen unos 30 millones de hectáreas de tierras de labranza marginales. De esta cantidad, hay en Ontario alrededor de 500.000 hectáreas, muy apropiadas para las plantaciones con fines energéticos de álamos y chopos.

La sustitución de los productos petrolíferos por la combustión directa de la leña resulta económica actualmente en ciertos casos, mientras que su gasificación puede ser interesante en aplicaciones concretas. Sin embargo su licuefacción no es de interés en el momento actual.

Las prioridades en cuanto a la producción de combustibles líquidos en Canadá, deberían ser las siguientes: exploración de petróleo, explotación de las arenas bituminosas, y, tal vez, la licuefacción del carbón mineral; La licuefacción de la madera debería situarse después. No obstante, el interés en cuanto a la seguridad en el suministro de combustibles líquidos a partir de las fuentes de energía renovable, justifica alguna investigación, desarrollo y demostración relativas a su producción y licuefacción.

TITULO: "GRAPHITIZATION OF WOOD CHARCOAL IN THE PRESENCE OF BORON"

AUTORES: I.M. YURKOVSKU, V.M. MEL NICHENKO, AND D.S.KARPOVA

FECHA: AÑO 1978

CONTENIDO: En diversas investigaciones se ha estudiado el efecto que el boro y algunos de sus componentes ejercen sobre la grafitización de los materiales carbonosos, aunque su mecanismo de acción no se ha aclarado completamente hasta ahora. Por ello se analiza y compara en este informe la acción catalítica del ácido ortobórico y del boro cristalino en el proceso de grafitización del carbón vegetal.

Se investigan las transformaciones estructurales que experimenta el carbón vegetal cuando se le somete en un horno de inducción, en crisoles de grafito herméticamente cerrados, a unas temperaturas comprendidas entre 1.200-2.900°C, por espacio de 30 minutos, en los tres casos siguientes:

- Sin añadirle ningún compuesto
- Añadiéndole un 3% de boro cristalino
- Añadiéndole ácido ortobórico, en cantidad equivalente a un 3% de boro

En el primer caso, su estructura continua siendo bidimensional, sin ningún síntoma de grafitización, incluso cuando se calienta a 2.800°C, con la excepción de una pequeña cantidad, 1-2%,



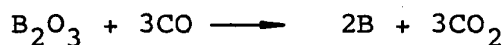
de grafito, de estructura tridimensional, que se origina por evaporación y condensación del carbono de la fase de vapor. En los otros dos casos se produce una grafitización parcial con importantes cambios estructurales, mayores en el tercero que en el segundo, según se desprende de los difractogramas respectivos.

También se observó experimentalmente la relación existente entre la cantidad de grafito obtenido y el porcentaje de catalizador añadido, viéndose que era directamente proporcional.

Cuando se calientan conjuntamente el carbón vegetal y el ácido ortobórico a 1.300°C, este último se descompone en anhídrido bórico y agua, según la siguiente reacción:



A 1.370°C, el anhídrido bórico reacciona con el monóxido de carbono, formándose carburo de boro, según las dos reacciones siguientes:



Además se puede producir la reacción  $4\text{B} + 3\text{O}_2 \longrightarrow 2\text{B}_2\text{O}_3$

Los difractogramas obtenidos demuestran la presencia del carburo de boro a temperaturas comprendidas entre 1.700 y 2.600°C. Por encima de este valor máximo no se detecta el carburo de boro. Su descomposición tiene lugar con gran intensidad a los 2.200°C, con la formación de grafito y boro en estado libre. Los resultados experimentales alcanzados confirman el hecho de que el boro interviene repetidamente en la transferencia del carbono, desde el carbón vegetal al grafito, formándose cinco veces más grafito en el caso de añadir ácido ortobórico que en la descomposición simple del carburo de boro.

En el proceso de grafitización de los compuestos carbonos en presencia de boro puede tener lugar otro mecanismo, la di fusión del boro dentro de la red del grafito. Según la tempera tura del tratamiento, el boro puede sustituir a los átomos de carbono o situarse en los intersticios que quedan entre las capas de grafito.

Se determinan los tamaños de las redes del grafito natu ral tipo, y del carbón vegetal, tanto en el caso de no añadirle ningún producto como en los que se le añadieron boro cristalino y ácido ortobórico, respectivamente, después de someterlos a una temperatura de  $2.800^{\circ}$  C. Se comprobó que sólo en el caso que se agregó ácido ortobórico (en una cantidad equivalente al 3% de boro), el tamaño de la red del carbón vegetal fué superior a la del grafito natural cristalino. Este hecho demuestra de forma definitiva la presencia de los átomos de boro sustituyendo a los de carbono, aunque se tendrá que observar que sólo ocurre para un cierto porcentaje de átomos de boro.

De los resultados obtenidos, se desprende que el tamaño medio de los poros del carbón vegetal no varía con la adición de boro, mientras que el tamaño medio de sus partículas depende mu cho de la cantidad que se incorpore, lo que concuerda plenamente con las dimensiones medias de los cristalitos que se determina ron por análisis con Rayos X.

Por todo lo expuesto, se llega a la conclusión de que en el proceso de formación de grafito dentro del carbón vegetal, al añadir boro, el mecanismo fundamental es la obtención y descompo sición del carburo de boro.

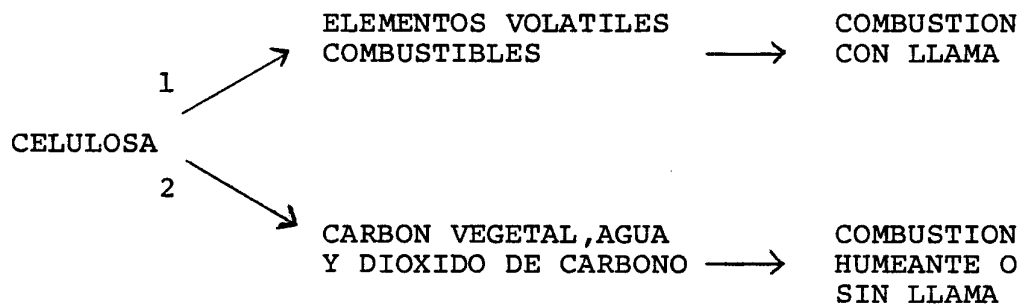
Como la adición de boro no varía el tamaño medio de los poros, la formación y descomposición del carburo de boro no suce de en la fase de vapor, sino en la sólida por un mecanismo de di fusión: el boro subtrae átomos de carbono del carbón vegetal , transfiriéndolos al grafito.

TITULO: "SMOLDERING COMBUSTION OF CELLULOSIC MATERIALS"

AUTORES: FRED SHAFIZADEH, ALLAN G.W. BRADBURY

FECHA: JUNIO DE 1978

CONTENIDO: Los compuestos celulósicos como la madera, el papel, el algodón y demás productos fibrosos relacionados con ellos, no se queman directamente, pero con fuentes de ignición - suficientemente enérgicas, se descomponen según dos caminos o alternativas. En el primero, que se produce a altas temperaturas, se obtiene una mezcla de gases combustibles. En el segundo, que tiene lugar a menores temperaturas que el anterior, se obtiene - principalmente un residuo carbonoso (el carbón vegetal) y una mezcla gaseosa no muy inflamable, conteniendo agua y dióxido de carbono. La oxidación del carbón vegetal da lugar a una combustión incandescente. De forma esquemática, ambas alternativas se pueden representar así:



En este informe se estudia el comienzo, propagación y terminación de la combustión humeante, analizando el efecto que ejercen sobre ella la composición de los substratos, la adición de compuestos inorgánicos, la cantidad de calor liberado y la com

bustibilidad de los gases y carbón vegetal.

Durante la combustión con llama, se libera una proporción relativamente alta de calor. El flujo de calor que genera la combustión de los elementos volátiles suministra la energía suficiente que se requiere para la gasificación del substrato y para la rápida propagación y diseminación del fuego. El proceso se inicia normalmente con una llama piloto o con otra fuente similar de alta intensidad.

En la combustión humeante, el menor flujo de calor que se necesita para la pirólisis y carbonización del substrato se suministra por la oxidación lenta del carbón vegetal. El proceso se inicia por regla general por medio de una fuente de ignición de baja pero prolongada intensidad, tal como un cigarrillo encendido, que carboniza el substrato, como ocurre en los materiales porosos o poco fibrosos. El lento desprendimiento de calor, sin pérdidas por radiación, convección o conducción, es suficiente para la carbonización y propagación de este tipo de combustión. El proceso puede terminar por insuficiente flujo de calor que conduce a su autoextinción o por un exceso del mismo que origina una combustión con llama.

La celulosa pura, por la gran facilidad con que se gasifica, es mucho más propensa a producir una combustión con llama que sin llama o humeante. Sin embargo, los compuestos celulósicos naturales están lejos de ser celulosa pura. La madera y demás productos obtenidos por molienda o deslignificación de sus fibras, contienen además de celulosa, importantes cantidades de hemicelulosas que se comportan de manera análoga a ella, y lignina, que por tratarse de un compuesto fenólico, se comporta de forma muy distinta. A análogas temperaturas, la lignina produce mucho más carbón vegetal y menos volátiles que la celulosa.

Las producciones de elementos volátiles y de carbón vegetal que se obtuvieron de la celulosa, lignina y diversos compues

tos celulósicos, bajo unas determinadas condiciones y sus respectivos calores de combustión, fueron los siguientes:

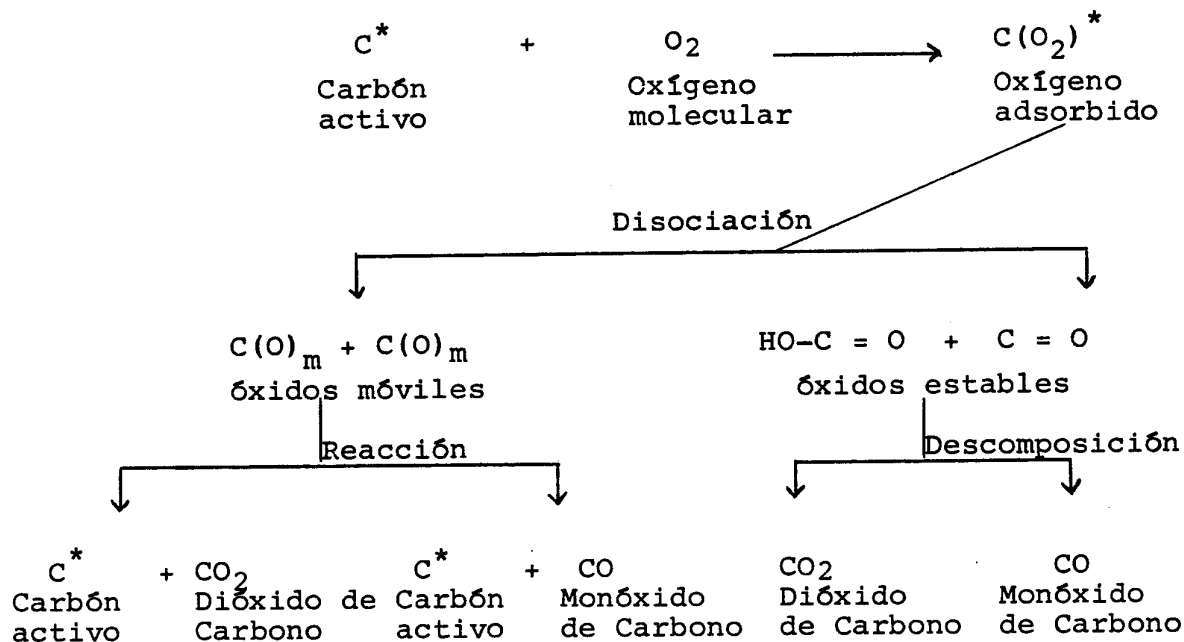
COMBUSTIBLE		CARBON VEGETAL			VOLATILES	
Fuente	Tipo	25° ΔH comb. (cal/gr)	Producción (%) (*)	25° ΔH comb. (cal/gr)	Producción (%) (*)	25° ΔH comb. (cal/gr)
Celulosa	Papel de filtro	-4.143	14,9	-7.052	85,1	-3.634
Lignina	Klason	-6.371	59,0	-7.416	41,0	-4.867
Madera blanda	Abeto Douglas o Pino del Pacífico	-5.156	27,4	-7.259	72,6	-4.362
Madera dura	Alamo	-4.618	21,7	-7.124	78,3	-3.923

(\*) Cuando se trataron a 400° C durante 10 minutos

Se observa, que aunque la cantidad de carbón vegetal que se obtiene de la celulosa, lignina, madera blanda y madera dura, varía substancialmente, sin embargo, su calor de combustión es prácticamente el mismo, alrededor del valor  $7,2 \pm 0,2$  Kcal/g.

La oxidación del carbón vegetal es condición sine qua non para la combustión sin llama. Esta oxidación ha sido objeto de numerosas investigaciones, a pesar de lo cual los mecanismos de las reacciones que tienen lugar apenas son conocidos. Inicialmente el oxígeno se adsorbe en los centros activos ( $c^*$ ) de la superficie de los materiales carbonosos. El oxígeno adsorbido ( $C(O_2)^*$ ) se disocia a continuación en monóxido de carbono y/o dióxido de carbono, a la vez que se regeneran nuevos centros activos que propagan el proceso de oxidación. Los óxidos estables al descomponerse lentamente, desempeñan aparentemente un secundario papel en la formación del monóxido y dióxido de carbono.

La oxidación del carbón vegetal, según las teorías actuales, se puede esquematizar así:



En apoyo de esta teoría, los resultados experimentales alcanzados, demuestran, que el carbón vegetal producido por pirólisis de los compuestos celulósicos a baja temperatura, es sumamente reactivo cuando se le compara con el grafito y otras formas de carbono puro. Además, la actividad de esos carbones vegetales disminuye a medida que la temperatura del proceso se incrementa.

También se explica el papel que algunos catalizadores metálicos desempeñan en la combustión sin llama, al ayudar a disociarse al oxígeno adsorbido. Asimismo, se comprenden las dificultades que los fosfatos de amonio y el ácido bórico presentan a la combustión sin llama, al interactuar probablemente el  $\text{P}_2\text{O}_5$  y el  $\text{B}_2\text{O}_3$  con los centros activos. Los anhídridos ácidos se caracterizan particularmente por su reactividad con los óxidos. El azufre que es un efectivo inhibidor de la combustión sin llama, se adsorbe también intensamente por el carbón activo. Por otra parte, se sabe que el anhídrido sulfuroso puede inhibir la combustión del carbono al reaccionar posiblemente con los óxidos situados en la superficie.

De los datos obtenidos en los ensayos de laboratorio sobre la combustión sin llama de los compuestos celulósicos, se desprende que la máxima temperatura a la que tiene lugar este tipo de combustión oscila alrededor de los 800° C.

TITULO: "A FLOW REACTOR TECHNIQUE FOR THE STUDY OF WOOD PYROLYSIS"

AUTORES: D.L. BRINK AND M.S. MASSOUDI

FECHA: FEBRERO DE 1977

CONTENIDO: Para estudiar la pirólisis de la madera se ha desarrollado la técnica de un nuevo reactor de flujo. En su diseño experimental se ha tenido en cuenta la interacción de los siguientes parámetros: temperatura y presión del reactor, densidad de la suspensión, caudal del gas transportador así como el contenido de humedad y el tamaño de las partículas constituyentes de la materia prima.

La temperatura es un parámetro fundamental para el control cinético de la descomposición térmica de la madera. La densidad de la suspensión depende de la velocidad de alimentación de las partículas sólidas y de su tiempo de permanencia, influyendo en la velocidad de transmisión de calor desde las paredes del reactor hasta las partículas. El caudal de gas transportador determina el tiempo de permanencia, y el tamaño de las partículas, la velocidad a la que la temperatura de su masa se aproxima a la del equilibrio dentro del reactor.

El contenido de humedad de la materia prima y la presión en el interior del reactor pueden desempeñar un importante papel en las reacciones que tengan lugar, aunque en los experimentos - que se realizaron para este trabajo permanecieron constantes. En dichos experimentos solo se variaron los parámetros siguientes:



Temperatura de reacción ( $^{\circ}$ C)	316 - 871
Densidad de la suspensión (gr/l)	0,05 - 0,5
Caudal del gas transportador (l/min)	9 - 236
Diámetro de las partículas sólidas (cm)	0,04 - 0,084

Los principales componentes del equipo diseñado fueron : Un reactor y un horno, un sistema de alimentación de partículas sólidas, otro de recolección, un método analítico y dispositivos para medir el caudal.

El sistema de alimentación introduce continuamente las partículas sólidas en el interior del reactor, previamente calentado con nitrógeno, que se utiliza como vehículo transportador. En su paso por el reactor, la suspensión de las partículas sólidas se calienta, y según la temperatura que alcancen, experimentan una serie de reacciones químicas de degradación. Del mismo, salen los gases que se producen y las partículas que han reaccionado parcialmente y se encuentran suspendidas en el nitrógeno. Las partículas mayores y más densas se separan de la corriente gaseosa en unos depósitos de sedimentación. Las partículas sólidas fraccionadas y las gotitas en suspensión de alquitrán (aerosoles) se eliminan en una serie de filtros, condensadores y torres.

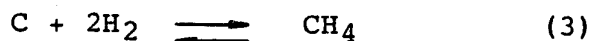
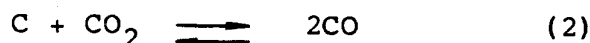
Mientras que las partículas finas se retienen mayormente en los filtros, los aerosoles lo hacen eficazmente en las torres. Los gases, relativamente limpios, pasan por último a través de unos aparatos de medida, eliminándose a continuación.

En la pirólisis-gasificación de las partículas de madera, se obtienen tres clases de productos:

- Una mezcla gaseosa que contiene principalmente vapor de agua,  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$  y  $CH_4$ .
- Un compuesto condensable
- Un residuo carbonoso

De los resultados experimentales conseguidos se desprende, como se esperaba, que el alcance de la transformación de las partículas sólidas en gases es directamente proporcional a la temperatura y/o tiempo de permanencia, mientras que el peso molecular medio de los gases obtenidos lo es inversamente.

La suma de las producciones de residuos carbonosos y compuestos condensables disminuye al aumentar la temperatura. En el rendimiento de los residuos carbonosos influyen mucho las variables, densidad de la suspensión y tiempo de permanencia, así como la temperatura de la reacción. La transformación en productos gaseosos se atribuye directamente a las reacciones que se producen entre el carbono, y el vapor de agua y dióxido de carbono, respectivamente. Las velocidades de las mismas aumentan mucho a medida que se incrementa la temperatura por encima de los 497°C. La velocidad de la reacción entre el carbono y el hidrógeno es inapreciable a la presión atmosférica, presión a la que tuvieron lugar la totalidad de los experimentos realizados, y a las temperaturas ya indicadas (316-871°C). Estas tres reacciones se pueden representar así



Conforme se incrementa la temperatura, aumenta la fragmentación de los compuestos orgánicos, con la consiguiente disminución de la producción de alquitrán y el aumento de los productos de peso molecular más bajo. El agua es un elemento crítico en las reacciones de gasificación. Su presencia se debe al contenido de humedad de la materia prima y a las reacciones de deshidratación que se producen durante la pirólisis. Debido al bajo contenido de humedad de la materia prima la cantidad de agua de que se dispone durante la gasificación debería ser insignificante, a la temperatura de 697°C. La reducción de la cantidad de agua en

el gas de pirólisis, desvía la reacción



hacia la formación de monóxido de carbono y agua. Simultáneamente, se incrementaría la formación de monóxido de carbono, merced a la reacción (2).

A la temperatura de 797°C y presión de 0,1 atmósferas, las velocidades de las reacciones (1) y (2) son aproximadamente iguales y 1.000 veces mayores que la (3). Puesto que la gasificación de las partículas carbonizadas procede principalmente de las reacciones (1) y (2) que tienen lugar en la zona de temperatura más alta y la concentración de vapor de agua en la reacción (1) está limitada, la (2) desempeña un papel cada vez más importante en la gasificación, bajo dichas condiciones.

Finalmente se comprobó que las reacciones de la pirólisis tienen lugar en dos etapas. En la zona de temperatura más baja, comprendida entre 316-647°C, dominan las reacciones de descomposición térmica, siendo la energía de activación y el factor pre-exponencial de 14 Kcal/mol y  $3 \times 10^3 \text{ seg}^{-1}$ , respectivamente. En la zona de mayor temperatura, comprendida entre 647-871°C, se producen tanto las reacciones de descomposición térmica como las que tienen lugar en la superficie entre los gases obtenidos y las partículas carbonizadas, siendo la energía de activación y el factor pre-exponencial de 25 Kcal/mol y  $2,64 \times 10^5 \text{ seg}^{-1}$ , respectivamente.

TITULO: "ROTARY KILN GASIFICATION OF BIOMASS AND MUNICIPAL WASTES"

AUTORES: R.H. HOOVERMAN AND J.A. COFFMAN

FECHA: AÑO 1977

CONTENIDO: La Compañía Wright - Malta está investigando un horno rotatorio para recuperar la energía contenida en la biomasa y en los residuos en general. Los sólidos y líquidos mezclados, se secan, pirolizan y gasifican durante su paso lento por el horno rotatorio, de calentamiento exterior y alimentación continua. El gas obtenido, de bajo poder calorífico, abastece a un turbo generador. El escape de la turbina proporciona el calor que el proceso necesita. No se requiere trocear, clasificar y desecar previamente la materia prima. En principio, el rendimiento del sistema es similar al de una planta de combustibles convencionales.

Actualmente, Wright - Malta ha averiguado las reacciones químicas que tienen lugar durante la gasificación en un "minihorno" de alimentación discontinua o por tandas. En el mismo, se han tratado papeles, leña, así como residuos urbanos y aguas fecales, bajo diversas condiciones de presión, temperatura, caudal de vapor y velocidad de calefacción. Se ha determinado la factibilidad de la gasificación a baja temperatura, indicándose las condiciones óptimas del proceso.

La cámara de gasificación es un recipiente cilíndrico de resistentes paredes de 1 m de longitud y 30 cm de diámetro interior, diseñada para soportar temperaturas de hasta 600°C y presiones de 35 kg/cm<sup>2</sup>.

Se carga con una determinada cantidad de materia prima , normalmente 1 Kg de compuesto orgánico sólido y 2 Kg de líquido, a través de una lumbrera frontal. El motor que acciona al horno gira entre 1 y 10 r.p.m. El calor se le suministra por medio de una caldera, que a la potencia máxima de 24 Kw, lo calienta a - 600°C en una hora aproximadamente.

A medida que se incrementa la temperatura de la materia prima, se evapora su contenido acuoso, obteniéndose vapor a alta presión. La pirólisis y el desprendimiento de los elementos volátiles se inicia a unos 150<sup>o</sup> C. Cuando la presión del horno alcanza un determinado valor se abre una válvula de control, que permite salir a los gases y al exceso de vapor a través de un eje hueco, expulsándolos desde el fondo del horno. El caudal de gas se regula durante el resto de la operación para mantener una presión constante en el interior del horno. El gas sale a través de una válvula rotatoria, y se dirige a un condensador, donde se enfría, eliminándose la humedad y los compuestos orgánicos pesados. A continuación se toma una muestra para analizarla por cromatografía.

Dentro del horno se mantiene la atmósfera de vapor merced al vapor fresco que se suministra por medio de una caldera auxiliar y un recalentador. El vapor recalentado pasa a su interior por medio de un dispositivo hermético rotatorio, dentro de una cámara de pleno situada en su fondo, desde donde pasa a un conjunto de tubos perforados que se apoyan a lo largo de sus paredes. Unas levas, accionando unas válvulas de movimiento vertical, permiten que el vapor penetre únicamente en los tubos recostados bajo el lecho de los sólidos, por un cierto tiempo, consiguiéndose de este modo que los sólidos queden expuestos a la acción del vapor caliente, durante el máximo periodo. Por el mismo sistema se puede inyectar aire a alta presión, con el fin de investigar la oxidación parcial del carbón vegetal.

El proceso continua hasta que se alcance la temperatura máxima, 600<sup>o</sup> C por regla general. Entonces, el sistema se des

presuriza y se deja enfriar durante toda la noche, para extraerse, pesarse y analizarse, a continuación, el residuo sólido que queda en el horno .

En los ensayos que se realizaron se estudiaron las siguientes variables:

- Presión del vapor
- Inyección de aire
- Intensidad de calefacción y Temperatura máxima
- Catalizadores (Carbonato Sódico)
- Tipo de materia prima

Cuando el papel o la biomasa se voltean en el horno para secarse y transformarse en carbón, los fragmentos se hacen quebradizos y tienden a desunirse por acción de su propio peso. En algunos casos, la materia prima tiene tendencia a pegarse o adherirse a las paredes del horno. No obstante, la adición de unos pocos dispositivos de rotura o fragmentación (como por ejemplo, piedras), controla fácilmente la aglomeración y además mejora el fraccionamiento de la materia prima. La fragmentación es más completa en el caso de cargas grandes (horno lleno) o con procesos de larga duración. Al final de una operación, el residuo carbonoso tiene forma de polvo y de pequeños copos en el caso del papel, y de reducidos gránulos en el caso de la leña, por regla general de diámetro inferior a 1 mm.

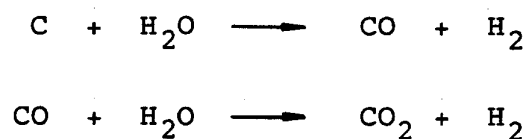
La pirólisis se inicia a los 150<sup>o</sup> C con abundante desprendimiento de CO<sub>2</sub> y de CO inmediatamente después. Simultáneamente, aparecen en el condensador grandes cantidades de aceites y compuestos orgánicos solubles en agua. Ahora se observa un mayor incremento de la temperatura, debido probablemente a las reacciones exotérmicas que se producen al descomponerse la celulosa.

Cuando el proceso termina pronto se demuestra que a los 350<sup>o</sup>C se volatilizan hasta las tres cuartas partes de los componentes orgánicos de la carga. La mayoría de estos componentes

se desprenden como elementos pesados que acaban en el condensador.

El metano aparece a los 300<sup>o</sup>C, aproximadamente. Alrededor de los 400<sup>o</sup> C se desprende un gas bastante rico en hidrocarburos, que cuando se enciende se quema con una llama de un color amarillento vivo. La primera cantidad de hidrógeno, como producto de la pirólisis, se presenta alrededor de los 500<sup>o</sup> C, aunque en presencia de vapor aparece antes, debido probablemente a la reacción que se produce entre el gua y el gas.

La reacción entre el vapor de agua y el producto carbón sólido, tiene lugar a los 500<sup>o</sup> C, aproximadamente. El caudal de gases estables, que se emite constantemente desde el primer desprendimiento de los gases de pirólisis, empieza a incrementar se de nuevo, aumentándose rápidamente con la temperatura creciente. La velocidad con que aumenta la temperatura disminuye, lo que indica que se trata de una reacción endotérmica. El hidrógeno, rápidamente, pasa a ser el constituyente principal del gas, mientras que tanto el monóxido de carbono como la totalidad de hidrocarburos, incluido el metano, disminuye hasta cantidades insignificantes (trazas). A 600<sup>o</sup> C el gas es casi H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> puros, en la proporción de 2/1, en virtud de las reacciones siguientes:



A la máxima velocidad que se observa en el horno, la primera reacción reduce el carbón residual en la proporción del 1% por minuto, aproximadamente.

En el horno se han ensayado diversos tipos de materias primas tales como periódicos, astillas de álamo y chopo, costeros, hojas de pino, residuos sólidos urbanos (compuestos de papel, botellas, latas y plásticos), lodos de aguas fecales, petróleo y carbón. Con excepción del petróleo y carbón, el resto de los com

puestos orgánicos ensayados se comportaron, esencialmente, de forma similar. Los residuos carbonosos eran comparables y la composición del gas casi idéntica.

El carbón mineral es mucho más refractario que los residuos celulósicos. Su descomposición no se inicia hasta los 300° C. Los carbones bituminosos y lignitos, ensayados bajo las condiciones más favorables del proceso, solo transforman en gas combustible el 50% de su contenido orgánico. Por consiguiente, el carbón mineral no es un combustible satisfactorio para este tipo de horno rotatorio.

Se supone que la oxidación parcial controlada del residuo carbonoso, podría incrementar la transformación de sólidos en gas. En el horno, se inyectó debajo del lecho carbonoso una mezcla de aire y vapor, a diversas concentraciones. Se observó que el aire reaccionaba preferentemente con el gas antes que con el residuo carbonoso. Las concentraciones suficientemente grandes, para reducir considerablemente el residuo carbonoso consumían completamente el poder combustible del gas. Por tal motivo se dejó de inyectar aire en este proceso.

La presión del vapor y los catalizadores alcalinos influyen mucho en la gasificación del residuo carbonoso. Además, ambos factores están correlacionados, de tal forma, que los catalizadores ejercen mayor influencia a altas presiones.

En el caso de la leña, tanto con catalizador como sin él, el residuo disminuye constantemente al elevarse la presión del vapor. El catalizador alcalino reduce el residuo leñoso desde un 5% a la presión de vapor de 1 atm hasta un 10% a 30 atm.

En el caso del papel, la tendencia es parecida, aunque más compleja. A 1 atm hay menos residuos que a presiones elevadas en ausencia de catalizador, sin saberse la causa o motivo. Aun así, los residuos son más pequeños para cualquier presión que en el caso de la pirólisis sola. El catalizador alcalino no in



fluye durante la pirólisis seca o a 1 atm, pero reduce el residuo de papel en un 10% a altas presiones.

Tanto en el caso de la leña como en el del papel, el residuo carbonoso se reduce hasta un 6% del contenido orgánico primitivo, en las condiciones extremas del ensayo.

Estos datos demuestran que el gasificador de la Compañía Wright - Malta, podría recuperar del 70 al 75% del poder combustible de la materia prima, funcionando a 1 atm. En el caso de que actuase a 30 atm y con catalizador, se podría obtener el 90% o más.

La presión óptima para un sistema comercial no se ha determinado todavía. Para ello se tendrá que buscar el equilibrio entre un alto rendimiento en la recuperación energética y el coste de un equipo que funcione a grandes presiones.

A bajas temperaturas, sólo una pequeña porción de la materia prima aparece inmediatamente como gases estables, óxidos de carbono, principalmente. La mayoría son volátiles pesados, que en este sistema se recogen en el condensador, mientras que en un gasificador de alimentación continua se romperían y convertirían de nuevo en vapor. A altas temperaturas, el abundante gas se debe tan solo a una pequeña disminución del residuo carbonoso.

En un gasificador comercial, las máximas temperaturas, alrededor de 500<sup>o</sup> C, se deberían conseguir únicamente con el escape de la turbina. Todavía no se sabe si está justificado conseguir las con un recalentador de gas, que consume la pequeña cantidad del poder combustible que queda en el residuo carbonoso.

El efecto de la velocidad de calentamiento, sobre la gama de temperaturas ensayadas, parece ser insignificante. Si la carga se calienta a velocidad uniforme para alcanzar la temperatura máxima durante una o seis horas, apenas influye sobre el residuo carbonoso. Si el aumento de temperatura se detiene por debajo de

500<sup>o</sup> C. cesa la producción de gas. Pero si la carga se mantiene fija a una temperatura más alta, en donde la reacción del vapor-residuo carbonoso está en marcha, la producción de gas continua durante horas, decreciendo exponencialmente con el tiempo.

Estas consideraciones sugieren que, en una planta comercial, se debería agitar la materia prima por todo el horno tan rápidamente como lo permitiera la transmisión de calor. Pero el residuo carbonoso final, de menos volumen ahora, se debería mantener en el fondo del horno, mientras sea factible.

TITULO: "EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFECT OF VENTILATION ON THE BURNING OF PILES OF SOLID FUELS"

AUTOR: T.Z. HARMATHY

FECHA: AÑO 1978

CONTENIDO: Se ha estudiado la velocidad de quemar (pirólisis) pilas de leña y polímeros sintéticos que no goteen, según diferentes niveles de ventilación forzada, habiéndose demostrado que en el caso de compuestos no carbonizables, apenas influye, mientras que los materiales carbonizables se quemán más rápidamente hasta un máximo, a medida que se incrementa el caudal de aire.

La velocidad de quemar, es una medida aproximada de la velocidad de gasificación de un combustible, lo que es exacto para el caso de compuestos no carbonizables, o en otros términos, de la formación de elementos volátiles (o vapores), y esto tiene muy poco que ver con la velocidad de los procesos de oxidación que se producen en la fase gaseosa.

La analogía entre la quema de pilas de sólidos y la de combustibles líquidos es engañosa. Mientras que en la de éstos últimos, las reacciones de oxidación forzosamente se limitan a las inmediaciones de la envolvente de la llama, en la de los sólidos, la pila actúa como una entrada de aire y como un dispositivo que premezcla el aire y el combustible, dando lugar a una oxidación en la fase gaseosa, dentro de la envolvente visible de la llama, que se produce en la parte superior de la misma. La velocidad de gasificación de los compuestos celulósicos, también -

se controla, por el gas que se desprende en la oxidación del residuo carbonoso, por los productos sólidos de descomposición y - hasta cierto punto por la combustión de los elementos volátiles dentro de los límites exteriores de la pila.

El problema es como la gasificación de las pilas de materiales que no originan productos de descomposición sólidos y - reactivos (la mayoría polímeros sintéticos), responde a las variaciones de ventilación. Se ha comprobado que la rigurosidad de la quema de los compartimentos se puede reducir, al incrementar la ventilación, por encima de un valor umbral, y que por lo tanto la ventilación forzada se puede considerar como un medio conveniente en una intensa quema. No obstante, existen algunas dudas, respecto a si se pueden hacer consideraciones semejantes cuando la carga contenga polímeros sintéticos. Para arrojar alguna luz al asunto, se efectuaron estudios experimentales para medir la velocidad a la que se pierde masa en la quema de las pilas de madera y de algunos polímeros sintéticos, bajo condiciones de ventilación forzada.

Se ha prestado bastante atención a la quema de la leña , tanto en una atmósfera libre como en unos compartimentos simulados. En los estudios más recientes se ha considerado la ventilación natural como una variable, aunque no se ha tratado la posible relación que pueda existir entre la ventilación de las pilas y la de los compartimentos.

En los experimentos se han ensayado los cinco productos - siguientes: pino blanco, metacrilato de polimetilo, polylite, y dos tipos de plásticos fenólicos.

MUESTRA		a	l	n	N	Mo	Ao	$\phi$	$\epsilon$
Número	Producto	(m)	(m)	-	-	(Kg)	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> /Kg)	-
W-1-1	Pino	0,025	0,155	4	3	0,445	0,161	0,362	0,355
W-1-2	Pino	0,025	0,155	5	3	0,594	0,189	0,318	0,194
W-1-3	Pino	0,025	0,155	3	5	0,568	0,206	0,363	0,516
W-1-4	Pino	0,025	0,155	4	5	0,788	0,255	0,324	0,355
W-1-5	Pino	0,025	0,155	4	8	1,223	0,396	0,324	0,355
W-2-1	Pino	0,030	0,203	4	2	0,559	0,180	0,322	0,409
W-2-2	Pino	0,030	0,203	4	3	0,857	0,256	0,299	0,409
W-2-3	Pino	0,030	0,203	4	4	1,217	0,332	0,273	0,409
W-2-4	Pino	0,030	0,203	4	5	1,387	0,408	0,294	0,409
W-2-5	Pino	0,030	0,203	4	6	1,626	0,484	0,298	0,409
pM	Metacrilato de polimetilo	0,018	0,155	4	4	1,067	0,158	0,148	0,535
pL	Polylite	0,025	0,155	3	3	1,022	0,128	0,125	0,516
pH-1	Plástico fenólico	0,0254	0,153	3	5	1,889	0,206	0,109	0,502
pH-2	Plástico fenólico	0,0317	0,153	3	4	2,301	0,193	0,084	0,404

Para su realización se construyeron unas pilas, a las que se reforzaron sus bordes y aristas con soportes de acero inoxidable, para evitar su hundimiento. Sus características más importantes se indican en la tabla de arriba, siendo:

a: el espesor y anchura de los tarugos de materia prima, en metros.

l: la longitud de los tarugos de materia prima, en metros

n: el número de tarugos de una fila

N: el número de filas de la pila

Mo: la masa de la materia prima de la pila, en Kilos

Ao: la superficie libre de combustible, en metros cuadrados

$\phi$ : la superficie específica de la pila, en metros cuadrados por Kilo.

$\epsilon$ : la porosidad de la pila

Las muestras de pino se tuvieron unos pocos días, antes de realizar los ensayos, en una cámara, a  $20^{\circ}$  C y con una humedad relativa del 50%.

Para evitar las dificultades que se tuvieron en el mantenimiento continuo de la quema de las pilas de plásticos fenólicos (muestras pH-1 y pH-2), se situaron debajo de las mismas una capa adicional, constituida por tres tarugos de 25 x 25 x 155 mm de polylite, antes de efectuar los ensayos. Para facilitar la ignición, se vaciaron 50 g de metanol en el interior de las pilas, manteniéndose al más bajo nivel el suministro de aire, hasta que las pilas se sumieron en llamas.

Con los datos obtenidos experimentalmente, se construyeron cuatro gráficas, en las que se indican respectivamente:

- La variación de la masa de la pila con el tiempo
- La variación del cambio de masa de la pila/masa de la pila,  $R/M_0$ , con el caudal de aire ( $U_a$ )
- La variación del cambio de masa de la pila/superficie libre de combustible,  $R/A_0$ , con el caudal de aire / superficie libre de combustible  $U_a/A_0$ , únicamente, para el caso de las muestras de pino W-1.
- El efecto de la altura de la pila sobre su velocidad de quema (variación de masa), según diferentes niveles de ventilación, y sólo para el caso de las muestras de pino W-1 y W-2.

Los resultados de los ensayos confirman, que las substanciales diferencias que existen en la forma de quemarse (gasificarse) los combustibles sólidos carbonizables y no carbonizables, responde a variaciones dentro del campo de la ventilación. En la velocidad de quemar los combustibles no carbonizables, como es el caso de la mayoría de los polímeros sintéticos, apenas influye ostensiblemente el caudal de aire. Por el contrario, en la

velocidad de quemar los combustibles carbonizables, influye el grado de ventilación de una forma manifiesta. En primer lugar - se incrementa, hasta alcanzar un máximo, y a continuación disminuye a medida que aumenta el flujo de aire. Las observaciones realizadas indican claramente, el importante papel que juega, el calor liberado en la oxidación del carbón vegetal, en el proceso de pirólisis.

TITULO: "BIOMASS AND WASTE PRODUCTION AS ENERGY RESOURCES: UP-  
DATE"

AUTOR: DONALD L. KLASS, PH. D.

FECHA: AÑO 1977

CONTENIDO: El desarrollo y comercialización de las tecnologías que obtienen compuestos energéticos a partir de la biomasa y residuos orgánicos, continua su creciente expansión. Hasta ahora, la mayoría de los trabajos se concentran más en los residuos que en la biomasa. La eliminación de residuos es un problema inmediato, pues los residuos se producen en cualquier tipo de industria o proceso, mientras que la producción de biomasa con fines energéticos no se ha optimizado todavía para sistemas a gran escala. A largo plazo, los residuos ofrecen un pequeño pero continuo suministro de productos energéticos, pudiendo ser vir la biomasa como una fuente principal de energía renovable.

A los procesos de transformación se les ha prestado, con mucho, la máxima atención, dentro del apartado de energía renovable. La multiplicidad de combinaciones relativas a los tipos de materias primas, procesos de conversión y productos energéticos, se resume en la siguiente tabla:



Materia Prima	Proceso de conversión	Productos energéticos primarios
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Biomasa que se cultiva en el terreno.               <ul style="list-style-type: none"> <li>. Arboles</li> <li>. Plantas vegetales</li> <li>. Hierbas y pastos</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Incineración</li> <li>- Separación</li> <li>- Pirólisis</li> <li>- Hidrogenación</li> <li>- Fermentación anaerobia</li> <li>- Fermentación aerobia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Energía               <ul style="list-style-type: none"> <li>. Térmica</li> <li>. Vapor</li> <li>. Eléctrica</li> </ul> </li> <li>- Combustibles sólidos               <ul style="list-style-type: none"> <li>. Carbón vegetal</li> <li>. Combustibles</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Biomasa que se desarrolla en el agua.               <ul style="list-style-type: none"> <li>. Algas unicelulares</li> <li>. Algas multicelulares</li> <li>. Plantas acuáticas</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Biofotolisis</li> <li>- Oxidación parcial</li> <li>- Levantamiento de vapor</li> <li>- Hidrólisis química</li> <li>- Hidrólisis enzimática</li> <li>- Otras transformaciones químicas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Combustibles de síntesis               <ul style="list-style-type: none"> <li>. Metano</li> <li>. Hidrógeno</li> <li>. Gas de bajo poder calorífico</li> <li>. Metanol</li> <li>. Etanol</li> <li>. Hidrocarburos</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Residuos               <ul style="list-style-type: none"> <li>. Agrícolas</li> <li>. Urbanos</li> <li>. De las industrias de troceado y fabricación de la madera.</li> <li>. Orgánicos</li> <li>. Industriales</li> <li>. Aguas fecales</li> <li>. Abonos</li> </ul> </li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Productos de energía intensiva               <ul style="list-style-type: none"> <li>. Amoníaco</li> <li>. Acero (*)</li> <li>. Cobre (*)</li> <li>. Aluminio (*)</li> <li>. Vidrio (*)</li> <li>. Otros compuestos químicos</li> </ul> </li> </ul>
(*) Pertenecen a residuos urbanos y ciertos tipos de residuos industriales.		

En un sistema integral, que utiliza la biomasa como materia prima, el proceso de transformación puede tener una gran influencia en el rendimiento total. Esta es una de las razones por las que se considera muy importante desarrollar procesos de conversión óptimos.

Se indican las composiciones y poderes caloríficos de la biomasa típica, diferentes residuos, celulosa pura, turba y carbón mineral. Sus poderes caloríficos son muy similares, cuando se expresan en kilocalorías por kilo de Carbono contenido. Los contenidos en cenizas de los residuos y de la biomasa, exceptuando la madera, son por regla general altos, pudiéndose considerar co

mo una fuente potencial de polución, con numerosos problemas a la hora de su eliminación. Los contenidos de azufre de los residuos y de la biomasa son bajos si se les compara con los de muchos combustibles fósiles; consecuentemente, las emisiones de azufre de los procesos de transformación térmica son reducidas. Sin embargo, los óxidos de nitrógeno que se producen pueden ser tan cuantiosos o incluso más, que en el caso de los combustibles fósiles. En la combustión de muchos residuos y constituyentes de la biomasa, el principal agente contaminante, son las partículas procedentes del arrastre físico de las cenizas y otros inertes. Si se exceptúan los procesos de separación física, que se aplican fundamentalmente para los residuos sólidos urbanos, los procesos de transformación se pueden dividir en tres grupos o categorías: térmica, química y biológica. En los procesos térmicos, se emplean a menudo bajas temperaturas, mientras que en los biológicos, el tiempo de permanencia de la materia prima en los reactores, es relativamente corto, como consecuencia de las elevadas propiedades de degradación de la biomasa.

En la tabla siguiente se señalan algunas de las principales diferencias que existen entre los procesos de gasificación térmicos y biológicos, relativos a la biomasa y residuos en general.

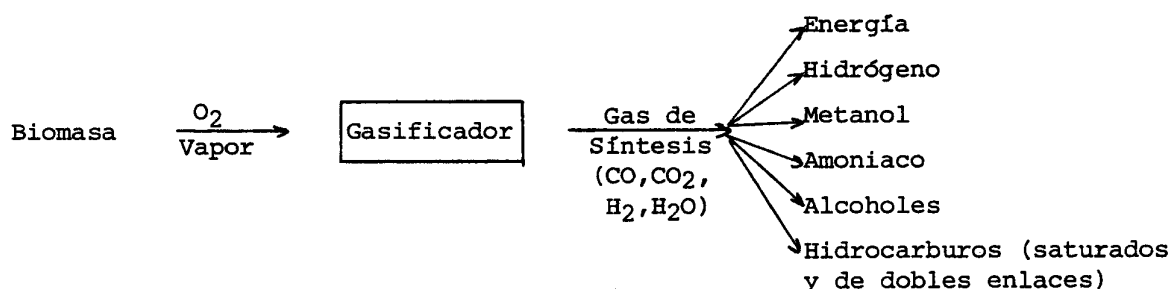
Características	Proceso Térmico	Proceso Biológico
- Tipo de proceso	. Oxidación parcial . Pirólisis . Levantamiento de vapor	- Digestión anaerobia
- Aceptación de materia prima	. Con bajo contenido de humedad	- Con alto contenido de humedad
- Transformación	. A alta temperatura y velocidad	- A baja temperatura y velocidad
- Gas producido	. Bajo poder calorífico	- Intermedio poder caloríf.
- Residuos	. Cenizas	- Sólidos digeridos
- Fuentes de contaminación	. Emisiones de gas . Cenizas . Corrientes líquidas	- Efluentes del Digestor

Como se ve, existen importantes diferencias que se tienen que examinar detalladamente, a la hora de seleccionar el proceso óptimo. También se han de considerar las aplicaciones que se vayan a dar al gas producido. Se calculan las entalpías a  $25^{\circ}\text{C}$  y los rendimientos termodinámicos de la transformación de 100 libras de celulosa en metano, según los procesos de digestión anaerobia e hidrogasificación, respectivamente. Las tres fases de la digestión anaerobia (licuefacción - Acidogénesis - Metanogénesis) son ligeramente exotérmicas, mientras que la reacción de hidrogenación del proceso de hidrogasificación es muy exotérmica. Desde el punto de vista teórico, el rendimiento del proceso de transformación biológico es ligeramente superior al de la transformación térmica. Es importante señalar, no obstante, que la temperatura de  $25^{\circ}\text{C}$  es muy similar a aquella a que tiene lugar la digestión anaerobia, mientras que la hidrogasificación se verifica a temperaturas alrededor de los  $500^{\circ}\text{C}$  e incluso más altas. Por consiguiente, las pérdidas térmicas pueden ser bastante superiores a las consideradas en los cálculos de la hidrogasificación. A pesar de esto, estos tipos de cálculos son bastante valiosos, pues indican las composiciones de los productos, las relaciones energéticas entre cada fase del proceso y los rendimientos teóricos.

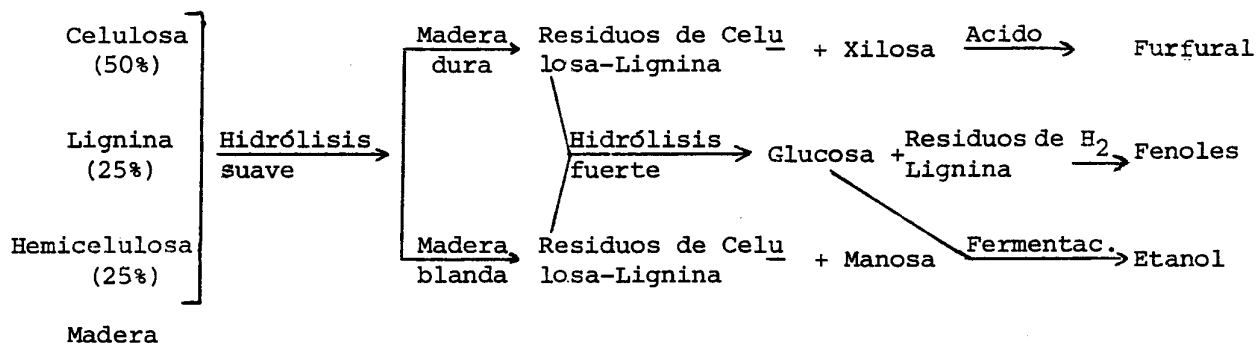
Se presenta también, un análisis comparativo acerca del rendimiento de la conversión para producir vapor, en el caso de tratamiento de los residuos urbanos según varios procesos diferentes.

Recientemente, se ha reanudado el interés de utilizar la madera con fines energéticos, habiéndose efectuado diversos estudios según distintas vías de transformación. La madera representa, aproximadamente, la mitad de la biomasa total que se produce en la tierra, por lo que constituye una importante fuente de energía y carbono fijo. Se estima, que en los Estados Unidos, se generan anualmente, 116 millones de toneladas de residuos forestales secos, como consecuencia de la explotación, manipulación y elaboración de la madera. Su consumo anual de madera oscila alre

dedor de 250 millones de toneladas. El empleo de la madera para producir energía eléctrica, se considera factible técnicamente y no parece que ofrezca obstáculos técnicos y de contaminación para la aplicación a las centrales de gran escala del Estado de Vermont y también de otras áreas, probablemente. Análogamente, se conoce la tecnología de gasificación de la madera para producir un gas de bajo poder calorífico o gas de síntesis, que se puede emplear para múltiples aplicaciones, según el siguiente esquema:



Actualmente, los procesos de productos múltiples, que originan etanol, furfural y fenoles, se están desarrollando, al considerarse rentables económicamente, a diferencia de los de un solo producto o compuesto único, incluyéndose el esquema siguiente:



También se incluye un resumen del análisis económico de este tipo de proceso (\*):

. Madera tratada:	1.500 t de madera seca/día
. Inversiones:	90 x 10 <sup>6</sup> \$
. Productos: Etanol :	95.000 m <sup>3</sup> /año a 290 \$/m <sup>3</sup>
Furfural:	30.400 t/año a 530 \$/t
Fenol :	35.400 t/año a 385 \$/t
. Beneficios antes de	
Impuestos:	30%

(\* ) Según dólares del año 1975, y considerando para los residuos de madera dura un precio de 24 \$/t.

Evidentemente, existen muchos caminos diferentes para la obtención de componentes químicos orgánicos a partir de la biomasa, como consecuencia de su gran reactividad y alto contenido en polisacáridos. En la práctica, el valor del proceso de transformación elegido, dependerá de la disponibilidad y precios de los productos obtenidos en cada caso, al compararlos con los - producidos a partir del petróleo y gas natural.

Finalmente, se comentan las evaluaciones de los sistemas de transformación de la biomasa y residuos urbanos, tanto a nivel comercial como de planta piloto.

TITULO: "ENERGY RESSOURCES OFFERED BY NATURAL PHOTOSYNTHESIS"

AUTOR: EDMOND ZEDET

FECHA: AGOSTO DE 1977

CONTENIDO: En primer lugar, se hace una estimación de los recursos energéticos procedentes de la fotosíntesis natural, tales como la madera, los residuos agrícolas, las melazas, etc.

En el caso de la madera, se reflejan en una tabla, las apreciaciones de la ONU, del CNEMA (Centre National d'Etudes du Machinisme Agricole) y del Sr. Sevette en su libro "Géographie et économie comparée de l'énergie", en cuanto a superficie forestal mundial, rendimiento, producción y poder energético.

Fuente de Información	Superficie de bosques ( x 10 <sup>9</sup> ha)	Rendimiento (t/ha y año)	Producción (x 10 <sup>9</sup> t/año)	Poder Calorífico (x 10 <sup>9</sup> TCE/año)
ONU	3,8	4,7	18	7,6
CNEMA	4,1	7	28	12,3
Sevette	4,5	2,8	13	5

También se indican las evaluaciones de superficie forestal realizadas en 1974 por el "Swedish Forest Survey Department" y que son las siguientes(\*)

	Superficie forestal total (x 10 <sup>6</sup> ha)	Superficie forestal explotable (x 10 <sup>6</sup> ha)
América del Norte	630	630
América Latina	65	60
América del Sur	730	530
Africa	800	190
Europa	170	140
URSS	915	765
Asia	530	400
Pacífico	190	80
TOTAL	4.030	2.800

(\*) Conviene recordar que la superficie total de nuestro planeta es de 13.000 millones de hectáreas, exceptuando Groenlandia y la Antártica. Puesto que la población mundial es de 4.000 millones de habitantes, existe cerca de 1 hectárea de bosque por habitante, estando aproximadamente, una tercera parte de la superficie terrestre, cubierta por bosques.

Sobre la base de los 2.800 millones de hectáreas de bosques y admitiendo, según el CNEMA, una producción de 7 toneladas de madera por hectárea y año, con un poder calorífico de 3.000 kcal/kg, la superficie forestal explotable posee un contenido -energético alrededor de  $8,4 \times 10^9$  TCE/año.

En el caso de considerar la superficie forestal, los -4.030 millones de hectáreas, tendrían un poder energético de unos  $12,3 \times 10^9$  TCE/año. De la consideración de todas estas cifras, se puede situar el poder energético de la masa forestal mundial, alrededor de  $10 \times 10^9$  TCE/año. Este valor superaría al

del consumo energético mundial, cifrado entre  $8$  y  $9 \times 10^9$  TCE / año, representando más del doble del consumo total de productos petrolíferos, cifrado en unos  $4 \times 10^9$  TCE/año.

En cuanto a los residuos agrícolas, la F.A.O., da la cifra de 1.827 millones de toneladas/año. No obstante, este valor, parece bastante incompleto, especialmente por lo que se refiere a los cultivos hortícolas y a un gran número de plantaciones de los países en vías de desarrollo. Según las cifras publicadas en Estados Unidos y Francia, se llega a un valor próximo al de 5.000 millones de toneladas/año, al tener en cuenta la proporcionalidad entre la generación de residuos y la producción agrícola y entre la población y los residuos agrícolas.

Si se supone para estos residuos un poder calorífico de 4.000 kcal/kg, podrán suministrar una energía, alrededor de los  $3 \times 10^9$  TCE/año. Por lo que se refiere a las melazas, el Instituto Batelle, estima la producción anual mundial entre 26,5 millones de toneladas, con un rendimiento de 280 kg de alcohol/t, y un poder energético total alrededor de los 6 millones de TCE/año.

Respecto a las basuras y desperdicios, el citado Instituto, estimó en el año 1976, las cifras de 235 y 1.100 kg/habitante y año, para Europa Occidental y Estados Unidos, respectivamente.

La extrapolación de estos valores a escala mundial es bastante incierta y equívoca. Además, el poder calorífico de este tipo de residuos, varía mucho con el nivel de vida de la población. Su contenido energético se calcula alrededor de  $0,34 \times 10^9$  TCE/año. Una parte del mismo, se está aprovechando ya, en las estaciones de energía eléctrica, mediante la incineración.

Considerando todos estos productos, la masa forestal, los residuos agrícolas, las melazas, las basuras y desperdicios, etc., se llega a un valor próximo a los  $15 \times 10^9$  TCE/año.



Todas las cifras expuestas son bastante inciertas, aunque suficientes para demostrar que los recursos teóricamente utilizables son considerables, con un importante efecto en el balance energético mundial, en el momento que se aproveche un pequeño porcentaje de los mismos. El CNEMA ha realizado la siguiente estimación, en cuanto a la producción total de biomasa, en la que incluye los productos ya utilizados en la alimentación e industria.

	Superficie (x 10 <sup>9</sup> ha)	Toneladas de materia seca por ha.	Tonelaje total (x 10 <sup>9</sup> t/año)	Energía total (x 10 <sup>9</sup> TCE/año)
Agricultura	1,45	6	8,7	5
Bosques	4,10	7	28,7	16
Pastizales y estepas	2,60	4	10,4	6
Desiertos y tundras	5,40	1	5,4	3

A continuación se analizan las características de los productos que se originan en la fotosíntesis.

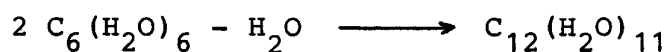
La Naturaleza, combina el agua y el anhídrido carbónico del aire para producir glúcidos, que se polimerizan para formar glucosanas. Por condensación molecular y eliminación de agua, se pueden originar unos productos más complejos, los hidratos de carbono, que responden a la fórmula general  $C_n(H_2O)_n$  y se dividen en tres familias o grupos. Los más interesantes desde el punto de vista energético con los constituidos por 5 y 6 átomos de carbono.

La primera familia es la de los monosacáridos, que se pueden polimerizar en glucosanas, tales como los azúcares, las substancias pépticas, las gomas y los taninos. Se extraen con agua hirviendo o álcalis débiles.

La segunda familia es la de las ligninas y hemicelulosas, que se producen en la condensacion de dos moleculas de monosacarido con eliminacion de agua, dando lugar a la formacion de polisacaridos, solubles en lcalis en un autoclave.

La tercera familia es la de las celulosas, que se produce en la condensacion de muchas moleculas heterogeneas, entre las que se encuentran las de los monosacaridos, siendo insolubles en las condiciones arriba mencionadas.

Corresponden a dos reacciones de condensacion consecutivas de azucares de 6 átomos de carbono, segun el siguiente esquema:



Exceptuando sus porcentajes, los compuestos celulosicos tienen los mismos componentes, segun se indica en el cuadro adjunto, preparado por el Dr. Shoenemann.

	Maderas resinosas	Madera dura	Tallos de Algod <u>o</u> n	Bagazos
Resinas, cenizas	3%	3%	3-5%	24%
Hemicelulosas	27% xilosa	19%	-	-
	manosa	-	33%	40%
	glucosa	8%	-	-
Celulosa	41%	43%	33%	32%
Lignina	29%	27%	26%	22%
TOTAL	100%	100%	97%	98%

Por lo tanto, la madera (leña) y demás productos celulósicos se pueden tratar del mismo modo.

Finalmente, se exponen y analizan los tratamientos de todos estos compuestos, según el planteamiento siguiente:

A) Tratamiento de la madera

I.- Combustión

II.- Pirólisis

- a) Carbonización en pilas
- b) Carbonización en dispositivos o recipientes cerrados
- c) Carbonización integral:
  - Obtención de gas
  - Síntesis de Fischer
  - Producción de hidrógeno
  - Producción de hidrógeno
  - Producción local de calor
  - Producción local de electricidad

III.- Modernización de las explotaciones forestales

B) Tratamiento de los residuos celulósicos procedentes de plantas anuales: -

- Fermentación metánica
- Fermentación alcohólica

TITULO: "WOOD CHARCOAL AS A DECONTAMINATING AGENT FOR THE RE-  
MOVAL OF INSECTICIDES IN WATER"

AUTORES: K. VISWESWARIAH, SURYANARAYANA RAJU AND S.K.MAJUMDER

FECHA: ENERO DE 1977

CONTENIDO: La producción de insecticidas y su utilización en la agricultura, sanidad pública y silvicultura, con tamina los suelos, la vegetación y el agua. Para descontaminar el agua de los insecticidas organico-fosfóricos y organico-clorados, se emplean unos cuantos compuestos adsorbentes, inocuos, inertes y económicos. Entre los mismos se encuentra el carbón vegetal en polvo, con un tamaño de malla 35/40, que en una pro porción del 4% podría eliminar el BHC, el DDT y el Lindane, y en un 5%, al Paration, al Cidial y al Fenitrotion. El Malation se elimina hasta en un 80%, aproximadamente. Puesto que el car bón vegetal es un producto inocuo y barato, del que se dispone fácilmente, se puede utilizar para depurar el agua contaminada de insecticidas, haciéndola potable.

Se indican gráficamente los resultados de estudiar la can tidad de insecticida (BHC) eliminado, en función de la con centración de adsorbente utilizado, para los siguientes casos:

- Empleo de óxido de magnesio
- Empleo de carbón vegetal granular
- Empleo de carbón vegetal activado
- Empleo de greda

- Empleo de caolinita
- Empleo de una mezcla de greda y carbón vegetal activado.
- Empleo de una mezcla de caolinita y carbón vegetal activado.

El carbón vegetal granular es relativamente más eficaz que el óxido de magnesio. Su eficiencia se puede comparar a la de la caolinita.

El carbón vegetal activado, en polvo, es el agente adsorbente de mayor efectividad entre todos los considerados. A concentraciones de 1 y 7%, elimina 5 y 10,5 p.p.m., respectivamente, del BHC contenido en el agua. Cantidades mayores de producto, no originan una mayor descontaminación.

También se ha estudiado el efecto de las mezclas de adsorbentes con vistas a la eliminación de insecticidas. La cantidad de BHC que se elimina del agua es mayor en el caso de una mezcla de arcilla y carbón vegetal activado (1:1), que cuando se emplean por separado. Para una concentración del 3%, se eliminan 9,5 p.p.m. de BHC al utilizar dicha mezcla, frente a 6 y 8 p.p.m., en los casos de emplear caolinita y carbón vegetal activado, respectivamente. Aumentando la cantidad de mezcla adsorbente no se reduce proporcionalmente la concentración de insecticida en el agua. Aunque la eliminación de insecticidas es mayor cuando se emplean mezclas de adsorbentes, puede que no se consiga la supresión total de los mismos, como consecuencia, probablemente, de la oclusión de las partículas finas de arcilla - en los centros activos de las partículas de carbono.

Por otra parte, se ha analizado la influencia de los distintos tamaños de partículas en la eficiencia de la eliminación de insecticidas, habiéndose establecido una relación gráfica, entre el tamaño de malla utilizado para el adsorbente (carbón -

vegetal) y la cantidad de insecticida (BHC) eliminado. Se ha visto que el carbón vegetal que pasa a través de una malla 3/6, elimina 4 p.p.m. de BHC, mientras que el que lo hace a través de la 35/40, elimina 11,98 p.p.m. Se ha comprobado que el carbón vegetal posee la mayor eficacia en la eliminación de los insecticidas organico-clorados y organico-fosfóricos contenidos en el agua, debido a su más grande porosidad y al mayor número de centros activos que poseen sus partículas.

Finalmente, se exponen los resultados obtenidos al tratar el agua saturada con diversos insecticidas, con polvo de carbón vegetal, a una concentración del 5%, analizando el agua purificada mediante un análisis cromatográfico gas-líquido.

Insecticida	Cantidad de insecticida presente en el agua con taminada, a la temperatura de 23-25 °C. p.p.m.	Cantidad de insecticida presente en el agua, una vez que se trató con carbón vegetal. p.p.m.
DDT	0,1	0
BHC	12,0	0,02
Malation	145,0	0
Paration	20,0	0
Cidial	18,0	0
Fenitrotion	30,0	0

Con el empleo de carbón vegetal, se eliminaron por completo del agua, la totalidad de los insecticidas, a excepción del BHC que se quedó a una concentración de 0,02 p.p.m.

TITULO: "CHARRING PYROLYSIS OF WOOD IN FIRES BY LASER SIMULATION"

AUTORES: CALVIN K. LEE, ROBERT F. CHAIKEN, AND JOSEPH M. SYNGER

FECHA: AGOSTO DE 1976

CONTENIDO: A pesar de las numerosas investigaciones teóricas y experimentales que se están realizando sobre la pirólisis de la madera, no se conocen muy bien las características y detalles de las reacciones que se producen durante la misma. Esto se comprende fácilmente, por el hecho de que algunos parámetros básicos, como el poder calorífico del proceso, están lejos de aceptarse universalmente. Es interesante desarrollar nuevos modelos teóricos y tecnologías de experimentación, para analizar la pirólisis de la madera, particularmente en las condiciones térmicas que suceden durante el fuego.

Se estudian los aspectos energéticos y la velocidad de la pirólisis de la madera para diversos flujos caloríficos, utilizando una fuente térmica de  $\text{CO}_2$  - Rayos Laser de 250 vatios. Se mantuvieron esencialmente unas condiciones del proceso unidimensionales en cuanto a flujo de masa y calor, con el fin de medir la variación espacial y temporal de la temperatura, la presión del gas, la pérdida de masa y la densidad, en función del calor desprendido y de la velocidad de la reacción. Se demuestra que la reacción de pirólisis depende del flujo calorífico superficial, por lo que no se puede describir adecuadamente como una reacción única.

También se comprueba, que la pirólisis depende en cierto modo de las propiedades estructurales de la madera, anisótropas por naturaleza.

Para la realización de los ensayos se construyeron unos cilindros de arce, exentos de humedad, de 2 cm de diámetro y 7,5 cm de altura, a los que se sometió a la acción de una corriente descendente vertical de rayos laser, aplicándoles dos tipos de intensidades caloríficas, de 0,76 y 2 cal/cm<sup>2</sup> y seg. Para ambos flujos de calor, la pérdida de masa fue mayor durante el período de calentamiento inicial, disminuyendo a medida que se producía una capa de carbón vegetal. Para el primer flujo, la pérdida de masa disminuyó gradualmente desde la parte superior de la superficie calentada hasta la madera virgen, produciéndose una capa de aproximadamente 1,2 cm de espesor, durante un período de calentamiento de 20 minutos. Para el segundo flujo, la pérdida de masa se produjo principalmente en una zona constante de 0,5 cm de espesor, dando lugar a una onda, que se propagó dentro de la madera, a una velocidad de unos 0,00017 cm/seg., durante los diez primeros minutos del periodo de calentamiento. - Las medidas de las temperaturas demostró que la pirólisis tuvo lugar entre los 300 y los 400 °C. Los gases que se produjeron durante la misma estaban constituidos fundamentalmente por monóxido de carbono, hidrógeno, metano y etileno. El calor específico de la mezcla gaseosa se estimó en 0,32 cal/gr y °C.



TITULO: "UTILIZATION OF BIOMASS BY PYROLYTIC METHODS"

AUTOR: FRED SHAFIZADEH

FECHA: ABRIL DE 1977

CONTENIDO: La biomasa está constituida principalmente por celulosa y otros polisacáridos afines, que se originan y depositan en el interior de las paredes de las células de las plantas, como materiales de estructura fibrosa. Dentro de la industria forestal, los árboles recolectados se transforman en una variedad de productos que requieren una estructura de este tipo, mientras que los residuos se queman para generar energía o limpiar el terreno. El rendimiento de esta industria se puede incrementar, empleando los residuos de las fábricas de tratamiento de la madera y los de los bosques, como fuente de energía y de productos químicos.

Esto implica la rotura de los polisacáridos por métodos químicos, biológicos o físicos. Cada uno de ellos presenta una serie de ventajas e inconvenientes, que requieren un cuidadoso análisis técnico y económico, a la hora de su selección. En este informe se analiza, en primer lugar, el proceso de descomposición térmica y pirólisis. Cuando la celulosa se calienta a temperaturas sucesivamente crecientes, sus macromoléculas se descomponen en dos etapas distintas. A temperaturas por debajo de 300°C, tiene lugar una descomposición lenta y la carbonización, originándose compuestos de bajo peso molecular. A temperaturas superiores a 300°C, se produce una pirólisis rápida, con formación de compuestos gaseosos y derivados del alquitrán, que se

evaporan, dejando un pequeño residuo de carbón vegetal.

Las reacciones térmicas iniciales que originan fragilidad, pérdida de resistencia y una eventual carbonización son la oxidación, la despolimerización (por hidrólisis) y la deshidratación. Estas reacciones se aceleran, incrementando la temperatura, o en presencia de oxígeno, agua y compuestos ácidos o alcalinos. Con ellas, se introducen dobles enlaces enólicos, grupos carbonílicos y grupos carboxílicos, que desestabilizan las moléculas. Las moléculas modificadas, se descomponen con nuevos calentamientos, originándose agua, monóxido de carbono y dióxido de carbono.

Se ha investigado el mecanismo de descomposición y las reacciones de pirólisis de compuestos azucarados, poseedores de grupos glucosídicos, carbonílicos, carboxílicos y funciones no saturadas, mediante el análisis térmico del substrato y el análisis químico de los productos.

El análisis térmico diferencial y la termogravimetría, demuestran que cuando se calienta la celulosa pura a una velocidad de 15 °C/min., la molécula es relativamente estable a temperaturas por debajo de los 300 °C, rompiéndose rápidamente a temperaturas comprendidas entre 325 y 375 °C. La evaporación de los productos de pirólisis hace que la curva diferencial térmica adquiera una fuerte pendiente, produciéndose una rápida pérdida de peso (hasta de un 40% por minuto) y quedando una pequeña cantidad de carbón vegetal (6,5%) a 400 °C.

Por el contrario, una muestra de celulosa que contenga un 5% de cloruro de zinc, se empieza a descomponer a temperaturas mucho más bajas (200 - 350 °C), con una pérdida de peso gradual, quedando un residuo carbonizado del 34% a 400 °C.

El rendimiento de los productos de pirólisis no sólo depende de la presencia o ausencia de catalizadores, sino tam-

bién de la temperatura y de la velocidad con que se eliminan los productos de la zona de reacción. A continuación se analiza la transformación pirolítica de la celulosa en otros componentes azucarados.

Finalmente se estudia la pirólisis y combustión de la biomasa.

Durante el proceso de combustión, la biomasa se descompone en elementos volátiles y un residuo carbonoso (carbón vegetal). La velocidad de la transformación, así como otras características de la combustión se podrían determinar por diversos métodos de análisis térmico, tales como la termogravimetría, la calorimetría de exploración diferencial y el análisis de la evolución térmica. Las características térmicas obtenidas por estos procedimientos, dependen, por regla general, de la composición química de la materia prima.

En la segunda tabla se indica el contenido energético de diversos tipos de productos forestales, así como la producción y poder calorífico de los elementos que se originan en su proceso de pirólisis.

M A T E R I A P R I M A			CARBON VEGETAL		VOLATILES	
Fuente	Tipo	25° ΔH Comb. (cal / gr)	Rendimien- to (*) (%)	25° ΔH Comb. (cal / gr)	Rendimien- to (*) (%)	25° ΔH Comb. (cal / gr)
Celulosa .....	Papel de filtro	-4.143	14,9	-7.052	85,1	-3.634
Lignina del Abe- to Douglas ...	Klason	-6.371	59,0	-7.416	41,0	-4.867
Madera del Ala- mo (Populus ssp)	Copas	-4.618	21,7	-7.124	78,3	-3.923
Madera de Aler- ce (Larix occi- dental) .....	Parte central (corazón)	-4.650	26,7	-7.169	73,3	-3.732
Abeto Douglas descompuesto - (Pseudotsugamen- zeisii) .....	Yesca	-5.120	41,8	-7.044	58,2	-3.738
Pino ponderosa (Pinus Pondero- sa) .....	Agujas	-5.145	37,0	-6.588	63,0	-4.298
Tiemblo (Populus tremuloides) ..	Follaje	-5.034	37,8	-6.344	62,2	-4.238
Corteza de Abe- to Douglas ....	Externa	-5.122	52,8	-5.798	47,2	-4.366
Corteza de Abe- to Douglas ....	Total	-5.708	47,1	-6.406	52,9	-5.087

(\*) Para una velocidad de calefacción de 200 °C/min. hasta 400°C y mantenimiento duran-  
te 10 minutos.

También se muestra, gráficamente, el calor de combustión de los elementos volátiles que se desprendieron en la gasificación de las agujas del Abeto Douglas, a diferentes temperaturas, en los tres casos siguientes:

- Antes de efectuar cualquier extracción de sus componentes.
- Después de extraer los compuestos solubles en éter.
- Después de eliminar la totalidad de los compuestos que se pueden extraer.

Los datos obtenidos en este caso y otros similares, conseguidos para diversos tipos de combustibles forestales, demuestran la gran influencia que ejercen los compuestos de extracción, sobre la combustibilidad de las materias primas.

Los valores que se alcanzaron en el análisis térmico, demuestran que existe una correlación entre el calor de combustión y el contenido en carbono de los diferentes tipos de combustibles forestales y sus productos de pirólisis.

El poder calorífico medio de los combustibles naturales, 4.500 cal/gr, no es muy inferior al de los diferentes tipos de carbón mineral, que varían, por regla general, entre las 7.900 cal/gr para los carbones bituminosos y las 3.650 cal/gr para los lignitos. Esta comparación es más favorable para la pirólisis o destilación seca de los combustibles naturales, que podría proporcionar carbón vegetal y varios subproductos químicos. El bajo contenido en azufre, el calor de combustión relativamente alto y la disponibilidad como fuente renovable, son los principales factores que aconsejan la transformación de los residuos celulósicos y forestales en diferentes tipos de combustibles y productos químicos. Por ejemplo, la destilación seca de las maderas blandas resinosas originaria, además de carbón vegetal, trementina y alquitrán de madera, mientras que la de las maderas duras y residuos agrícolas que contengan xilana, produciría

furfural, metanol y ácido acético como subproductos, y la de -  
los compuestos celulósicos, derivados de la glucosa y carbón ve  
getal.

TITULO: "A STUDY OF THE EXTINGUISHMENT OF VERTICAL WOOD SLABS  
IN SELF-SUSTAINED BURNING BY WATER SPRAY APPLICATION"

AUTOR: FRANCESCO TAMANINI

FECHA: NOVIEMBRE DE 1975

CONTENIDO: En este trabajo se estudia la extinción del fuego de los costeros dispuestos verticalmente, en un proceso de quema automantenido, mediante la aplicación de pulverizaciones de agua.

El experimento comprendió la realización de los tres dispositivos siguientes: uno para la ignición de los costeros, otro para medir continuamente la variación de su peso durante el proceso de quema, y un tercero, para aplicar, a las superficies que se están quemando, pulverizaciones de agua, de distribución uniforme y caudal regulable.

Los ensayos se efectuaron con costeros de especies de pino blanco, de 19,1 cm de ancho, 27,9 cm de alto, y espesores de 0,64, 1,27 y 1,91 cm, respectivamente.

Los resultados obtenidos demuestran que entre el tiempo requerido para el control del fuego  $[\Delta t_{ct}/t_o]$  y la velocidad de aplicación del agua  $[m_w'' *]$  existe la siguiente correlación:

$$\frac{\Delta t_{ct}}{t_o} = 0,179 \times (m_w'' *)^{- (1,5 - 1,75)}$$

una función potencial simple, con un exponente comprendido entre -1,5 y -1,75.

El mismo tipo de función potencial simple, con un exponente comprendido entre -1,5 y -1,75, existe entre la pérdida de masa durante el control del fuego  $\left[ \frac{\Delta m_{f,ct}''}{\Delta m_{f,be}''} \right]$  y la velocidad de aplicación del agua  $[m_w'' *]$ :

$$\frac{\Delta m_{f,ct}''}{\Delta m_{f,be}''} = 0,083 \times [m_w'' *]^{-(1,5 - 1,75)}$$

A continuación se describen los tres aspectos siguientes, de un modelo teórico, elaborado para abordar el fenómeno de la extinción del fuego:

- Los procesos de descomposición de los sólidos (pirólisis)
- La condición límite o de borde, de la superficie
- El criterio de extinción

Los cálculos que se obtuvieron con dicho modelo, confirman la existencia de una velocidad mínima para la aplicación del agua, comprendida entre 0,19 y 0,24 mg/cm<sup>2</sup>/seg, por debajo de la cual no es efectiva dicha aplicación. Experimentalmente, se alcanzaron los mismos resultados. Además, con el mismo modelo se obtuvo una velocidad límite superior, comprendida entre 0,8 y 1 mg/cm<sup>2</sup>/seg, por encima de la cual disminuye el rendimiento de la aplicación del agua.



TITULO: "THERMOLYSIS OF WOOD IN A FURNACE WITH REPEATED CIRCULATION OF THE HEAT CARRIER"

AUTORES: N.M. KARAVAEV AND E.Z. KARASEVA

FECHA: AÑO 1975

CONTENIDO: Se consideran los efectos térmicos de la pirólisis de la madera y las composiciones cualitativa y cuantitativa, de los fenoles extraídos y de los alquitranes producidos en el proceso de pirólisis.

La uniformidad del calentamiento en un horno, provisto de un dispositivo que permite la circulación repetida de un transportador de calor, se analizó por las lecturas obtenidas a través de tres termopares situados a igual distancia entre sí, en su fondo, parte central y parte superior, respectivamente.

Aunque en la mayoría de la bibliografía que se conoce, se dice, que la descomposición exotérmica de la madera empieza a los 260-280°C, en estos experimentos se ha detectado que dicha composición se inicia a los 230°C, al calentar uniformemente la madera por encima de la totalidad de la misma. Además, al haberse cargado el horno con trozos pequeños de madera, de tamaño similar, se incrementa la superficie intercambiadora de calor de la madera en relación con la que poseen en los hornos portátiles o de carretas y en las retortas. Por consiguiente, aumenta el coeficiente de transmisión de calor transportador/madera y disminuye la caída de temperatura entre el transportador y la madera.

En los hornos de calentamiento externo, debido a su baja conductividad térmica, es imposible conseguir un calentamiento - uniforme y simultáneo de toda la carga de madera. La subida de la temperatura por encima de un determinado nivel en un punto de la muestra y la simultánea insuficiencia de temperatura en otro punto de la muestra, imposibilitan la medida correcta de la temperatura del proceso.

Una vez que se han alcanzado los 220-240<sup>o</sup> C, se inicia la etapa de pirólisis activa, con el consiguiente incremento de la pérdida de peso por parte de la muestra inicial, obteniéndose una amplia zona exotérmica en la curva del análisis térmico. A temperaturas por encima de 385<sup>o</sup>C, la velocidad de la pirólisis cae bruscamente.

En el proceso de descomposición térmica de la madera, la mayoría de los fenoles se originan en la pirólisis de la lignina y también en la de los carbohidratos complejos.

Según la hipótesis de Piyalkin, los radicales primarios - que se forman fácilmente, experimentan una serie de reacciones de recombinación, descomposición, reordenamiento, dismutación y de otros tipos. En la formación de los compuestos fenólicos volátiles, el principal papel lo desempeñan las reacciones de recombinación de los radicales arílicos formados. La recombinación de los radicales arílicos con otros de bajo peso molecular, origina productos aromáticos volátiles, mientras que la de los radicales arílicos entre sí, conduce a la formación de compuestos no volátiles, estables al calor, con enlaces bifenilos y arilos, de los que se produce, posteriormente, carbón vegetal. Por consiguiente, para aumentar el rendimiento de los fenoles se tiene que asegurar una concentración suficiente de radicales de bajo peso molecular, en el momento en que se verifica la primera rotura de los enlaces de la lignina. Esto se consigue al coincidir la pirólisis de la madera con la descomposición o desintegración de los productos gaseosos originados. La desintegración térmica de

estos productos permite que se incremente la concentración de los radicales de bajo peso molecular, mediante reacciones de deshidrogenación y desmetilación, y también de descomposición de los radicales alifáticos, de mayor peso molecular. Por eso, cuando la descomposición térmica de la madera se efectúa en un horno provisto de un dispositivo que permite la circulación repetida de un transportador de calor, tiene lugar la formación simultánea de los radicales arílicos y la de los de bajo peso molecular. Este hecho, disminuye la recombinación de los radicales arílicos entre sí, incrementando el rendimiento de los fenoles.

En los experimentos realizados en este tipo de horno, con madera de abedul, la producción de fenoles ascendió a un 6% sobre materia prima completamente seca. Este valor es 1,5 veces superior al que se obtiene en una retorta de calentamiento externo.

TITULO: "THE ROLE OF THE INTERNAL SURFACE IN THE FORMATION OF  
CARBON DISULFIDE FROM WOOD CHARCOAL AND SULFUR"

AUTORES: A.A. PEDRO, R.M. LEVIT, Y N.A. PELENITSIN

FECHA: AÑO 1975

CONTENIDO: El propósito de este trabajo fué determinar lo más -  
exactamente posible, los mecanismos de las reacciones  
que se producen entre el vapor de azufre y los compuestos carbo-  
nosos sólidos, en particular, el carbón vegetal. Puesto que la  
sorci6n de los vapores de azufre por la superficie del carb6n ve-  
getal, precede a la reacci6n qu6mica, el problema de si la reac-  
ci6n tiene lugar s6lo en la superficie geom6trica interna de los  
productos carbonosos, o penetra simultáneamente en su interior ,  
es de una importancia fundamental. Se han realizado experimen-  
tos para ver la influencia del tamaño de las partículas de car-  
b6n vegetal en su reacci6n con los vapores de azufre. Para ello  
se utiliz6 un m6todo, que consistía en pesar continuamente las  
esferas de carb6n vegetal, durante su reacci6n con los vapores -  
de azufre. El carb6n vegetal se prepar6 en el laboratorio, habi6n-  
dose calcinado previamente a  $1.000^{\circ}\text{C}$ , con el fin de reducir hasta  
el m6nimo, la influencia que ejercen los procesos en que se ori-  
ginan oxisulfuro de carbono y sulfuro de hidr6geno, sobre la va-  
riaci6n de peso de las esferas.

Las temperaturas de los experimentos variaron entre 800 y  
 $1.050^{\circ}\text{C}$ , y el vapor de azufre entr6 en el reactor a la presi6n  
de  $0,4\text{ g/cm}^2$  y min.

Con pequeños flujos de vapores de azufre, hasta  $0,2 \text{ g/cm}^2$  y min, se quemaron uniformemente por todas partes. Con mayores flujos y temperaturas de  $1.000^\circ \text{ C}$ , las esferas de diámetro inferior a 10 mm se quemaron lenta y uniformemente, mientras que las de mayor tamaño se quemaron lenta y desuniformemente: la parte frontal de las partículas en contacto con el vapor se quemó algo más rápidamente que la parte trasera o posterior. Entre  $800$  y  $900^\circ \text{ C}$ , las esferas se quemaron uniformemente por todas partes. Con un incremento de la temperatura y un aumento del tiempo del experimento, la superficie de la esfera se hizo cada vez más rugosa y la muestra más desmenuzable. No se observó una gran diferencia entre la parte desmenuzable y el resto de la partícula, habiendo perdido la esfera hasta  $1/3$  de su peso inicial, sin una disminución apreciable de su diámetro. Posteriormente, el incremento del grado de desmenuzamiento tuvo lugar con la formación de intensas o profundas "quemaduras". Todo ello, demuestra la desuniformidad físico-química de la superficie de carbón vegetal, con respecto al vapor de azufre. Una explicación de este hecho ha de buscarse en la estructura secundaria del carbón vegetal, determinada en gran parte por la morfología de la materia prima inicial.

Se muestran las curvas que indican la velocidad de la quemadura de las esferas de carbón vegetal de 15 mm de diámetro con vapor de azufre, a diversas temperaturas ( $800$ ,  $900$ ,  $950$  y  $1050^\circ \text{ C}$ , respectivamente). Curvas similares se obtuvieron para esferas de carbón vegetal de diferentes diámetros.

Para temperaturas comprendidas entre  $800$  y  $900^\circ \text{ C}$ , es característico durante los primeros minutos del proceso, un valor negativo en la variación de peso de las esferas, como consecuencia del predominio de la sorción sobre la reacción química. El peso de la esfera disminuye, únicamente, después de que se establezca el equilibrio de sorción entre la fase gaseosa y la muestra.

Al aumentar la temperatura del experimento, se incrementa la velocidad de la reacción, alcanzándose el máximo de la curva cinética más rápidamente.

A continuación se estudian las velocidades máximas ( $V_{\max}$ ) a las que se forma el bisulfuro de carbono, referidas tanto a la superficie geométrica externa de la esfera (S) como al volumen total de la partícula (W), en función del diámetro de la esfera (d) y para la temperatura de 800, 900, 950 y 1050° C, respectivamente.

Entre 800 y 900° C, la relación  $V_{\max}/W$  es más indicativa que la  $V_{\max}/S$ . En otras palabras, entre dichas temperaturas, se produce bisulfuro de carbono en la casi totalidad de la superficie interna de las esferas, con un diámetro comprendido entre 10 y 15 mm. A 1000-1050° C, el valor más constante es  $V_{\max}/S$ , por lo que se puede decir que la formación del bisulfuro de carbono se produce principalmente en la superficie externa de la esfera y en una capa delgada, adyacente a ella.

A temperaturas superiores a 900° C, desempeñan un importante papel, además de los factores puramente químicos, los fenómenos de difusión interior y exterior (agentes macrocinéticos físicos).

Finalmente, se establecen a modo de resumen, las cinco conclusiones siguientes:

- La formación del bisulfuro de carbono por reacción entre el vapor de azufre y el carbono del carbón vegetal, se produce, tanto en la superficie geométrica exterior del carbón vegetal como en la superficie interior de los numerosos poros y fisuras, accesibles a las moléculas de azufre.
- Las proporciones relativas de estos procesos y la variación de la superficie de reacción dependen de las condiciones concretas de cada caso, influyendo en primer lugar, la temperatura de la zona de reacción y el flujo del vapor de azufre.

- Hasta los  $950^{\circ}$  C, la superficie interior de las partículas de carbón vegetal es la que desempeña el principal papel en el proceso de formación del bisulfuro de carbono, verificándose la reacción en la región cinética.
- Por encima de los  $950^{\circ}$  C, el límite interno de la zona de reacción se aproxima a la superficie externa de la esfera, teniendo lugar el proceso en la región intermedia.
- La energía de activación aparente del proceso de formación del bisulfuro de carbono, por reacción a  $800-950^{\circ}$  C, entre el carbón vegetal y el vapor de azufre, es de 26 Kcal/mol.

TITULO: "FLUIDIZED BED SOLIDS WASTE GASIFIER"

AUTORES: M.S. LIU Y R. SERENIUS

FECHA: JULIO DE 1976

CONTENIDO: Para las compañías forestales, es de un gran interés el empleo de los residuos leñosos con fines energéticos, dado el alto precio que posee la energía, actualmente. La eliminación de estos residuos en un quemador convencional tipo "tepee", sin ningún aprovechamiento energético, resulta cada vez menos económica, dando lugar, también, a emisiones con elevados contenidos en partículas.

Los residuos leñosos se pueden emplear para generar vapor en calderas de combustibles sólidos triturados. No obstante, la inversión inicial y los costes de mantenimiento para este tipo de calderas, son elevados, siendo difícil encontrar personal cualificado para su manejo, en zonas apartadas o lejanas. Por otra parte, aún en el caso de que estén bien diseñadas, no pueden satisfacer las rigurosas disposiciones anticontaminantes, sin el empleo de costosos dispositivos. La gasificación de los residuos leñosos aparece como una alternativa, que merece la pena investigar.

La gasificación es un proceso que permite la transformación de los compuestos carbonosos en gases, empleando un agente o vehículo gasificador, tal como el oxígeno, el aire o el vapor. Cuando se emplea aire para gasificar la madera, se produce una mezcla de gases combustibles ( $H_2$ ,  $CO$  y  $CH_4$ ) y gases incombustibles ( $CO_2$ ,  $N_2$  y  $H_2O$ ). La mezcla es un gas de bajo poder calorífico.



fico, alrededor de  $1.335 \text{ Kcal/Nm}^3$ , apropiado para utilizar como una fuente energética, cerca del lugar donde se genera, pues de lo contrario, el transporte a grandes distancias hace inviable su empleo.

Cuando se emplea oxígeno como agente gasificador, se obtiene un gas de poder calorífico medio, alrededor de  $2.670 \text{ Kcal/Nm}^3$ . Mediante el tratamiento de este gas, se consigue otro de alto poder calorífico, alrededor de  $8.010 \text{ Kcal/Nm}^3$ , similar al gas natural, con un contenido en metano del orden del 90%, en volumen.

La gasificación se puede llevar a cabo en reactores de lecho fijo, lecho arrastrado o lecho fluido.

En un reactor de lecho fluido, se fluidifica el lecho de partículas finas, por una corriente gaseosa que asciende a través del mismo, a velocidad controlada. El lecho se somete continuamente a una rápida agitación y mezcla, produciéndose un elevado calentamiento y transferencia de masa. Por consiguiente, el rendimiento de este tipo de reactor, es superior al del lecho fijo, para la misma capacidad de tratamiento de materia prima. La temperatura del lecho es menor en el reactor de lecho fluido que en el de lecho fijo, pues mientras en el primero, se mantiene, por regla general entre  $550$  y  $1.100^\circ \text{C}$ , según las características de la materia prima, en el segundo, puede alcanzar los  $1370^\circ \text{C}$ . Las bajas temperaturas de gasificación evitan la concreción y aglomeración de las cenizas, facilitando su eliminación. También prolongan la vida del reactor, y reducen bruscamente la vaporización de las sales, un importante problema inherente a la quema de los residuos leñosos que contienen sales acumuladas, cuando flotan en el agua del mar.

A la Compañía "British Columbia Research", se la ha encargado estudiar activamente los residuos de que dispone, en un reactor de lecho fluido, para la producción de carbón vegetal, car-

bón activo, furfural y gas de bajo poder calorífico. Recientemente, le fué posible llevar a la práctica, la producción de carbón vegetal, mediante el proceso "Thermex-Reactor". Este sistema es fabricado actualmente, por la firma "Alberta Industrial Developments, Ltd.", de Edmonton, Alberta, Canadá, bajo licencia de la "British Columbia Research". El sistema consta de un reactor, un ciclón, un precalentador de aire, un dispositivo de alimentación y otro de recolección del carbón vegetal. El reactor es de acero inoxidable de 2,13 m de diámetro interior y 3,04 m de altura, con una capacidad de tratamiento de 50 t de residuos leñosos/día y un rendimiento en carbón vegetal del 20-25%.

Para la conversión total de los residuos en un gas de bajo poder calorífico, se ha llevado a cabo un proyecto, bajo los auspicios del "Environmental Committee - Pulp and Paper, of the Council of Forest Industries of British Columbia". Con tal motivo se ha instalado una unidad de gasificación de lecho fluido a nivel de planta piloto, habiéndose investigado diversos parámetros operacionales y su correlación con las emisiones desprendidas por la chimenea.

La unidad consta de un reactor, un precalentador de aire, un alimentador de tornillo, un sistema de recogida de cenizas, un horno, una chimenea y un depósito o tolva de almacenamiento de materia prima. El reactor es de forma cilíndrica, de 0,61 m de diámetro interior y 3,04 m de altura, revestido de un material refractario y equipado con una parrilla y un tubo de rebose de 1,52 m de alto. El aire y el combustible se introducen al mismo tiempo dentro del reactor. El combustible penetra por la parte inferior del reactor mediante un transportador de tornillo, situándose encima de la parrilla, por lo que se expone a las máximas temperaturas de la zona. Dentro del reactor, el combustible se dispersa rápidamente a través del lecho constituido por carbón vegetal al rojo vivo y cenizas, desecándose, destilándose y gasificándose con gran rapidez.

Para los ensayos se utilizó serrín de abeto, de las siguientes características:

Tamaño	2.600 micras
Humedad	41,2 - 53,9 %
Cenizas	0,6%, sobre una base completamente seca

Su composición elemental, en peso, sobre una base enteramente seca y libre de cenizas, fué de 52,5% de carbono, 41,4% de oxígeno y 6,1% de hidrógeno, con un poder calorífico de 4700 Kcal/Kg de materia seca.

En cada uno de los ensayos se midieron las entradas de aire y de combustible y las salidas del gas de bajo poder calorífico, de los gases de combustión y de las cenizas. Las presiones y temperaturas se midieron en diversos puntos del reactor, habiéndose determinado también las emisiones desprendidas por la chimenea.

Finalmente, se indica la concentración de las partículas emitidas por la unidad de gasificación, para una altura de lecho de 1,5 m y diferentes condiciones de funcionamiento u operación, así como el poder calorífico y composición de los gases desprendidos en los experimentos realizados con lechos de 0,9, 1,2 y 1,5 m, respectivamente.

TITULO: "INDUSTRIAL PYROLYSIS OF CELLULOSIC MATERIALS"

AUTOR: FRED SHAFIZADEH

FECHA: MAYO DE 1975

CONTENIDO: Los métodos de pirólisis tradicionales, se pueden clasificar dentro de los tres grupos siguientes:

- Carbonización para obtener carbón vegetal (o carbón activado), sin recuperación de subproductos.
- Carbonización de maderas duras para producir carbón vegetal y ácidos piroleñosos, de los que se recuperan metanol y ácido acético, como productos principales.
- Carbonización de maderas blandas resinosas, para obtener carbón vegetal, trementina y alquitranes.

En todos ellos, se evita la descomposición de la celulosa u otros hidratos de carbono en productos volátiles, con el fin de obtener más carbón vegetal.

Cuando se les compara con el proceso de sacarificación, presentan las ventajas de una mayor velocidad de reacción y el no producir grandes volúmenes de agua, ácidos y álcalis, por lo que no requieren reactores resistentes a la corrosión, sumamente caros. No obstante, su principal inconveniente, es la combinación de reacciones inespecíficas que originan un gran número de compuestos, con bajos rendimientos. Por lo tanto, para su con-

trol o catálisis, y conseguir mejores resultados, se tiene que restablecer una industria de pirólisis competitiva, según una tecnología de lecho fluido o de cualquier otro tipo diferente, que permita un calentamiento y tratamiento rápidos, así como una comprensión de los mecanismos de las reacciones que tienen lugar.

En la pirólisis de los compuestos celulósicos se pueden obtener carbón vegetal, alquitranes y elementos volátiles. En este artículo se analizan estas fracciones, junto con las reacciones químicas responsables de su formación. A elevadas temperaturas, se dispone de suficiente energía para producir una serie de reacciones concurrentes y en cadena, que, si se las permite continuar, originan mezclas interactivas. Mediante el empleo de una gran variedad de compuestos y la aplicación de nuevos métodos de análisis químico y térmico, ha sido posible descifrar el complejo proceso de pirólisis. Las transformaciones que se producen en el mismo, se pueden dividir en cuatro categorías. En las primeras fases del calentamiento, las moléculas de carbohidratos pierden el agua de absorción, se rompen los enlaces de hidrógeno, incrementándose la capacidad calorífica y el cambio de fase. Posteriores calentamientos o calentamientos más intensos, causan la transglucosilación o rotura de los grupos glucosídicos y la polimerización de las moléculas de azúcar, que son las principales responsables de la producción del alquitrán. A las reacciones de transglucosilación, le acompaña o continua, la descomposición de las unidades de azúcar mediante reacciones de deshidratación, fisión y dismutación, originándose la fracción volátil, entre la que se incluyen el dióxido de carbono y otros productos gaseosos. Finalmente, la condensación de los productos de descomposición o fragmentación, las pérdidas de sustituyentes y las interacciones de los radicales libres, originan un residuo carbonoso.

A continuación se describen brevemente y se exponen los resultados obtenidos, acerca de las siguientes fases o etapas:

- Transglucosilación y Formación de Alquitranes
- La descomposición en Elementos Volátiles

- La Deshidratación
- La Descarboxilación
- La Formación de carbón Vegetal

Las reacciones de transglucosilación, eliminación, fisión y dismutación, originan productos de bajo peso molecular, que escapan de la zona de calentamiento, como alquitranes, volátiles y elementos gaseosos. Los restantes compuestos se carbonizan en posteriores calentamientos. La producción de carbón vegetal se podría mejorar a costa de otros productos, mediante un calentamiento más lento y la adición de catalizadores (agentes ácidos y alcalinos, como por ejemplo el cloruro de zinc y el hidróxido sódico).

Finalmente, se indica el rendimiento y poder calorífico de los carbones obtenidos a partir de una extensa variedad de compuestos celulósicos y productos naturales, sin adición de aditivo alguno.

COMBUSTIBLE NATURAL			CARBON VEGETAL		VOLATILES COMBUSTIBLES	
FUENTE	TIPO	25° ΔHcomb (cal/g)	Rendimiento % (* )	25° ΔHcomb (cal/g)	Rendimiento % (**)	25° Δ H comb (cal/g)
Celulosa	Papel de filtro	-4.143	14,9	-7.052	85,1	-3.634
Populos SSP (álamo)	Paja de madera	-4.618	21,7	-7.124	80,9	-3.923
Latrix occidentalis (alerce)	Corazón	-4.650	26,7	-7.169	68,5	-3.732
Pseudotsuga menzeisii (abeto Douglas o rojo)	Yesca	-5.120	41,8	-7.044	50,5	-3.738
Pseudotsuga menzeisii (abeto Douglas o rojo)	Yesca menuda (malla 60)	-5.373	50,0	-6.871	-	-3.875
Adenostoma fasciculatum	Tallo	-4.813	35,2	-6.836	49,8	-3.714
Pinus Ponderosa (pino amarillo)	Agujas	-5.145	37,0	-6.588	61,7	-4.298
Populus tremuloides (tiemblo)	Follaje	-5.034	37,8	-6.344	59,7	-4.238

(\*) Velocidad de calentamiento: 200° C/min  
(\*\*) Velocidad de calentamiento: 16° C/min

Esta tabla demuestra que el poder calorífico medio de los combustibles naturales, 4.500 cal/g, no es muy inferior a los de los diferentes tipos de carbón mineral, con valores medios comprendidos entre 7.915 cal/g, para los bituminosos de grado A y 3.640 cal/g, para los lignitos. Sus datos, indican el valor potencial de las enormes cantidades de residuos celulósicos y productos forestales como fuentes de energía renovable, y también las posibilidades de gasificación para mejorar el rendimiento energético, el transporte y las propiedades de la combustión.

TITULO: "THE BURNING OF SOLID POLYMERIC PARTICLES IN A REACTIVE ENVIRONMENT, I. WOOD".

AUTOR: M.S. MASSOUDI

FECHA: JUNIO DE 1975

CONTENIDO: Para analizar la aplicación de los procesos de calentamiento o combustión, de los residuos leñosos, como medio de control de la contaminación atmosférica, se está llevando a cabo un programa de investigación por el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Arya-Mehr de Teherán.

Por la falta de datos básicos sobre la velocidad de combustión de las nubes de partículas leñosas y sobre los factores que afectan a su cinética, se ha dividido el citado programa en tres fases. En la primera, se ha realizado los esfuerzos necesarios para obtener la información básica relativa a las variables que intervienen en la velocidad de quema de las partículas leñosas. La segunda, examinará la naturaleza y cantidad de los compuestos contaminantes, generados en la quema de dichas partículas. En la última fase se construirá una unidad de combustión a gran escala para estudiar la eficacia y factibilidad del proceso de combustión de los residuos leñosos.

Los datos de que se dispone sobre la combustión de partículas leñosas se limitan a unas pocas investigaciones.

Los fundamentos de la pirólisis y combustión de los componentes de la madera se han investigado durante varios años. En la mayoría de los trabajos realizados al efecto, se examinó la ve



locidad de combustión de los costeros o de unos cilindros leñosos, en condiciones estáticas; También se estudió la influencia de la geometría y características dinámicas de las partículas leñosas en un reactor de flujo.

El presente informe trata de la primera fase del programa de investigación. En primer lugar se describe el procedimiento y equipos que se utilizaron para realizar los experimentos llevados a cabo con compuestos de tres tipos de tamaño (0,02, 0,04 y 0,08 cm, respectivamente), al quemarlos en presencia de aire y con diferentes contenidos de humedad, a temperaturas entre 400 y 800° C. A continuación, se analizan las consideraciones teóricas del modelo matemático elaborado para el proceso de pirólisis - gasificación de la madera y la subsiguiente combustión del carbón vegetal y gases producidos.

Por último, se comentan los resultados experimentales alcanzados.

Los parámetros que se investigaron en este estudio fueron: la temperatura del reactor, la densidad de la suspensión de partículas en el interior del reactor, el caudal del gas transportador y el tamaño de las partículas.

Los resultados obtenidos demuestran, como se esperaba, que la quema de las partículas leñosas varía directamente con la temperatura e inversamente con su contenido de humedad y tamaño. Este último factor ejerce una mayor influencia que el contenido de humedad. Como consecuencia de la pequeña variación referente a la densidad de la suspensión de partículas (0,062 - 0,079 g/l), no se ha visto de forma clara la influencia de este parámetro en relación con la quema de las partículas.

TITULO: "COMPOSITION OF GASEOUS COMBUSTION PRODUCTOS OF POLY-MERS"

AUTORES: TAKAYOSHI MORIMOTO, KEN-ICHI TAKEYEMA, Y FUMIYA KONISHI

FECHA: JULIO DE 1976

CONTENIDO: En este artículo se indican los resultados de los análisis cuantitativos, efectuados mediante espectrofotometría de rayos infrarrojos, cromatografía de gases y colorimetría, en el caso de los gases que se desprenden en la combustión con llama, de diez diferentes tipos de polímeros sintéticos y una especie de madera, el cedro, bajo idénticas condiciones de tratamiento (Muestras de 0,1 g; Temperatura de 700° C; y Caudales de aire de 50 y 100 l/h).

Se describen los aparatos utilizados para:

- La combustión de dichas materias primas (polímeros sintéticos y madera de cedro) y la recogida de los gases producidos en la misma.
- La pirólisis de dichas materias primas y la recogida de los gases producidos en ella.
- La recogida de los componentes originados en la quema del metano y en la del etileno.

Los principales hidrocarburos generados fueron el metano, el etileno y el acetileno.

En la combustión con llama de los polímeros sintéticos se generó mucha mayor cantidad de acetileno que en la pirólisis de los mismos, a  $700^{\circ}$  C y en una atmósfera de nitrógeno. El volumen de acetileno se incrementó al aumentar el caudal de aire.

Los resultados conseguidos hacen pensar en la producción de acetileno por combustión posterior de hidrocarburos tales como el metano, etileno, etc, generados en las primeras etapas o fases de la quema. Este hecho pone de manifiesto que tanto el metano como el etileno son una de las principales fuentes de producción de acetileno. Es muy interesante que el acetileno y el etileno, hidrocarburos de dos átomos de carbono, se encuentren entre los componentes de la combustión del metano, hidrocarburo de un solo átomo de carbono.


En cuanto a los componentes nitrogenados, se produjo ácido cianhídrico en la combustión de todos los polímeros que contenían nitrógeno. Este ácido también se detectó en la pirólisis de todos los polímeros que contenían nitrógeno, exceptuando el caso de los poliuretanos.

Por lo que se refiere al amoniaco se obtuvo únicamente en la combustión de la poliacrilamida (  $-\text{CH}_2 - \text{CH} -$  ) y del nylon



66 |  $\text{OC} - (\text{CH}_2)_4 \text{CONH}(\text{CH}_2)_6 \text{NH}$  |<sub>n</sub> y en la pirólisis de todos los polímeros que contenían nitrógeno, salvo en el caso del poliuretano.

También se observó que el nitrógeno que contenían los componentes nitrogenados originados en la combustión de los polímeros sintéticos, era muy inferior al que poseían los propios polímeros. Este hecho, hizo pensar en que una considerable cantidad del nitrógeno contenido en los polímeros se transformaba en gas elemental ( $\text{N}_2$ ), durante el proceso de combustión con llama, como posteriormente se comprobó.

Finalmente, se vió que en la combustión del polisulfuro - de fenileno ( -  - S - )<sub>n</sub>, se obtuvieron grandes cantidades de anhídrido sulfuroso y cantidades insignificantes de sulfuro - de carbonilo. Asimismo, también se detectaron trazas de este pro ducto en la pirólisis del polisulfuro de fenileno, a 700<sup>o</sup> C y en una atmósfera de nitrógeno.