

Micro-gasificación:

Cocinar con gas procedente de la biomasa sólida y seca

Una introducción al concepto de las tecnologías para combustión de gas-madera y sus aplicaciones para cocinar



Título original: Micro-Gasification: Cooking with gas from biomass

1^{era} edición, Enero 2011, Autor: Christa Roth

Versión electrónica en inglés: <http://www.gtz.de/de/dokumente/giz2011-en-micro-gasification.pdf>

Publicado por

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

HERA – Poverty-oriented Basic Energy Services

(Abastecimiento básico de energía orientado a la pobreza)

Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5, D - 65760 Eschborn, Alemania

T +49 6196 79 1361, F +49 6196 79 80 1361

E hera@giz.de , I www.gtz.de/hera

**Versión en Castellano:**

1^{era} edición en Junio 2011 por la Universidad Agrícola Panamericana Zamorano (Honduras), en colaboración con Christa Roth y GIZ-HERA.

Han contribuido a la traducción: El equipo del Centro de Estufas de la Universidad Agrícola Panamericana Zamorano (Honduras): Ing. Reyna Guzmán, Ing. Gracia Flores, Ing. Jorge Espinosa, Ing. Timothy Longwell.

María Luisa Blanco y Paniagua de Los Santos (España), el equipo de www.balata.es en la Sierra de Francia (España) y Christa Roth

Foto de la portada: Christa Roth

Foto que muestra la típica forma de la llama en un quemador gasificador de biomasa seca, en este caso hecho de una lata

Introducción

Micro-gasificadores: mucho más que „dra estufa mejorada“

1) Las estufas tradicionales de leña están comúnmente asociadas con impactos negativos como

- Falta de comodidad: „no es moderno“ como LPG, electricidad o fuegos a biogás.
- Emisiones de humo, monóxido de carbono y hollín (black carbon): „no es saludable“
- Degradación de los bosques: el abastecimiento de combustible „no es sostenible“.

2) Algunas „estufas mejoradas“ no cumplen con las normas de estufas limpias

En las últimas décadas innumerables esfuerzos han sido desplegados para mejorar estufas „convencionales“ de leña. Con cierto éxito se han desarrollado tecnologías que consumen menos combustible, son fáciles de usar y tienen una combustión algo más limpia. Con el nuevo énfasis en los impactos negativos para la salud asociados con las emisiones procedentes de combustibles sólidos de biomasa para cocinar, son necesarios mejores resultados en la reducción de emisiones si la biomasa sigue siendo un combustible aceptable y viable para los miles de millones que dependen de ella para satisfacer su demanda diaria de energía para cocinar.

3) “Re-inventar el fuego” en vez de continuar con el fuego de leña convencional

Los Micro-gasificadores (wood-gas-stoves) se acercan al concepto de generación de calor a base de madera y biomasa de una manera completamente diferente: Los **Gasificadores separan la generación de gases combustibles de su subsecuente combustión para crear calor para cocinar**. El paso de la combustión es esencialmente un "quemador de gas" que le da un 'salto cualitativo' en la reducción de emisiones mientras que permite el logro de los objetivos de comodidad, eficiencia y emisiones! Se trata de "quemadores de gas" que, a demanda, crean su propio suministro de gas a partir de biomasa seca que puede ser almacenada y transportada de forma segura. Las ventajas de gasificación han sido conocidas desde hace casi doscientos años, pero sólo recientemente adaptadas de forma fiable a escala lo suficientemente pequeña (micro) y adecuadas para estufas domésticas.

4) Estufas a „gas-madera“ tienen ciertas ventajas sobre otras Estufas mejoradas

- Combustión más limpia de biomasa (*menos hollín, carbón negro y polución de aire*).
- Más eficiente debido a una combustión más completa (*menos consumo de biomasa*).
- Utiliza una amplia variedad de residuos de biomasa de pequeño tamaño (*no hay necesidad de palos o troncos de madera o carbón vegetal*).
- Los combustibles de biomasa a menudo están al alcance inmediato de los usuarios (*con acceso asequible a conveniencia propia*), fácil de transportar y guardar después de la colección.
- La creación de gas a partir de biomasa seca se puede lograr a bajo costo directamente en la unidad del quemador (*portátil, sin necesidad de tuberías o quemador especial*).
- Comportamiento similar al biogás (*pero independiente de agua y bio-digestor*) con conveniencia similar a los gases fósiles.
- 'Gas' disponible a demanda (*todo lo contrario a la electricidad o el gas LPG que dependen de proveedores locales e importaciones, y a diferencia de la energía solar que es dependiente de buen tiempo y las horas del día*).
- Los Micro-gasificadores pirolíticos permiten la creación de carbón que puede ser utilizado con fines energéticos o para mejorar la productividad del suelo (biochar).

- Fácil encendido permite comenzar a cocinar en cuestión de pocos minutos (*en contraste con la lentitud de hacer arder el carbón vegetal*).

5) Los Micro-gasificadores pueden complementar otras estufas de leña

Dondequiera que la leña sea abundante y de bajo costo, las estufas mejoradas convencionales (por ejemplo, las estufas „rocket“) son opciones atractivas. En áreas donde el carbón y la leña se están convirtiendo en recursos escasos y/o mercancía cara, los micro-gasificadores ganarán más importancia como una opción para utilizar limpiamente combustibles alternativos de biomasa.

Objetivos de este manual

La Micro-gasificación para estufas domésticas es relativamente reciente. El principio fue inventado en 1985 y el primer micro-gasificador se comercializó en 2003. Recientemente muchas más personas están tomando conciencia del concepto y el potencial de la micro-gasificación. Nuevos desarrollos surgen casi cada día.

Este manual es acerca de los micro-gasificadores de biomasa que son lo suficientemente pequeños como para servir de unidad de combustión para generar calor en **estufas domésticas** y también de cierto modo en estufas para calefacción. El foco es en „**las estufas gasificadoras**“, que es la combinación de una **unidad de combustión a base de micro-gasificación** y una **unidad de transferencia de calor** para la transferencia efectiva del calor generado en una olla, una plancha u otro dispositivo usado para preparar comida.

Este manual es una primera visión general sistemática de micro-gasificadores para proveer energía térmica para cocinar

- a) Para los planificadores de proyectos y concepcionistas:** para darles una visión general de las numerosas tecnologías y aplicaciones de micro-gasificación incluyendo los riesgos, beneficios y el potencial de los micro-gasificadores.
- b) Para implantadores de proyectos y practicantes:** proveer puntos de entrada para poder empezar haciendo pruebas, adaptando y diseminando los micro-gasificadores y el concepto de micro-gasificación.
- c) Para investigadores:** para darles información sobre asuntos sin resolver que puedan mejorar las aplicaciones de micro-gasificadores.
- d) Para los escépticos que temen los riesgos y dudan de los beneficios:** para darles algo para alimentar los pensamientos.

Este manual es una recopilación del estado actual de la micro-gasificación, qué está todavía en su infancia sin embargo creciendo rápidamente.

Como "trabajo en progreso" se espera que inspire la creación de más experiencia en el terreno que pueda ayudar a difundir micro-gasificadores y contribuir a nuevos desarrollos interesantes. Es el deseo de los autores que cualquier lector se anime a proporcionar información para que los nuevos desarrollos se puedan incorporar en las actualizaciones periódicas de este manual.

El contenido se estructura en los siguientes módulos:

- 1) „Wood-gas“(Gas-madera) de biomasa seca y su aplicación para cocinar**
- 2) Tecnologías y aplicaciones de micro-gasificación en estufas de cocina**
- 3) Materias primas y combustibles para la micro-gasificación**

En el Anexo hay un „Bono´ sobre „bio-carbón“ o Biochar: Cómo cocinar con gasificadores pirolíticos puede mitigar los efectos del cambio climático y mejorar la producción agrícola (por Kelpie Wilson de la Iniciativa Internacional Biochar)

Agradecimientos

Este manual fue iniciado y apoyado por Dr. Kees Marlis, la gerente del programa de *Abastecimiento básico de energía orientado a la pobreza* - HERA, implementado por la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. Sin ella, y todo el equipo de HERA, este recurso sobre micro-gasificadores no existiría.

Todo texto menos el que se marcó como citación fue escrito por Christa Roth, con contribuciones y la revisión técnica por el Dr. Paul Anderson y Hugh McLaughlin, PhD, PE, que amablemente me han permitido citar sus textos sin marcar el respectivo pasaje como una cita. En ese sentido, ambos pueden ser vistos como co-autores del Módulo 1.

Kelpie Wilson (International Biochar Initiative) contribuyó al 'bono' sobre el biochar, que se encuentra en el anexo.

Para la asistencia en la revisión y dar sugerencias útiles para mejorar ese libro, debo las gracias al Dr. Agnes Klingshirn, Elmar Dimpl, André Seidel, Gregor Kraft (BauerPauer), Kevin Mortimer, Nathaniel Mulcahy (WorldStove), Crispin Pemberton-Piggott (Newdawnengineering) y Paal Wendelbo.

Dr. Christoph Messinger y Stefanie Röder me asistieron con sus habilidades de estructurar el contenido y hacer el texto legible. Ellos contribuyeron muchas horas para la tarea que de otro modo hubiera sido el trabajo de un editor.

Gracias también a Johanna Hartmann y Sabrina Cali para los esfuerzos en resolver algunos problemas de formato.

A menos que otra fuente lo indique, todas las fotos fueron tomadas por Christa Roth.

Christa Roth, Eschborn Enero 2011

Para la traducción al castellano:

Gracias se deben a María Luisa Blanco y Paniagua de Los Santos (España) para su ayuda con traducir una buena parte de modulo 1 y el equipo de la Universidad Zamorano en Honduras: Ing.Reyna Guzmán, Ing. Gracia Flores, Ing. Jorge Espinosa, Ing.Timothy Longwell.

Tenga en cuenta:

Este manual fue posible gracias a los contribuyentes de la República Federal de Alemania, administrado por la Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ).

Como tal, los derechos a esta información no están protegidos y se encuentra en el dominio público. **El texto de este manual puede ser citado, siempre y cuando se dé crédito a la fuente.**

Todos los enlaces se verificaron en el momento de la investigación de este manual. Tenga en cuenta que los vínculos podrían cambiar. Los autores no son responsables de enlaces inactivos o no actualizados.

Este manual no tiene la intención de favorecer a ninguna empresa o producto específico. Se dan ejemplos que demuestran la existencia y la fuente de una determinada tecnología como punto de referencia. Todos los enlaces a sitios web comerciales no sirven para enriquecer o beneficiar los autores y no son de ninguna manera exhaustivos. Este manual debe crecer y ser más completo en el futuro.

Así que, por favor, envíe todas las referencias y enlaces útiles que usted recomendaría para ser incluido en futuras actualizaciones del manual a christa-roth@foodandfuel.info.

Cualquier sugerencia para mejorar es bienvenida. Esta primera edición todavía se debe considerar como "trabajo en progreso". Las actualizaciones periódicas previstas van a incorporar los cambios en este dinámico campo de la micro-gasificación.

Lista de abreviaturas

°C	Grados Celsius
ARECOP	Asian Regional Cook stove Programme
BP	British Petroleum
BTU	British Thermal Units (Unidades térmicas británicas)
CHAB	Combined Heat And Biochar (Aplicaciones combinadas de calor y bio-carbono)
cm	centímetros
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
ETHOS	Engineers in Technical and Humanitarian Opportunities of Service
FA	Fan-assisted (tiro asistido por ventilación forzada)
FAO	United Nations Food and Agriculture Organisation
FOB	Free-on-board
g	Gramos
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH (desde 1.1.2011), previamente Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Cooperación Alemana
h	Hora
H ₂ O	Agua
HERA	GIZ – Programa para el abastecimiento básico de energía orientado a la pobreza
HHV	Higher heating value (Valor superior de energía calorífica)
INR	Indian Rupees
kg	kilogramos
KvA	Kilovolt Ampere
kW	KiloWattios
LHV	Lower heating value (Valor inferior de energía calorífica)
LPG	Liquefied petroleum gas (Gas líquido de petróleo)
M3	Metro cúbico
mg	miligramo
min	Minuto
MJ	Mega Joule
mm	milímetros
ND	Natural Draft (Tiro natural)
NiMH	Nickel Metal Hydrate
O ₂	Oxígeno
PCIA	Partnership for Clean Indoor Air (Alianza para el Aire Limpio)
PE	Professional Engineer (Ingeniero profesional)
PM	Particulate Matter (partículas, como hollín)
R&D	Research and Development (Investigación y Desarrollo)
TLUD	Top-lit up-draft (gasifier) Gasificador „Encendido arriba – tiro hacia arriba“
USA	United States of America (Estados Unidos de America)
USD	United States Dollars
WBT	Water boiling test (test de ebullición de agua)
ZAR	South African Rand (Rand de Africa del Sur)

Módulo 1

„Gas-madera“ de biomasa seca Y su aplicación para cocinar



Contenido del prefijo:

Introducción
Objetivos de este manual
Agradecimientos
Lista de abreviaturas

Contenido de Módulo 1:

1.1 Gasificación de la biomasa sólida para cocinar.....	9
1.1.1 Pasos de la combustión de biomasa.....	10
1.1.2 El fuego abierto „sin control“.....	12
1.1.3 Mejorar el control en un micro-gasificador.....	13
1.2 Aplicaciones prácticas de gasificadores de biomasa.....	15
1.3 Características distintivas de los gasificadores de biomasa.....	15
1.4 Micro-gasificadores adecuados para cocinar.....	16
1.4.1 Ventajas comparativas de micro-gasificadores para cocinar.....	16
1.4.2 Características de diseño para hacer los micro-gasificadores apropiados para cocción.....	17
1.5 Ejemplo: El gasificador TLUD (top-lit up-draft = Encendido desde arriba con corriente ascendente).....	18
1.6 Desempeño de los micro-gasificadores para cocción.....	20
1.6.1 Factores de desempeño influidos por el diseño o el usuario.....	20
1.6.2 Factores de rendimiento influidos por el ambiente.....	23
1.7 Resumen: Gasificación de biomasa en breve.....	25

Listado de Figuras

Figura 1: Cambios en el combustible sólido.....	9
Figura 2: Combustión del gas (o no, si las condiciones no son propicias).....	11
Figura 3: Generación de gas por separado de la combustión = „gasificador“.....	13
Figura 4: Características básicas del diseño micro-gasificador TLUD.....	19
Figura 5: Comparación de emisiones de gasificadores TLUD con otras estufas.....	24

1.1 Gasificación de la biomasa sólida para cocinar

Entender la diferencia entre "alimentar una fogata" y "el control de un proceso de combustión en un generador de gas" es un punto de partida para comprender la manera en la que la biomasa y el fuego son combinados en una estufa de cocina.

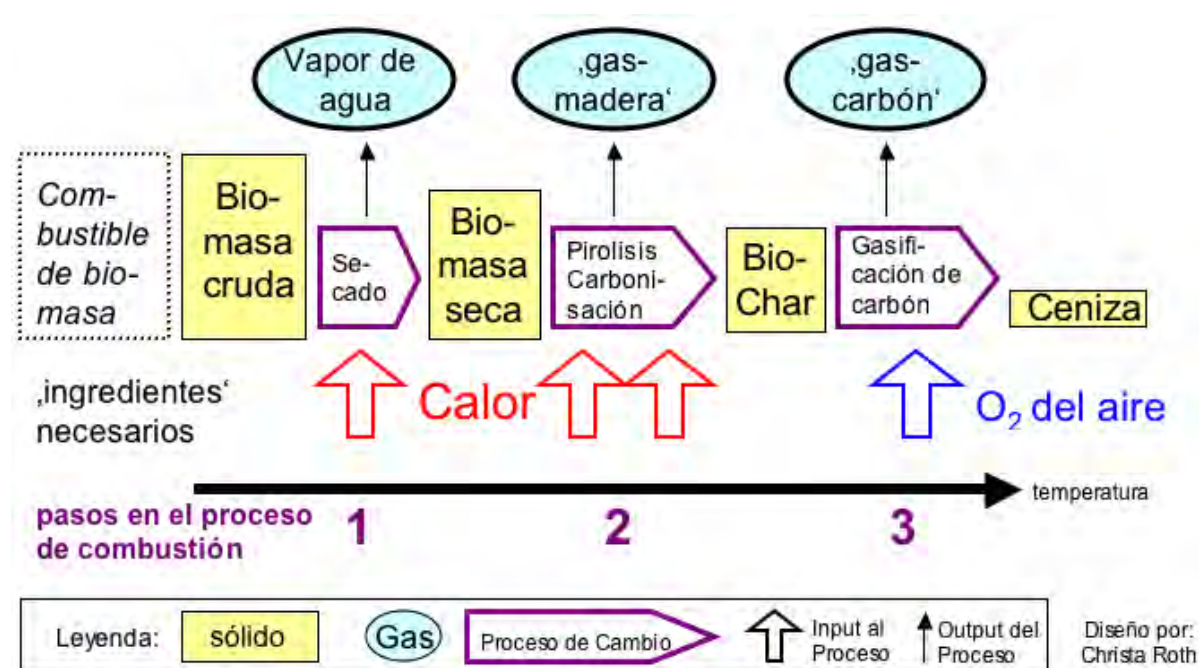
Comencemos con un ejemplo familiar: Todos hemos visto una vela encendida: una vez encendida, procede a derretir lentamente la cera y arde con una llama estable por un tiempo prolongado. Notamos que el proceso en el que se quema la cera tiene múltiples pasos: primero se derrite (cambia de sólido a líquido), luego se traslada hacia arriba en forma líquida por la mecha, y luego se evapora debido al calor que emite la llama. La llama proporciona calor para derretir aún más cera sólida en la parte superior de la vela tanto por el calor radiante y la simple proximidad. La cera evaporada se mezcla con el oxígeno en el aire - y la llama visible se manifiesta en la interfaz donde los vapores de la cera que quitan la mecha se encuentran con el oxígeno del aire alrededor de la llama.

La manera en que la madera se quema es muy parecida a la cera de la vela, con algunas diferencias específicas. La mayoría de estas diferencias se deben al hecho de que las velas están hechas de cera altamente refinada y homogénea, mientras que la madera es un combustible menos puro - pero mucho más accesible (fácil de obtener) y asequible (mas barato) que la cera.

La madera y otra biomasa sólida constituyen, después de todo, los combustibles más antiguos de cocina. Son aún hoy la fuente más común de energía para cocinar en el planeta.

Como en el caso de la vela, también la quema de madera y otra biomasa sólida es una secuencia de transformaciones - que ocurren casi simultáneamente, pero separados por pequeñas distancias en el tiempo y el espacio, como se muestra en la Figura 1.

Figura 1: Cambios en el combustible sólido



Las sustancias sólidas son sometidas a cambios determinados por la presencia de **calor** y de **oxígeno**:

1. cuando la biomasa se calienta, se evapora el exceso de humedad y la temperatura de

- su superficie aumenta,
2. a temperaturas elevadas, la biomasa „se piroliza“ ("se descompone por el fuego ") en vapores combustibles y un residuo sólido, denominado „carbón (vegetal)".
 3. la brasa, es decir el carbón al rojo vivo, se puede convertir en cenizas, si se dispone de suficiente oxígeno.
 4. bien mezclados con el oxígeno, los vapores y los gases generados pueden ser quemados una vez encendidos.

Durante todo el proceso de conversión, la temperatura aumenta desde la temperatura ambiente hasta muy por encima de 800 ° C, dependiendo de las condiciones locales.

En cada paso se sueltan vapores y gases mientras los sólidos se reducen en masa y volumen.

Si se logra una combustión completa, las emisiones deberían estar limpias y no contener otros ingredientes más que dióxido de carbono y vapor de agua. Si la combustión no es completa, entonces el resultado es humo y vapores compuestos de combustible sin quemar, entre otros el monóxido de carbono.

1.1.1 Pasos de la combustión de biomasa

Una vez que conocemos las condiciones que influyen en la combustión, podemos utilizarlas para controlar y optimizar el proceso. Por lo tanto vamos a tomar un momento para explorar cada etapa por separado:

Paso 1: Secado

El primer cambio ocurre durante el secado del combustible. La cantidad de agua transformada en vapor depende del contenido de humedad del combustible crudo. La humedad también determina tanto la cantidad de calor necesaria para evaporar todo el agua del combustible y tanto la pérdida de masa y volumen hasta que el combustible esté bien seco.

Paso 2: Pirólisis (Carbonización)

Las temperaturas elevadas y el calor absorbido con el tiempo causan una descomposición total de la biomasa que se divide en gases y vapores volátiles, dejando atrás carbón sólido.¹

Los vapores contienen varios combustibles compuestos de carbono: es lo que llamamos "gas-madera" (wood-gas). Como el producto sólido de esta etapa es carbón, también se refiere a ese paso de la transformación como „carbonización".²

La pirólisis puede ocurrir en la ausencia total de oxígeno, **el factor de regulación es el calor**. En resumen: **sin añadir calor**, no hay pirólisis o generación de gas, y por consecuencia no hay combustión de gas, es decir que no hay fuego.

Paso 3: Gasificación de carbón

Una vez formado el carbón, la siguiente etapa de la fase sólida es la de convertir los átomos de carbono en gases oxidados, dejando atrás la parte sólida que no contiene carbono, lo que llamamos „ceniza". Este paso de conversión sólo ocurre si hay oxígeno disponible que llega al carbón mientras que todavía está lo suficientemente caliente (como brasa al rojo vivo) para reaccionar con el oxígeno. A continuación, se produce la "gasificación de carbón": el oxígeno reacciona con la brasa, el carbón sólido, produciendo monóxido de car-

¹ Algunos pueden tener experiencia propia con la destrucción pirolítica de una rebanada de pan en una tostadora: al principio comienza a cambiar de un color blanco-pálido a marrón dorado, mientras que suelta un olor apetitoso. Si se deja demasiado tiempo en la tostadora, los volátiles emergentes pronto se convertirán en humo espeso y ardiente ("wood-gas"), mientras que el pan luce varios tonos de "negro" debido a la carbonización. En el peor de los casos „la tostada" va a salir como un trozo de carbón negro no apto para el consumo humano.

² Pirólisis (Griego: descomposición por fuego) y Carbonización son como las dos caras de una misma moneda, dependiendo de si la atención se centra en la generación de gas-madera o la creación de carbón

bono, dióxido de carbono y una buena cantidad de energía térmica adicional. La ceniza que queda es la fracción incombustible del carbón, los minerales³.

Nota: El **factor de regulación** de la gasificación de carbón es la **cantidad de oxígeno disponible** alrededor de la brasa, el carbón caliente. Si la brasa se enfría y / o el suministro de oxígeno es limitado, la conversión de carbón a ceniza no ocurre: el carbón se conservará y no se creará ceniza.

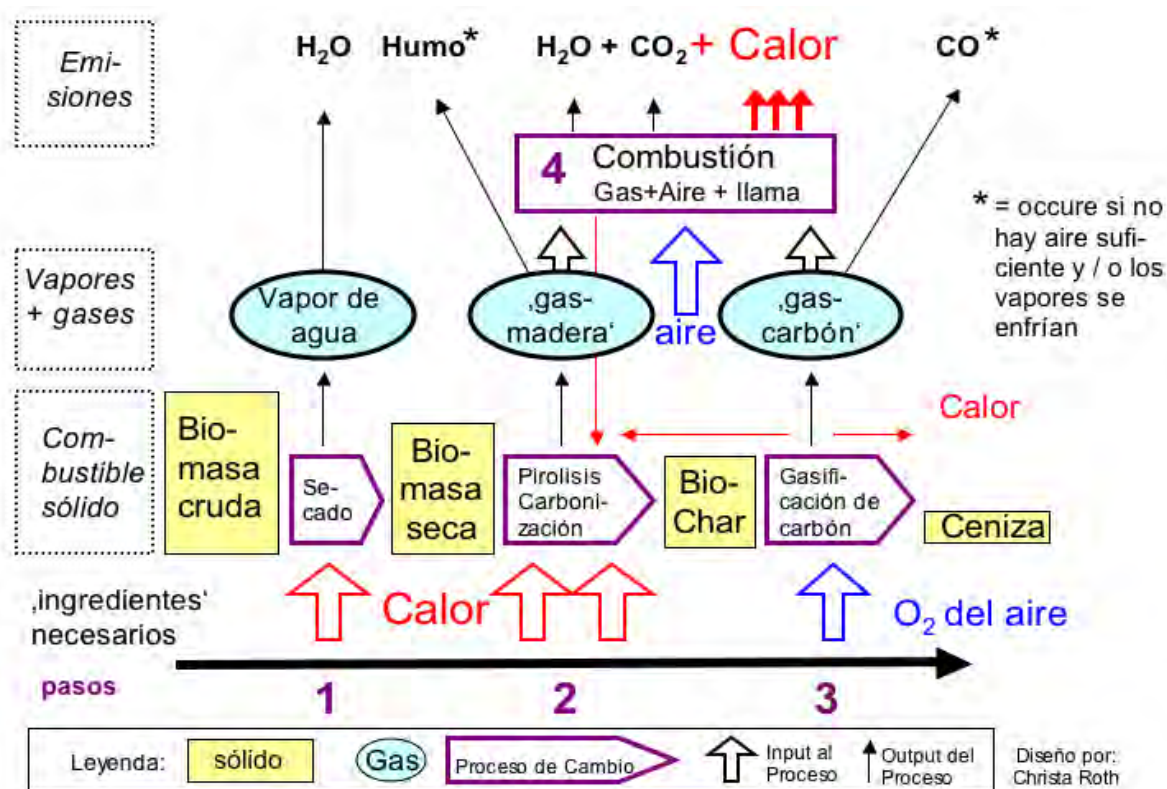
Paso 4: Combustión del gas (ver Figura 2)

La etapa final de la **combustión del gas** es donde los gases son "quemados" y la mayor parte del calor útil se libera, que se puede utilizar por ejemplo para cocinar.

La combustión es una serie de reacciones de oxidación, que sólo pueden tener lugar si hay suficientemente oxígeno disponible. **El principal factor regulador de la combustión es la cantidad de oxígeno mezclado con los vapores y gases calientes.**

Si no hay suficiente oxígeno disponible, los gases no pueden "quemarse" y la combustión se quedará incompleta, resultando en emisiones de humo sin quemar y monóxido de carbono.

Figura 2: Combustión del gas (o no, si las condiciones no son propicias)



Para obtener una combustión completa de los componentes combustibles gaseosos recién generados de la biomasa, hay que mezclar estos vapores y gases calientes intensivamente con el oxígeno proporcionado por el aire. La combustión se lleva a cabo en presencia de una llama o una chispa para la ignición.

La llama es la manifestación visible de la combustión. En el caso ideal tan sólo gases completamente oxidados, sin valor energético residual, salen de la zona de combustión - lo que significa que todos los hidrocarburos de los combustibles de biomasa se han oxidado a dióxido de carbono y vapor de agua.

³ Ceniza no es otra cosa que los minerales que la planta una vez absorbió del suelo. Normalmente ceniza quemada por completo no debería contener ningún carbono u otras sustancias de valor energético.

Si la combustión es incompleta por falta de oxígeno o si los vapores se han enfriado por debajo del punto de reacción de combustión, se convierten en emisiones no deseadas: en el caso del „gas-madera” se manifiesta en forma de humo extremadamente irritante.

En el caso del „gas-carbón” se manifiesta en forma de monóxido de carbono, un gas tóxico inodoro, imperceptible, y altamente indeseable: el monóxido de carbono es venenoso y un peligro para la salud humana, que puede incluso causar mortalidad.

Input y Output de energía

El objetivo de quemar biomasa para cocinar es de proporcionar energía térmica para preparar comida, ya sea para calentar, cocer, freír o cualquier otro modo de preparación.

Sin embargo, se necesita energía para romper los enlaces químicos dentro de la biomasa sólida. Así que los dos primeros pasos de conversión descritos en realidad consumen CALOR, lo que significa que son endotérmicas. Es por eso que necesitamos un fósforo o alguna otra fuente de llama para iniciar un fuego. Una vez encendido el fuego, el calor liberado por las reacciones de combustión proporcionan la energía térmica necesaria para hacer continuar el fuego y hacerlo auto-sustentado.

Cuando se diseña un dispositivo para controlar la quema de biomasa y regular el ritmo de generación de calor, es importante tener en cuenta que las etapas de secado y pirólisis son controlados mediante la regulación de la cantidad de CALOR que llega a la biomasa sólida, mientras que las fases posteriores de la gasificación de carbón y la combustión de los vapores depende de la disponibilidad de OXÍGENO.

Las dos flechas rojas horizontales en la Figura 2 simbolizan que la gasificación de carbón produce algo de calor radiante. A su vez, la combustión también irradia calor hacia el combustible de biomasa. Estas fuentes de calor hacen continuar los pasos endotérmicos iniciales que generan más gases de madera, sosteniendo el fuego en la forma de las llamas de color amarillo y azul por encima de la madera "ardiente".

1.1.2 El fuego abierto ‘sin control’

En esta foto podemos detectar todos estos pasos del proceso de „quema” cuando "arde" un fuego abierto. **Todo sucede al mismo tiempo de una manera bastante incontrolada:** se ve combustible crudo sin quemar (izquierda), llamas amarillas indicando la combustión de gas-madera (centro), el rojo vivo de las brasas y el negro de la madera carbonizada, en algunos sitios parcialmente cubierto por ceniza gris y blanca (derecha). También hay humo como resultado de combustión incompleta, más visible por la izquierda.



Un palo muestra tres zonas diferentes: la punta izquierda aún queda sin quemar, el centro consta de una zona negra de transición ya carbonizada, y la punta derecha está cubierta de ceniza (lo que indica que había brasa que al contacto con el aire se convirtió en ceniza).

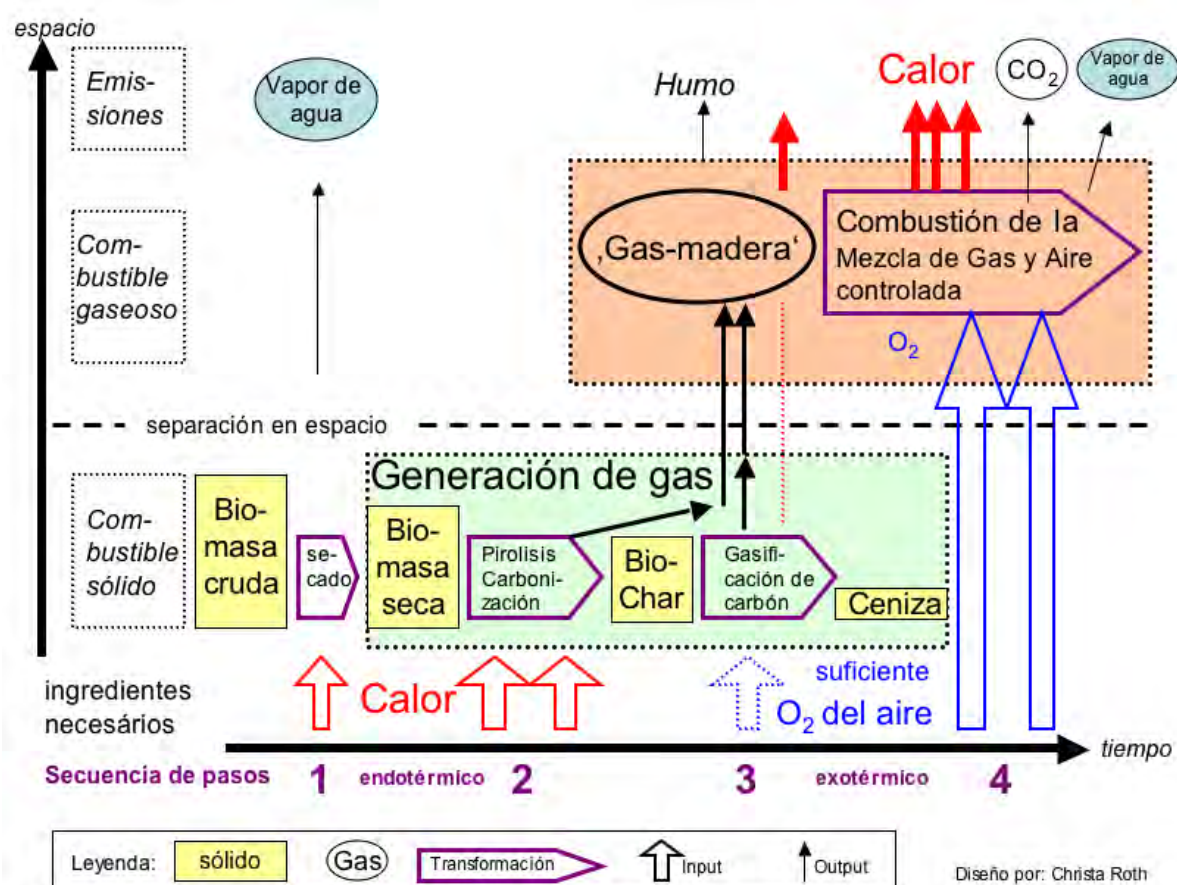
1.1.3 Mejorar el control en un micro-gasificador

Un **gasificador de biomasa** es el término general para un dispositivo que convierte la biomasa sólida en gas que posteriormente se puede quemar de manera controlada. En contraste a un fuego abierto, la generación de gas ocurre deliberadamente por separado en el espacio y el tiempo de la combustión de los gases (ver siguiente figura). Mientras que los fuegos abiertos y la mayoría de estufas convencionales se rigen por el suministro de combustible, la mayoría de los **gasificadores son controlados por el suministro de aire**.

Los gasificadores ofrecen la posibilidad de optimizar deliberadamente las condiciones marco de cada paso de la conversión. Al controlar los agentes principales, **calor y aire**, se puede lograr una combustión de la biomasa excepcionalmente limpia. El principal reto es conseguir que llegue la cantidad adecuada de aire a los lugares ciertos.

El paso de la gasificación de carbón se puede evitar, si se suprime el suministro de oxígeno (aire) al carbón caliente. En este caso, los gases y vapores combustibles son principalmente „gas-madera” generado por pirólisis de biomasa cruda y, por falta de oxígeno, se conserva una buena parte del carbón. Los gasificadores con aire restringido que puedan crear „biochar” o „bio-carbón” son llamados gasificadores 'pirolíticos'.⁴

Figura 3: Generación de gas por separado de la combustión = „gasificador”



⁴ La capacidad de los gasificadores pirolíticos de producir carbón vegetal ("biochar") como un subproducto de la generación de calor está ganando un creciente interés, como el debate sobre el cambio climático ha provocado la búsqueda a nivel global de sistemas de bio-energía con un balance negativo de carbono. Si el carbón creado no se utiliza para fines térmicos que le convertirá en dióxido de carbono, sino se utilizará como „abono” para mejorar suelos y aumentar la producción agrícola, se puede fijar el carbono a largo plazo. Más información sobre el biochar se puede encontrar en el Anexo.

Aunque se podría bombear los gases combustibles a través de tuberías a sitios lejanos para otros usos⁵, para cocinar es más práctico tener la zona de combustión lo más cercano posible al generador de gas y quemar los gases cuando están aún bien calientes.

Resumen: „**Gasificación**“ es el término general para la **conversión de un combustible sólido en un combustible gaseoso**. El proceso de crear calor de biomasa sólida va en pasos: **Gasificación de madera** convierte madera u otra biomasa cruda en carbón y gases. Está controlada por el suministro de calor y puede ser frenado por enfriamiento. **Gasificación de carbón** convierte carbón en ceniza y gases. Está controlada por el suministro de oxígeno y puede ser „arrestado“ por privación de oxígeno. **Gas-madera** es el término usado para sumar la mezcla de vapores pirólíticos y los gases combustibles de ambas reacciones de gasificación (incluyendo la gasificación de carbón). Arde (se quema) cuando es mezclado con oxígeno una vez encendido por una chispa. En un „**fuego abierto**“ todos los pasos de gasificación y combustión ocurren simultáneamente en el mismo lugar con poco o sin control sobre los procesos.

⁵ En el pasado, las „fábricas de gas municipales“ producían „gas de ciudad“ de biomasa que se distribuyó por tubería hasta consumidores muy lejanos para ser utilizado a distancia para cocinar o alumbrar casas y calles. Por esto hacía falta enfriar y purificar el gas, que conllevó bastantes problemas.

1.2 Aplicaciones prácticas de gasificadores de biomasa

Aplicación	Escala de operación
<i>La sustitución de carbón o leña por otros residuos de biomasa como combustible para cocina, calefacción, iluminación y provisión de energía térmica industrial</i>	<i>Hogares, instituciones, pequeñas y medianas empresas</i>
<i>Producción de Carbón (vegetal) para elaboración de combustibles refinados para cocinar como briquetas de carbón, material para filtros, o biochar para suelos.</i>	<i>Cualquier escala desde hogares a grandes plantas industriales</i>
<i>Generación de electricidad⁶</i>	<i>Plantas desde escala media hasta industrial</i>
<i>Producción de productos químicos y abonos</i>	<i>Plantas Industriales</i>
<i>Producción de combustible líquido para transporte</i>	<i>Plantas Industriales</i>
<i>Tratamiento y gestión de residuos sólidos (agro-industrial, residuos de hospitales, municipios, residencias etc.)</i>	<i>Depende de la toxicidad y el grado de peligro que supone el respectivo residuo</i>

1.3 Características distintivas de los gasificadores de biomasa

Hay muchos diseños básicos de gasificadores de biomasa, así que ¿cómo distinguirlos? Las principales diferencias entre los sistemas se centran en los siguientes elementos distintivos:

- La ubicación del quemador de gas (de acoplamiento o separada de la generación de gases)
- La dirección del flujo (up-draft/counterflow – tiro hacia arriba/tiro invertido, down-draft/co-flow – tiro hacia abajo/ cofluyente, tiro cruzado, etc.)
- El nivel de presión del gas durante la operación (atmosférica, de succión y presión por convección forzada)
- El agente gasificante (aire natural, oxígeno puro, vapor de agua)
- El método de creación de tiro y la velocidad de flujo de los vapores del agente gasificante (corriente o tiro natural, asistida por un ventilador, de tiro forzado)
- El método de contacto gas / combustible (lecho fijo, lecho fluidizado, de flujo de arrastre, etc.)
- La materia prima: biomasa bastante seca, en forma natural (como en las mazorcas de maíz) o procesado en un tamaño adecuado (trozado como las astillas de madera) o aglomerado (como pellets de aserrín)
- Las propiedades de la ceniza (ceniza seca, escoria/clinker o cenizas de fusión a altas temperaturas)
- La fuente de calor para la gasificación (autotérmico = generación de calor propio/interno por combustión parcial en un frente pirolítico, o alotérmico = fuente de calor externa que calienta el combustible interno hasta que la pirólisis ocurre, como en retortas, donde no se queman gases con llama en el interior)
- La escala de la operación y el tamaño del dispositivo (micro, pequeñas y medianas, grandes sistemas de aplicación industrial)

⁶Otras publicaciones tratan con opciones descentralizadas de la red de energía mediante la desviación del gas-madera a la unidad de generación de energía (normalmente un motor de combustión interna). Es necesario proveer una advertencia de que se necesita sumo cuidado para asegurar que el gas-madera sea limpio antes de suministrarlo al generador de electricidad, de lo contrario, el sistema no funcionara de manera óptima.

- El proceso de enfriamiento y limpieza del gas (relevante para los principales procesos industriales, donde los gases se transportan y / o se almacenan antes de su uso posterior)
- El objetivo inmediato (generación de calor o electricidad mediante el gas, gestión de residuos sólidos municipales, etc.)

No todos estos aspectos son pertinentes para la aplicación de la gasificación de la biomasa para cocinar. Así, la sección siguiente se concentra en las propiedades y características necesarias para que un gasificador sea apropiado para la cocina. A veces es útil pensar de los gasificadores como la mera fuente de la energía térmica, originada por diferentes tipos de combustibles, que se aplica a una amplia variedad de tipos de cocina.

1.4 Micro-gasificadores adecuados para cocinar

Debido a que los gasificadores requieren altas temperaturas y la transferencia de calor en biomasa fría, es difícil hacerlos en tamaño pequeño. Como tal, ha sido un reto de „domesticar“ la gasificación de biomasa para cocinar! Los gasificadores comercialmente viables han sido entendidos y utilizados en la gran industria e incluso en el transporte: más de un millón de vehículos fueron alimentados por gasificación de biomasa (principalmente carbón) durante la Segunda Guerra Mundial, en tiempos de escasez de combustible líquido. Pero no había nada similar para aplicaciones pequeñas, tales como una estufa doméstica. Las gasificadoras más estudiadas y prevalentes son las de tiro invertido, donde los gases generados se secuestran para un uso a distancia, por ejemplo, en un motor de combustión interna o en una farola de gas para alumbrar una ciudad.

En el fondo, el reto en la cocina es una cuestión de escala: como controlar la pirólisis, la gasificación y la combustión en un espacio vertical tan reducido y suficientemente pequeño que permita el uso individual para una ama de casa en un hogar.

Micro-gasificación se refiere a gasificadores lo suficientemente pequeños como para caber por debajo de una olla a una altura conveniente para el usuario. El Dr. Thomas B. Reed en 1985 conceptualizó en los EE.UU el proceso de micro-gasificación como „encendido por arriba con tiro natural hacia arriba“ (top-lit up-draft = TLUD, que es un término que se va a usar en este manual). Al inicio desarrolló tan sólo un prototipo de laboratorio. En la misma época, pero independientemente y sin saber de los esfuerzos de Dr. Reed, el noruego Paal Wendelbo desarrolló estufas para cocinar basadas en el mismo principio TLUD en campos de refugiados en Uganda.

Los dispositivos TLUD siempre han sido diseñados para estufas de biomasa. En el inicio hubo algunos modelos de autoconstrucción para montañistas, pero no fue hasta 2003 que el primer micro-gasificador surgió en el mercado cuando el Dr. Reed presentó el Woodgas-Campstove para el nicho del mercado de camping y actividades al aire libre.⁷

Los modelos disponibles en el mercado son todavía escasos, aunque existe un creciente interés. El Módulo 2 de este libro trata de dar una visión general sobre el actual "estado del arte" de los gasificadores apropiados para el uso doméstico.

1.4.1 Ventajas comparativas de micro-gasificadores para cocinar

Los micro-gasificadores de pequeña escala ofrecen buenas oportunidades para el uso como estufa y/o para la calefacción doméstica, ya que son capaces de

- Quemar el gas-madera limpio en gran medida sin humo (a diferencia de la quema convencional de combustible sólido).

⁷ Más detalles en Módulo 2 y en <http://www.woodgas.com/>, dónde se pueden encargar estufas de acampadas.

- Proporcionar una llama caliente y constante poco después del encendido (no hay que esperar, como ocurre con el carbón vegetal).
- Tener alta eficiencia de combustible debido a la combustión completa del combustible (poco humo).
- Ser operado por lotes que permiten la operación prolongada sin necesidad de atención continua (se carga una vez, y después del encendido no hay que atender al fuego).
- Utilizar una amplia variedad de combustibles de biomasa sólida, incluso residuos de biomasa pequeña de bajo costo que a menudo está descartada y que otras estufas no pueden manejar (cualquier otra biomasa que leña en forma de palo).
- Dar al usuario la libertad de decidir de forma individual al momento de usar el dispositivo: el combustible de biomasa es a menudo disponible a nivel local al alcance de la mayoría de la gente. Se puede recoger o comprar directamente por el usuario de la estufa. Por lo tanto, hace que los gasificadores de biomasa sean opciones "listas para usar", independiente de factores externos o fuera del control del usuario pero que puedan restringir la disponibilidad de otras fuentes de energía como la electricidad, el suministro de combustibles fósiles, o la energía solar.

1.4.2 Características de diseño para hacer los micro-gasificadores apropiados para cocción

Para que los micro-gasificadores sean más utilizables **y por razones prácticas y económicas** deben tener las siguientes características:

- Operar a presión atmosférica (sin necesidad de almacenamiento a presión de combustible o aire, sin embargo, se pueden incluir ventiladores pequeños y económicos).
- Utilizar el aire ambiente como agente gasificante (disponible sin costo alguno).
- Utilizar biomasa seca y sólida como combustible, si es posible de residuos de biomasa barata.
- Utilizar una cama fija de combustible (sin necesidad de mover el combustible durante la operación).
- Debe producir un residuo seco, ya sea carbón o ceniza, para facilitar la remoción y evitar la obstrucción de la estufa.

Propiedades comunes de los micro-gasificadores adecuados para calentar una olla colocada en la parte superior:

- **Acople cercano de combustión de los gases:** se queman directamente a poca distancia por encima del generador de gas y la cama de combustible mientras el gas aún está caliente. El calor puede llegar directamente a la olla. No es necesario refrigerar, depurar (lavar) o bombear por tuberías el gas.
- **Encendido desde arriba:** La mayoría de los micro-gasificadores utilizados para cocción están encendidos en la parte superior de la cama de combustible. Esta es una manera fácil de mantener el calor cerca de la base de la olla. Muchos de los micro-gasificadores trabajan con una carga de combustible, es decir, se llena el recipiente de combustible una vez y luego se enciende en la parte superior del combustible.
- **Corriente de aire ascendente (tiro hacia arriba):** Una de las características principales de diferenciación de los micro-gasificadores es la corriente de los gases en relación con la progresión del frente de la pirolisis. El aire y los gases de combustible se mueven hacia arriba, mientras que el frente de fuego de la pirolisis se mueve hacia abajo. El diseño de corriente de aire hacia arriba es una opción fácil para objetivos de cocción porque los gases calientes naturalmente suben ya que son más livianos que el aire frío en el ambiente. Esto crea una corriente natural de aire a través de la cama de combustible,

facilitando el suministro de oxígeno a la zona de pirolisis. Dependiendo del tipo de combustible y la densidad de la cama de combustible, se pueden agregar ventiladores para forzar la entrada de aire a la cama de combustible y lograr un flujo apropiado de oxígeno. El uso de ventiladores pequeños aumenta la corriente natural de aire y a menudo se le llama “Convección forzada” o „ tiro forzado”.

- La mayoría de los micro-gasificadores son **auto-térmicos**, es decir, el combustible es directamente pirolizado por un frente pirolítico, donde sucede una combustión parcial de los gases creados por la pirolisis. Sin embargo, hay formas híbridas como la estufa ANILA (ver detalles en Módulo 2) diseñadas específicamente para la producción de biocarbón (biochar) con dos cámaras de combustible separadas: una cámara interior auto-térmica (que crea su propio calor, o mediante un frente pirolítico o mediante un fuego convencional), y otra alo-térmica (que se ubica alrededor de la cámara auto-térmica y que recibe el calor generado por ella, en cuyo proceso se calienta el combustible en el recipiente exterior hasta que empieza la pirolisis alotermal sin estar en contacto con la llama).

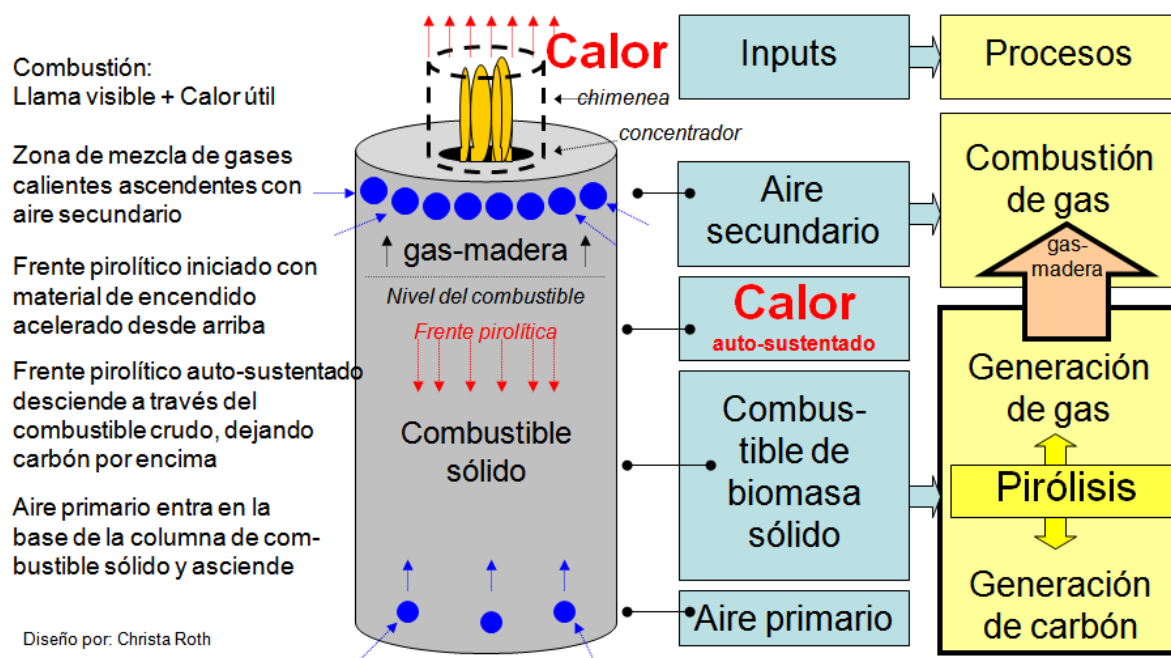
1.5 Ejemplo: El gasificador TLUD (top-lit up-draft = Encendido desde arriba con tiro ascendente)

Los primeros micro-gasificadores conocidos de los señores Dr. Tom Reed y Paal Wendelbo respectivamente son TLUDs pirolíticos que pueden crear biocarbón con un frente pirolítico y un suministro restringido de aire primario. El principio de diseño de TLUD es de “código abierto”, de dominio público y no está protegido por derechos de autor o patentes. Los planos de construcción de TLUDs están disponibles públicamente en internet o de algunos de los diseñadores. Por lo tanto, los TLUDs son fáciles de adaptar y replicar en proyectos individuales sin infringir patentes o encontrarse con problemas de derechos de autor. Por estas razones, el principio de TLUD será explicado a continuación en detalle:

Figura 4 describe las características de diseño básico de un micro-gasificador pirolítico TLUD derivado de los principios de gasificación de biomasa explicados anteriormente.

Figura 4: Características básicas del diseño micro-gasificador TLUD

Principio básico de un gasificador pirolítico TLUD



El TLUD más sencillo puede ser de una simple lata como unidad de combustión tal como se muestra en la fotografía⁸ de la portada, con orificios separados para la entrada de aire primario y secundario.

La mezcla del combustible gaseoso con el oxígeno proporcionado por el aire secundario se puede optimizar con un disco de concentración o la entrada forzada de aire para asegurar una combustión óptima de los gases.

Una chimenea por encima de la zona de combustión puede aumentar la corriente de aire y mejorar aun más la mezcla de gas y oxígeno.

En los gasificadores TLUD el combustible no se mueve excepto por causa de su reducción en volumen una vez que ha sido pirolizado.

Dos cosas se mueven:

1. Un frente caliente de pirolisis se mueve hacia abajo a través de la masa de combustible sólido convirtiendo la biomasa en carbón.
2. Los gases calientes creados ascienden naturalmente hacia la zona de combustión mientras que el carbón permanece atrás por encima del frente pirolítico.

Davide Caregnato de la Universidad de Udine (Italia) ha copilado una buena animación para visualizar el proceso. Se encuentra en <http://www.youtube.com/watch?v=m2Cjt7AiZJY>

El término „TLUD“ muestra dos características principales de estos tipos de micro-gasificadores: El fuego se enciende en la parte superior de la columna de combustible de biomasa y el aire primario de combustión se traslada hacia arriba desde la parte inferior a través de la columna de combustible. La cantidad limitada de aire primario solamente permite la combustión de una menor cantidad del gas-madera creado (combustión parcial), lo

⁸ Un ejemplo es la „¡Can“ descrita en el Módulo 2

suficiente para proveer el calor requerido para mantener las reacciones de pirolisis. Dado que la tasa de generación de calor es determinada por la cantidad de oxígeno disponible, el progreso del frente pirolítico se puede controlar regulando la corriente de aire primario. Adicionalmente, el incremento de la corriente de aire (con un ventilador o tiro inducido por una subida/chimenea) resultara no solamente en el progreso del frente pirolítico en la columna de biomasa, sino que también temperaturas más altas en la zona de pirolisis. Esto impactará las características del carbón creado, lo cual es importante si se pretende utilizarlo como biocarbón.

En un TLUD típico, el frente pirolítico progresa hacia abajo a una velocidad de 5 a 20 mm por minuto, dependiendo de la naturaleza del combustible y la cantidad de aire primario. En el caso de pellets de aserrín altamente densificadas el progreso con tiro natural puede ser tan lento como 1 mm por minuto. En otras palabras, una columna de pellets de madera de 6 cm de altura (=60 mm) tardará 60 minutos para ser consumida.

Por encima del frente pirolítico, el carbón creado se acumula ya que su conversión en ceniza es imposible por la falta de oxígeno, debido al suministro restringido de aire primario. El resto de los gases calientes inertes (principalmente el nitrógeno) arrastran los gases pirolíticos y el vapor de agua hacia arriba a la zona principal de combustión. Ahí, el aire adicional (aire secundario) es proporcionado y los gases pirolíticos son quemados, produciendo una llama limpia y separada si hay suficiente oxígeno para llegar a una combustión completa. Los gases pirolíticos contienen alquitranes, hidrocarburos de cadena larga que se manifiestan como un humo espeso muy irritante, si no se queman por completo.

Particularmente entre los gasificadores, el TLUD opera en un modo por lotes o cargas de combustible y termina prácticamente toda la pirolisis de la biomasa o gasificación de la madera antes de comenzar con una gasificación de carbón apreciable. La transición entre las dos fases es muy distinta: la llama cambia de color amarillo-naranja (típico para la quema de gases alquitranados y partículas de carbón) a una pequeña llama azulada que indica la quema de monóxido de carbono.

En Youtube se encuentra una multitud de videos para visualizar TLUDs en acción. El siguiente link <http://www.youtube.com/watch?v=SaeanoWZE7E> proporciona un buen resumen de un TLUD y su operación por Paul Anderson.

1.6 Desempeño de los micro-gasificadores para cocción

En los siguientes párrafos, se analizan los factores que influyen en el rendimiento de los micro-gasificadores para cocción. Más adelante se presentan algunos resultados relacionados con el uso de combustible y las emisiones.

1.6.1 Factores de desempeño influidos por el diseño o el usuario

Si se desea mejorar el rendimiento del micro-gasificador y adaptarlo a las condiciones locales, se deben conocer los factores y los parámetros que determinan el funcionamiento exitoso en una aplicación dada. Algunos de ellos deben ser abordados por el diseñador de la estufa al momento del diseño de la misma y otros son determinados por el usuario al momento de utilizarla.

Potencia del Gasificador y rendimiento de calor

La potencia de un gasificador está principalmente determinada por la cantidad de combustible gaseoso o vapores pirolíticos producidos en cualquier momento a partir del combustible sólido.

La velocidad de conversión a la que el combustible sólido es pirolizado para crear los vapores de combustible dependen en gran manera de:

- La **temperatura** máxima en el contenedor de combustible: temperaturas altas en el generador de gas crearan más gases por unidad de tiempo debido a un mayor porcentaje de la materia volátil convertida a gases. De igual manera el frente pirolítico se mueve más rápidamente hacia abajo en la columna de combustible.
- El **aire primario** disponible influye en gran medida al calor en el reactor y por lo tanto, en la velocidad e intensidad de los procesos de pirolisis: Si hay menos aire primario = se crea menos gas-madera = menos conversión de biomasa en carbón.
- El **diámetro del contenedor de combustible**, el cual determina directamente el tamaño de la superficie del frente pirolítico que se mueve a través del combustible: un diámetro más pequeño tendrá menos área de superficie, de manera que el frente pirolítico pueda convertir menos combustible sólido por unidad de tiempo en gas que el que se produce en un recipiente más amplio.
- El **tipo y la densidad del combustible** y la cantidad de aire primario que lo puede atravesar para que se lleve a cabo la pirolisis: el combustible grueso, ligero y esponjoso se quemará más rápido que el combustible denso y compacto con menos espacios de aire como por ejemplo aserrín altamente comprimido en forma de pellets.

Regulando la potencia del fuego a través de las características de diseño

Elevando la temperatura en la zona de combustión

Las reacciones de combustión se aceleran a temperaturas elevadas. Esto se puede lograr protegiendo el gasificador del enfriamiento especialmente por el viento mediante el **aislamiento de la cámara de combustión** y **precalentando el aire secundario** antes de que ingrese a la zona de combustión. Muchos modelos de gasificadores por lo tanto combinan el precalentamiento con el aislamiento mediante la adición de otra “sección” alrededor del contenedor de combustible: el aire secundario entra en el fondo de la brecha entre la sección y el contenedor de combustible original. El aire secundario que pasa por la brecha captura el calor irradiado por el contenedor de combustible caliente mientras asciende por los lados hasta entrar como aire secundario caliente en la parte superior a la zona de combustión. Esto tiene varios beneficios: actúa como aislante (evita que el calor irradie directamente de la superficie del gasificador) y recicla parte del calor irradiado aumentando la eficiencia de combustión y la eficiencia del sistema en general.

Velocidad de la corriente y el flujo de aire

Corriente natural (CN) vs Convección forzada (AF= Aire forzado o asistido por ventilador)

Todas las opciones para proporcionar aire primario adecuado dependen del tamaño del combustible. Con combustible grueso en pedazos mayores, puede funcionar la corriente natural, mientras que con combustible de pequeñas partículas, el aire necesita ser forzado a través de la cama de combustible lo que es más fácil de lograr con un pequeño ventilador. Como fuentes de energía eléctrica para alimentar los ventiladores hay varias opciones. La red (donde haya), o como alternativa en la ausencia de la red: pequeños generadores sin almacenamiento (como paneles solares o generadores termoeléctricos) o dispositivos de almacenamiento (como baterías desechables o acumuladores recargables de manivela). En algunos gasificadores con suministro de aire forzado se puede regular la velocidad del ventilador y por lo tanto, el suministro de aire. La estufa de acampada de Tom Reed ofrece dos tomas de corriente para la batería y permite así elegir las velocidades del ventilador entre bajas y altas. Otras aplicaciones incluyen un botón giratorio que permite regular la potencia de la fuente de electricidad.

Sin embargo, la mayoría de los sistemas no pueden regular el aire primario y secundario por separado.

El control separado del aire primario y secundario ofrece más opciones para ajustar el rendimiento del gasificador durante su función. Con mas aire primario disponible, se puede incrementar la tasa de las reacciones pirolíticas. Esto conducirá a un aumento de la velocidad de combustión y la generación de mayores cantidades de gas-madera. Si el suministro de aire secundario no es suficiente, una porción del gas-madera creado no completará la combustión y los gases saldrán del gasificador sin quemar. Esta situación además de desperdiciar combustible, genera humo excesivo.

Si se aumenta el aire secundario al mismo tiempo que el aire primario, el gas-madera se quemará completamente, lo que aumentará la generación de energía térmica de la estufa. Un incremento repentino del aire secundario puede apagar la llama en la zona de combustión, lo que causará que todo el gas-madera salga de la zona de combustión sin haberse quemado. Esto generará mucho humo hasta que la llama de la zona de combustión secundaria sea reencendida.

Diámetro del recipiente de combustible

Si se necesita energía alta y constante, se recomienda un recipiente de combustible con un área de superficie más grande. Para cocer a fuego lento donde se necesita menos energía, un diámetro pequeño es ventajoso. Una manera de regular la salida de energía es tener recipientes de combustible de diferentes tamaños para diferentes trabajos. Esto requiere de cierta experiencia y práctica por parte de los usuarios para adaptar los requisitos de cocción con el patrón de producción de calor de varios contenedores de combustible.

Con combustible y suministro de aire constante, el área del contenedor de combustible determina la salida de calor del gasificador. Se necesita recolectar más información y experiencias sobre como regular la energía del fuego o lograr una buena proporción entre la operación a energía alta y baja de un micro-gasificador.

Regulación de la energía del fuego por parte del usuario

Control del aire primario

El control del aire primario es probablemente el parámetro más fácil de controlar por parte del usuario para regular la potencia cuando el micro-gasificador está en marcha. Con tiro forzado, es más fácil si se puede regular la velocidad del ventilador.

Aún con sistemas de corriente natural, el suministro de aire primario se puede regular abriendo o cerrando los orificios de entrada de aire primario.

Se debe tener cuidado que el suministro de aire secundario se aumenta a una tasa similar que la del aire primario: cuánto más aire primario, más combustible se convierte en gas-madera. La mayor cantidad de gas-madera solo llega a rendir más energía si hay suficiente oxígeno disponible para asegurar la combustión de todo el gas-madera creado. Al contrario, un exceso de aire primario causará que el gas-madera deje la zona de combustión sin quemarse, desperdiciando el combustible y creando humo.

Duración del tiempo de cocción

En un TLUD, el combustible no se agrega usualmente durante su funcionamiento. La duración del tiempo de cocción depende de la masa de combustible que se coloca en el recipiente de combustible. La masa disponible es una función del volumen y la densidad de una sustancia. Esto significa que un combustible de baja densidad en el mismo volumen de recipiente de combustible tendrá menos masa para quemar y producirá menos calor total de una carga de combustible que un combustible más denso.

Regulación por características de diseño

Con combustible y suministro de aire constante, la **ALTURA** del recipiente de combustible determina la **duración del tiempo de quema** de un micro-gasificador TLUD.

El tiempo de cocción se puede extender cuando se utiliza más de un recipiente de combustible tras otro, con una pequeña interrupción del ciclo de cocción a medida que el recipiente que ya ha gastado su combustible se cambia y es reemplazado por un recipiente con combustible fresco, previamente encendido en su parte superior antes de colocarlo en la estufa.

Regulación por parte del usuario

Propiedades del combustible

Los combustibles de alta densidad tienen un valor energético superior a los combustibles de baja densidad. Para la misma tasa de aire primario, el combustible más denso rendirá más tiempo con llama y más energía, así como más combustible sólido puede ser convertido en gas-madera. En un recipiente de combustible con volumen de 1 litro se pueden encargar bien 80 g de casullas de arroz de baja densidad, o 250 g de chipado seco o en exceso de 600 g de pellets de aserrín compacto.

Otras consecuencias relacionadas con las propiedades de los combustibles:

- Tipos de combustible y su contenido energético: En general, los combustibles con los valores más altos de energía mejoran el funcionamiento de la estufa y producen una combustión más limpia.
- Contenido de humedad: cualquier contenido de humedad que exceda el 20% reducirá la eficiencia de combustión. Por lo tanto, es necesario que el combustible esté seco, aunque se necesite secarlo por separado anteriormente.
- Calidad de la preparación del combustible:
 - Forma y tamaño: los combustibles gruesos que permiten un poco de flujo de aire a través de la cama de combustible proporcionan mejores resultados. Partículas de tamaño inferior a 1mm (como aserrín fino o casullas de arroz) probablemente necesitan aire forzada para garantizar suficiente corriente de aire.
 - Distribución del tamaño: el tamaño uniforme y homogéneo de las partículas se traducirá en un comportamiento predecible del frente pirolítico. Es por esto que las pellets o briquetas pequeñas presentan mejores resultados que los combustibles con variaciones significantes en sus dimensiones.

1.6.2 Factores de rendimiento influidos por el ambiente

Los principales **factores externos** que influyen en el rendimiento de los gasificadores están relacionados con el medio ambiente y en su mayoría fuera del alcance de los usuarios para que puedan influir en ellos.

- **Ubicación:** el viento nunca es favorable, ya que aumenta los efectos de enfriamiento. Si el viento entra a la zona de combustión desde arriba existe un riesgo de que apague la llama y el gas-madera ya no podrá ser quemado hasta que la llama se encienda de nuevo. Lo mejor es utilizar un gasificador en un lugar bien ventilado, pero al mismo tiempo resguardado del viento.
- **Altitud:** con una menor presión atmosférica a altitudes elevadas (por ejemplo, por encima de 1500 metros), se puede necesitar medidas para mejorar la corriente como una extensión de chimenea adicional para aumentar el tiro y la corriente natural o una convección forzada con ventilador.
- **Temperatura ambiente:** las bajas temperaturas tienen una influencia negativa en la velocidad de las reacciones químicas y la producción de energía en general. Las temperaturas altas favorecen la combustión completa.

- **Humedad:** la humedad del aire muy alta puede influir negativamente en el rendimiento.

Para que cualquier gasificador pueda funcionar sin problemas en el marco de todas estas variables, el diseño debe ser capaz de manejar todos los factores anteriores en la situación más adversa. Las adaptaciones de diseño podrían ser necesarias para compensar las influencias negativas en el rendimiento.

Se deben recolectar y documentar más datos y experiencia del usuario sobre este tema para una mejor comprensión de los distintos efectos. Esto exige más pruebas de campo para generar más retroalimentación, por lo que las aplicaciones pueden adaptarse mejor a las necesidades de los distintos usuarios.

1.6.3 Resultados de rendimiento (comportamiento)

Los micro-gasificadores son actualmente la opción más limpia de estufas de combustión de combustibles de biomasa sólida. Cuentan con las emisiones más bajas, como se muestra en el siguiente gráfico, compilado por Paul Anderson en 2009, basado en los resultados entonces disponibles. Una impresión más clara, comentarios adicionales y las actualizaciones están disponibles en Internet en: www.bioenergylists.org/andersontludcopm

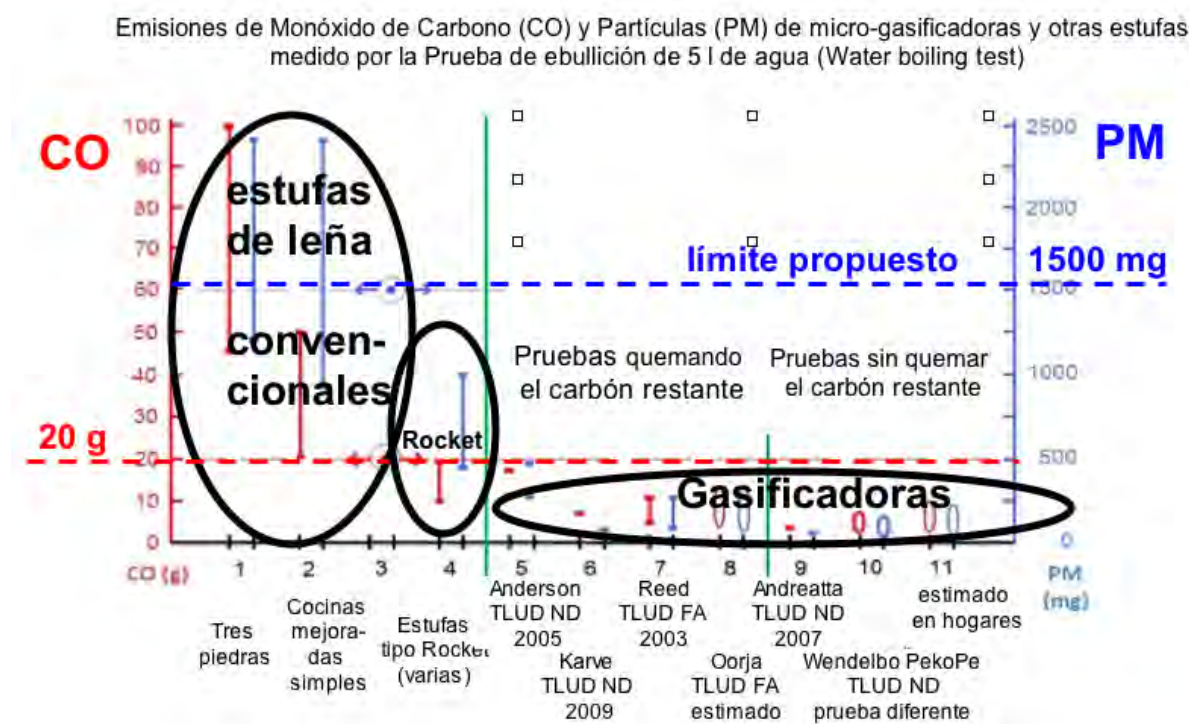


Figura 5: Comparación de emisiones de gasificadores TLUD con otras estufas

Figura compilada por Dr. Paul Anderson (2009)

Leyenda: FA= fan assisted (convección forzada), ND=natural draft (tiro natural)

Emisiones de CO en rojo, PM (materia particulada) en azul: líneas verticales indican rango de datos. Fuente: datos de Aprovecho Research Centre (Comparing Cook Stoves), otras pruebas por las personas indicadas, y estimaciones propias. Todos gasificadores son modelos TLUD.

Las emisiones de monóxido de carbono fueron, como era de esperar, más bajas en las pruebas donde el biocarbón se había guardado y no había sido quemado. Estos son los

dispositivos que se mantienen muy por debajo de los criterios propuestos, de 20 g de CO y 1500 mg PM para 5 litros del WBT.

Es escasa la información comparable del consumo de combustible, debido a que pocas estufas gasificadoras han sido probadas de acuerdo a protocolos similares. Un desafío es que la actual y reconocida prueba de ebullición de agua no es muy adecuada para las estufas de una sola carga. Por lo tanto los resultados todavía no son fáciles de comparar con las estufas de alimentación continua, donde los tiempos de cocción se pueden extender fácilmente para alcanzar el punto de ebullición, más el tiempo posterior a fuego lento de 45 minutos para completar la prueba WBT.

Resultados de prueba en el Campamento de Estufas de 2009 mostró que el PekoPe, como un ejemplo para un TLUD, era la más limpia de todas las estufas sin dejar de tener un bajo consumo de combustible: con 768 g de pellets para la prueba de 5 litros de agua hirviendo se mantuvo muy por debajo del actual punto de referencia propuesto de 850 g.

Para más detalles vea <http://www.bioenergylists.org/stove-camp-2009> y el reporte en http://www.bioenergylists.org/files/Stove%20Camp%20Final%20Report_8.11.09.pdf.

Tenga en cuenta que los resultados de otros TLUD que figuran en ese mismo informe de Julio 2009 no son representativos: se realizaron experimentos controlando el aire durante la prueba, ya que ésta era la primera vez que este modelo se ha probado bajo una campana de emisiones. Además, las pruebas no se repitieron 3 veces para ser estadísticamente válido. Se espera que pronto se generen y se compartan más datos, ya que mucho más pruebas de TLUD se llevarán a cabo.

1.7 Resumen: Gasificación de biomasa en breve

La biomasa sólida no se quema directamente. “**Gasificación de Biomasa**” es el término amplio utilizado para la **conversión de biomasa sólida en gas-madera**. El proceso de la combustión de biomasa sólida va por etapas: la madera se convierte en carbón, y posteriormente, se convierte el carbón a cenizas. El gas-madera, que es el término para la mezcla de gases y vapores pirolíticos, es de fácil combustión cuando se mezcla con el oxígeno y se enciende.

En un “**fuego abierto**” todas las etapas de gasificación y de combustión ocurren simultáneamente y con poco o sin control sobre los procesos individuales de combustión. La separación deliberada de los procesos es el principio en los gasificadores de biomasa.

Un gasificador es un dispositivo donde el **generador de gas** es controlablemente **separado** (en espacio y tiempo) **del quemador de gas** donde se lleva a cabo la combustión. Los micro-gasificadores son dispositivos pequeños adaptables a propósitos de cocción, generalmente lo suficientemente pequeños como para colocarlos debajo de una olla. La siguiente tabla muestra un resumen de las fortalezas, las debilidades, los riesgos y oportunidades de utilizar las unidades de micro-gasificadores en las estufas domésticas.

Fortalezas	Debilidades
• Quema limpia y completa de una amplia variedad de biomasa sólida • Emisiones más bajas de otras estufas con corriente natural • Alta eficiencia del combustible debido a la combustión completa • Puede utilizar una amplia gama de biomasa local incluidos los residuos que de otra forma no se queman limpiamente en otras estufas	• La regulación de la potencia del fuego puede ser difícil • Dificultades para extinguir la generación de gas al final del proceso de cocción antes de que se haya consumido todo el combustible • Falta de flexibilidad en los tiempos de cocción con el dispositivo de alimentación por lotes (de una carga a la vez) el cual no puede ser reabastecido durante su funcionamiento

Fortalezas	Debilidades
• Menor cuidado de fuego con una sola carga • Listo para usar inmediatamente después de encenderlo	• Para encender, requiere material que arde rápidamente para iniciar la pirolisis en el generador de gas
Oportunidades	Riesgos
• Las unidades de gasificación se pueden unir a las estructuras actuales de una estufa para ampliar la gama de combustibles utilizables, dándole al usuario la opción de utilizar lo que está disponible en el momento • Se puede crear el bio-carbón como subproducto de la cocción • Permite la cocción con un balance negativo de emisiones de carbono si se guarda y si el carbón creado se utiliza como bio-carbón para mejorar el suelo	• Si la llama de la unidad de combustión se apaga y el generador de gas continúa produciendo gas-madera, el humo espeso escapa de la unidad sin quemarse. Se debe evaluar cómo las personas aprenden a evitar o manejar este riesgo, y para ver cuál es la diferencia comparado con el mismo fenómeno que ocurre frecuentemente cuando la llama de una fogata se apaga y se crea mucho humo....

Módulo 2

Aplicaciones de micro-gasificadores de biomasa en estufas de cocción



Una muestra de varios gasificadores utilizables para cocinar

Publicado por

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

HERA – Poverty-oriented Basic Energy Services

(Abastecimiento básico de energía orientado a la pobreza)

Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5, D - 65760 Eschborn, Alemania

T +49 6196 79 1361,

F +49 6196 79 80 1361

E hera@giz.de ,

I www.gtz.de/hera

Título original: Micro-Gasification: Cooking with gas from biomass

1^{era} edición, Enero 2011, Autor: Christa Roth

Versión electrónica en inglés: <http://www.gtz.de/de/dokumente/giz2011-en-micro-gasification.pdf>



Versión en Castellano:

1^{era} edición en Junio 2011 por la Universidad Agrícola Panamericana Zamorano (Honduras), en colaboración con Christa Roth y GIZ-HERA.

Han contribuido a la traducción:

El equipo del Centro de Estufas de la Universidad Agrícola Panamericana Zamorano (Honduras): Ing. Reyna Guzmán, Ing. Gracia Flores, Ing. Jorge Espinosa, Ing. Timothy Longwell.

María Luisa Blanco y Paniagua de Los Santos (España), el equipo de www.balata.es en la Sierra de Francia (España) y Christa Roth

Tabla de Contenido Modulo 2

2.1 Estufas comerciales disponibles con acabado de fábrica.....	9
2.1.1 Estufas adecuadas para cocción domestica diaria.....	9
a) Dispositivos para combustibles de biomasa gruesa y seca	9
Oorja (India).....	10
Daxu (China).....	11
TN ORIENT JXQ-10 (China).....	12
Champion TLUD (India)	13
Navagni (India)	14
Philips Natural Draft Woodstove (India) – gasificadora a tiro natural.....	15
Sampada (India).....	16
Vesto (Swaziland) (Variable Energy Stove - estufa de energía variable)	17
MJ Biomass Gas Stove (Indonesia) - Estufa de gas-madera de biomasa	18
LuciaStoves (Italia) - Estufas ‘Lucia’	19
Perspectiva acerca de los gasificadores para combustibles de biomasa gruesa.....	20
b) Dispositivos aptos para la casulla de arroz	21
BMC Rice Husk Gas Stove (Philippines) - Estufa BMC para casulla de arroz	22
MJ Rice Husk Gas Stove (Indonesia) - Estufa MJ para casulla de arroz	23
Mayon Turbo Stove – Estufa Mayon Turbo	25
Perspectivas de estufas para casullas de arroz	26
RHSIS -20 D (Indonesia).....	27
2.1.2 Estufas para Acampar	28
La estufa ‘Tom Reed Woodgas Campstove’	28
Estufa ‘Beaner’ para mochileros por WorldStove	29
Futuro: BioLite CampStove	29
2.2 Prototipos con cierta prueba de campo y potencial para adaptación y producción local ..	30
Diseños ‘PekoPe’ y ‘MUS’ por Paal Wendelbo (Noruega).....	30
Diseños ‘Champion’ por Paul Anderson (EEUU)	33
ESTUFA FINCA en Costa Rica por Art Donnelly (EE.UU.)	35
Estufa ANILA por Prof. Ravi Kumar (India)	36
Series MAGH y AVAN – Diseños por Dr. Reddy (India)	37
2.3 ‘Tincanium’: prototipos de bajo costo hechos de latas	39
Concepto ‘iCan’ presentado por Jock Gill.....	39
‘1G Toucan’ por Hugh McLaughlin	40
Everything-nice Stove’ por Nathaniel Mulcahy (WorldStove)	41
‘Grassifier’ (‘Pastificador’) por Crispin Pemberton-Pigott (Canada).....	42

Este módulo ofrece una visión sobre las aplicaciones existentes y potenciales de las quemadoras de gas en estufas. Recuerde que una unidad quemadora aún no es una estufa. Es solamente el elemento central de generación de calor de un aparato que se puede utilizar para cocinar. Hay algunos principios básicos para los diseños de estufas que se pueden adaptar a una variedad de diferentes necesidades de los usuarios y las situaciones de combustible en todo el mundo. Muchas personalidades destacadas en el mundo de desarrollo de estufas están de acuerdo que como consecuencia, estas aplicaciones deben ser también diferentes:

No hay ninguna solución única en cuanto a estufas, son muchas las soluciones, dependiendo de su uso.¹

Un único diseño de estufa sería mala idea²

Un tamaño puede valer para algunos (pero nunca para todos). Es importante identificar los grupos de usuarios con preferencias similares para cocinar; combustibles, disponibilidad de energía eléctrica, etc. y definir un mapa ecológico de los usuarios de la estufas.³

Las unidades de quema de los micro-gasificadores son generadores de calor de combustible flexible y ofrecen una variedad de aplicaciones de combustión limpia y de bajo consumo de combustible para complementar o sustituir soluciones existentes para combustibles de leña convencionales tales como la leña o el carbón.

En la siguiente sección, se presentan aplicaciones existentes y potenciales de micro-gasificadores por categorías de acuerdo a su relevancia por un proyecto en el campo:

2.1 Estufas gasificadoras con acabado de fábrica disponibles en el mercado

2.1.1 Estufas adecuadas para la cocina domestica diaria

- a) Para combustibles de biomasa seca y gruesa (en pedacitos).
- b) Para combustibles de casulla de arroz.

2.1.2 Estufas para acampar para empezar a experimentar con la gasificación de biomasa.

2.2 Prototipos con ciertas pruebas de campo y el potencial para la adaptación y producción local.

2.3 'Tincanium' (a base de latas) y otros prototipos de micro-gasificadores de bajo costos para demostrar el principio y crear conciencia.

Notas preliminares a tener en cuenta

- 'Hardware' por sí solo no es suficiente para empezar la promoción de una nueva tecnología. El 'software' (como el sistema de operación) para que funcione es imprescindible:
- Operar una estufa micro-gasificadora requiere habilidades específicas, como cualquier otra nueva tecnología. Y estas habilidades tienen que ser adquiridas mediante capacitación, formación y entrenamiento. Es erróneo asumir que las habilidades vienen naturalmente sin ayuda o que simplemente 'caigan del cielo'. En este sentido, un micro-gasificador es como una bicicleta: la compra del aparato no hace a alguien un buen ciclista.

¹ Dean Still en <http://www.charcoalproject.org/2010/06/to-achieve-cook-stove-scale-we-need-standards/>

² Nathaniel Mulcahy de WorldStove en la conferencia de ETHOS 2009 en Kirkland, Washington

³ Steven Garrett en el informe del Departamento de Estado de EE.UU. sobre la próxima generación de estufas en Noviembre de 2009, documento en <http://www.pciaonline.org/files/Cook-stoveResearchRoadMap.pdf>

clista. Toma un tiempo hasta que el aparato es dominado por el usuario. Al principio, las personas se caen de sus bicicletas, se golpean, pero siguen aprendiendo, hasta que se sientan cómodos. Después de un tiempo se han acostumbrado tanto a utilizar la bicicleta que se preguntan como han podido vivir sin ella antes. Con los micro-gasificadores, el aprendizaje y la adaptación es similar. El desafío consiste en aprender a dominarlos incluso en situaciones difíciles. Los seres humanos lo han logrado y lo seguirán haciendo en el futuro. Con la orientación de expertos y el intercambio de experiencias, el aprendizaje de una nueva tecnología es más fácil y rápido. Sin embargo, esto debe considerarse como un factor de 'Todo o Nada' para la aceptación de la tecnología.

- La formación de usuarios es de suma importancia para cualquier introducción considerable de micro-gasificadores. Esto se logra de mejor manera por expertos portadores del conocimiento quienes pueden proporcionar la formación inicial de los instructores en una nueva región. En este sentido, los habitantes locales que han aprendido las habilidades son el mejor recurso para difundir los conocimientos necesarios.
- Muchos de los micro-gasificadores son solamente unidades de quema o generadores de calor. Se convierten en parte de una aplicación de estufas cuando son combinadas con estructuras adicionales que permiten que el calor generado se utilice efectivamente para cocción. Esto implica la adición de cualquier estructura que sea capaz de mantener la olla por encima de las llamas, como un soporte de olla.
- Para hacer la aplicación energéticamente más eficiente, hay algunas características adicionales para canalizar los productos de combustión en proximidad alrededor de la olla y mejorar la transferencia efectiva del calor hacia la olla (como una falda o rompeviento). Al igual que con cualquier aplicación de estufas, el combustible, la olla, la estufa y el factor humano (usuario, diseñador, fabricante) deben considerarse como elementos relacionados a un solo sistema⁴.
- Si se guarda el biochar de los gasificadores pirolíticos, la configuración y el diseño de la estufa deben permitir una descarga fácil de biochar del recipiente caliente, de una manera segura y conveniente.

Cuatro características que pueden fomentar la descarga del carbón:

- El contenedor de combustible debe tener un **mango** para darle vuelta y volcar el biochar o, alternativamente, un mecanismo para cortar el suministro de aire primario y secundario para apagar la brasa mientras este está todavía en el interior del recipiente para evitar que el biochar se convierta en cenizas. Los mangos de madera permanecen más frescos que los de metal.
 - Las **estructuras sólidas y ligeras** permiten vaciar el biochar de manera segura y fácil.
 - Un **recipiente de combustible separado** de la estructura de la estufa por medio de un apoyo independiente de la olla (un trípode o una rejilla) ayuda a remover el biochar sin mover la olla.
 - Si se trata de un modelo con aire forzado, **el ventilador debe estar separado** del depósito de combustible, por lo que los cables no deben obstruir el manejo de los recipientes de biochar caliente.
- La estructura de la estufa se puede adaptar a las preferencias locales de cocina en términos de altura, tamaño de la olla o sartén, los requisitos de estabilidad y en la facilidad de guardar el biochar, mientras que la unidad del quemador puede ser similar en diferentes partes del mundo.
 - Algunas unidades se pueden adaptar a estructuras de estufas ya existentes, ampliando las opciones de combustible y permitiendo el uso de diferentes tipos de combustible conforme a lo que esté disponible en el momento.

⁴ De acuerdo a <http://www.pciaonline.org/files/Cook-stoveResearchRoadMap.pdf> el mejoramiento en la eficiencia energética de la estufa (por ejemplo eficiencia de combustión y eficiencia de transferencia de calor).

- Algunas estufas gasificadoras se pueden equipar con una lámpara que sea más o menos resistente al calor para que pueda proporcionar luz durante su funcionamiento. Este es un buen argumento cuando los usuarios se resisten al cambio de un fuego abierto a una estufa con una cámara de combustión cerrada debido a la pérdida de luz para iluminar el espacio de cocción.
- Aún no hay datos suficientes para cuantificar las emisiones y el consumo de combustible en los diferentes modelos de gasificadores. Algunas pruebas como la prueba de ebullición de 5 litros de agua para determinar el consumo de combustible no se pueden aplicar en ciertos gasificadores. Se están desarrollando nuevos protocolos de prueba para adaptarlos a los micro-gasificadores.
- No hay una sola respuesta para el sinfín de las necesidades del mundo. Algunas estufas pueden llevar a cabo bien una labor pero no otras labores. La solución está en una variedad de aplicaciones hechas a la medida o con propósitos de diseño. Esta variedad de diseños es imperativa y no hay un diseño superior o mejor. Algunos diseños son más apropiados en ciertos escenarios que en otros. De esta manera, se necesita conocer los usos de los diferentes diseños y como tomar decisiones en cada conjunto de condiciones.
- Algunas características son consideradas de manera diferente por los usuarios. La alimentación de la estufa por lotes o cargas de combustibles es para algunos una ventaja, ya que no tienen que estar alimentando el fuego cada 2 a 5 minutos. Otros lo consideran como una desventaja ya que el recipiente se necesita cambiar y recargar al final, una vez que la carga se haya consumido.
- Algunos micro-gasificadores han sido optimizados para combustibles específicos, haciéndolos excelentes en algunas situaciones pero inapropiados para algunos lugares.
- Los micro-gasificadores no son siempre una solución adecuada para una estufa de hogar, dependiendo del acceso a combustible. No tiene mucho sentido cortar grandes pedazos de madera con hacha o machete para que el combustible se haga lo suficientemente pequeño para su uso en un micro-gasificador. Se debe alentar el uso de estufas apropiadas donde el acceso a madera en forma de astillas es aún razonable. Los micro-gasificadores no deben considerarse como una amenaza a los sistemas ya existentes, sino como un elemento complementario, ya que ofrecen la oportunidad de utilizar alguna biomasa descartada como combustible que otras estufas no pueden quemar de manera limpia. Hay más información de combustibles y la preparación de los mismos en el Módulo 3.
- Algunos desarrolladores (Belonio, Reddy, Karve, Anderson, Donnelly, y otros) ofrecen muchos diseños y modelos más de los que aquí se muestran. Los diseños pueden ser importantes en distintas situaciones. Se proporcionan enlaces para leer más.

Así también, hay diferentes conceptos de producción de estufas, desde la producción completamente local con materiales usados y reciclados o totalmente nuevos, desde prefabricados y localmente ensamblados hasta tecnologías extranjeras importadas. Cada concepto tiene sus ventajas y desventajas. La situación en cada lugar debe ser evaluada para la opción más factible. A veces, un enfoque secuencial es más efectivo, partiendo con un tipo, dando paso a otro a largo plazo.

Fabricadas únicamente a nivel local de		Partes pre-fabricadas, ensamblaje local	Fabricado totalmente extranjero
Chatarra o latas	Materiales nuevos		
			
Estufa Lucia, hecha en Haití en Febrero de 2010. (Diseño: Nathaniel Mulcahy, Worldstove) http://tweetphoto.com/13062972	Estufa Champion fabricada por grupo Servals en Chennai, India (Diseño: Paul Anderson, foto tomada durante prueba en el Instituto Aprovecho)	Estufa Lucia de Italia, ensamblada a partir de partes planas de mobiliario en Haití (Diseño: Worldstove) http://tweetphoto.com/13064374	estufas de gas de madera para encampar. (Diseño: Tom Reed) ejemplo disponible al público en http://www.woodgas.com/bookSTOVE.htm

Aunque existen muchos diseños para micro-gasificadores, la tecnología básica de TLUD es abierta al público (no está protegida por patentes ni derechos de autor) y literalmente hay cientos de variaciones y mejoras que aún no se han descubierto. Se alienta a todas las personas que sean bienvenidas a participar. Hay una variedad de estufas que están construidas en base a los principios de los TLUDs en el dominio público, otras se presentan en el manual. Paul Anderson ha recopilado una lista de TLUDs en Marzo de 2009 para la reunión de PCIA en Kampala.



Conclusión: cualquier solución de estufa debe

- Satisfacer al usuario (conveniencia de uso, proveer el calor apropiado y adecuado para los platos locales, culturalmente aceptable, respetar el tiempo necesario para atender el fuego).
- Utilizar los combustibles locales disponibles (sin un esfuerzo tedioso para su preparación).
- Estar al alcance (fabricación local basada en materiales locales o importados a un precio razonable).
- Satisfacer otras necesidades de los usuarios (producción de biocarbón, provisión de luz, etc.).

Las estufas deben adaptarse a las personas y los hábitos de cocina tradicional y no al revés!⁵



Estufa PekoPe diseñada por Paal Wendelbo, fabricada en Malawi

⁵ Cita de una presentación de WorldStove en 2010

2.1 Estufas comerciales disponibles con acabado de fábrica

Esta sección menciona estufas micro-gasificadoras con acabado de fábrica procedentes de lugares conocidos y trazables, han alcanzado más allá el nivel de prototipo y están actualmente en producción. En cuanto a la información que se puede obtener, provee todo lo concerniente a su diseminación actual, retroalimentación de los usuarios, etc. La mayoría de la producción actual de micro-gasificadores se encuentra en el Sureste de Asia, específicamente en India, China, Indonesia y Vietnam.

La siguiente lista comprende solamente los micro-gasificadores conocidos por los autores al momento de compilar este manual y en ninguna manera es completo. Si existen otros dispositivos que deberían de ser incluidos, por favor envíe la información a los autores para una futura inclusión. Esta es una 'obra en progreso' y la lista de dispositivos que están comercialmente disponibles con suerte crecerá en un futuro cercano.

Estufas gasificadoras con acabado de fábrica comercialmente disponibles (presentado en orden alfabético de acuerdo al país de producción)		
2.1.1 Adecuadas para cocción domestica diaria		2.1.2 Estufas para acampar
Con una extensión considerable (> 5,000 unidades) en comunidades	Sin uso en comunidades o promoción recién comenzada	Enfocada a un mercado para uso ocasional y no diseñadas para uso diario
a) Para biomasa gruesa		
Más de 450,000 unidades: Oorja (India) Más de 25,000 unidades: Daxu (China)	JXQ-10 (China) Champion (India) Navagni (India) Philips (India) Sampada (India) Lucia (Italia) Vesto (Swazilandia)	Estufas gas-madera para acampar de Tom Reed (EEUU) Estufa Beaner Backpacker (Italia)
b) Principalmente para casullas de arroz		
Belonio (Filipinas) Mayon (Filipinas)	Minang Jordanindo (Indonesia) Paul Olivier (Vietnam)	

2.1.1 Estufas adecuadas para cocción domestica diaria

Esta sección comprende las estufas gasificadoras adecuadas para uso diario como un dispositivo de cocción. Se subdivide por el tipo de biomasa utilizada, ya que las diferentes propiedades de combustible requieren diferentes características de diseño, como la biomasa seca y gruesa (gruesa refiriéndose a una partícula de tamaño mayor a 5mm), que funciona bien con tiro de aire natural, mientras que las casullas de arroz (la partícula más disponible en el mundo de combustible fino) se pueden gasificar mejor con convección forzada.

a) Dispositivos para combustibles de biomasa gruesa y seca

La única estufa gasificadora que se ha vendido en gran cantidad excediendo las 450,000 unidades es la Oorja de India. Fue desarrollada por First Energy y el Instituto Hindu de Ciencias en Bangalore con una experiencia extendida en gasificación de biomasa. (<http://www.iisc.ernet.in/>).

Tome nota que la sección siguiente aún no fue enteramente traducida al castellano porque se trata de una sección con información altamente dinámica y más técnica que se pueda quizás entender también en inglés. Además la mayoría de los enlaces son en inglés.

Oorja (India)

Mercado meta:	Maharashtra, Madhya Pradesh, Karnataka, Tamil Nadu. Only sold in India.	
Tipo de combustible:	Pellets from agricult. residues	
Designed by:	Indian Institute of Science and First Energy	
Precio al por menor : 3 modelos: (15 – 35 USD, June2010)	Oorja Eco 999 INR Oorja Plus 1,350 INR Oorja Super Plus 1,650 INR	
Unidades vendidas:	Over 450,000 by May 2010	
Inicio de producción:	2006	
Construidas por:	First Energy Pvt. Ltd.	
Contacto:	CEO Mr Mahesh Yagnaraman, maheshyagna@firstenergy.in	
Dirección:	Office No. B-101 to B-105, First Floor, B-Wing, Signet Corner, S.No-134, Baner, Pune - 411 045, India. Tel : 91-20-67210500	
Capacidad de Producción:	Up to 300,000 stoves per annum, 30,000 tons of fuel p.a.	
Breve descripción:	Power level 2-3 kW, depending on fan speed. Burn rate 9-12 g/min. 450 g pellets give max. burning time of 75 minutes at low fan speed. Normal load of 600 g pellets (ca. 600 kg/m ³) can last 55-65 min.	
Características:	Fan-assisted, rechargeable NiMH battery pack, fan speed controlled by regulator. Fan attached on bottom-side. Ceramic combustion chamber (100mm diameter, 130 mm high), bottom cast-iron grate	
Manejo:	Batch-fed from top, top-lit. during operation only small quantities of fuel (< 20%) can be topped-up for extra 15 minutes of cooking time.	
Producción de carbon:	No. Ash ca. 10%, char combustion gives useful 10 min heat at end.	
Retroalimentación de los usuarios:	Fast, clean, no soot on utensils, no smoke. Oorja-Super new variant with flame control as well as Oorja-Plus can also bake chappatis, rotis, dosas and cakris (a popular type of maharashtra rotis).	
Accidentes reportados:	No stove-caused safety incidents reported recently. However, wrong usage in initial years had led to electric shocks and people being careless with high flames.	
Información :	Boiled 5 litters in 24 minutes with 190 g fuel, emitting 2,2 g of CO and 166 mg of PM ⁶ or 45 g pellets per liter of water to boil, no data on simmering phase. Emissions: CO 0,7-1 g/MJ, PM 0,75 g/MJ ⁷ ,	
Further information: http://www.youtube.com/watch?v=X2XOjT7V_qo http://www.bioenergylists.org/content/oorja-stove-bp-first-energy (source of photo above) http://www.pciaonline.org/first-energy-private-limited		
Comments: The stove was designed to use pellets from agricultural residues that are distributed by First Energy through their fuel distribution network. First Energy has taken over the business from BP in late 2009. Before that, not many data on sales, user feedback etc. were available. This will hopefully change now, as First Energy apparently makes serious attempts to focus on the user and adapt the stove according to users' preferences.		

⁶ Source <http://cgpl.iisc.ernet.in/site/Portals/0/Publications/Report2004-2008.pdf>

⁷ Source: CURRENT SCIENCE VOL. 98, NO. 5, p. 636 <http://www.ias.ac.in/currsci/10mar2010/627.pdf>

Daxu (China)

En China, toda una variedad de sistemas de gasificación moderna a partir de paja y los tallos de otros cultivos parecen desarrollarse. La mayoría son sistemas de corriente descendente que se pueden utilizar durante 24 horas al día para calentar el agua en combinación con un radiador de calefacción y quemadores de sobremesa para cocinar. Algunos incluso tienen características avanzadas como los controles remotos para la ignición de gas y las perillas de control de potencia, como un quemador de gas LPG. No siempre es evidente para alguien que no habla chino, que es un productor y que es un comerciante representado en Internet. Varios sitios web se refieren a un mismo producto. Es muy interesante para las áreas con un poder adquisitivo adecuado y los climas fríos con la necesidad de calentar el ambiente. La TLUD china es la serie de la estufa Daxu que al parecer alcanzó ventas superiores a 25.000 unidades desde el año 2006. Ganó el Premio Ashden de Energía Sostenible en 2007.

Mercado meta:	Yangqing County, NW of Beijing	 http://www.szdxbj.cn/
Tipo de combustible:	(Briquetted) crop residues like straw etc., any solid biomass	
Diseñado por:	Mr Pan Shijao	
Precio al por menor:	In 2007 it was Y 1,000 (ca. 90 €), in some areas subsidized by government to Y 50-200	
Cantidad vendida:	Over 25,000 (by April 2007), current figures not known	
Inicio de producción:	April 2005	
Construidas por:	Beijing ShenZhou Daxu Bio-mass Energy Technology Company Ltd.	
Contacto:	Zhu Yan, Assistant to GM zhuzhulinda@126.com ,	
Dirección:	Beijing Shenzhou Daxu Bio-energy Technology Company Ltd No. 6, 5th Floor, Beijing Technology Centre A48, Suzhou Street ,Haidan District, Beijing, China Phone +86-10-51051697, Mobile Ms Yan +86-1391091245	
Capacidad de producción:	Not known	
Breve descripción:	Width 340 mm, Length 340 mm, Height 780 mm, Weight not known, but heavy, not portable. Stove to be installed, with chimney. Can have added water and space heater features, assembly for one or two cooking pots.	
Características:	Burn rate 2 kg/hour	
Producción de carbon	Not fully known, probably burns to ash.	
Retroalimentación de usuarios	Faster than coal, clean, less smoke, can make hot water, cheap to run on biomass briquettes	
Accidentes reportados:	None known.	
Información de desempeño:	According to data found from comparative tests done by the Centre for Entrepreneurship in International Health and Development (CEIHD) it had the highest efficiencies of all stoves tested (41% with loose straw, 42% with straw briquettes).	
Further info: Product catalogue (Chinese): http://www.dxkj888.com/ArticleShow.asp?ArticleID=109 . Case study and general info on http://www.ashdenawards.org/winners/daxu and http://www.bioenergylists.org/files/TLUD_Gasifier_in_Ashden_Award_for_Enterprise_2007-09-19.pdf , Video on http://www.youtube.com/watch?v=x65M9zX4gAo		
Other comments: According to a report on http://childrenofshambala.org/pdf/FR%2077%20-%20Fuel%20Efficient%20Stoves%20-%20Pilot%20Project.pdf , a group that wanted to do comparative testing of various stoves in China in 2009 had difficulties to obtain a stove from the factory. Once they explained that they were no competitors, stoves could be purchased. More details in the report.		

TN ORIENT JXQ-10 (China)

Un modelo de corriente descendente estacionario con chimenea que está diseñado para quemar la paja y otros residuos de biomasa en una combinación de un reactor de corriente descendente y un quemador de sobremesa que parece tener propiedades similares que otros quemadores de gas.

Más de 1.000 unidades se han vendido en China hasta el momento. No hay datos sobre cualquier otra información de los usuarios, pero parece ser una tecnología digna de una mirada más cercana para escenarios en los que podría encajar. Es probable que sólo tenga sentido económico, si no se utiliza para cocinar, sino donde el calentamiento de agua y radiadores para calefacción se necesitan periódicamente.

Gasificador de paja de corriente descendente		 
Mercado meta:	Export worldwide	
Tipo de combustible:	Big variety of crop and forestry residues (straw, stalks, rice husks, nut shells, sawdust, woodchips)	
Diseñado por	Company development of product range over past 7 years	
Precio al por menor:	700 USD (FOB) for 1 unit, cheaper per container-load	
Cantidad vendida:	Over 1,000	
Inicio de producción:	In 2001	
Construida por:	Xuzhou Orient Industry Co. Ltd	
Contacto:	renewable-energy01@orient-biofuel.com renewable-energy001@hotmail.com Skype: renewable-energy001	
Dirección	Suite I, 17/F, Success Bld., Zhongshan South Rd. Xuzhou, Jiangsu, PLC Tel: 86-516-82029972, Fax: 86-516-82029977	
Breve descripción:	Downdraft gasifier system, gas piped to burner unit on a table-top through a gas-cleaning system to remove tars. Should be clean burning. For continuous use for 24 h/day for water and space heating. Gas output: 5-10m ³ /h, Gas caloric value:4600-5200KJ/m ³ Gas stove power: 4.7—5.1KW Packing Dimension: 1150*650*1230mm, Weight: Net 190/Gross 240kg Quantity in one 20'-container: 34 Units, Delivery Time: 20-40 Days	
Características:	Fan grid-powered. Some models with electronic ignition, remote control	
Manejo:	Claim that gas generation starts 2 minutes after lighting combustion unit. Gas needs to be lit separately, e.g. with a piece of newspaper or through electronic ignition. Ash removal (ca. half kilogram) every 5-7 days.	
Producción de carbon:	Does not make char, burns to ash.	
Información de desempeño:	Claim to boil 4,5 kg water in 8-12 minutes. No independent data found.	
Further info: http://www.orient-biofuel.com (source of photos above) http://orient-biofuel.en.alibaba.com/product/271032281-0/Small_Biomass_Gasifier.html		
Other comments: claims to have received 3 national chinese patents, not suitable for local production. Company invests into R&D for new next-generation products. In 2008 started production of bigger versions in the same range: JX 50, with gas output 50 m3/h at fuel use of 25-40kg/h: ca. 8,500 USD FOB, JX 100, with gas output 100 m3/h at fuel use of 50-60kg/h: ca. 10,500 USD FOB		

Champion TLUD (India)

El Champion –TLUD-ND (Natural Draft) por Servals está basada en el diseño TLUD de Paul Anderson que ganó el Premio de estufa limpia en el campamento de estufas en Aprovecho (Oregon) en 2005. Versiones de este diseño artesanal ya están en uso en varios países, porque son fáciles y baratos de fabricar a nivel local. Este conjunto se vende por un precio razonable, con dos contenedores de combustible intercambiables y un trípode para soporte de la olla. El modelo de Chennai es ideal para probar la idoneidad de la tecnología de gasificación TLUD en una nueva área. Paul Anderson está dispuesta a ayudar en cualquier transferencia de tecnología a una nueva área. Puede obtenerse más información en la sección de conceptos gasificador transferible y adaptable.

la sección de conceptos gasificador transferible y adaptable.

Mercado meta:	India, export upon request	
Tipo de combustible:	Any chunky dry solid biomass	
Diseñado por:	Paul Anderson	
Precio al por menor:	1,700 Rupees (37 USD, 9/2010)	
Cantidad vendida:	No current update available	
Inicio de producción:	2009	
Construida por:	Servals Automation Pvt. Ltd	
Contacto:	Mr Parthasarathy Mukundan mukundanpa@gmail.com	
Dirección:	Servals Automation Pvt. Ltd, Chennai - 600 032, Land line: + 91 44 64577181 / 82, Fax: + 91 44 45540339	
Capacidad de producción:	Can be scaled up upon demand	
Breve descripción:	Batch-loading top-lit updraft stove. Package comprises set of two fuel canister/reactor units, one concentrator lid and a tri-pod pot-stand with pot-rests and a riser that can slide down and be coupled onto the concentrator lid. Containers, lid and coupler stainless steel.Width 200 mm, Height 280 mm, Weight of fuel container 1,6 kg Power output depending on primary air control 3-5 KW	
Características:	Natural draft (manual regulator for primary air). External fan can be fitted. Fuel container with handles for easy dumping of char.	
Manejo:	Canister is filled with fuel, then one layer of fire-starter material on top. Lit at the top, then canister placed in the 'stove structure' under the pot (can be the tripod or any other structure, like the mud-stove depicted above). Burn time for one batch of fuel depending on type of fuel: over 75 minutes on 1000 g wood pellets or 45 minutes on 600 g wood chips. For extended cooking time the second unit can be filled and lit and the containers easily exchanged.	
Capacidad para producir carbon:	Yes. Easy to dump char because fuel container has a handle and is detached from the stove structure holding the pot. Char yields typically 20% in weight and 50% in volume of original fuel.	
Retroalimentación de usuarios:	Easy exchange of fuel containers to extend cooking time.	
Accidentes reportados:	None so far.	
Información de desempeño:	Emissions comparable to other tests of Champion stoves published. In a test at Aprovecho Research Institute Feb 2010, it boiled 5 l of water without a pot-lid from 11°C in 19 minutes with 384 g wood pellets or in 20 min with 368 g wood chips.	
Further info: http://servalsgroup.blogspot.com/2009/05/tlud-gasifier-stoves-wood-stove-with.html Contains link to a video, where the details and operation of the stove are shown (source of 2 nd photo)		
Other comments: in May 2010 the company won the SANKALP CLEAN ENERGY AWARD in India for the TLUD production http://www.sankalpforum.com/Sankalp/awards.php		

Navagni (India)

La estufa Navagni es un modelo encontrado recientemente a través de Internet. No se consiguió información detallada hasta el momento de personas que han usado la estufa. Es difícil ponerse en contacto con la empresa vía correo electrónico o por teléfono. Lo más interesante es el tapón "para-fuego" insertado como una tapa en la cámara de combustión para extinguir el fuego. En el video parece que funciona sin causar humo. Sería interesante obtener datos independientes de rendimiento de la estufa.

Mercado meta:	Not known	
Tipo de combustible:	Any solid chunky dry biomass	
Diseñado por:	No information obtained	
Precio al por menor:	No information obtained	
Cantidad vendida:	No information obtained	
Inicio de producción:	Probably 2009	
Construida por:	Qpre	
Contacto:	No information obtained	
Dirección:	Qpre energy (India) private limited 129/5 6TH MAIN ROAD, 6TH PHASE, 1ST STAGE, WEST OF CHORD ROAD, MAHAGANAPATHI NAGAR, BANGALORE 560 044, INDIA PHONE +91 80 3200 2130, FAX +91 80 2660 5654 In USA: 17153 90th place north, Maple Grove, MN 55311 phone 612 554 1589, fax 763 494 3903	
Capacidad de producción:	No information obtained	
Breve descripción:	Sturdy TLUD Gasifier with regulated natural draft, Estimated dimensions (from video): Width 400 mm, Length 600 mm, Height 400 mm, Weight 7 kg	
Características:	Controllable natural-draft air system with rotary knob for power control. Fuel chamber can hold up to 1kg of various types of biomass. Stop- per-cap to stop fire. Drying chamber to pre-dry fuel.	
Manejo:	Lit from the top. Can be operated in continuous feed mode, meaning fuel can be added from the top during cooking. 1 kg of biomass pro- vides 45 minutes cooking time. Ash removal by tilting the stove and dump ash through a sliding door at the bottom of the stove.	
Capacidad de producir carbon:	Stove is too heavy and bulky to dump charcoal while still hot. So coals burn to ash.	
Retroalimentación de usu- arios:	No information obtained	
Accidents reportados:	No information obtained	
Información de desem- peño:	No information obtained	
Further info: http://www.navagni.com/tech/tbs.htm for the stove (source of photo above), http://www.qpre.com/energy/eproducts.html for the manufacturing company.		
Video: http://www.youtube.com/watch?v=YujomisovTQ&NR=1		
Training video in English: http://www.youtube.com/watch?v=u2rlcJ8f4Jl&feature=related		
Other comments:		

Philips Natural Draft Woodstove (India) – gasificadora a tiro natural

En 2005 Phillips comenzó a desarrollar una estufa de leña con un generador termoeléctrico recargando las baterías para alimentar el ventilador. Para evitar problemas técnicos con la fuente de alimentación, un modelo de tiro natural se ha desarrollado. Al parecer, ha entrado en una fase de la extensa prueba de campo en la India, pero no mucha información o comentarios de los usuarios fue puesto a disposición por parte de Philips. La estufa también se incluyó en un estudio comparativo en un campo de refugiados de Dadaab (Kenia) en 2009.

Mercado meta:	India, no details known.	 
Tipo de combustible:	Designed for small wood pieces 2x3x10 cm, but could probably use any chunky small dry bio-mass	
Diseñado por:	Philips	
Precio al por menor:	No information	
Cantidad vendida:	No information	
Inicio de producción:	First prototype 2006	
Construida por:	Philips Electronics India Limited	
Contacto:	Vitika Banerjee, Marketing Manager Pawandeep Singh, Pawandeep.Singh@philips.com	
Dirección:	9th Floor; DLF 9-B; DLF Cyber City; DLF Phase 3; GURGAON - 122002; India, Tel: +91 124 4606000, Fax: +91 1244606666	
Capacidad de producción:	No information	
Breve descripción:	Stainless steel. Power output adjustable from 1,5-3KW	
Características:	Regulating knob for air control. 5-year life span expected.	
Manejo:	The stove is top-loading, needs small pieces of wood or other chunky biomass. Can be operated as bottom-lit continuous feed or top-lit batch fed stove. If used as top-lit batch fed stove, it should not be filled more than half. Can be refuelled during use.	
Capacidad para producir carbon:	No, usually burns to ash, due to excess air supply	
Retroalimentación de usuarios:	Convenient in terms of speed, clean cooking, portable to allow cooking outside, saves cost by increased fuel efficiency and wood has lower cost than LPG and kerosene, Appealing design and attractive alternative to LPG and kerosene, Robust, promises a long life-time. Users in the test in Dadaab (link below) did not like the fuel preparation as they did not have sufficient suitable small biomass available and found it understandably tiresome to chop big woodsticks to small pieces and then feed them bit by bit to the fire.	
Accidentes reportados:	None known.	
Información de desempeño:	Up to 55% reduction of fuel use, up to 90% reduction of emissions	
Further info: http://www.vrac.iastate.edu/ethos/files/ethos2007/Sat_PM/Session_4/Alders%20ETOS%20presentation%20Philips%20Woodstove%20v3.ppt http://siteresources.worldbank.org/INTENERGY/Resources/335544-1232567547944/5755469-1239633250635/Jan_Alders.pdf technical features on page 10 of http://www.pciaonline.org/files/Cook-stoveResearchRoadMap.pdf , report on comparative use of 5 wood-burning stoves in refugee camps in Dadaab (Kenya) in 2009: http://www.hedon.info/docs/USAID_Evaluation-wood-burning-stoves_Dadaab_final.pdf (source of photo above)		
Other comments: It is not very clear which model is manufactured and promoted where.		

Sampada (India)

Mercado meta:	India countrywide, export on request	
Tipo de combustible:	Wood chips, pellets, biomass briquettes, small twigs, wood chunks, etc.	
Diseñado por:	AD Karve, ARTI	
Precio al por menor:	INR 1,200 (Euro 24, USD 30)	
Cantidad vendida:	Over 500	
Inicio de producción	2006	
Construida por:	Samuchit Enviro Tech Pvt. Ltd	
Dirección:	Flat No. 6, Ekta park Co-op Hsg. Soc., Behind Nirmitee Showroom, Law College Road, Erandwana, Pune-411004 Phone 91 20 2546013, Fax 91 20 25460138	
Capacidad de producción:	Not known	
Breve descripción:	Portable natural draft TLUD with stainless steel body Diameter ca. 150 mm, Height 280 mm, Weight 1,5 kg Low power stove for light cooking tasks such as making tea, snacks etc.	
Características:	The special feature of this stove is that charcoal is left behind in the fuel holder after the stove operation.	
Manejo:	The fuel is put into the fuel chamber and lighted from the top. One full charge of fuel keeps the stove in operation for about 1 hour. Additionally, it also has a provision for adding additional fuel through a side opening for longer duration of continuous cooking.	
Capacidad para producir carbon	Makes very good charcoal that can easily be saved as stove is light-weight and has handles. 1 kg of wood leaves 250-300 gm of charcoal.	
Retroalimentación de usuarios	Clean cooking while making charcoal, fuel efficient and cheap to operate. It is a source of additional income, as produces charcoal has a higher value than original woodfuel.	
Accidentes reportados:	None known	
Información de desempeño:	Emissions to cook 2,5 litres of food: 8,1 mg CO, 69 mg PM	
Further info: http://www.samuchit.com/index.php?option=com_content&view=article&id=1&Itemid=3#sampada%20stove http://www.arti-india.org/index.php?option=com_content&view=article&id=76:improved-cook-stoves-for-the-rural-housewife&catid=15:rural-energy-technologies&Itemid=52 (source of photo above)		
Other comments: State of current production not known		

Vesto (Swaziland) (Variable Energy Stove - estufa de energía variable)

Mercado meta:	Can export worldwide	
Tipo de combustible:	Designed for all biomass including split hardwood, sawdust briquettes, charcoal, branches and chunky biomass less than 180mm long; in TLUD mode can burn wood. Dung, pellets (wood, switchgrass)	
Diseñado por:	Crispin Pemberton-Pigott	
Precio al por menor:	440 ZAR (ca. 45 Euro), incl. accessories Barbecue plate+support stand, available separate	
Cantidad vendida:	Over 3,000	
Inicio de producción:	2004	
Construida por:	New Dawn Engineering	
Contacto:	Thabsile Shongwe, thabsile.s@newdawnengineering.com sales@newdawnengineering.com , support@newdawnengineering.com	
Dirección:	P.O. Box 3223 Manzini, MZ200, Swaziland +268 518-5016 or 518-4194	
Capacidad de producción:	Can produce 100 stoves per day (upon order)	
Breve descripción:	Natural draft Stove with incorporated pot-skirt based on a 25-l paint can. Controllable preheated primary air of three types as well as pre-heated secondary air. It can accommodate fuel from twigs up to 110mm diameter wood, preferably less than 200 mm long or less (over-filling a wood stove blocks proper air flow and creates a smoky burn). Diameter 300 mm, Height 440 mm, Weight 4,5 kg without accessories, 7kg with accessories, boxed. Power output 4 kW depending on air regulation. Best suited for pots <270 mm diameter, so that the pot can be sunken in the skirt though larger pots, woks and frying pans can be used.	
Características:	Designed for rapid fire development (start cooking 1 minute after ignition); replaceable consumable parts (modular design); stove body has a wire handle; removable, perforated fire chamber with a replaceable grate at the bottom; stainless steel pot-supports.	
Manejo:	It can be used as bottom-lit continuous feed stove or batch-fed TLUD. Cooking time typically 20-40 minute without attention, correctly loaded with dense hardwood up to 1 hour. Light biomass requires more frequent refueling.	
Capacidad para producir carbon:	Only in pyrolytic TLUD mode with restricted primary air supply.	
Retroalimentación de usuario:	Fast, little smoke, economic and fuel efficient especially with pot that can be sunken in the skirt. Inconvenience of having to remove pot entirely for refuelling as the pot skirt prevents refuelling with pot inside.	
Accidentes reportados:	None known.	
Información de desempeño:	Sunken pots: Wood fuelled: 25-35% efficient, charcoal fuelled 35-55%; heat can be partly controlled by a combination of fuel or air metering; fuel saving 70% compared with open fire (typical).	
Further info: http://www.newdawnengineering.com/website/stove/singlestove/vesto/ (photo above)		
Other comments: The Vesto was developed as a mass produced product though components can be incorporated into artisanal products in villages. It can burn extremely hard wood.		
It won the DISA Chairman's Award and Housewares division, (South African Design Excellence Awards 2004); received a Merit Award from the Stainless Steel Manufacturer's Association (2004) for innovative use of stainless steel.		

En el estudio comparativo realizado en Dadaab, la estufa no estaba acostumbrada a desarrollar el pleno potencial debido a que una plancha se colocó entre el fuego y la olla que influyó negativamente la transferencia de calor. El informe detallado se puede encontrar en http://www.hedon.info/docs/USAID_Evaluation-wood-burning-stoves_Dadaab_final.pdf.

MJ Biomass Gas Stove (Indonesia) - Estufa de gas-madera de biomasa

Una nueva gama de estufas prometedora se está iniciando en Indonesia. Según el productor, ellos desarrollan modelos que pueden quemar madera o pedazos finos de carbón. La que aquí se presenta es diseñada para la biomasa peletizada y pequeños trozos de madera, pero también puede quemar pequeños bultos de carbón vegetal, que son demasiado finas para ser utilizados en estufas de carbón de leña de tiro natural regular.

Mercado meta:	Urban poor in cities of Indonesia where charcoal fuel can be used	
Tipo de combustible:	Pellets or wood chunks can be used or small wood charcoal lumps (ca. 1 to 2 cm in diameter)	
Diseñada por:	Alexis Belonio	
Precio al por menor:	20 USD	
Cantidad vendida:	200 units	
Inicio de producción:	2009	
Construida por:	PT Minang Jordanindo Approtech	
Contacto:	Mr. Bima Tahar	
Dirección:	Adhi Graha Building 15 th floor, Suite 1502 A, Ji. Gotot Subroto Kav 56, Jakarta 12950, Indonesia Phone 021-5262525, Fax 021-526 24 16	
Capacidad de producción:	40 units per month	
Breve descripción:	Stainless steel batch-feed TLUD, fan-assisted Width 250 mm, Length 250 mm, Height 380 mm, Weight 2.3 kg Power heat output 1 KW	
Características:	Fan powered by 12 volt, 0.12 Amp DC Fan; 9 volt battery can be used in case of power failure	
Manejo:	Fuel filled from the top, Lit with some fire starter from the top, start-up time 2 minutes. Char removed at the bottom by tapping the grate.	
Capacidad para producir carbon:	Very good.	
Retroalimentación de usuario:	Affordable, convenient to use, easy to ignite, no smoke during operation, flame intensity can be controlled, uses very small amount of electricity to power fan, safe to operate	
Accidentes reportados:	None	
Información de desempeño:	13 minutes to boil 1 liter of water; Fuel load 300 g; Additional fuel can be loaded gradually to sustain firing.	
Further info and order form: http://www.minangjordanindo.com/biomasgastove.htm (source of photo above)		
Other comments: Although based on the proven Belonio-designs, the product is right now in a development and testing stage in Indonesia. Currently only small numbers are manufactured, scale-up still envisaged for late 2010 or early 2011.		

LuciaStoves (Italia) - Estufas 'Lucia'

Nathaniel Mulcahy de WorldStove ha diseñado varias estufas gasificadoras pirólíticas de encendido por arriba que están basadas en un principio de tiro conocido como principio de 'estufa Lucia'. Por lo tanto, diferentes modelos encajan bajo el termino 'estufa Lucia'. Todos ofrecen la opción de cocinar en modo "carbón negativo", si el carbón inerte creado se saca del ciclo del carbono mediante la adición a la tierra como biochar. Más detalles en <http://worldstove.com/about-2/why-pyrolytic-stoves/>.

Las estufas están diseñadas para la producción industrial y ensamblaje local. WorldStove ofrece conceptos y programas de capacitación para las estufas basadas en el principio de Lucía, con el objetivo de crear micro-industrias en las comunidades. WorldStove construye los componentes base y luego trabaja con socios locales de enlace para establecer pequeñas plantas de fabricación. Estas plantas no requieren soldadura, remachado o perforación. Sirven como una actividad de ingresos basado en habilidades para la generación de actividades para la comunidad. WorldStove proporciona instrucciones y guías para el montaje de piezas de la estufa adicional y trabaja con grupos locales para establecer la planta, y para adaptar la estufa Lucia a las necesidades de la cocina local. Como un artículo aparte, la estufa Beaner backpacker esta disponible (véase la siguiente sección 2.2 en Estufas de Acampar). El ejemplo acabado de fábrica para los países en desarrollo está destinado a lotes de 500 o más. Para números más grandes, el precio se reduce significativamente. Otros modelos se muestran en el sitio web.

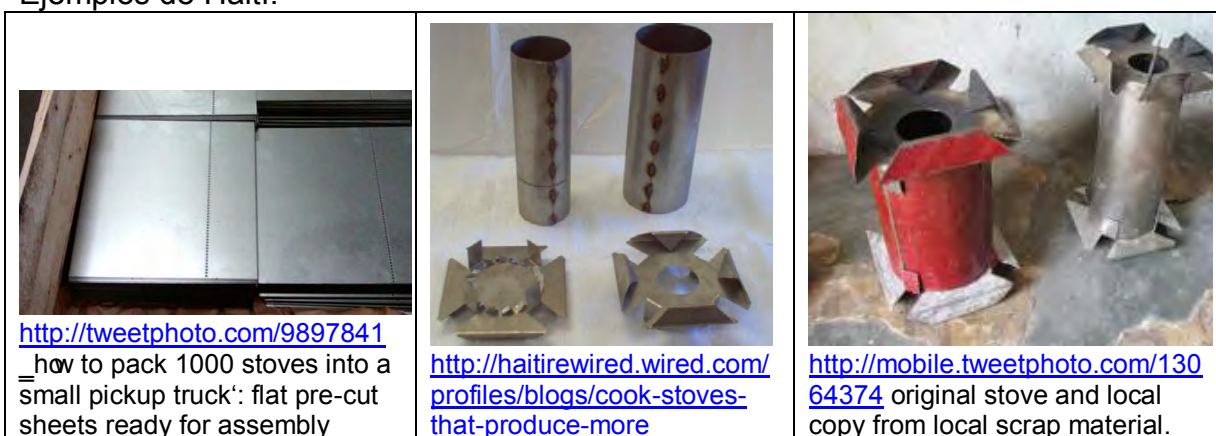
Nombre de la estufa	LUCIA stoves for developing nations	
País:	Italy	
Mercado meta:	Export worldwide	
Combustible:	Most dry small-chunky biomass	
Diseñador:	Nathaniel Mulcahy, WorldStove	
Precio al por menor:	Set by local dealers or producers	
Unidades vendidas	Over 10,000 in 2010 alone	
Inicio de producción:	2003	
Fabricado por:	WorldStove	
Contacto:	Electronic contact form: http://worldstove.com/contact-us/	
Dirección:	290 North Pleasant ST Amherst MA 01002 USA	
Capacidad de producción:	Geared at mass production: 32 aluminium stove tops per minute or 8,000 'origami' versions of the LuciaStove in 40 work hours	
Breve descripción:	Width 270 mm, Length 270 mm, Height 333 mm, Weight depends on mode. Power output can be regulated through fan speed. Biomass feed rate: On low setting 300 g fuel can give 1,25 h cooking time, on high setting it can burn 1,5kg per hour.	
Características:	Injection-molded high precision basic components to ensure optimal combustion. Different components shown in http://www.youtube.com/watch?v=8Zefrh8kgM&feature=related Fan powered AC and DC versions available.	
Manejo:	Fuel filled from the top, lit with some fire starter from the top. Fuel can be added while cooking. Char removed by tipping the stove.	
Producción de carbón:	Very good in pyrolytic mode. Produces pH-neutral char and can be tuned for density, pore size and nitrogen content of the char.	
Retroalimentación del usuario:	Can use little fuel, optimal with windshield and strong pot-support	
Accidentes reportados:	None known.	
Información adicional:	http://worldstove.com/products/luciestove-for-developing-nations/	
(fuente de la foto)		

Un ejemplo de la versatilidad de la unidad del quemador y como puede servir de fuente de calor en modelos existentes de cocina: En el video se muestra el montaje de una unidad quemadora de estufa Lucía en una estufa de ladrillo fijo con dos placas:

<http://www.youtube.com/profile?user=WorldStove#p/u/19/qK99va4NwkY>

WorldStove ha ideado un único programa de 5 pasos para crear "centros de estufa" locales en cooperación con socios locales. El objetivo es crear puestos de trabajo locales a través de la producción y distribución de estufas Lucia adaptadas localmente. Se añade dos líneas más a la cadena de valor: el tratamiento de residuos de biomasa local en los combustibles alternativos adecuados para reducir la dependencia de los combustibles convencionales como el carbón, y la posterior utilización de los caracteres creados en los fogones como un subproducto de la cocina. Para más detalles ver <http://worldstove.com/album/download-area/> nombre de archivo http://worldstove.com/wp-content/uploads/download/five_step.pdf o una entrevista con Nathaniel Mulcahy en <http://www.charcoalproject.org/2010/05/a-man-a-stove-a-mission/>

Ejemplos de Haití:



Por último, pero no menos importante, vale la pena ver este video sobre "¿Por qué hacemos lo que hacemos de WorldStove:

<http://www.youtube.com/watch?v=3mgUg6GWLJq>

Perspectiva acerca de los gasificadores para combustibles de biomasa gruesa

Hay una estufa KYOTO TURBO anunciada para la venta a 10 euros en el sitio web <http://kyoto-energy.com/kyoto-turbo.html>. Parece estar basada en el diseño PekoPe de Paal Wendelbo, descrito en la sección 2.2 de este módulo. No se ha podido cotizar una muestra ni existe información detallada pero se espera que estarán disponibles en poco tiempo.

En Indonesia también se están promoviendo dos tipos nuevos de gasificadora. Más información se ha solicitado del señor Nurhuda del departamento de Física de la Universidad Brawijaya en Malang. Se incluirá en la siguiente actualización.

b) Dispositivos aptos para la casulla de arroz

La casulla de arroz es una fuente importante de combustible con un suministro anual que se estima excede los 115 millones de toneladas métricas. Debido a tamaños menores de partícula, densidades aparentes bajas y alto contenido de ceniza, este combustible requiere diseños especiales.

La estufa Vietnamita LoTrau quemaba casulla de arroz de manera elegante y sirvió como base para el desarrollo de la Estufa Turbo Mayon y otras cuasi gasificadoras.

Se pensaba imposible gasificar casulla de arroz en pequeñas TLUDes hasta que el Profesor Alexis Belonio de Filipinas lo demostró factible. El primer modelo conceptualizado por Alexis Belonio ha sido renovado y ahora se fabrica su segunda generación en Filipinas. Se han vendido alrededor de 2,000 unidades desde el 2006. El profesor Belonio recibió el prestigioso premio Rolex en el 2008 por sus esfuerzos en hacer de la casulla de arroz una fuente de combustible limpio. Varias quemadoras de casulla ahora se basan en su concepto. En el 2010 la empresa SIAMEX Biomass Energy fue creada con el fin de comercializar el último modelo de estufa de casulla bajo una nueva marca a lo largo y ancho del continente asiático, moneizando en Filipinas y Indonesia y Vietnam. En el 2011 se espera ver progreso considerable en la diseminación de estufas de casulla.



Photos Christa Roth



Due to the clever design the preheated air clings to the metal and is drawn naturally towards the combustible gas, which The gas can only ignite and combust outside when oxygen is available.

El frente pirolítico se enciende encima del combustible en el reactor, se coloca el cabezal de la estufa y el gas formado sale del reactor por medio de los agujeros asistido por convección forzada. El aire ambiental sube por el espacio entre las dos paredes y sale por los agujeros superiores laterales. Debido al ingenioso diseño el aire precalentado se aferra al metal y luego es jalado naturalmente hacia el gas combustible, cuya ignición y combustión externa se dan solo en presencia de oxígeno disponible.

BMC Rice Husk Gas Stove (Philippines) - Estufa BMC para casulla de arroz

Model RHGS 15D		
Mercado meta:	Rural villages worldwide where rice husks is available and with access to electricity	
Combustible:	Rice husks	
Diseñador:	Prof. Alexis Belonio / Center for Rice Husk Energy Technology-CPU, Iloilo City, Philippines	
Precio al por menor:	USD 30-40	
Unidades vendidas	More than 2,000 units sold in the Philippines and abroad since 2006	
Inicio de producción:	First started to develop the model in 2007, now it is in its 2nd generation	
Fabricado por:	Belonio Metal Craft	
Contacto:	Mr. Dennis Belonio, Manager/Owner	
Dirección:	Purok II, Pavia, Iloilo, Philippines bmc.phil@yahoo.com	Source: A Belonio
Capacidad productiva	25 per week	
Description corta:	Width 3f50 mm, Length 350 mm, Height 800 mm, Weight 7.5 kg Power heat output 1.2 kW	
Características:	Air supply: 16-watt, 220 volt computer fan; airflow can be varied by sliding the shutter plate or with the use of rheostat switch; gas burner is a plate-type for better quality flame and for ease of char disposal	
Manejo:	Lighting at the top with a piece of paper or sprinkling 1 ml kerosene, Start-up time 1 minute, Char removal by tipping over the stove.	
Producción de carbón:	Very good, charred rice husk can be used for Bokashi-type soil fertility amendments	
Retroalimentación del usuario:	Affordable, cheap to run, uses waste rice husk as fuel, convenient to use, easy to ignite, no smoke during operation, flame intensity can be controlled, easy to load fuel and discharge char	
Accidentes reportados:	None	
Datos de desempeño	8 min to boil 1.5 liters of water; Fuel load 0.95 kg; Batch system of about 40 to 60 min per load of rice husks fuel.	
Información adicional: Del 2007: http://www.bioenergylists.org/beloniolowcostrhstove http://rolexawards.com/en/the-laureates/alexisbelonio-the-project.jsp		
Otros comentarios: Se planifica el desarrollo de una 3ra generación con fuente termoacústica http://rolexawards.com/en/the-laureates/alexisbelonio-fighting-theblackbeast.jsp		

Un diseño similar se fabrica en Indonesia desde el 2009. Hacia fines del 2010 la producción estaba en proceso de aumentar considerablemente a 10,000 estufas por mes.

MJ Rice Husk Gas Stove (Indonesia) - Estufa MJ para casulla de arroz

Model RHGS 140-62D		Source: A Be- lonio	
Mercado meta:	Indonesian rural villages near rice husks with access to electricity		
Combustible:	Rice husks		
Diseñador:	Prof. Alexis Belonio		
Precio al por menor:	USD 25-30		
Unidades vendidas	500 units		
Inicio de producción:	First started to develop the model in 2007, now it is in its 2nd generation		
Fabricado por:	PT Minang Jordanindo Approtech		
Contacto:	Mr. Bima Tahar		
Dirección:	Adhi Graha Building 15 th floor, Suite 1502 A, Ji. Gotot Subroto Kav 56, Ja- karta 12950, Indonesia Phone 021-5262525, Fax 021-526 24 16		
Capacidad productiva	40 units per month		
Description corta:	Width 300 mm, Length 300 mm, Height 780 mm, Weight 6.0 kg Power heat output 1 kWt		
Características:	Air supply: 16-watt, 220 volt computer fan; airflow can be varied by rotating the air shutter ring; gas burner is an open-type for ease of char disposal		
Manejo:	Lighting at the top with a piece of paper or sprinkling 1 ml kerosene, Start-up time 1 minute, Char removal by tipping over the stove.		
Producción de carbón:	Very good, charred rice husk can be used for Bokashi-type soil fertility amendments		
Retroalimentación del usuario:	Affordable, cheap to run, uses waste rice husk as fuel, convenient to use, easy to ignite, no smoke during operation, flame intensity can be controlled, easy to load fuel and discharge char		
Accidentes reportados:	None		
Datos de desempeño	8 min to boil 1.5 litres of water; Fuel load 0.9 kg; Batch system of about 40 to 60 min per load of rice husks fuel.		
Información adicional: http://www.minangjordanindo.com/ricehuskgastove.htm Del 2007: http://www.bioenergylists.org/beloniolowcostrhstove http://rolexawards.com/en/the-laureates/alexisbelonio-the-project.jsp Se planea el desarrollo de una 3ra generación con fuente termoacústica: http://rolexawards.com/en/the-laureates/alexisbelonio-fighting-theblackbeast.jsp			
Other comments: mismo fabricante tiene una versión de la estufa de casulla con inyección de vapor a un precio reducido http://www.minangjordanindo.com/steaminjectedgastove.htm			

Se ha iniciado una nueva producción de gasificadores de casulla basados en el diseño Belonio en Septiembre del 2010 por Paul Olivier en un taller vietnamita en Dalat, Vietnam. Los tres aparatos gasificadores (diámetros de 150, 250, 500 mm) tienen todos la misma altura de 775mm y comparten el mismo diseño básico. Están hechos de acero inoxidable y vienen equipados de un ventilador, cubiertos de un plato que protege de derrames.

El regulador de velocidades está montado en el acople del ventilador. Dos aletas para difusión de calor bloquean la transferencia de calor al ventilador y al regulador. El suministro de electricidad puede ser de la red municipal o de baterías con alambrado previo. El adaptador puede manejar electricidad de todos lados (Vietnam, Laos, Cambodia, Estados Unidos, Colombia y Europa).

Los siguientes precios son de Diciembre 2010 e incluyen al gasificador de acero inoxidable, ventilador, regulador de velocidades, y adaptador pero no incluyen batería ni cargador:

150 gasifier (tasa de combustión 2-4 kg biomasa/h) = 52 USD

250 gasifier (tasa de combustión 5-10 kg biomasa/h) = 92 USD

500 gasifier (tasa de combustión 20-40 kg biomasa/h) = 232 USD (para instituciones, greenhouses)

Models 150 and 250 (Vietnam) – Modelos 150 y 250 para casulla de arrozol

Tipo de combustible:	Rice and coffee bean husk	
Diseñador:	Alexis Belonio	
Precio al por menor:	52 / 92 USD. Table-high stove top for 1 or 2 pots, enclosures available	
Unidades vendidas	Just starting, < 100	
Inicio de producción:	September 2010	
Fabricado por:	Paul A. Olivier PhD paul.olivier@esrint.com http://www.esrla.com/	
Contacto:	27C Pham Hong Thai Street, Dalat, Vietnam, Skype: Xpolivier	
Dirección:	Louisiana phone: 1-337-447-4124 (rings Vietnam)	Source: Paul Olivier
Breve descripción:	Top-lit updraft combustion unit (reactor), either with incorporated burner unit or a stove top at table height with a main burner for cooking and one pot hole for warming. Stainless steel. Reactor with 150 or 250 mm diameter, 775 mm high.	
Características:	With powerful fan, fan speed controllable by rheostat, powered by a wet-cell motorbike battery (not included).	
Manejo:	In operating the stove, one removes the burner and fills the reactor with hulls. The hulls are lit and the burner is put back in place. It takes about 15 seconds for the stove to be fully operational, and over 45 minutes to gasify all of the hulls in the reactor. Generally this is enough time to cook a meal at the cost of about 1.1 cents of a USD.	
Producción de carbón:	Makes good biochar, which can be removed at the bottom of the reactor /combustion unit.	
Información adicional: http://www.esrla.com/pdf/gasifier.pdf también tiene dibujos y fotos de varios tipos de cubierta para seguridad y estabilidad. Un video que muestra más de 150 modelos se encuentra en http://www.esrla.com/pdf/gasifier.mpg		
Mas sobre el modelo 250 en http://www.bioenergylists.org/content/250-gasifier , ver sección sobre gasificación en http://www.esrla.com/pdf/composting.pdf		
Otros comentarios: Contactar a Paul Olivier para cotizar una hecha a la medida: paul.olivier@esrint.com El modelo de 500 mm de diámetro es muy apto para generar calor en invernaderos y producir mayores cantidades de biochar. Unidades de 800 mm para 50-100 kg de casulla por hora está en desarrollo.		

Hay un tipo de estufa de tiro natural con tolva cónica. No es una TLUD a tandas asistida

por ventilador, más bien es de alimentación continua y se le denomina casi o semi gasificadora. Es más baja que la las TLUDes gasificadoras de casulla que se conocen por ser más altas y pesadas en su parte superior. La Organización para la Producción Agrícola Eficiente (REAP por sus siglas en inglés) también introdujo el modelo al Occidente Africano. Es una opción prometedora para muchas áreas, donde la altura de la estufa puede limitar la aceptación cultural, la electricidad no es accesible, y el poder de compra escaso exige soluciones de bajo costo

Mayon Turbo Stove – Estufa Mayon Turbo

(Philippines / Gambia / Senegal)		
Mercado meta:	Currently promoted by REAP in Philippines,	
Combustible:	Rice husk, also peanut shell and other shells and husks	
Diseñado por	Developed by REAP Canada, based on LoTrau from Vietnam	
Precio al por menor	15-20 USD	
Numeros vendidos	Over 5,000 in Philippines, 500 in Gambia and Senegal	
Inicio de producción	In 2003	Source: http://www.hedon.info/View+Stove?itemId=8957
Fabricada por:	Local artisans	
Contacto:	Roger Samson info@reap-canada.com	
Promoción:	In order to encourage more stove production around the world, REAP Canada has prepared an International Marketing and Manufacturing Package which includes information on what is needed to manufacture and disseminate the stove at the local level. It includes general information on the stove, design drawings for manufacture, an instruction manual, brochures, and former case studies and can be obtained for 200 Canadian Dollars from REAP.	
Description corta:	Bottom-lit continuous feed natural draft gasifier, dimensions depending on model 165 or 178 mm diameter, Weight 4-5 kg Made from sheet metal and steel by local artisans.	
Características:	conical fuel hopper open on top, combustion chamber in the centre of hopper, secondary air holes enhance the complete combustion.	
Manejo:	Can be fed continuously from the open top of the conical hopper. Tapping to introduce new fuel to the combustion chamber in the centre of the hopper is required every 7-10 minutes.	
Producción de carbón:	No, burns to ash, which can be used as a fertilizer.	
Retroalimentación del usuario:	Fast, convenient, smokeless, economical to operate, enables considerable savings, good pot stability, uses a wide range of cheap fuels	
Accidentes reportados:	None known.	
Datos de desempeño	1 liter of water can boil in 6-7 minutes. More in Report from 2005 done by Aprovecho downloadable on http://www.reap-canada.com/library.htm#mts	
Información adicional:	http://www.reap-canada.com/bio_and_climate_3_3_1.htm http://www.reap-canada.com/online_library/IntDev/id_mts/30-Sustainable%20Household.pdf http://www.hedon.info/View+Stove?itemId=8957	
Otros comentarios:	La estufa se empezó a desarrollar junto a artesanos locales, en Filipinas en 2001 y se introdujo a Gambia en 2003.	

Perspectivas de estufas para casullas de arroz

Para instituciones y restaurantes, una estufa de quema remota para dos o tres ollas se puede encontrar en

<http://www.minangjordanindo.com/multipleburnerricehuskstove.htm>

Más diseños para estufas quemadoras de casulla prototípicos y presentados en el taller de gasificación de ARECOP en el 2003 se encuentran en el manual recopilado por Alexis Belonio.

http://www.bioenergylists.org/stovesdoc/Belonio/Belonio_gasifier.pdf.

Un manual muy completo de capacitación en estufas de casulla actualizado por Alexis Belonio y otros en Abril del 2010 se puede obtener a solicitud por correo a crhet_cpu@yahoo.com. Mayor información en www.crhet.org. Incluye módulos de aprendizaje, con principios básicos y el desarrollo de la tecnología además de opciones para la construcción y el mercadeo, resultados de pruebas, y planos detallados de la estufa de casulla.

Minang Jordanindo en Indonesia ha empezado a fabricar un modelo que puede quemar casulla sin fuente externa de poder, pero con inyección de vapor a la llama para incentivar la combustión. Tiene la ventaja de que puede ser operada continuamente sin rellenar por tandas, es considerablemente más baja, lo cual puede ser factor determinante en la aceptación del modelo en algunas culturas que prefieren estufas bajas. La estufa está en fase de socialización pero debe haber muestras disponibles.

RHSIS -20 D (Indonesia)

Steam injected Rice husk gas stove		
Combustible:	Rice husks	
Diseñador:	Prof. Alexis Belonio	
Precio al por menor:	USD 25-30, to be determined	
Unidades vendidas	Not known	
Inicio de producción:	2008	
Fabricado por:	Minang Jordanindo Approtech	
Contacto:	Via Prof Belonio or address below	
Dirección:	Adhi Graha Building 15 th floor, Suite 1502 A, Ji. Gotot Subroto Kav 56, Jakarta 12950, Indonesia Phone 021-5262525, Fax 021-526 24 16	
Capacidad productiva:		Source: A. Belonio
Description corta:		
		Natural draft continuous-feed rice husk burner with steam injection to enhance flame. Two models differing by the method of steam injection either from the side or from the center. Width 350 mm, Length 350 mm, Height 400 mm, Weight not known Power output (according to the website): 1 KW for side-injection of steam at fuel burn rate of 2,4 kg/hour, 1.3 KW for center injection of steam at burn rate of 3,2 kg/hour
Características:		Conical fuel hopper surrounding the combustion chamber. Fuel is inserted into the combustion chamber on the bottom. Water tank: Steam is generated around the combustion chamber, then injected to the flame either from the side or from the center.
Manejo:		Unlimited operating time: the fuel hopper is filled with rice husks, which enter by gravity (supported by tapping to make the fuel move) on the bottom of the combustion chamber. Hopper can be refilled during operation. Lighting at the top with a piece of paper, Start-up time 1 minute for side-injection model, 3 min for center-injection, ash removal by tipping the stove.
Producción de carbón:		Final product is mostly ash
Retroalimentación del usuario:		Operates continuously, high power output, no external power needed, uses waste rice husk as fuel, convenient to use, easy to ignite, no smoke during operation, flame intensity can be controlled, easy fuel-loading and ash-removal
Accidentes reportados:		None known
Datos de desempeño		6 min to boil 2 litres of water with the center-injection of steam at a water consumption of 1,32 liters/hour
Información adicional: http://www.minangjordanindo.com/steaminjectedgastove.htm http://www.bioenergylists.org/belonioqgas		
Other comments: The bigger 5,5 KW-model RHSIS -30 D is suitable for restaurants and institutions. It has a center-injection of and burns 10 kg of rice husks in 1 hour.		

2.1.2 Estufas para Acampar

Estas estufas están dirigidas a nichos de mercado más afluentes, para uso esporádico y no son aptas para uso diario doméstico. Aceptan ollas pequeñas de fondo plano y aguantan el tipo de olla grande más comúnmente usadas en países en vías de desarrollo. Calientan alimentos en viajes de acampar pero no servirían para preparar comidas que requieran mezclado vigoroso.

Aun así es importante incluirlas aquí ya que son una introducción de bajo costo a la micro-gasificación lo que le permite comenzar a experimentar en quemar el gas-madera de la biomasa en gas limpio de llama azul-amarillo.

El valor de estas estufas para acampar es que se pueden pedir por correo, pagar por vía electrónica, y se envían incluso a los rincones más remotos del mundo a un costo razonable, ya que están diseñados para ser muy ligeros, compactas y lo suficientemente resistentes como para soportar ser transportados en una mochila. Se puede utilizar casi cualquier tipo de combustible de biomasa seca que se encuentra al aire libre y recogido, sin necesidad de cortar (hojas, ramas, piñas de pino, paja, etc.)

Actualmente hay dos estufas de acampar disponibles en el mercado: un modelo asistido por ventilador con control de calor y un modelo de tiro natural, sin el control de calor. Otro modelo en el que se enciende el ventilador de una unidad generadora termoeléctrica está previsto para salir al mercado en 2011.

La estufa 'Tom Reed Woodgas Campstove'



La estufa micro-gasificadora de acero inoxidable para acampar fue diseñada por Dr. Tom Reed, que fue el primero en publicar el concepto de TLUD, entonces aún llamado 'IDD' (inverted down-draft = inversión de tiro invertido). El ventilador sirve de suministro de aire primario y secundario al mismo tiempo. Está alimentado por una batería independiente para 2 pilas AA. Dos tomas de corriente de acero inoxidable en el cuerpo de la estufa permiten el control de calor. Está calibrado para reproducir el calor de una estufa de cocina normal.

Tiene dos modos de operación, dependiendo del nivel hasta donde se carga el combustible:

- 1) Se puede operar en modo TLUD pirolítico de carga de lote, si se llena del todo (es decir hasta un poco por debajo de los agujeros del aire secundario, así se restringe el aire en la cama de combustible lo que no permite quemar el carbón).
- 2) Se puede operar en modo de alimentación continua si tan sólo se llena el tercio del contenedor (es decir que llega mucho aire al combustible, lo que tiene dos consecuencias: se puede ir añadiendo combustible, ya que no hay un frente pirolítico, pero no se guarda carbón, ya que toda la conversión incluyendo la del carbón en ceniza sucede en presencia de mucho aire).

La Biomass Energy Foundation (Fundación de energía de biomasa) comercializa este modelo en 2 tamaños: <http://www.woodgas.com/bookSTOVE.htm> (fuente de la foto)

WoodGas LE: Peso: 23 oz, Altura: 6.25", Diámetro: 5", precio de pedido por correo:
US \$ 55 (excl. transporte),
Woodgas XL: US \$ 75.

Estufa 'Beaner' para mochileros por WorldStove



Creado por Nathaniel Mulcahy para mochileros como una estufa de camping de carbono negativo. Se puede utilizar con biomasa seca (agujas de pino, madera, etc.) o con cualquier tipo de alcohol (etanol, incluso vodka, etc.). También es posible añadir aceite vegetal usado, como aceite de girasol, jatropha o el aceite de oliva, para incrementar la energía útil del combustible.

No tiene ventilador o control de temperatura. Viene como demostrado en la foto y hay que añadir una lata vacía de refresco de 8 oz. Según los pasos descritos en la hoja de instrucciones. Utilizando el Beaner con combustibles de biomasa sólida crea biochar, que enriquece el suelo y secuestra el carbono de la atmosfera. Esto significa que al enterrar el biochar en el suelo donde se ha calentado una comida al aire libre, el sitio queda más rico que lo encontró.

(Fuente de la foto: WorldStove website)

Información técnica

Alimentación de combustible: por arriba. No funciona por lotes, se puede añadir más combustible cuando está en operación.

Tiempo útil: 100g de biomasa seca= 42 minutos, 29 ml de Alcohol = 22 minutos

Peso: 244 g / 8.6 oz , Medidas: 134 mm (altura), 51 mm (diámetro)

Accesorios: Soporte para la olla de acero inoxidable (5.7 oz), para-brisas de aluminio plegable (0.1 oz)

Pedido por correo en <http://worldstoveitaly.com/>, precio sin transporte 35 Euros (Junio 2011). Tiene que ser ensamblado con una lata de bebida estándar. Instrucciones de montaje disponible en el área de descarga en:

<http://worldstove.com/album/download-area/>

http://worldstove.com/wp-content/uploads/download/download/beaner_instructions.pdf

Para más información: <http://worldstove.com/products/the-beaner-backpacking-stove/>.

Futuro: BioLite CampStove

Esta estufa para acampar está siendo desarrollada por BioLite, fundado por Jonathan Cedar y Alec Drummond.

(<http://www.biolitestove.com/CampStove.html>).

La característica más interesante de la estufa es que los diseñadores reemplazan las pilas externas del Tom-Reed-Campstove como fuente de electricidad para el ventilador con un único generador termoeléctrico (TEG). Éste crea electricidad a base del calor de la combustión (ver <http://www.biolitestove.com/Technology.html> para explicación detallada del principio). BioLite espera comenzar la producción comercial de la estufa con un enchufe para cargar teléfonos móviles y alimentar unas fuentes de luz basados en LED a partir de Marzo 2012.

La prioridad actual es aplicar el mismo TEG a una estufa de leña tipo 'rocket' para los millones en países en vías de desarrollo que cocinan cada día con biomasa sólida. El TEG tiene el potencial de reducir las emisiones peligrosas para la salud humana hasta un 95 % y el consumo de combustible hasta un 50%. Para más detalles sobre esa iniciativa ver

http://www.biolitestove.com/NextGen_Cook_Stove.html y

<http://www.charcoalproject.org/2010/06/a-great-stove-with-a-killer-app/>



Foto: Christa Roth, 2010

2.2 Prototipos con cierta prueba de campo y potencial para adaptación y producción local

Esta categoría consta de micro-gasificadoras que

- Han alcanzado cierto nivel de uso en el campo por producción artesanal
- Tienen prototipos listos para producción industrial o artesanal en nuevas regiones
- No dependen de energía externa pero funcionan con tiro natural
- Disponen de planos en el dominio público fáciles de seguir, comprender y replicar

La lista a continuación es una selección de los muchos diseños existentes:

Tipo	Diseñado por	Nombre del diseño	Replicación corriente en campo
Portable metálico	Paal Wendelbo	PekoPe and MUS	Uganda, Zambia, (Haiti?)
	Paul Anderson	Champion	India, Cambodia, Uganda, Mozambique, Malawi
	Art Donnelly	FINCA	Costa Rica
	Ravi Kumar	ANILA	India
	Sai Bhaskar Reddy	MAGH series	India
Ladrillo fijo	Sai Bhaskar Reddy	AVAN series	India

Los diseños seleccionados son para dominio público con planos descargables. En algunos casos se puede contar con el soporte del diseñador para establecer una producción local y la capacitación de entrenadores para asegurar la mejor calidad de producto y el mejor uso posible.

Se aconseja al inicio de una intervención que se busque asistencia técnica y práctica de un experto en micro-gasificadores, que sepa todos los trucos de la tecnología.

En un contexto nuevo todas las variables que impactan el rendimiento de una estufa pueden ser particulares: altura, combustible, platos típicos, usuarios inexpertos, etc.

Con productos de acabado industrial se espera que la calidad del producto varíe mucho. Sin embargo al inicio de una producción artesanal, hay una multitud de variables que entran en juego: materiales usados, adherencia a dimensiones críticas, calidad del acabado, etc. Incluso variaciones minuciosas de dimensiones pueden tener gran impacto sobre el funcionamiento del dispositivo. Por eso se recomienda empezar con un piloto, desarrollar y adaptar la tecnología en conjunto con los usuarios y un experto técnico.

Diseños ‘PekoPe’ y ‘MUS’ por Paal Wendelbo (Noruega)

El PekoPe

(‘sin problema’ en vernacular Acholi en Uganda):

- Uno de los TLUD más sencillos con prueba de campo
- ‘unidad de energía’ pirolítica TLUD
- con opción de recuperar el carbón para otros usos o quemar el carbón y aprovechar mejor el combustible
- muy simple de replicar de toda clase de metal y chapa
- tamaño aumentable de doméstico a tamaños institucionales y comerciales.

Foto y más información: <http://www.bioenergylists.org>



Propiedades técnicas: Paal llama al quemador una ‘unidad de

energía'. Consiste de dos cilindros concéntricos, el interior como contenedor de combustible con base perforada (el reactor), el exterior para canalizar el aire secundario alrededor del reactor caliente con dos fines: para precalentar el aire secundario, así reciclando el calor radiado del reactor, y para prevenir que se caliente demasiado el cilindro exterior para prevenir quemaduras. Tiene un disco concentrador por encima y dos asas verticales para fácil manejo cuando se vuelca para recuperar el carbón.

Los dos contenedores se juntan por 4 tiras de metal dobladas que funcionan tanto como pies y tanto para guardar la distancia entre los contenedores y hacia abajo.

Manejo: encendido por arriba, cargado por lotes, tiempo de cocción depende del volumen y la masa de combustible, puede alcanzar hasta 80 minutos con una carga de combustible denso como pellets. Para extender el tiempo de cocción, hay que cambiar la unidad de energía'. Si se combinan varias unidades se puede aumentar la potencia energética e.g. para usos en restaurantes, industrias o instituciones.



Producción local en Uganda de los PekoPe en 1996.

Foto: Paal Wendelbo

Paal Wendelbo es uno de los dos "padres de TLUDs". Paal trabajó en quemadores de estufas desde que vio a los combatientes de la resistencia durante la 2ª Guerra Mundial cómo consiguieron hacer fuego prácticamente sin humo en los bosques de Noruega: copilaron la leña en forma de pirámide y la prendieron desde arriba. Así se quemó la mayor parte del humo que hubiera revelado su escondite al enemigo.

Paal comenzó a conceptualizar el primer TLUD a tiro natural a finales de 1980, casi al mismo tiempo, pero independiente de la obra de Tom Reed en los EE.UU. Después de muchos intentos y fracasos hizo una estufa simple que se mostró quemando muy limpio cuando se probó en Copenhague, Escuela Técnica Superior en 1988. Fue introducido en varios países donde él trabajó: Malawi (1988, alimentado con pasto), Mozambique (1990, alimentado con cáscaras de nuez de anacardo), Ghana (1989, alimentado con residuos y madera picada) y Tanzania (1990). En 1994, se ajustó en los campamentos de refugiados en Uganda para quemar fardos de paja verticalmente en la unidad, 'sin problemas', que le dio el nombre vernáculo de Acholi "PekoPe".

En todos estos países las estufas fueron hechas localmente por artesanos locales con las herramientas existentes y con los materiales que podían conseguir, ya sea nueva o de hojas de metal reciclado. Los artesanos necesitaban sólo algunos unos patrones y plantillas y, por supuesto, clientes y usuarios interesadas en esta tecnología simple.

En una Feria en Kampala 1997 se vendieron 500 estufas en dos días al precio de mercado, en ese momento \$ 5 US. Más de 5.000 unidades estaban en uso en 1999, cuando Paal dejó Uganda por razones médicas. Porque había desarrollado los aspectos técnicos, pero no la parte comercial en el contexto específico de los campos de refugiados, el negocio de la producción de los PekoPe se paró, aunque el diseño tiene gran potencial de negocio. El diseño PekoPe se introdujo en Zambia en 2008, alimentada con madera picada.

En 2009 durante el Campamento de Estufas en el Instituto Aprovecho en Oregón, Paal hizo una PekoPe de una lata de 3 litros y unas hojas de metal: La cámara de combustión tenía un diámetro de 150 mm y fue de 180 mm de alto. Otras características (de acuerdo a un correo electrónico publicado en el stoves-listserv en diciembre de 2010):

- 55 mm de distancia entre el disco concentrador y la base de la cámara de combustión
- orificio de 105 mm en el disco concentrador
- una brecha de 6 mm entre el disco concentrador y el borde superior del contenedor de combustible
- 4 pies que mantienen la base de la unidad alzada a 15 mm del suelo

- 5 agujeros de 5 mm en los laterales de la cámara de combustión, a una distancia de 25 mm por encima de la base
- otros 5 agujeros de 5 mm en los laterales de la cámara de combustión, a una distancia de 75 mm por encima de la base
- 5 agujeros de 13 mm en la base de la cámara de combustión para aire primario
- 15 mm de distancia entre los dos cilindros concéntricos (cámara de combustión y cilindro exterior) para precalentar el aire secundario

Esta unidad se puso a la prueba de ebullición de 5 litros de agua y recibió el Premio Kirk Smith por su combustión limpia. Hirvió 5 litros de agua en 28 minutos, con 768 g de pellets de madera. Rompió el récord de emisiones más bajas medidas en el laboratorio Aprovecho hasta entonces: sólo emitió 23 g de CO en la tarea, casi cumpliendo el objetivo ambicioso de 20 g. La PM fue de 223 micro-gramos, quedándose muy por debajo del valor de referencia actual de 1500 para una estufa sin chimenea.

Paal siempre hace hincapié en que "hay que empezar con el combustible", ya que el combustible, la estufa y el usuario es un sistema que no se pueden separar, si usted no tiene el combustible a un precio adecuado no conseguirá promover con éxito las estufas'.

Algunos videos muestran el trabajo de Paal en el Norte de Uganda:

<http://www.youtube.com/watch?v=amaUDK6VyRg>

<http://www.youtube.com/watch?v=gi3Xx7NtTGw&feature=related>

<http://www.youtube.com/watch?v=dsfuVGBi4fc&feature=related>

Planes de construcción e información sobre Paal y el PekoPe se pueden descargar de:

<http://www.bioenergylists.org/wendelbopekope> (Wendelbo TLUD Pioneer Experiences)

<http://www.bioenergylists.org/content/tlud-nd-peko-pe>

<http://www.pekope.net/stove.html> con el concepto de combinar varias unidades de energía, o <http://www.bioenergylists.org/pekopetests>

O contacte Paal Wendelbo por paaw@online.no

The MUS (estufa multi-uso): nuevo concepto muy prometedor en fase de desarrollo

El TLUD más bajo encontrado hasta ahora (<15 cm de altura), mientras que todavía ofrece suficiente energía para cocinar. Por lo tanto, es muy interesante para las comunidades, donde la altura aceptable de la estufa es un factor limitante para su aceptación como en muchas partes de África oriental.

- Puede acomodar más de una olla a la vez
- El volumen del depósito de combustible adaptable permite medir el combustible según el tiempo de cocción deseado
- Permite la recarga mientras esta en uso

Para más detalles ver: <http://www.bioenergylists.org/content/mus-multi-use-stove>

		
Paal Wendelbo cocinando en un MUS	MUS con dos ollas	MUS visto desde arriba
	Fotos: izq.: Christa Roth, arriba: http://www.bioenergylists.org	

Diseños 'Champion' por Paul Anderson (EEUU)

Paul Anderson, (aka Dr. TLUD), un principal contribuyente a este manual) está trabajando en el concepto TLUD desde que lo vio demostrado por Tom Reed en 2001. Su diseño ganó el premio de estufa más limpia de tiro natural en un encuentro de estufas en 2005, lo que le dio el nombre "Campeón". El diseño Campeón constituye de una unidad de quemador y requiere de un soporte de olla aparte, para convertirse en una aplicación de estufa que puede aguantar el peso del recipiente de cocción (olla, sartén, plancha, comal etc.). La ventaja de tener el quemador independiente del soporte de olla es que la unidad del quemador se puede mover durante la operación, como para reponer una nueva carga de combustible sin mover la olla.

Es un diseño TLUD muy simple que ofrece opciones de control de aire:

- TLUD pirolítico con emisiones muy limpias que puede crear biochar
- Se puede controlar el aire primario y secundario por separado
- Fácil construcción de diferentes tipos de material, fácilmente replicable
- tamaño amplio para hogares e instituciones y pequeñas empresas

Propiedades técnicas: Las características fundamentales son disco de concentración dejando espacio para la entrada de aire secundario. Fue desarrollado independientemente por Anderson, pero tiene los elementos de construcción similares al modelo PekoPe Paal Wendelbo. Las diferencias entre el Campeón y el PePeko son la chimenea, el mango y el disco concentrador independiente. En contraste al PekoPE permite controlar el suministro de aire (tanto primario como secundario).

- Contenedor de combustible (cilindro interior) con rejilla y entrada de aire ajustable
- Cilindro exterior con entrada de aire secundaria (controlable si hace falta)
- Disco Concentrador para asegurar la buena mezcla del gas-madera con el aire secundario precalentado, con mango para manejo seguro cuando caliente
- Chimenea para aumentar el tiro. Puede ser acoplado al disco concentrador.
- Mango para fácil cambio de la cartuja de combustible y mejor manejo para sacar las brasas para guardar el biochar.

Manejo: encendido por arriba, cargado por lotes, tiempo de cocción depende del volumen y la masa de combustible, puede alcanzar hasta 100 minutos con una carga de combustible denso como pellets. Para extender el tiempo de cocción, el recipiente de combustible (reactor de gasificación) se puede cambiar con otro con una nueva carga de combustible.

Planos de construcción y detalladas instrucciones de funcionamiento y explicaciones del concepto, ilustrado por numerosas fotografías y gráficos, se puede descargar desde <http://www.bioenergylists.org/andersontludconstruction> (Construcción Planos 1.3MB). Un video que muestra las características básicas de diseño y operación del campeón se encuentra en <http://www.youtube.com/watch?v=SaeanoWZE7E>



Un Campeón realizado en Malawi con un trípode independiente para soporte para la olla
(Foto: Christa Roth)



Un Campeón realizado en Mozambique con un soporte de olla fijo



Un Campeón de Uganda, con una carga de palitos de bambú verticales
(Foto: Christoph Messinger)

Dos proyectos piloto basados en el modelo de campeón se llevan a cabo desde diciembre de 2010 en el Mulanje (Malawi) y Pemba (Mozambique). Un proyecto de dos años con financiación del Banco Mundial a través de su programa BEIA-ESMAP (Energía de Biomasa en África) comenzó en Junio 2011 en Uganda con el Centro de Investigación en Conservación de la Energía y Energía (CREEC). Este proyecto prevé la creación de otros buenos ejemplos de Champion y otras aplicaciones TLUD basadas en el desarrollo de tecnologías participativas.

Con acabado de fábrica la versión de acero inoxidable es producido por Servals en Chennai, India (véase el apartado 1 de este módulo). Otras versiones artesanales están en uso en Camboya y las Islas Marshall.

Un extracto editado del documento de Anderson sobre las opciones de la aplicación del concepto 'campeón' a diferentes contextos y requisitos:

1. "Hobbies": producido en un banco de trabajo de garaje residencial en EE.UU., con materiales de ferretería común. Es más apropiado para caldereros, los Scouts, y los desarrolladores serios de estufas o experimentadores.
2. "Refugiados": producidos con un mínimo de herramientas y materiales reciclados que se pueden encontrar en los campos de refugiados. Es más apropiado para los contextos de ayuda humanitaria.
3. "Artesanal – acabado industrial": producido como un producto comercial, por ejemplo una modesta manufactura en Chennai, India. Es el más apropiado para la producción a mano o como producto comercial de pequeñas fábricas.
4. "Industrial": producción mecanizada enteramente. Gran parte de la producción podría ser hecha por fábricas que ya hacen los envases de metal.

Los diseños se pueden aplicar a unidades más grandes para pequeñas empresas, restaurantes e instituciones.

Más información en <http://drtlud.com/de> o contacte Dr. Paul S Anderson a través de correo electrónico: psanders@ilstu.edu

Más publicaciones por Paul Anderson:

Micro-Gasification: *What it is and why it works* by Anderson, Reed, and Wever (2007), at:

<http://www.hedon.info/docs/BP53-Anderson-14.pdf>

Una visión general de la gasificación (2004) se encuentra en

<http://bioenergylists.org/stovesdoc/Anderson/GasifierLAMNET.pdf>

La combustión excepcionalmente limpia de estufas TLUD (2009) se presenta en:

<http://www.bioenergylists.org/andersontludcopm>

'Bonustrack': Un resumen humorístico de la "Familia de estufas tincanium" por Paul Anderson se puede encontrar en <http://www.bioenergylists.org/andersonethos2010>

Los resultados de las pruebas en <http://www.bioenergylists.org/content/testing-andersons-tl> de abril de 2010 en Camboya no son representativos para un correcto funcionamiento de la estufa. Las fotos muestran llamas excesivas, lo cual probablemente se debe a demasiado aire mientras en uso y los vacíos excesivos entre los leños de 10 cm de largo.

Ejemplos de adaptación y modelos "híbridos"

El TLUD construido en las Islas Marshall por Michael N Trevor en 2010 muestra la flexibilidad de combinar elementos de diferentes modelos como el Champion de Anderson, Pe-koPe de Wendelbo y "el quemador de humo Magh" de Reddy:

<http://www.bioenergylists.org/node/2427>

TLUDs grandes basados en baldes de 5 galones para uso institucional se pueden encontrar en <http://www.bioenergylists.org/node/2404>.

Más detalles sobre el Taller de Estufas, organizado por el grupo de Seattle Biochar (<http://www.seachar.org>) en <http://seachar.org/wordpress/?p=176>.

Como resultado del taller, Art Donnelly, el co-fundador de SeaChar, comenzó el traslado del concepto a Costa Rica e inició la promoción de una estufa pirolítica, que se presenta a

continuación. La Estufa Finca es un buen ejemplo de cómo desde Febrero de 2010, se aplicó el concepto TLUD en una nueva situación a raíz de la demanda de un grupo específico con necesidades especiales. En pocos meses se desarrolló el modelo de la estufa y la cadena de producción con los agentes locales.

ESTUFA FINCA en Costa Rica por Art Donnelly (EE.UU.)

El punto de salida fue, que una asociación de productores de café orgánico buscaron una solución para

- Proveer a labradores migrantes con estufas limpias para mejorar su salud
- Aprovechar para cocinar con residuos de las fincas que tienen que ser quemados por razones de sanidad de los cultivos y para prevenir plagas
- Crear biochar como alternativa al uso de fertilizantes en las fincas orgánicas
- Atraer posible financiamiento de bonos de carbono para subsidiar estufas para hasta 100,000 labradores migrantes que viven en estructuras semi-permanentes

El resultado fue un TLUD grande con aire secundario precalentado:

- Diseñado para ollas grandes, basado en un cubo existente de pintura de 20 litros
- Convierte una multitud de biomasa de una granja de café en biochar: podas, olote, estiércol de cabra, zarza, y hasta cierto grado también cáscara de café
- Suministro de aire primario por la base para sofocar la brasa y salvar el carbón
- Fácil de fabricar usando patrones, guías y plantillas para crear kits de montaje pre-cortados, que se pueden montar con simples herramientas manuales y remaches

Reacción de usuarios de la Estufa FINCA: "es como re-inventar el fuego."

		
ESTUFA FINCA en la región Santos	Diseñado para ollas grandes	Unidad de combustión con control de aire primaria
Precio por menor 40 USD, excl. transporte (Junio 2010), producción por el grupo femenino APORTES. Contacte Carolina Abarca para una estufa de muestra vía mandarinaynaranjas@hotmail.com. Más información sobre el Proyecto Estufa Finca' de Febrero 2010 en http://www.hedon.info/1681/news.htm Una actualización de junio de 2010 y más fotos en http://www.biochar.bioenergylists.org/content/proyecto-estufa-finca-update-seattle o http://www.hedon.info/1825/news.htm Vea el video http://www.youtube.com/watch?v=eGIVh-zMWgY Contacte el diseñado por: art.donnelly@seachar.org		

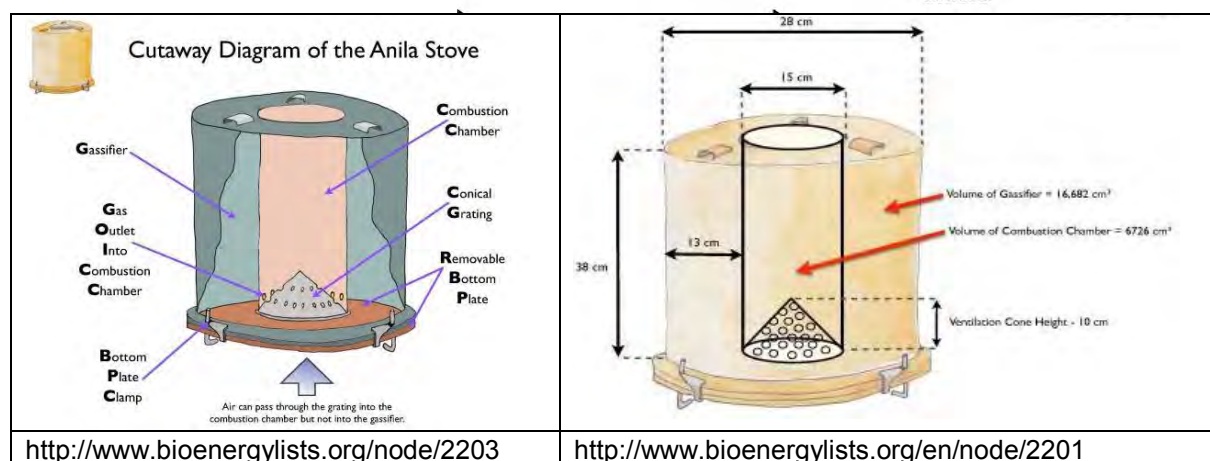
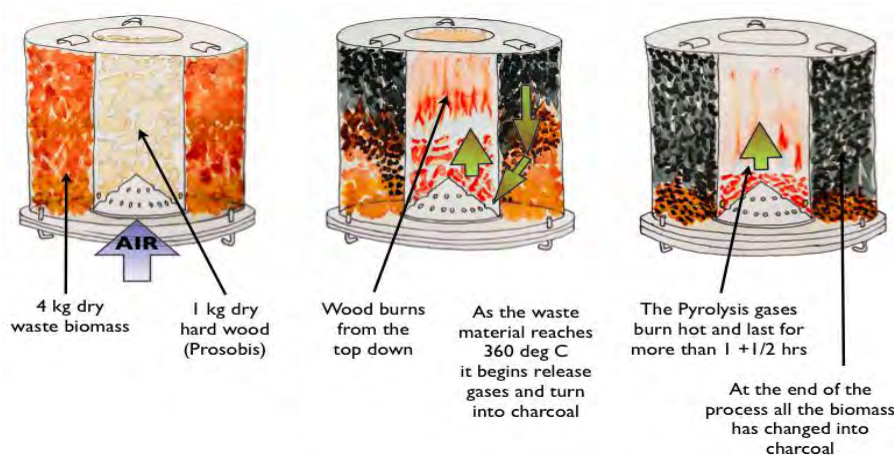
Fotos: Art Donnelly, co-fundador del grupo de biochar de Seattle (<http://www.seachar.org>).

Estufa ANILA por Prof. Ravi Kumar (India)

Diseño para carbonizar biomasa de tamaño muy pequeño sin electricidad, simplemente con tiro natural. Requiere mayor destreza artesanal porque algunas juntas tienen que estar bien selladas para garantizar un funcionamiento correcto y que no se escape humo de la zona alotérmica de pirólisis. Consiste de dos cilindros concéntricos de diferentes diámetros (ver diagrama).

El interior es un gasificador TLUD operando con biomasa gruesa que permita un frente pirolítico a tiro natural. La cámara anillar entre los dos cilindros se llena con biomasa de cualquier tamaño como casulla de arroz, aserrín etc. que no funcionarían en modo TLUD a tiro natural. El TLUD interior se enciende desde arriba y provee el calor para lanzar la pirólisis de la biomasa en el espacio anillar sin que ésta esté expuesta a un 'frente pirolítico con llamas' (principio alotérmico). Así se pueden obtener dos tipos de biochar: uno muy puro de la zona alotérmica, y otra más consumida por la combustión parcial en el interior del TLUD. Los gases se guían hacia el interior del TLUD donde se juntan con el gas-madera del TLUD y se queman en su zona de combustión. Desarrollado por U.N. Ravikumar, Instituto Nacional de Ingeniería de la India.

Adaptado de <http://www.biochar-international.org/technology/stoves>



<http://www.bioenergylists.org/node/2203>

<http://www.bioenergylists.org/en/node/2201>

Más información en <http://www.bioenergylists.org/anila>, o descargar un informe de Tamil Nadu http://www.bioenergylists.org/stovesdoc/ravikumar/Biochar_Anila.pdf.

Se compararon estufas tipo Anila con otros modelos en Cambodia, ver detalles en <http://www.bioenergylists.org/content/testing-anila-stove>. Se fabricaron más de 2,500 unidades según

<http://biocharinnovation.wordpress.com/2010/11/02/anila-stove-manufacture-2500/>

Series MAGH y AVAN – Diseños por Dr. Reddy (India)

Dr. N. Sai Bhaskar Reddy Nakka, el fundador y CEO de Geoecology Energy Org. es un diseñador muy activo de TLUDs y otras estufas de biomasa. Cuenta con más de 40 diseños propios que se diferencian por el tipo de combustible, materiales y costos de construcción, tamaños, y la opción de añadir un ventilador. Todos los diseños son de dominio público. Se presenta a continuación tan sólo dos clases de modelos seleccionados, por otros ver <http://www.goodstove.com/> and <http://www.e-geo.org/>.

La serie MAGH (quemador de humo) con diferentes TLUD que crean carbón. El MAGH CM es el más económico producido con material reciclado para gente común, se vende a veces por menos de \$ 8.

Más detalles en <http://e-magHCM.blogspot.com/> y <http://www.bioenergylists.org/node/2410> (fuente de la fotografía a la derecha).

El MAGH IV incluye una opción de iluminación durante su uso en <http://e-maghlampstove.blogspot.com/>.



Un MAGH-1 con acabado industrial y un ventilador se encuentra en Aprovecho Research Centre en Oregón (fotos Christa Roth). Es muy ligero y sencillo. Según el Dr. Reddy no se fabrica en serie, por eso no está incluido en la sección 2.1.



El MAGH-3G representa un concepto interesante para uso flexible de diferentes combustibles en una sola estufa que se puede adaptar al tipo de biomasa disponible: Madera (en forma de leños, chipado o viruta), hojas, pellets, briquetas, bosta, y carbón vegetal. Dispone de un inserto micro-gasificador, una puerta para controlar el aire, y una rejilla que se puede adaptar a varias alturas: en modo TLUD puede quemar limpiamente biomasa de tamaño pequeño, con ventilador opcional.



De izquierda a derecha: Una estufa MAGH 3G en uso en modo TLUD con ventilador, como estufa rocket con leña, y como estufa de carbón.

(Fuente: <http://www.bioenergylists.org/content/magh-3g-stove-all>)

Con la puerta abierta, la rejilla en la posición más baja se puede utilizar en modo rocket para leña. Si se coloca la rejilla en una posición más alta, funciona como una estufa a carbón vegetal donde el aire se regula por el grado de apertura de la puerta.

En modo TLUD se usa la puerta para controlar el aire primario.

Comúnmente los hogares en India utilizan 2 o 3 estufas diferentes según el tipo de combustible. Con el Magh 3 que adapta a diferentes combustibles, tienen la libertad de utilizar cualquier tipo de combustible en un sólo dispositivo.

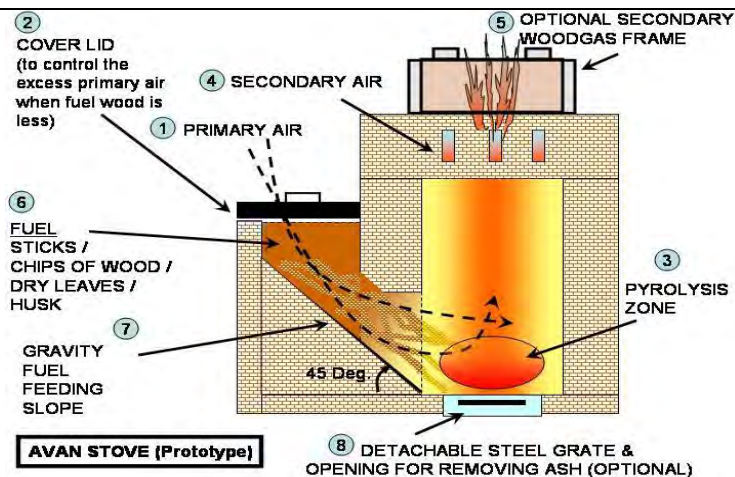
Pesa 1.3 kgs, tiene una altura de 9 —7 —de diámetro, el precio está indicado como Rs. 120 (menos de 3 US\$). Las eficiencias varían entre 25% a 40% en función del tipo de combustible y el modo de operación. Es fácil de usar al aire abierto, de transportar a bajo costo, cumple con las exigencias de los usuarios, es apto para preparar todos los platos de la región incluso hasta una familia de 10. Necesita poco tiempo para la capacitación del usuario para su uso correcto. Para descripciones detalladas, planos de construcción y un video ver <http://e-magh3g.blogspot.com/> o <http://www.bioenergylists.org/taxonomy/term/843>

Diagrama de una estufa MAGH-3:



Serie AVAN de gasificadoras fijas y portables de alimentación continua

Los modelos AVAN combinan principios de gasificadores a tiro invertido con los 'rocket' con una cámara de combustión vertical aislada. El combustible cae por gravedad a través de una tolva lateral por encima de la zona de pirólisis.



Fuente: <http://www.bioenergylists.org/node/1932>

El modelo fijo se construye con 25 ladrillos corrientes, 4 ladrillos con rendijas, una pieza de baldosa plana una reja metálica de 7x7 pulgadas y arcilla mezclada con estiércol. El costo de construcción se estima alrededor de \$ 2 (USD). Se puede usar toda clase de biomasa como combustible. Para más información ver

<http://e-avanstove.blogspot.com/> y <http://www.bioenergylists.org/geoavanstove>

2.3 ‘Tincanium’: prototipos de bajo costo hechos de latas

Esa sección introduce diseños simples y fáciles de hacer incluso por gente inexperta con un mínimo de herramientas a base de latas existentes (*tin-can* en inglés). Con estos diseños se puede demostrar el principio de la micro-gasificación y crear conciencia.

A diferencia de las estufas para acampar con acabado de fábrica presentados anteriormente, aquí no sólo se trata de "aprendizaje mediante la observación", sino de "aprender-haciendo" para la propia experiencia y comprensión de los procesos. No sólo para los niños de la escuela.

Son diseños de generadores de calor a base de la micro-gasificación que

- No se han probado en extensas pruebas de campo
- No se pueden comprar en el mercado
- No son aptos para replicación a gran escala

Sin embargo

- Son diseños MUY educativos para despertar el interés en una fase inicial y empezar a experimentar con la gasificación, ya que
 - Su construcción se basa en elementos existentes como latas desechadas
 - Existen instrucciones claras y simples que explican paso-por-paso cómo hacerlos, ideal para prototipos e inspirar artesanos a adaptarlos localmente
 - Son fáciles de construir incluso por gente sin habilidades de hojalatería
 - No requieren otras herramientas más que un abre-latas, alicates y puntas
 - Son muy educativos para comprobar el concepto técnico y la viabilidad en general de la micro-gasificación
 - Funcionan con tiro natural, independiente de electricidad
- Son diseños aptos para producir prototipos de quemadores y convertir estufas convencionales existentes en dispositivos gasificadores que pueden usar una variedad de combustibles diferentes.

Advertencia!: Se recomienda usar guantes para prevenir heridas por latas cortadas.

Se describen a continuación 4 modelos de *quemadores* con varias propiedades:

Nombre del diseño =>Propiedades	iCan	Toucan	EverythingNice	Grassifier
Aire secondary precalentado	No	No	Sí	Sí
Disco Concentrador disk para mezclar aire y gas-maders	No	Sí	Sí	No
Habilidad de salvar carbón	Sí	Sí	Sí	Sí

Concepto ‘iCan’ presentado por Jock Gill

El diseño más sencillo de un *All-in-One* (Todo-en-uno) TLUD hecho de una sola lata, con 17 agujeros en sitios determinados. No requiere otra herramienta que un abre-latas y una punta. Se puede hacer en menos de 10 minutos. Muy adecuado para proyectos educativos en escuelas para demostrar el principio TLUD y para que gente pueda calentar algo mediante la *estufa* que acaban de hacer ellos mismos. Conceptos similares fueron también presentados por otros diseñadores (como el *Willie-OneCan* por Paul Anderson), pero el *iCan* está muy bien ilustrado por Jock Gill en

<http://www.bioenergylists.org/content/peacham-ican-tlud-st>. Más diseños por Jock Gill en <http://www.bioenergylists.org/taxonomy/term/1508/0> y en <http://www.greaterdemocracy.org/archives/1116>

‘1G Toucan’ por Hugh McLaughlin

Otro diseño de micro-gasificador TLUD muy sencillo que consiste de 2 latas colocadas una por encima de la otra, con medidas muy comunes en los EE.UU: una lata de pintura de un galón (1G) y otra ligeramente más pequeña (conocida como ‘Lata Número 10’ o ‘lata de café’) cortada a medida para el aire secundario.

El tal llamado ‘Toucan’ derivado de dos latas (two cans – pronunciado como la ave Tucán) es muy educativo para demostrar los principios TLUD. La zona de combustión es muy visible, lo que permite observar y comprender mejor los flujos de convección y las formas de llama.

Es muy adecuado para la producción de pequeñas cantidades de biochar de alta pureza consistente y de fácil uso a nivel doméstico (por ejemplo para tiestos etc.). Esto se debe a sus características únicas de construcción: el aire primario se alimenta a través de orificios en la base de la lata 1G. Para facilitar la entrada de aire, se alza la lata un poco del suelo mediante unas puntas o cualquier otro soporte. El aire secundario entra por encima de la lata 1G a través de los orificios de la segunda lata. La lata de pintura 1G, la cuál es el depósito de combustible principal, no tiene agujeros de ventilación en el lateral, sólo se hacen agujeros en la base.



Una serie de ‘1GToucans’ con chimenea al evento CHAB en Massachussetts en Agosto 2010

Por lo tanto es fácil de detener la gasificación del carbón (que depende de la disponibilidad de oxígeno) por el sellado de la entrada de aire: una vez que la lata se coloca directamente en el suelo, se tapa la entrada del aire primario. Cuando se cubre la parte superior con la tapadera, el contenedor queda completamente sellado y se evita la gasificación de carbón en un ambiente sin oxígeno. Así no hace falta sofocar las brasas calientes con agua o volcar el contenedor, sino el carbón se puede enfriar dentro del contenedor. Por lo tanto se evita el peligroso manejo de las brasas calientes al final de la fase pirolítica.

El ‘Toucan’ es un generador de calor sencillo y a la vez bastante potente, ideal para acampadas o como estufa improvisada en casos de corte de electricidad. También sirve para inserto en una chimenea de hogar. Se puede añadir una tercera lata como chimenea para aumentar el tiro (ver fotografía).

Por más información visite <http://www.bioenergylists.org/mclaughlintonoucan>, de dónde se puede descargar instrucciones de construcción y manejo [http://www.bioenergylists.org/files/1G%20Toucan%20TLUD%20for%20Biochar%20Jan%202010%20-%20final 0\(3\).pdf](http://www.bioenergylists.org/files/1G%20Toucan%20TLUD%20for%20Biochar%20Jan%202010%20-%20final%200(3).pdf) (0.6 MB)

Everything-nice Stove' por Nathaniel Mulcahy (WorldStove)

Provee instrucciones de construcción con medidas flexibles y relativas, lo que permite ajustar los planes a las dimensiones requeridas y / o materiales disponibles como latas o bidones existentes en una cierta localidad. Ideal para la fácil construcción de una micro-gasificadora que pueda ser acoplada a modelos de estufas existentes en una zona. Eso permitirá el uso de una multitud de combustibles y darle al usuario la libertad de elegir el combustible que tenga a mano. Las fotografías muestran una estufa de carbón de Benín equipado con una micro-gasificadora adaptada y una parrilla pirolítica (con balance de carbono negativo si se conserva el carbón y se utiliza como biochar).

Para descargar instrucciones de montaje fáciles y claras: haga clic en el enlace en la parte izquierda de la ventana <http://worldstove.com/products/#>

La unidad de combustión está hecha de dos latas con una ligera diferencia de diámetro, para que encaje una dentro de la otra, creando un pequeño espacio para el aire secundario precalentado. La publicación de estos planes en el 2009 fomentó múltiples pruebas del concepto de micro-gasificación en muchas partes del mundo. Ver <http://worldstove.com/album/your-versions-of-the-everythingnice-stove/>

Muchos de ellos están documentados en youtube-videos, algunos accesibles en: http://www.youtube.com/results?search_query=worldstove&search=tag

También inspiró a Andrew Ma para hacer un quemador ultra-ligero y muy fácil de replicar, simplemente envolviendo unos palos de leña con papel aluminio. No es tan práctico para cocinar, pero muy apto para demostrar la aplicación del concepto de micro-gasificación TLUD. Vea más en <http://www.bioenergylists.org/node/2762>

Kelpie Wilson de la Iniciativa Internacional de Biochar demuestra cómo construir micro-gasificadoras con jóvenes en una escuela:

<http://greenyourhead.typepad.com/files/how-to-make-dome-school-biochar-stove.pdf>

[http://dome-school-biochar.wikispaces.com/3-03-](http://dome-school-biochar.wikispaces.com/3-03-10+PH+Testing+and+Stove+Construction?responseToken=05f38338739a98240e47606ff31c5446a)

[10+PH+Testing+and+Stove+Construction?responseToken=05f38338739a98240e47606ff31c5446a](http://dome-school-biochar.wikispaces.com/3-03-10+PH+Testing+and+Stove+Construction?responseToken=05f38338739a98240e47606ff31c5446a)

Quemadores tipo 'Everythingnice' elaborados de latas con medidas comunes en Europa (425 ml y 580 ml) utilizadas en diferentes aplicaciones:

		
Adaptación a una estufa de carbón de Benin para el uso alternativa de biomasa sin carbonizar en lugar de carbón vegetal. Aquí operada con pellets de paja.	La estufa se puede seguir utilizando con carbón, si el agujero central se cubre con un pedazo de metal perforado que sirva de rejilla para el carbón.	Aplicación en una barbacoa 'negativa de carbono', con un vidrio de una lámpara de petróleo sirviendo de chimenea transparente para iluminación.

Fotografías: Christa Roth, Junio 2010

‘Grassifier’ (‘Pastificador’) por Crispin Pemberton-Pigott (Canada)

Este aparato muestra la viabilidad de los pellets hechos de pasto y hierba (en inglés = grass) como combustible para cocinar, lo que puede ser una ventana de oportunidad muy interesante sobre todo para países en vías de desarrollo que disponen de este recurso natural en abundancia.

Con un poco de destreza en hojalatería, se puede fabricar en 30 minutos usando herramientas simples como alicates, un martillo, una perforadora, una arandela para crear agujeros con pico (en vez de agujeros planos, para el efecto venturi), una regla y una cinta métrica. Un trozo de tubo metálico puede hacer de yunque para fijar la base. No hay planos descargables (por ahora), pero descripciones de construcción en http://www.bioenergylists.org/en/crispin_25-kw-grasifier, un video y más información en <http://www.bioenergylists.org/taxonomy/term/1518>.

El diseño se basa en el principio de la estufa Vesto descrito en la sección previa.

Puede quemar pellets de pasto tanto como una amplia gama de otros combustibles sólidos. El aire secundaria se pre-calienta según asciende en el espacio entre los dos contenedores hasta el tope, aún mas allá del nivel de los orificios para la entrada al cámara de combustión. Así se calienta al máximo y entra en la cámara de combustión a través de pequeños agujeros en forma de pico, que lo aceleran gracias al efecto venturi. Así se consigue que el aire entre a la cámara de combustión como chorros disparados y se mezcle bien con el gas-madera. La unidad no tiene disco de concentración y sin embargo llega a una combustión limpia, manteniendo las llamas a poca distancia de la cama de combustible. Eso se debe a la velocidad del aire elevada, que normalmente no se consigue sin convección forzada.

El diseñador estima que costaría alrededor de un US dólar de producir algo similar en acero inoxidable fino.

Módulo 3

Biomasa: Materia prima y combustible Para micro-gasificación



Muestras de combustibles naturales y densificados



Contenido del Módulo 3

3.1 Biomasa sólida utilizable como combustible para micro-gasificadoras	3
3.2 Factores que influyen sobre las propiedades del combustible	4
3.2.1 Contenido de humedad.....	4
3.2.2 Tamaño de partículas y su distribución por tamaño	5
3.2.3 Densidad del combustible y densidad aparente.....	7
3.3 Materia prima lista para usar sin mayor procesamiento	10
3.4 Técnicas de procesamiento de combustibles	12
3.4.1 Secado	12
3.4.2 Reducción	13
3.4.3 Densificación	14
I. Opciones de briquetado manual (pulpa húmeda, baja presión)	17
a) Briquetas hechas a mano	17
b) Briquetas formadas con molde de botella perforada	17
II. Prensas de palanca (pulpa húmeda, presión baja-moderada)	18
a) Prensa de ladrillos de papel de Newdawnengineering	18
b) Prensas de una pistola de engrase de Dr. Zan Smith	18
c) Prensas de madera de Leland Hite	18
d) Prensas de Madera de Richard Stanley y la Fundación Legacy	21
III. Opciones de Briquetas: materia prima húmeda-seca a presión media	22
a) Tornillo Extrusor	22
b) Prensas de Pistón	23
IV. Opciones para peletización	24
a) Extrusores de molde plano	24
b) Extrusores de molde anular	25
3.5 Resumen de beneficios de combustibles densificados para micro-gasificadoras	27

Título original: Micro-Gasification: Cooking with gas from biomass

1^{era} edición, Enero 2011, Autor: Christa Roth

Versión electrónica en inglés: <http://www.gtz.de/de/dokumente/giz2011-en-micro-gasification.pdf>

Publicado por

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

HERA – Poverty-oriented Basic Energy Services

(Abastecimiento básico de energía orientado a la pobreza)

Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5, D - 65760 Eschborn, Alemania

T +49 6196 79 1361, F +49 6196 79 80 1361

E hera@giz.de , I www.gtz.de/hera

**Versión en Castellano:**

1^{era} edición en Junio 2011 por la Universidad Agrícola Panamericana Zamorano (Honduras), en colaboración con Christa Roth y GIZ-HERA. Han contribuido a la traducción: El equipo del Centro de Estufas de la Universidad Agrícola Panamericana Zamorano (Honduras): Ing. Reyna Guzmán, Ing. Gracia Flores, Ing. Jorge Espinosa, Ing. Timothy Longwell. María Luisa Blanco y Paniagua de Los Santos (España), el equipo de www.balata.es en la Sierra de Francia (España) y Christa Roth

3.1 Biomasa sólida utilizable como combustible para micro-gasificadoras

Las micro-gasificadoras pueden utilizar una gran variedad de biomasa que debe ser sólida, relativamente seca, y de un tamaño que permita el flujo adecuado de aire primario. Aunque el carbón puede ser utilizado en una micro-gasificadora significativamente alterada, nuestro enfoque está en la gran base de recursos combustibles de biomasa sólida renovable que otros combustores no pueden utilizar. Una amplia gama de biomasa residual, más allá de la de palos de leña o carbón vegetal, se puede utilizar como combustible para cocinar, en una micro-gasificadora bien diseñada.

...utilizar biomasa que no requiera la destrucción de recursos forestales maderables significa menos estrés en el ambiente local...

Para el uso óptimo como combustible y para lograr una combustión eficiente la biomasa debe:

1. Estar **seca**: la humedad debe ser preferiblemente inferior al 20%. Un alto contenido de humedad nos da como resultado una operación de la estufa menos estable y disminuye la disponibilidad de energía para calentar, ya que esta es sacrificada para evaporar la humedad.
2. Ser **trozados a pedazos** para permitir el paso de aire/gas: el tamaño de los pedazos debe ser mayor a 4 mm en la dimensión más pequeña. Para la materia prima más fina, como el aserrín o casulla de arroz, se recomienda una micro-gasificadora con ventilador para controlar el flujo de aire por medio de convección forzada.
3. Tener una **distribución de partículas homogénea** para evitar zonas compactadas o espacios vacíos muy grandes en el contenedor del combustible, lo cual puede prevenir una progresión uniforme del frente pirolítico a través de la cama de combustible.
4. Tener una **densidad energética suficiente** para lograr un equilibrio entre la “masa quemable” en un volumen determinado de contenedor y tanto el tiempo de cocción como la tarea de recarga de combustible.

Puntos generales a considerar en cuanto a la elección de biomasa para combustible:

- El combustible no debe competir con recursos necesarios para la producción de alimentos (tierra, agua, mano de obra, etc.) o con un valor de uso prioritario, como material de construcción.
- Combustibles derivados de plantas de rápido crecimiento no deben tener un impacto negativo sobre la biodiversidad de la localidad.
- Cualquier combustible debe mantenerse disponible y asequible a largo plazo.
- El suministro de cualquier combustible debe tener un manejo sostenible para que sea una fuente de energía verdaderamente renovable.
- El combustible debe ser de fácil uso, cómodo y adecuado para el uso previsto.
- El combustible no debe contener ni liberar sustancias tóxicas o dañinas. En general, cualquier material orgánico previamente vivo es no-toxico en su combustión, pero ciertos combustibles pueden haber sido tratados con sustancias tóxicas para su previo uso, como la madera tratada. Se debe evitar estos materiales, sobre todo al ser aplicados en cocciones, donde las personas usualmente entran en contacto con los gases de combustión.

En áreas con lluvia irregular o escasa, se prefiere utilizar especies tolerantes a la sequía. Muchas “plantas anti-desertificación” que son aptas para restaurar la cobertura vegetal en áreas áridas son una buena fuente de biomasa para combustible. Una selección recomendada de plantas se encuentra en <http://desertification.wordpress.com/3-interesting-plant-species/>.

Algunos ejemplos de biomasa exitosamente utilizada como combustible para cocinar con micro-gasificadoras en Haití son: cáscara de maní, casulla de arroz, concha de coco, rastrojo de maíz o trigo, bagazo de caña de azúcar, desechos animales, bambú, concha de cítricos, semilla de mango, cartón, viruta, briquetas procesadas de biomasa, y peletizaciones de pasto, aserrín y otros desechos de aserradero. (Fotografías cortesía de WorldStove):



All Photos: WorldStove 2010

A pesar de que no todos han sido sometidos a prueba en micro-gasificadores para cocinar, candidatos adicionales para combustible se pueden encontrar en <http://www.gocpc.com/biomass-resources.html>

3.2 Factores que influyen sobre las propiedades del combustible

3.2.1 Contenido de humedad

¿Cuál es el impacto de la humedad en el proceso de gasificación?

La humedad reduce la energía netamente utilizable del combustible. Cualquier humedad contenida en el combustible es agua que consume 3,21 MJ de energía por kilogramo (litro) a ser evaporada en el proceso de calentamiento del combustible desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de pirólisis, cerca de 400 °C¹

¹ Un ejemplo detallado se halla en el Anexo.

Esta energía no está disponible para cocinar, pero incrementa el peso (la masa) del combustible que necesita ser utilizado en la estufa.

¿Cuál es el contenido de humedad adecuado?

No hay una respuesta definitiva. El combustible debe estar tan seco como lo permita el clima tropical. Un contenido de humedad entre 8 y 20% es el recomendado.

Ciertas estufas de aire forzado pretenden quemar combustible con un contenido de humedad de 30%. Aun si esto se llega a lograr, definitivamente no es deseable, ya que mucha energía será desperdiciada en el secado del combustible.

¿Qué pasa si el combustible está demasiado húmedo?

- Encender el combustible húmedo es mucho más difícil que encender combustible seco.
- Ciertas micro-gasificadoras toleran combustibles con alta humedad mejor que otras:
 - Las micro-gasificadoras de frente pirolítico tienen una tolerancia limitada al combustible húmedo, ya que el efecto de enfriamiento causado por la humedad del combustible enfría la llama en la zona de pirólisis. Imagine el vapor de agua mezclado con los gases de la combustión, actuando como un extintor, sofocando la combustión parcial en el frente pirolítico. En este caso el motor de producción de gas-madera se detiene y la micro-gasificadora entra en una combustión más lenta de pirólisis “sucia” y humeante. Este tipo de oxidación no genera suficiente calor para cocinar, desperdicia combustible, y tiene efectos negativos en cuanto a emisiones.
 - Gasificadoras alotérmicas o de retorta, en las cuales la pirólisis es causada solamente por una fuente externa de calor y en completa ausencia de oxígeno, son más aptas para lidiar con combustibles húmedos. Sin embargo desperdician combustible de la fuente externa de calor, por la energía gastada en el secado que se lleva a cabo dentro de la retorta.
 - El sobre-calentamiento de vapor de agua causa enfriamiento en la zona de pirólisis, resultando en una menor eficiencia del combustible y tiempo de cocción más largo.

No hay suficiente información en cuánto al efecto de la humedad sobre las emisiones, es un tema abierto a la investigación.

Conclusión:

La humedad tiene efectos negativos en la economía del combustible y emisiones.

Una cantidad sustancial de energía generada a través de la combustión es perdida debido a la humedad presente. A mayor contenido de humedad en el combustible, mayor es la pérdida de energía a través de la evaporación y reduce el valor energético disponible para calentar.

3.2.2 Tamaño de partículas y su distribución por tamaño

¿Cuál es el impacto del tamaño del combustible en el proceso de gasificación?

El tamaño del combustible en la cama de combustible determina la porosidad y por ende la facilidad con la cual los gases pueden fluir y viajar a través de esta, ya sea aire que entra a la cámara de combustión o gas-madera o gas-carbón que sube. También determina la rapidez de transferencia de calor hacia abajo por ambos, radiación y conducción. En principio, el tamaño o la forma de los pedazos de combustible no es crítico para la operación

de una estufa, siempre y cuando los pedazos y partículas estén dentro del rango de propiedades aceptables que permita su uso en los diseños probados de estufas, sin tener que modificarlas. Hay diseños de estufa que dan mayor flexibilidad en cuanto a tamaño y forma del combustible. Cualquier combustible nuevo debe ser probado en un modelo determinado de micro-gasificadora y si es necesario las condiciones de operación deben ser ajustadas según exijan las propiedades del combustible nuevo.

¿Cuál es el tamaño recomendable para el combustible de micro-gasificadoras? ¿Qué es demasiado pequeño o demasiado grande?

En general, para una estufa micro-gasificadora de tiro natural, el material debe ser granular o en pedazos para permitir un adecuado y estable flujo de gas a través de la cama de combustible en la cámara de combustión. En general el tamaño de las partículas es más adecuado si tiene una longitud mayor a 6mm en su dimensión más pequeña. Entonces las dimensiones deben ser preferiblemente entre 6x6x6 mm y 60x60 mm x la altura de la cámara de combustión (como las de un olote, una briqueta grande o un atado de pasto seco que puede ser colocado verticalmente en la cámara de combustión sin sobrepasar la altura de la misma).

Una regla de dedo de Hugh McLaughlin dice que las medidas promedio de las 3 dimensiones de las partículas de combustible deben ser menor que el 10% del diámetro del contenedor del combustible. En otras palabras, si el contenedor de combustible es de 15 cm de diámetro, las partículas no deben exceder un promedio de 15 mm sobre las 3 dimensiones.

Partículas muy pequeñas bloquearán el flujo de gas. La restricción por partículas como aserrín o casulla de arroz puede ser contrarrestada por una fuerza de convección forzada por ventilador o soplador, o un flujo incrementado por medio de un chimenea más alta (lo cual es menos práctico).

Pedazos muy grandes de combustible generan 3 problemas. Primero, la pirolisis se demora mucho más en alcanzar el centro de la partícula. La pirólisis inicial deja una capa de carbón que aísla el centro de la partícula. El segundo problema es que los pedazos muy grandes por consiguiente crean grandes espacios entre las partículas de combustible. Estos se llenan de aire en condiciones normales. El flujo de aire no restringido podría conducir a una excesiva cantidad de aire en la cama de combustible.

La distribución por tamaño de partícula define el “espacio poroso” entre el combustible y por ende la facilidad de paso del gas: El gas seguirá por los “corredores abiertos” que no se encuentren bloqueados. Por tanto si finas partículas bloquean el paso del gas en una zona particular de la cama de combustible el gas encontrará vías alternas en otras zonas en la cama de combustible con mayores espacios entre grandes pedazos de combustible. Esto conducirá a un avance desigual del frente pirolítico, lo que resultará en humo y uso incompleto del combustible.

Tercero, cuando los pedazos grandes crean cavidades entre si y partículas finas descansan encima, el material fino encendido caerá por gravedad en las cavidades creadas bajo el frente pirolítico. Esto causará un avance en desnivel con área superficial aumentada del frente pirolítico y causará un incremento abrupto en la producción de gas, el cual muchas veces no puede ser quemado por insuficiencia de aire secundario disponible. El resultado es un humo no deseado.

Paul Anderson sugiere que la mayor dimensión (el largo) de las partículas de combustible no debe ser mayor al 25% del diámetro del contenedor de combustible. Esto evita que los pedazos de combustible generen espacios muy grandes al ser vertidos en lugar de ser acomodados a mano.

Una excepción a esto es el uso de combustibles más largos que son colocados intencionalmente (no dejados caer) verticalmente dentro del contenedor de combustible. Ejemplos podrían incluir segmentos de bambú, olotes, bultos de pasto, y algunos palos sin contorsiones. Si los espacios en este caso son muy grandes, un segundo tipo de combustible más pequeño podría ser añadido encima y (sacudiéndolo un poco) podría llenar con holgura los canales, evitando que el combustible encendido caiga a posiciones más bajas. Hay que tener cuidado de no bloquear el flujo de aire.

En general, las dificultades iniciales en cuanto a la selección y método de carga y recarga son resueltas con experiencia.

Conclusión:

El combustible debe ser razonablemente **homogéneo** para evitar bloqueos y movimiento desigual del frente pirolítico, ya que esto podría crear humo.

Sin embargo: **Las Micro-gasificadoras tienen una mayor ventaja comparativa en el rango de tamaños de combustible que pueden utilizar, incluyendo aquellos combustibles que de otra manera serían muy pequeños para facilitar una quema limpia en otros modelos de estufas.**

3.2.3 Densidad del combustible y densidad aparente

¿Cuál es el impacto de la densidad de combustible en el proceso de gasificación?

La densidad del material usualmente se refiere a “masa sobre volumen”, medida por ejemplo en kilogramos sobre litros o kilogramos sobre metro cúbico. Sin embargo, en el contexto de los combustibles como una fuente de energía, el término “**densidad del combustible**” a menudo se refiere a la **energía disponible en un combustible basándonos en peso**. Indica cuánta masa de carbón quemable está contenida en cada kg de combustible, y cuantas otras sustancias no quemables como agua, materia sólida (contenido en cenizas) hay en un kg. Esto da un **valor energético del combustible**,² comúnmente expresado en MegaJoules por kilogramo (MJ/kg), o en América como BTU por libra.

Los valores energéticos varían mucho debido a los niveles variables de humedad y componentes no quemables (ceniza) en la materia prima del combustible. Si el combustible se encuentra húmedo, tiene un incremento en masa (es más pesado) en relación a los componentes del combustible, y el valor energético total es más bajo, ya que 3.21 MJ tienen que ser sacrificados por kilogramo para evaporar el agua del combustible durante la combustión.

La **densidad aparente** es la relación del peso sobre el total del volumen de una sustancia sólida cuando es depositada dentro de un contenedor. La densidad aparente incluye el volumen del aire entre pedazos de combustible. Es una medida del grado de compactación del combustible. La densidad aparente determina cuanta masa quemable del combustible puede ser acomodado dentro del volumen del contenedor de combustible en dado

² Para la energía neta liberada existen valores calóricos menores (LHV por sus siglas en inglés) y para energía bruta valores calóricos mayores (HHV). La diferencia principal es el contenido de humedad estimado. Para los LHV la energía para la evaporación de agua es restada. Son estos valores (LHV) los que usamos aquí ya que son más relevantes en la aplicación práctica. Las muestras individuales pueden variar, y los valores calóricos pueden ser muy variables, incluso para una misma especie (como el ocote de pino), ya que la biomasa proviene de organismos previamente vivos que pueden diferir según las condiciones de cultivo. Para mayor información ver <http://www.fpl.fs.fed.us/documents/techline/fuel-value-calculator.pdf>

momento. Esto determina cuanta materia prima de biomasa está disponible para la creación de gas-madera y gas-carbón y cuanta energía puede ser creada a partir de una carga de combustible.

Existen grandes diferencias en la densidad aparente de la materia prima de biomasa, dependiendo del tamaño y forma de las partículas sueltas:

Un contenedor de 1 litro de volumen de combustible podría aproximadamente acomodar 100g de cascarilla de arroz o 700g de pellets de madera densificada. Así que la densidad si importa!

La siguiente tabla nos da más respuestas a las preguntas, basada en la comparación de combustibles seleccionados.

Densidad sólida = ¿Cuánto pesaría 1m³ sólido de combustible, si se comprime en un bloque sólido sin vacíos de aire (equivalente a gramos por litro)?

Densidad aparente = ¿Cuanta masa de un combustible podría caber en un litro de volumen de un contenedor de combustible?

Energía sobre unidad de peso (técnicamente sobre masa) = ¿Cuál es el valor neto de energía (LHV) o la energía que rinde 1 kg de combustible si se quema completamente?

Energía sobre volumen = ¿Cuanta energía puedo obtener de un combustible cargado en un contenedor de combustible por litro de capacidad volumétrica (sin compresión o compactación del combustible)?

Tipo de Combustible	Humedad	Densidad sólida	Densidad aparente	Energía sobre masa	Energía sobre volumen
	Porcentaje	Kg/m ³	g/litros	MJ/kg	MJ/litro
Aserrín húmedo	50%	1,100	367g	11,85	4.3
Aserrín seco al aire	10%	800	250g	17,06	4.6
Astillas de madera húmedas	50%	1,100	550g	11,85	6.5
Astillas de bosque secadas al aire	10%	800	400g	17,06	6.8
Pellets secos (aserrín, cascara de nueces etc.)	6-8%	1,100-2,500	650-700g	19,75	13.9

Fuente: Tabla de densidades de combustibles en http://www.woodgas.com/fuel_densities.htm

Valores para muestras individuales varían con el contenido de humedad, tamaño y forma de las partículas de combustible.

Para comparación otros LHV (redondeado en MJ/kg):

LPG 48, Kerosene 43, Etanol 27-30.

Los valores para el carbón pueden variar entre 25-30 MJ/kg, dependiendo de la calidad del carbón, la temperatura y la materia prima de la cual fue hecho.

Está claro, que el aserrín de madera recién cortada tiene una densidad sólida similar a los pellets comprimidos secos de la biomasa leñosa. Sin embargo, el rendimiento energético por carga de aserrín por un volumen dado es menor que un tercio del rendimiento de los pellets: las razones son la alta pérdida de energía por la necesidad de sacar la humedad y la baja densidad aparente del aserrín.

Si el combustible es apilado de manera cuidadosa con un mínimo de espacios vacíos entre ellos, el doble de masa puede acomodarse en el mismo volumen³.

El apilado vertical es una buena manera de empacar la paja o combustible en forma de palitos en el contenedor de combustible. Sin embargo, el apilado vertical puede causar problemas con la progresión uniforme de quemado en las estufas TLUD en las cuales las llamas se mueven a lo largo de los leños de combustible individualmente y encienden la masa entera de combustible desde abajo- conduciendo a una producción excesiva de humo.

Conclusión:

Las preguntas relevantes para una operación de cocina son: cuanta energía y calor pueden ser generados en cualquier momento dado, durante el curso del ciclo de cocina y por tanda de combustible. El determinar cuánto se puede cocinar con cada lote de combustible es de especial importancia para micro-gasificación en tandas.

El rendimiento neto de energía del combustible depende en gran medida del tipo de biomasa, contenido de humedad, tamaño y forma, manera de acomodado y densidad aparente que resulta del combustible.

Residuos de biomasa de bajo grado con alto volumen pueden proveer mayor producción de energía en una gasificadora si están secos, si son de tamaño adecuado, y si han sido compactados y densificados.

Algunos tipos de biomasa están listos para usar en micro-gasificación, pero otras materias primas requieren algunos pasos de procesamiento para ser usada como combustible de cocina en una micro-gasificadora: **secado, reducción y densificación.**

La biomasa para estufas de cocina viene en tres tamaños: demasiado pequeños (se debe hacer briquetas, etc.), tamaño ideal y demasiado grande (se debe cortar). Todo combustible es sometido a algún procesamiento y reducción de tamaño, algunos a altos costos como el refinamiento de petróleo. Es razonable esperar que las industrias que proveen la biomasa para combustible crecerán sustancialmente, madurando a medida que los aparatos de gasificación sean más utilizados.

³ Un ejemplo se encuentra en el anexo

3.3 Materia prima lista para usar sin mayor procesamiento

La lista de materia prima usada es interminable y depende de lo que se encuentra disponible en cada localidad. La siguiente tabla de la FAO facilita algunas ideas, de donde buscar para obtener la materia prima adecuada. Los desechos municipales no son recomendados para uso en micro-gasificadores de cocina o calefacción, debido a su alta variabilidad y la presencia de ingredientes potencialmente tóxicos, tales como aceite de motor o baterías.

Tabla 2: Clasificación de Fuentes de biocombustible por sus diferentes características

		Biomasa leñosa	Biomasa herbácea	Biomasa de frutas y semillas	Otros (incluyendo mezclas)
		Combustibles de madera	Agro combustibles		
Cultivos energéticos		- arboles de bosques energéticos - arboles de plantaciones energéticas	- pasto energético - cultivos energéticos de cereal	- granos energéticos	
Sub-productos	Directos	- subproductos de raleo - subproductos de tala	subproductos agrícolas:		- subproductos de animales - subproductos de horticultura - subproductos de jardinería
	In-directos	- subproductos de industria de la madera	- paja	- cascara, casullas, semillas	
Materiales de uso final	Recuperados	Madera usada	- productos de fibra usados	- productos usados de frutas y semillas	- lodos - subproductos de matadero
					- subproductos de origen municipal - residuos de cocina - lodo de depuradora

Fuente: Terminología de Bioenergía unificada <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/007/j4504e/j4504e00.pdf>, página 9.

Los residuos agrícolas son generados en grandes volúmenes temporada tras temporada y a menudo descartados como basura. Los desechos de cultivo son una gran fuente de biomasa combustible no maderable: paja, tallos, hojas, cáscaras, concha, piel, linas, piedras, pulpa, rastrojo, etc. Proviene de cereales (arroz, trigo, maíz, sorgo, cebada, mijo), algodón, maní, yute, leguminosas (frijol, soya, gandul), café, cacao, olivos, frutas (banano, mango, coco, marañón) y palma aceitera. En países en vías de desarrollo los residuos agrícolas son quemados como combustible en su estado natural con un tratamiento mínimo de secado, cortado y compactado. En comparación a combustibles maderables, los residuos de cultivos tienen típicamente alto contenido de compuestos volátiles, baja densidad y un reducido tiempo de quemado. La siguiente tabla provee una comparación:

Ventajas	Desventajas
- Los residuos agrícolas son un combustible libremente disponible para familias pobres de áreas rurales. - Es también una manera de deshacerse de los residuos en vez de tener que quemarlos en el sitio. - Los residuos agrícolas se guardan con mayor seguridad que el LPG (este supone fuertes riesgos en su almacenamiento y transporte). - Es fácil de manejar y transportar. - Impacto reducido en el tiempo de cosecha requerido de las mujeres - Los residuos agrícolas son más fáciles de encender que carbón o madera.	- Es responsable de los casos extremos de contaminación del aire cuando se quema a fuego abierto o en estufas tradicionales mejoradas, pero se puede quemar bien en estufas gasificadoras. - Es cargoso y tiene que ser acarreado a las casas. - La estacionalidad de los cultivos puede ser una limitante para su uso. - El tiempo de combustión es menor. - Su almacenamiento requiere más espacio protegido de los elementos en casas o almacenes.

Algunas desventajas asociadas con la dificultad de acarreo de residuos pueden ser manejadas comprimiendo el combustible crudo, proceso llamado “densificación”. Propiedades no favorables de residuos nativos quemados al ser utilizados en estufas convencionales pueden ser sobrepasadas por el uso de micro-gasificadoras que pueden utilizar este tipo de combustible. Otros ejemplos muestran que el uso de combustible puede contribuir a la reducción de la contaminación ambiental. Las personas se motivan a utilizar biomasa residual que se destinaba a la descomposición, a la incineración, a ser acumulada en grandes cantidades o a ocupar espacio en rellenos sanitario.

	Un ejemplo de materia prima sin procesar con excelentes propiedades de combustión para ser utilizado en gasificadora: la concha de un cítrico llamado “chadeck” comúnmente encontrado en Haití. Según Nathaniel Mulcahy en marzo 2010, obtenían 37 minutos de llama azul pura con concha de 3 chadeck. http://tweetphoto.com/13064693, Cortesía de WorldStove
	De Nathaniel Mulcahy, el tallo sin procesar de la caña de azúcar formando una carga de combustible para una estufa Lucia localmente construida en Haití, quema con una llama limpia. http://tweetphoto.com/14266639 Cortesía de WorldStove

3.4 Técnicas de procesamiento de combustibles

Un combustible uniforme de tamaño y forma homogéneos como pellets de 6 a 10 mm de diámetro son una opción superior de combustible muy recomendada para utilizar en gasificadoras, pero aún no se encuentran fácilmente en la mayor parte del mundo.

La siguiente tabla provee una guía de materia prima y su procesamiento potencial:

Tamaño	Ejemplo	Problema	Solución	Necesidades de procesamiento
Partículas demasiado pequeñas	Aserrín Casulla de arroz	Las pequeñas partículas bloquean el flujo de gas	Producir piezas más grandes	Densificación
Distribución heterogénea de partículas por tamaño	Virutas de madera mezcladas con aserrín	Las pequeñas partículas bloquean el flujo de gas	Producir piezas de tamaño homogéneo	Densificación
Muy voluminoso (alto volumen, valor bajo)	Cáscaras de maní, paja, heno, etc.	Se necesita una cámara de combustión de gran volumen, costo de transporte	Tiene que ser más compacto	Densificación
Tamaño correcto	Cualquier cosa que se puede utilizar directamente en la cámara de fuego, viruta de madera, ramas, estiércol de oveja, el excremento de conejo, olote de maíz, etc.			Secado
Partículas muy grandes	Pedazos de madera, bambú, cáscaras de coco	No caben en la cámara de combustión	Producir pedazos más pequeños	Reducción de tamaño: trituración, recorte, picado, etc.

La carbonización de biomasa no es un proceso técnicamente descrito aquí, un micro-gasificador funciona muy bien con biomasa no carbonizada, al contrario que las estufas de carbón convencional las cuales dependen de combustible carbonizado.

3.4.1 Secado

El secado por sol y viento son las opciones más factibles y baratas en la mayoría de los escenarios en los que se necesita el secado del combustible de biomasa para cocinar. El almacenamiento en seco posterior complementa los esfuerzos para evitar que el combustible recupere humedad de los elementos.

Se debe diferenciar entre humedad total del combustible y la humedad de la superficie. La humedad de la superficie (por ejemplo, cuando un tipo de combustible con un centro seco se moja por la lluvia, pero la humedad no ha penetrado al núcleo) se puede quitar en un par de horas, mientras que la humedad en el núcleo necesita días, semanas incluso hasta meses para que sea removida, dependiendo del diámetro de las piezas del combustible.

El combustible de biomasa puede precalentarse fácilmente con el propósito de remover la humedad residual si se mantiene el combustible cerca de la estufa antes de utilizarlo. Algunas estufas ofrecen opciones especiales, como un cajón de precalentamiento para el combustible debajo de la estufa para este fin. El secado por medio de hornos suele ser irrelevante a nivel doméstico y no es un tema abordado aquí.

3.4.2 Reducción

Reducción se refiere a la **reducción del tamaño** de combustibles de alto valor energético a un tamaño compatible con las micro-gasificadoras. Se realiza cortándolos, picándolos, moliéndolos, rompiéndolos, etc. Esto se aplica principalmente a la madera u otros sólidos principalmente leñosos que vienen en pedazos demasiado grandes para caber en un micro-gasificador para cocinar. Para incrementar el tamaño del material y crear piezas más grandes a partir de partículas pequeñas o irregulares se necesita la densificación, que se aborda a continuación.

Precaución: en una zona con abundancia de leña en forma de troncos o palos grandes, tiene que ser considerado cuidadosamente, si la reducción del tamaño de combustible para micro-gasificación es la opción más rentable, o si hay otras alternativas para quemar este tipo de biomasa limpiamente. Cortar madera a mano es un gran esfuerzo físico que a la mayoría de personas no les gusta y por lo tanto, se quejan y no lo hacen. En un escenario donde no hay escasez de madera de gran tamaño, otros modelos de estufas como las “Rocket”, que pueden quemar palos de madera bien y limpiamente, podrían ser más aceptables y adecuados para la cocina doméstica. Si la producción de carbón vegetal es el propósito y la cocina doméstica no es el enfoque, se deben considerar unidades más grandes, tales como retortas e.g. la retorta Adam. Ya que las necesidades de reducción a mano son sumamente abrumantes, pueden marcar el éxito o fracaso de las micro-gasificadoras en una región. Si el esfuerzo adicional que se requiere para preparar el combustible es demasiado excesivo, las estufas gasificadoras no serán del agrado de la gente y la adaptación exitosa improbable.

Si es posible, se recomienda establecer una cadena de suministro de combustible de tamaño reducido adecuado (por ejemplo astillas de madera chipados con un equipo mecanizado) a un costo asequible y al alcance de los usuarios. Para áreas desprovistas de otros combustibles de tamaño naturalmente más pequeño, esto mejorará la aceptación de micro-gasificadoras para cocinar. Las principales herramientas para reducir el tamaño de manera manual son los cuchillos, hachas y divisores. Para operaciones mecánicas hay trituradoras y picadoras con ruedas de conducción y cuchillas giratorias y molinos.

Los molinos de martillo utilizan principalmente las fuerzas de impacto, mientras que los molinos de corte cortan el material en pedazos con la rotación de los dientes de corte hechos de metal rígido.⁴

El equipo más común para las operaciones a gran escala requiere entradas de energía externa sea por motores de combustión o electricidad. Un equipo más grande puede ser necesario como paso previo para la densificación ya que el material de entrada debe ser más pequeño que el producto densificado. En otras palabras, para producir un pellet de 6 mm de diámetro, la materia prima tiene que ser de menor tamaño. El equipo industrial se basa en trituradoras, molidoras, o cortadoras, molinos de martillo. Existe equipo de todo tamaño y tiene que ser seleccionado conforme a las necesidades específicas del área y escala de operación.

⁴ <http://wiki.gekgasifier.com/w/page/6123688/Chippers,-chunkers,-loppers,-splitters,-shredders,-disintegrators,-etc>. ofrece una buena panorámica sobre el equipo disponible para cortar madera.

3.4.3 Densificación

La necesidad de tratamiento más importante es la densificación de materiales voluminosos de biomasa disponibles en forma de residuos de alto volumen que no pueden ser bien utilizados de otra manera como combustibles para cocinar.

Los combustibles compactos y densos tienen varias ventajas:

- Tienen un mayor valor energético por volumen (más carbón por volumen)
- Reducen los costos de transporte (más combustible y menos aire que se transporta)
- Tienen un rendimiento más predecible en una estufa por ser más homogéneos en cuanto a tamaño, densidad y forma
- Son más fáciles y de más limpio manejo (menos polvo, fácil de empacar)
- Son de uso más conveniente debido a su tamaño listo para usar (no se necesita cortar)
- Son más fáciles de almacenar (menos absorción de la humedad, menos moho, hay menos incendios de auto-ignición espontánea, menor infestación por plagas que los combustibles naturales).
- Pueden ser una solución a los problemas de gestión de residuos.
- Aumentan el valor de los residuos, a menudo creando empleos en el proceso.

Sin embargo, la biomasa densificada no es la varita mágica! Se requiere de equipo y trabajo adicional. Para establecer esta capacidad a nivel local, se necesitan inversiones que se justifiquen solamente en los casos cumpliendo con los criterios siguientes:

- Donde el combustible es ya un producto valorado y comercializado (como en muchas áreas urbanas).
- Cuando las familias tienen el poder de compra.
- Donde hay una gran fuente de biomasa residual no aprovechada (que no compita con su uso como abono o compost).
- Cuando hay un vínculo posible entre la fuente de la biomasa y el mercado del combustible densificado (relación de distancia, los costos de transporte y el valor del combustible).
- Cuando la densificación de combustible puede funcionar como un negocio
- de generación de ingresos.
- Donde hay electricidad, de modo que se pueda realizar una operación a gran escala. Sin electricidad sólo la producción manual a pequeña escala es factible.

¿Cómo puede densificarse el material para micro-gasificación?

Se utilizan diversos métodos de unión y de compactación para pegar el material suelto de la biomasa y hacer una forma compacta y densa, que no se desmorone de inmediato durante el secado, la manipulación y el uso del combustible. El uso previsto del producto y la escala prevista de operación determinan el tamaño, la forma y el grado necesario de compactación del producto. Los procesos de densificación de la biomasa se pueden agrupar en tres grupos principales⁵:

⁵ basado en un correo electrónico de Richard Stanley de la Fundación Legacy en Mayo de 2010

Proceso húmedo a temperatura ambiente y baja presión (10-15 bar):

Un aglutinante adicional es opcional, la unión se lleva a cabo a través de la reorganización aleatoria de las fibras naturales suaves en una amplia variedad de residuos agrícolas o de otro origen. El proceso acepta aserrín, cáscara de arroz, bagazo, cáscaras de café, maní y otra materia prima granular, así como polvo o migas de carbón o residuos agrícolas carbonizados, siempre y cuando las fibras puedan encapsularse en una masa apretada inelástica cuando se comprimen. Hace falta seleccionar y preparar con cuidado la materia prima para optimizar una mezcla según los criterios flexibilidad, combustibilidad y otros comportamientos. Una vez que se domina los principios de hacer briquetas de esa manera, se abre camino a utilizar una variedad de ingredientes mucho más amplia en comparación con otros procesos. La densificación y el moldeado se pueden hacer a mano para apretar el material y darle forma, o aplicarle fuerza humana para presionar el material en un molde. Más de 25 diseños de versiones manuales o mecanizadas de prensa están en uso, con diversas formas de crear presión: palancas, gatos hidráulicos, rodillos de tornillo, de pedal. Los costos van desde \$ 50 a \$ 750. La densidad del producto es de 0.3 a 0.5 g / cc.

Proceso húmedo-seco, temperatura ambiente y baja a media presión (10-50 bar):

El siguiente nivel normalmente empezaría con una presión similar al proceso anterior y superarlo por mucho dependiendo del tipo de maquinaria. Requiere cierto tipo de aglutinante (arcilla, almidón, pasta de concha de banano, goma, ceras o melaza). Las temperaturas aún son cercanas a la temperatura ambiente pero el agua es poca o nada. La mezcla de la materia prima relativamente seca permite el uso de tornillos de baja presión y las prensas de los procesos húmedos anteriores. Actualmente, están en uso más de 10 prensas manuales o mecánicas utilizando varios tornillos. Los costos son por encima de los \$50 para los dispositivos manuales. La densidad del combustible obtenido es entre 0.3 y 0.7 gm/cc. Los productos son por mayoría briquetas con agujero, de biomasa cruda o de polvo de carbón.

Proceso seco a alta presión:

El siguiente nivel de densificación involucra una gran alza en la presión (400 a 600 bar) y requiere el secado de los materiales para asegurar una humedad debajo del 20%. La compresión por prensa o tornillo a menudo requiere añadir calor para elevar las temperaturas del cilindro o barril hasta 200 grados Centígrados. Mediante esta combinación de temperatura y presión se moviliza la lignina de la biomasa y funciona como aglutinante. Si se aplica calor externa como en un extrusor de tornillo, el exterior del leño o la briqueta queda „tostado“. El proceso requiere de un suministro garantizado de materia prima de cierto tipo, grado y humedad. Las maquinas más industrializadas cuestan entre 3,000 y 30,000 dólares. La gama de productos incluye briquetas con o sin agujero y leños encerados, que son muy populares sobre todo en países asiáticos.

El término “**briqueta**” se suele usar para una porción considerable de un producto densificado de cualquier forma y nivel de compactación donde el lado más pequeño es superior a 2cm de longitud. Se utiliza el término “**pellet**” si el producto final de una compactación de alta presión es corto y redondo y de un diámetro de 6-20 mm. Los pellets se forman ejerciendo alta presión a la biomasa seca a través de un molde con múltiples agujeros / boquillas (como una máquina de espaguetis sobredimensionada).

Varias prensas de briquetas y pellets están disponibles principalmente en el mundo industrializado. La densidad del combustible puede llegar incluso a mas de 1.0 gm/cc ya que algunos pellets y briquetas de alta densidad son más pesados que el agua y no flotan (una

prueba fácil para determinar la densidad del combustible). Hay un riesgo de que los pellets y las briquetas secas pero de alta densidad tiendan a desmoronarse en condiciones más húmedas a medida que van recuperando humedad. En general, la calidad del producto incrementa con el aumento de presión de compactación, lo que implica:

- Temperaturas más altas: haciendo que la lignina contenida en la propia materia prima se funda, para que pueda actuar como cera y sirva de único aglutinante. No es necesario agregar otros aglutinantes.
- Se necesita una menor cantidad de agua para la preparación de la materia prima: por ende, se reduce el tiempo y espacio para el secado, y se obtiene un producto con menor contenido de humedad y, por consecuencia, con valores calóricos más altos.
- El aumento de las necesidades de electricidad y mayores costos de inversión y operación.
- Disminución en la intensidad del trabajo lo que reduce la creación de empleo en la fase de producción, con un potencial de creación de empleo local en la cadena de distribución de combustible.

Muchos factores influyen en la factibilidad de densificar biomasa en determinado contexto. La siguiente tabla puede servir de guía para la elección entre opciones de densificación según la presión deseada y el rendimiento deseado por hora. Refleja los métodos de preparación y compactación de materia prima, aglutinantes, etc. La disponibilidad de los insumos necesarios como agua, electricidad, capital, mano de obra, espacio, etc. es fundamental para el éxito de cualquier proyecto de densificación. Estos son factores limitantes potenciales para la viabilidad de una opción de densificación y deben mantenerse presente desde las fases iniciales en las cuales se decide si optar por la densificación. Hay que tomar en cuenta que los factores descritos se encuentran en un proceso continuo y no tienen valores concretos, claros y definidos que pueden determinar un límite a la siguiente categoría. Ejemplos de algunas tecnologías se muestran después de la tabla.

Guía para identificar opciones adecuadas para densificación

Presión y aumento de temperatura	bajomoderaoalto				
Proceso de preparación	suspensión acuosa (sólido en agua)		mojado/húmedo (agua en sólido)		seco humedad < 20%
Aglutinante	fibras naturales reordenadas		requiere aglutinante: arcilla, cera, almidón, melaza		lignina derretida de la biomasa
Moldeado	moldeado a mano		formado en moldesextrusión por una boquilla		
Método de alza de presión	a mano	palancas livianas, tornillos	palancas fuertes, tornillos	tornillos, pistones	rodos y boquillas
Electricidad requerida	niguna		opcional	monofásica < 5KvA	trifásica > 5KvA
Intensidad de mano de obra requerida	alta		moderada		baja
Escala de producción (en kg por hora)	bajo		< 50 kg por hora		> 1000 kg por hora
Inversión inicial	baja		moderada		alta
Requerimientos de local comercial	espacio para secar		espacio de almacén, electricidad		

Diseño por: Christa Roth

Moldear con baja presión a mano o con palancas ligeras de bajo costo requiere una preparación húmeda de materia prima y espacio de secado después de la producción. Puede producir suficientes salidas para el consumo de una sola casa o un negocio familiar. Las economías de escala con salidas de productos densificados por encima de 1,000 kg/h requieren inversión fuerte de capital inicial para maquinaria y suministro de electricidad trifásica por encima de 20 KvA, factores limitantes en ciertos lugares. Algunos ejemplos son presentados en los siguientes párrafos.⁶

I. Opciones de briquetado manual (pulpa húmeda, baja presión)

a) Briquetas hechas a mano



La manera más simple de hacer briquetas pequeñas: una pasta de biomasa en agua se deja remojando por algunos días para mejorar las propiedades de aglutinamiento.

La pulpa se moldea haciendo presión a mano o en un molde como por ejemplo una bandeja de cubos de hielo.

El reordenamiento de las fibras asistido por un aglutinante como la pulpa de papel u otros mantienen las briquetas con su forma durante el secado y uso.

Factible para producción a menor escala.

b) Briquetas formadas con molde de botella perforada

Otro método manual sencillo para producciones a menor escala es promovida por la Fundación para Tecnologías Sostenibles (FOST por sus siglas en inglés) en Nepal: la pasta de biomasa húmeda se introduce en un bote perforado, se colocan unos Discos Compactos desechados, para separar pequeñas porciones de la pasta. Se presiona con una vara en la parte abierta de la botella y el agua se escurre por los agujeros de la botella. FOST también promueve prensas de palanca larga.



Fotografía: Christa Roth

Izquierda:
Prensa de „Botella”
demostrado en la
conferencia de PCIA en
Uganda en Marzo 2009
por el fundador de
FoST, Mr. Sanu Kaji
Shrestha.

Derecha:
Varias formas y
tamaños de briquetas a
venta en Nepal



Fotografía: <http://www.fost-nepal.org/>

⁶ Hay un recurso en línea de la red „fuel briquette online” para intercambiar experiencias, obtener ayuda para solucionar retos o simplemente compartir información sobre trabajo propio: fuelbriquetting@googlegroups.com

II. Prensas de palanca (pulpa húmeda, presión baja-moderada)

Las palancas son buenas herramientas para crear presiones elevadas solo con la fuerza humana. Las palancas largas o palancas multi-compuestas incrementan las presiones que se desean alcanzar. Las palancas se pueden usar con mayor rapidez que los gatos hidráulicos y las prensas de placa y tornillo.

Hay una gran variedad de prensas de palanca. Esta sección solo mostrará algunos modelos selectos fácilmente replicables o cuyos planos están disponibles.

a) Prensa de ladrillos de papel de Newdawnengineering

Precio ca. 300 ZAR.

Hace briquetas combustibles de 230×90mm del desperdicio de papel el cual puede mezclarse con otros combustibles como polvo de carbón, viruta o pasto.

El papel es un buen aglutinante que puede ser mezclado con cualquier otro residuo que esté disponible. La presión es generada por dos palancas. Es ideal para una producción descentralizada a pequeña escala. Para más detalles visite

<http://www.newdawnengineering.com/website/paper/brick/>

Referencia para una unidad más grande de la misma compañía en <http://www.newdawnengineering.com/website/stove/firecube/>.



Parts of a Paper Brick Maker:



b) Prensas de una pistola de engrase de Dr. Zan Smith

Esta prensa está hecha de una pistola de masilla de tamaño industrial. Es un experimento por el Dr. Zan Smith para convertir residuos del banano en Ruanda en briquetas para estufas domésticas. Es estimado que incluso un dispositivo más pequeño (de tamaño regular) se puede utilizar y crear presiones en exceso a los 50 Psi.

Para más detalles visite

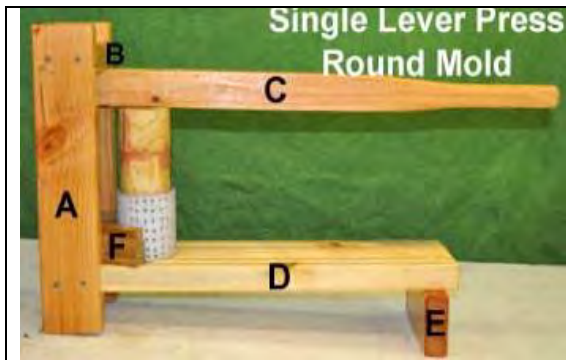
http://www.home.fuse.net/engineering/documents/Briquette_Experiment%201-16-10_and_june_revision_2.pdf



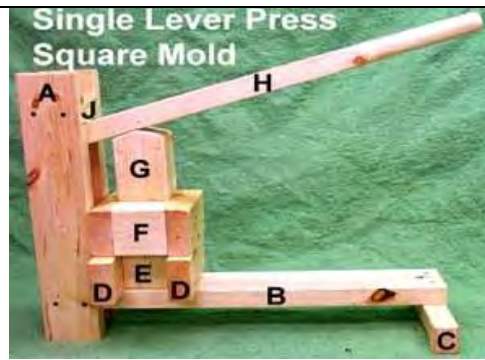
c) Prensas de madera de Leland Hite

Una prensa de briquetas de madera simple y de bajo costo se puede encontrar en <http://www.youtube.com/watch?v=Mt0QQe6Eetw>.

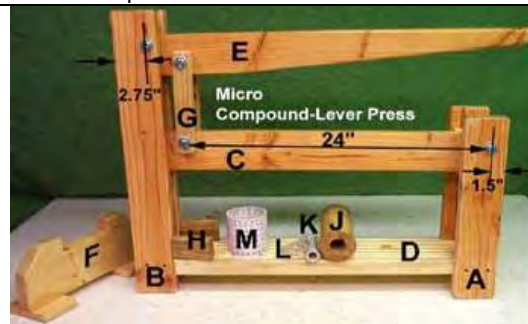
Este instructivo video muestra versiones de prensas con una sola palanca o palancas multi-compuestas sencillas pero potentes y versátiles. Esas prensas pueden producir briquetas de biomasa cuadradas o redondas a una velocidad de menos de una briqueta por minuto. Diseños en inglés o francés incluyendo medidas métricas o en pulgadas tanto como el enlace del video se encuentran en http://www.home.fuse.net/engineering/ewb_project.htm



Prensa de palanca sencilla con molde redondo



Prensa de palanca sencilla con molde cuadrado



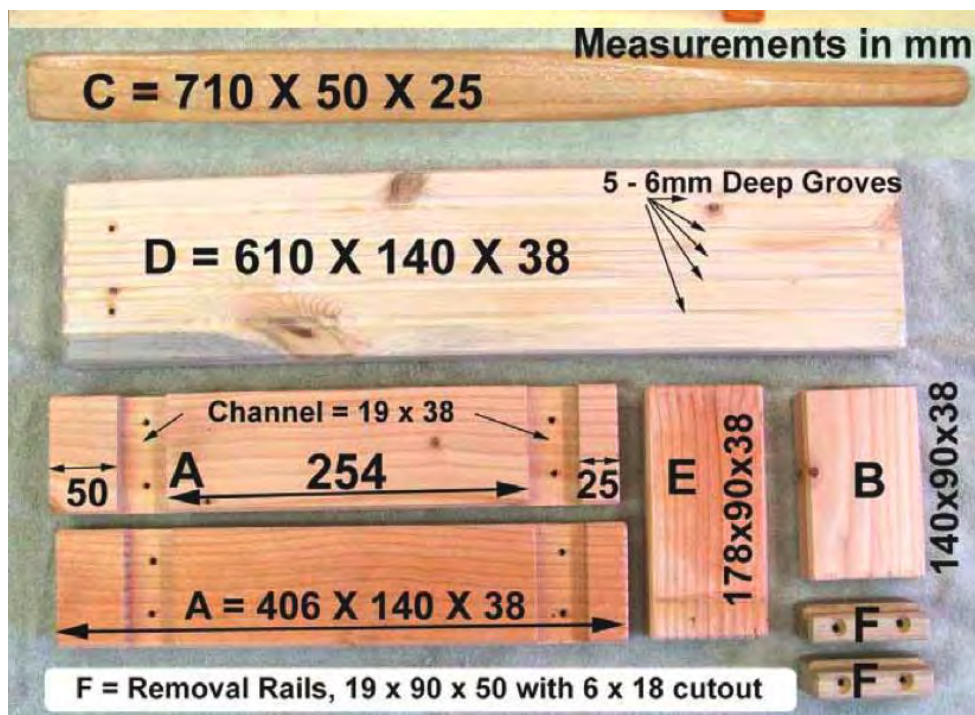
Prensa de palanca compuesta con molde redondo



Prensa de briquetas de palanca compuesta larga

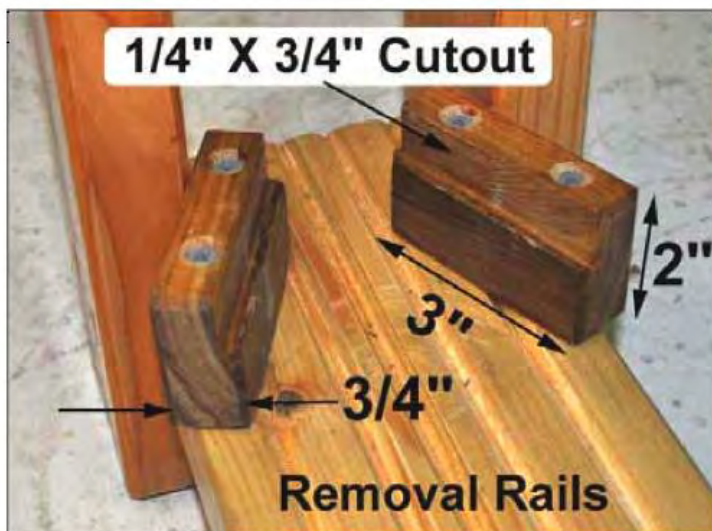
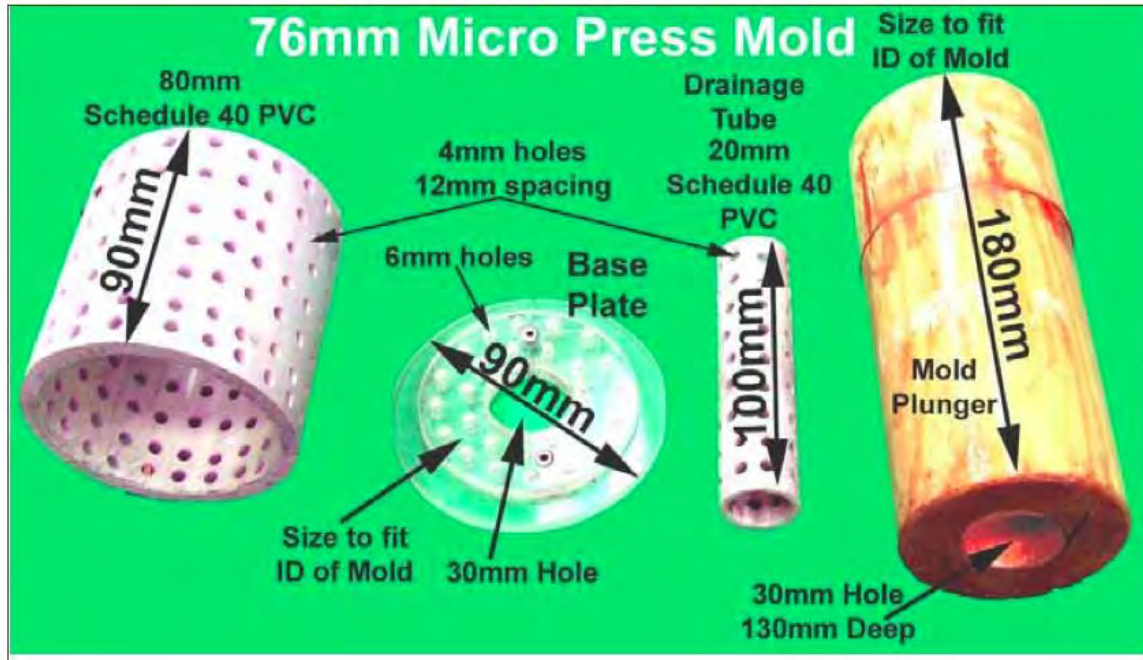
Fuente: http://www.home.fuse.net/engineering/ewb_project.htm, donde también hay otras descripciones interesantes.

A continuación un ejemplo del manual de instrucciones con el sistema métrico en inglés de http://www.home.fuse.net/engineering/documents/Single_Lever_Round_Press_ENGLISH.pdf



EWB Cincinnati, Ohio, USA, Lee Hite, April 23, 2010, Micro Single-Lever Press

Micro Single-Lever Press ENGLISH



d) Prensas de Madera de Richard Stanley y la Fundación Legacy

Richard Stanley y la Fundación Legacy son probablemente los promotores más activos de la fabricación manual de briquetas de biomasa a nivel mundial. El sitio web <http://www.legacyfound.org/> tiene amplios recursos acerca del briquetado manual y varias publicaciones a la venta.

Hay varias versiones de la prensa común de palanca, las hay baratas de madera, y se pueden hacer prensas más fuertes de palancas de metal duradero a un mayor costo.

Ejemplos de Briquetas de Biomasa de diferentes países del mundo



III. Opciones de Briquetas: materia prima húmeda-seca a presión media

Esta categoría incluye las versiones de prensa que pueden ser de tracción mecánica, por ejemplo, por rueda o eléctricamente, con las necesidades de electricidad en función de la presión y el rendimiento esperado. La velocidad de densificación o el rendimiento alcanzable por hora, el consumo de energía de la prensa y la calidad de las briquetas producidas dependen en gran medida de las propiedades de la materia prima (viscosidad, cohesión, tamaño y distribución de partículas, etc.) Las partes móviles, que generan la presión en contra de un molde, son de tornillos de rotación o pistones con movimiento de vaivén.

Normalmente, la producción por hora está limitada por el diámetro de la boquilla del extrusor. El tiempo del funcionamiento continuo depende del aumento de temperatura del equipo y el tiempo hasta que hay que pararlo antes de que se sobrecaliente.

a) Tornillo Extrusor

En una prensa de tornillo extrusor, un tornillo giratorio sinfín de forma cónica toma la materia prima de la biomasa a partir de la tolva y la compacta contra una boquilla que ayuda a la acumulación de presión en contra del tornillo. La fricción entre el material y el molde hacen que el material se caliente hasta 300° C, temperatura a la cual la lignina se moviliza como un aglutinante.

Una chaqueta de calentamiento alrededor de la boquilla puede facilitar el proceso.

La briqueta de leño largo sale en flujo constante de la boquilla y debe de ser cortada a la medida deseada. El tornillo sufre desgaste y la calidad del material del tornillo repercute sobre su vida útil. En algunos países en vías de desarrollo los extrusores pueden ser fabricados por artesanos locales.

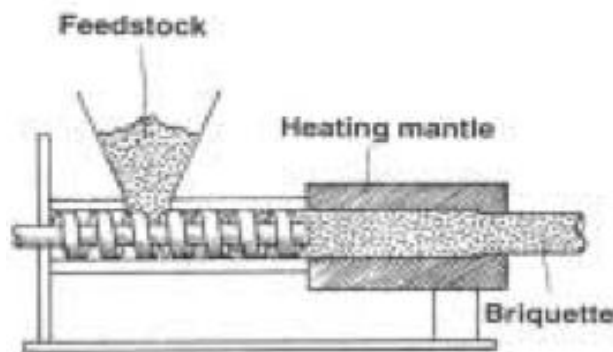


Figura y texto de:

http://www.gate-international.org/documents/techbriefs/webdocs/pdfs/e019e_2003.pdf, page 5.

Dependiendo de la forma de la boquilla, el leño resultante es cilíndrico o hexagonal. La briqueta producida típicamente tiene un agujero en el centro por el tornillo (centro hueco). De la torrefacción parcial de la biomasa por tostado a alta temperatura y la movilización de la lignina en la superficie, la briqueta se vuelve oscura y brillante en la superficie. Este tipo de briqueta se está popularizando mucho en áreas urbanas de Asia como Bangladesh.

Fotografía de Robert Heine (2010):

Venta de briquetas a bicicleta en Dacca, Bangladesh



Las briquetas de centro hueco se han utilizado en micro-gasificadoras, pero no hay resultados de pruebas de rendimiento ni se conocen las emisiones. Se espera que tengan un rendimiento un poco mejor que las briquetas compactadas por pistón que se describen a continuación. Se necesitan más pruebas para juzgar el comportamiento de este tipo de combustible en micro-gasificación.

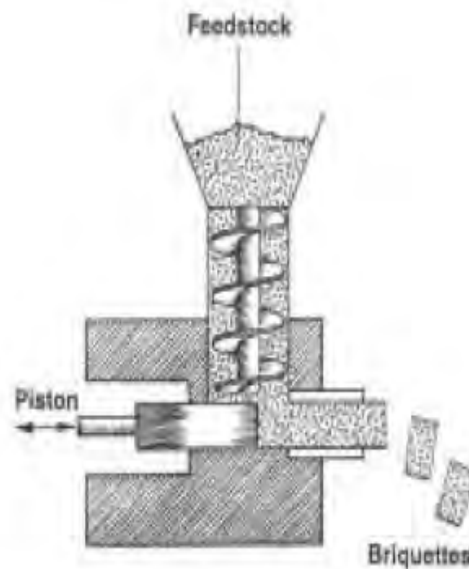
b) Prensas de Pistón

Un tornillo generalmente vertical transporta la materia prima a una zona de alimentación de la boquilla. Un pistón que se mueve horizontalmente, golpea la materia prima empujándola con alta presión desde la zona de alimentación hacia la boquilla. La prensa puede ser mecánica impulsada por una rueda u operada de manera hidráulica. La briketa es sólida (sin orificio central) y se desprende naturalmente por una capa menos densa entre cada bloque creado por el impacto del pistón. El producto tiene más bien forma de disco plano. Las prensas hidráulicas son muy pesadas, ya que el peso del aceite hidráulico se suma al peso total.

Para climas tropicales puede ser necesario agregar enfriadores de aceite para prevenir el sobrecalentamiento de la maquina, que también limita su tiempo de funcionamiento, ya que necesitan un descanso de enfriamiento cada par de horas. Las prensas de pistón sufren de menos desgaste que las de tornillo.

Fuente del diagrama:

http://www.gate-international.org/documents/techbriefs/webdocs/pdfs/e019e_2003.pdf.



Elaboración de briquetas de aserrín con una prensa hidráulica en la región de Karamoja, Uganda. Fotografía de Christoph Messinger

Conviene seleccionar proveedores de prensas según el continente y la disponibilidad de los servicios de mantenimiento. Los enlaces siguientes dan una selección de fabricantes alemanes de renombre con muy amplia experiencia en equipos hidráulicos para la fabricación de briquetas. Podrían servir como un punto de entrada para obtener una descripción más detallada del producto.

Gross, <http://www.gross-zerkleinerer.de/english/index-english.htm>

Ruf <http://www.rufbrikett.de/herstellung.php>.

Discusiones útiles de los equipos mecánicos versus hidráulicos tanto como para informarse sobre ventajas de pellets comparado con briquetas se puede encontrar en el sitio de un proveedor danés en <http://www.cfnielsen.com/briquetting.php?id=7>.

IV. Opciones para peletización⁷

En una prensa o extrusor de pellets, la materia prima se comprime a alta presión entre un rodillo y un molde de acero templado. Una de las partes está en movimiento mientras que la contraparte permanece inmóvil. La materia prima tiene que estar seca (10-16% de humedad) y finamente molido a tamaños más pequeños que el diámetro final de pellet. Los diámetros más comunes de los pellets son de 6 mm (tamaño estándar para alimentar calentadores automáticos en Europa) y 8 mm. Algunos maxi-pellets de 20 mm de diámetro están siendo probados en Alemania para su uso en micro-gasificadoras. No se necesita aglutinante mientras la lignina se disuelva bajo las altas presiones del extrusor. Los pellets salen de la máquina a altas temperaturas y con frecuencia deben dejarse enfriar antes de empacarlas. El rendimiento lo determinan tanto las propiedades de los combustibles, como el tamaño y área total de las boquillas (agujeros) en el molde. Por lo general hay una alta demanda de electricidad y esta aumenta con la producción por hora con la máquina, así como la resistencia de la materia prima. El material de madera rinde menor producción por hora en comparación con material suave, por lo tanto necesita más electricidad por kg de pellets producidos. Los principales tipos de pelletizadora se diferencian por el molde, sea plano o en forma de anillo.

a) Extrusores de molde plano

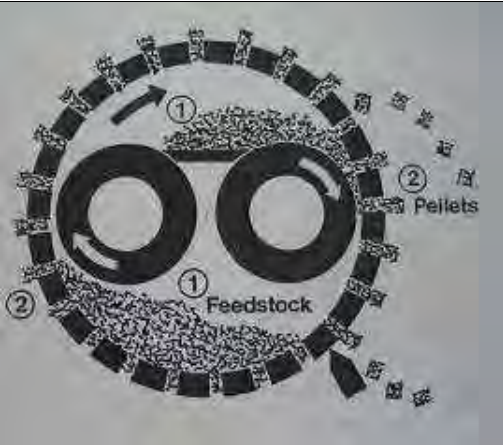
En un extrusor de molde plano común, los rodos se mueven y el molde estacionario es un disco plano de acero templado con un denso arreglo de boquillas normalmente colocado horizontalmente en la máquina, por lo que los pellets caen por gravedad. Ya que el molde es una pieza plana, su diámetro es el factor más determinante para el rendimiento del material. Los extrusores de molde plano rara vez superan los 1.000 kg por hora, de otra manera el diámetro del extrusor se vuelve demasiado grande.

⁷ Peletización origina de los esfuerzos de producir piensos densificados y homogéneos para ganado. En años recientes es que han surgido los pellets de aserrín de madera como la fuente número de energía limpia renovable de biomasa para calefacción en Europa, y creciendo en auge a nivel mundial.

	
Maxi pellets extruidos a través de agujeros de 20 mm por molde plano a un ritmo de 50-80 kg/h, según el material	Rodos de la Peletizadora de Ecoworxx empujando aserrín a través de los agujeros de un pequeño diámetro de 210 mm de un disco plano

b) Extrusores de molde anular

En un molde anular, el molde tiene forma de anillo y se mueve contra rodos fijos. Normalmente es utilizado en maquinas mas grandes con salidas mayores a 200 kg por hora. Las prensas de molde anular son generalmente más caras que las prensas pequeñas de molde plano pero pueden lograr mayores rendimientos por hora, ya que hay muchos más agujeros en las paredes exteriores del aro. La mayoría de las plantas de tamaño industrial utilizan extrusores de molde anular.

	
El molde está fijo mientras los rodos giran empujando la materia prima a través de los orificios laterales. Fuente: Reed/Bryant, Densified Biomass p. 9	Extrusor de molde anular de AgriconSA en acción. Fotografía de Christa Roth

La selección de equipo peletizador adecuado depende en gran medida de las especificaciones de la materia prima prevista y la escala prevista de la operación. Poca experiencia se ha reunido hasta ahora, por lo tanto es difícil hacer recomendaciones. Muchos pequeños peletizadores son fabricados en China. La vida útil de los moldes de China aún no se conoce bien, pero se sospecha que será la parte más vulnerable. Los peletizadores a menudo deben combinarse con molinos de martillo u otro equipo reductor para hacer que la materia prima llegue a su tamaño ideal.

Ecoworxx en Alemania comenzó en el 2010 a producir un peletizador todo-en-uno incluyendo picadora http://www.ecoworxx.de/index_en.html.

La maquina parece prometedora según las pruebas iniciales. Necesita poca electricidad de entrada (3 KWh), pero es trifásica. Algunos fabricantes de EE.UU. también tienen equipo monofásico que funcionan a 220 V por ejemplo, <http://www.pelletpros.com/id68.html> o <http://www.buskirkeng.com/>.

En el continente africano, en la actualidad el único fabricante conocido de equipo peletizador con alimentación auto-regulada (para evitar obstrucciones) es Agricon en Sudáfrica. Esta máquina está diseñada para usuarios menos especializados.

Tienen equipo de molde anular robusto de propósito agrícola y a gran escala. Para mayor información ver <http://www.agricon-pelleting.co.za>

Los pellets de aserrín son más densos que el agua, así que pellets no flotan, sino se hunden antes de deshacerse una vez sumergidas en el agua. Debido a su alta densidad han demostrado ser un combustible ideal para la micro-gasificación. Tienen propiedades de combustión muy homogéneas con mayor rendimiento por volumen. El carbón generado también promete buenas propiedades para usos consecuentes. En una prueba realizada por Christa Roth en Julio del 2010 en un gasificador hecho de latas, 200 gramos de pellets de madera de pino con un diámetro de 6 mm produjeron 55 g de carbón.



El volumen del carbón disminuyó a 50% del volumen inicial de los pellets. Tardó 120 minutos hasta consumirse la columna de combustible de 120 mm de altura. Ver más en <http://www.biochar.bioenergylists.org/content/how-many-sausages-can-you-grill-process-making-30g-biochar>

3.5 Resumen de beneficios de combustibles densificados para micro-gasificadoras

	Ventajas	Desventajas
Para el usuario	- Manejo fácil y limpio - Más calor por carga o mayor periodo de cocción con el mismo tamaño y volumen del recipiente - Menos tareas de manipulación - Rendimiento predecible - Propiedades uniformes - Mejor capacidad de almacenamiento (fácil de apilar) - Menos espacio necesario para almacenamiento - Menos humedad - Combustible listo para ser utilizado (como carbón vegetal) - Menos problemas de transporte - Menos costos de transacción - Menos cantidad de insectos en el combustible	- Los combustibles densificados son más caros que el combustible natural
Para el productor	- Valor agregado al material de residuo de biomasa - Reducción de necesidades de transporte	- Costos iniciales de equipo - Los que recolectan la biomasa para combustible quizás no puedan participar en la cadena de valor (por su estatus socio-económico bajo)
Para el ambiente	- Se puede aprovechar la biomasa demasiado pequeña para uso como combustible tradicional, reduciendo la presión sobre el bosque - Menos incendios espontáneos por montículos de residuos - Manejo de residuos: botaderos no monitoreados se convertirán en minas de combustible, reduciendo emisiones de Metano - Mejor producción de biochar a partir de combustibles densificados.	- Fertilidad del suelo puede sufrir al no recibir ingreso de materia orgánica usada como combustible. Sin embargo, este efecto se puede remediar agregando biochar y / o ceniza para devolver nutrientes al suelo.

Edición y publicado por:

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

HERA – Poverty-oriented Basic Energy Services

(Abastecimiento básico de energía orientado a la pobreza)

Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5

65760 Eschborn

T +49 6196 79 1361

F +49 6196 79 80 1361

E hera@giz.de

I www.gtz.de/hera

Anexos

Anexos para el Modulo 3

A continuación se presentan algunos cálculos aproximados para demostrar la magnitud de la energía necesaria para hacer frente a la humedad del combustible:

Se requiere de (1 Megajoule MJ) de energía para convertir 1 kg de madera seca en carbón, pero se requiere mucha más energía si la madera tiene un mayor contenido de humedad.

El cálculo se basa en las siguientes suposiciones:

Se necesita 0.00417 MJ para calentar 1 kg de agua en 1 ° C (= 4.186 Jules por gramo y 1 ° C)

Se necesita 0.33 MJ para calentar 1 kg de agua por 80 ° desde 20 ° C al punto de ebullición a 100 ° C

Se necesita 2.25 MJ para evaporar 1 kg de agua, es decir, llevarlo desde su estado líquido por debajo del punto de ebullición a la fase de vapor por encima del punto de ebullición.

Se necesita 0.63 MJ para calentar 1 kg de vapor de agua de 100 ° C a 400 ° C.

Conclusión: cada kg de agua contenida en un combustible lleva hasta 3,21 MJ de energía con ella cuando sale como vapor.

Imaginemos dos cargas de madera del mismo tamaño de 2 kg con diferentes contenidos de humedad para ver la diferencia de energía necesaria para convertir las dos cargas en gas- madera y carbón:

Entrada en la carga: 2kg de	Madera secada en horno	Madera recién cortada
Contenido de humedad en %	0%	50%
Kg de biomasa seca contenida	2kg	1kg
Kg de agua contenida	0kg	1kg
Energía necesaria para evaporar agua	0 MJ	3,21 MJ
Energía necesaria para convertir madera en carbón	2 MJ	1 MJ
Energía Total para convertir la carga de leña en carbón	2 MJ	4,21 MJ
Energía calculada por 1Kg de biomasa seca	1 MJ	4,21MJ

Conclusión: Una parte importante de la energía generada mediante la combustión de combustible se pierde debido a la humedad.

Cuanto mayor sea el contenido de humedad del combustible, mayor será la pérdida de energía por evaporación y menor será el valor energético del combustible disponible para su uso previsto como por ejemplo para calentar una olla.

Para el capítulo 3.2.3: La densidad de apilamiento

El método de apilamiento de combustible en un recipiente también influye en los huecos de aire en el medio, que determina el paso del gas y la energía por unidad de volumen. Según los datos de <http://www.ruf-brikett.de/quality.php?lang=en>, la diferencia de la masa que cabe en un metro cubico puede ser considerable:

380 kg/m³ para la madera blanda sólida, sin espacios de aire

323 kg/m³ de troncos astillados de 33 cm de longitud cortados y cuidadosamente apilados, incluyendo los espacios vacíos.

270 kg/m³ de madera redonda con 1m de longitud apilada con los espacios vacíos.

190 kg/m³ de troncos partidos y sueltos de 33 cm de longitud, no apilados sino vertidos.

'Bono': BIOCHAR

La capacidad de los gasificadores pirolíticos para producir carbón vegetal ("biochar") como subproducto de la generación de calor está ganando un creciente interés, a medida que el debate sobre el cambio climático provoca la búsqueda a nivel global de sistemas de bio-energía con un balance negativo de carbono. Si el carbón creado no se utiliza para fines térmicos que lo convierten en dióxido de carbono, sino que se utiliza como 'abono' para mejorar suelos y aumentar la producción agrícola, se puede fijar el carbono a largo plazo.

Este enfoque elimina el carbono proveniente del carbón vegetal del ciclo atmosférico del carbono por cientos de años. Los gasificadores y el biochar están llamando la atención por los recientes debates controversiales acerca de los bio-combustibles y la necesidad de crear un equilibrio entre los alimentos y los combustibles para asegurar la nutrición de la población en rápido crecimiento. La siguiente figura da una visión simple del bio-carbón:

Biochar Simplificado (fuente <http://terrapreta.bioenergylists.org/>)

¿Cómo las estufas productoras de carbón pueden beneficiar el clima, la salud y el suelo?

Por Kelpie Wilson, Editor de Comunicaciones de International Biochar Initiative (IBI)

Hay muchos desafíos que enfrentan los diseñadores de cocinas que están ayudando a traer tecnologías de cocción más limpias para millones de personas que aún cocinan a fuego abierto.

Al mismo tiempo, hay muchos objetivos que tienen que cumplir las estufas además de aire limpio en la cocina y la reducción de tanto emisiones de gases de efecto invernadero como deforestación. Los nuevos objetivos también incluyen la generación de electricidad con generadores termoeléctricos (GET) y la producción de biochar para aplicar al suelo y el secuestro de dióxido de carbono de la atmósfera. Las estufas pirólíticas pueden producir biochar, además de calor para cocinar y otros usos. El carbón tiene muchos usos, pero quizás el más beneficioso es agregarlo a la tierra como biochar.

El biochar o bio-carbón es carbón con características medibles por lo que es adecuado para mejoras al suelo. En casi todos los casos, el carbón producido en estufas pirólíticas domésticas es adecuado para la aplicación al suelo, sea directa o en combinación con nutrientes tales como compost u orina. El bio-carbón puede liberar a pequeños productores de la necesidad de comprar fertilizantes, aumentando la seguridad alimentaria. El bio-carbón también puede ayudar con el saneamiento de diferentes maneras: se puede utilizar para filtrar el agua y para procesar desechos humanos en abono o fertilizante.

Finalmente, el bio-carbón es muy recalcitrante, su vida media en el suelo está estimada en cientos incluso hasta miles de años. El bio-carbón puede almacenar carbono derivado de biomasa en el suelo, lo que resulta en una reducción neta de CO₂ de la atmósfera. De acuerdo con un reciente estudio de alternativas de geo-ingeniería (Lenton y Vaughan 2009) el bio-carbón potencialmente puede secuestrar alrededor de 400 millones de toneladas de carbono durante el próximo siglo, lo que reduciría las concentraciones atmosféricas de CO₂ en 37 partes por millón¹.

¿Qué es el Bio-carbón y cómo funciona?

El bio-carbón se encuentra en suelos de varias partes del mundo como consecuencia de los incendios de vegetación y prácticas históricas de manejo de suelos extensamente utilizado en el Amazonas, dónde se conoce como Terra Preta. Japón también tiene una larga tradición del uso de carbón en el suelo que se ha revivido en los últimos 20 años en países como Costa Rica y otros. Investigaciones científicas en suelos históricos de Terra Preta en el Amazonas, junto con ensayos de campo y de efecto invernadero han llevado a una apreciación más amplia de las propiedades únicas del bio-carbón como enmienda del suelo.

El Bio-carbón tiene factores físicos, químicos y biológicos que interactúan para producir un impacto beneficioso en los suelos. Físicamente, el bio-carbón es una forma de

¹El biocarbón es carbón creado por pirólisis de la biomasa, y se diferencia del carbón convencional sólo en el sentido de que su uso principal no es para el combustible, pero para el secuestro biológico o captura de carbono de la atmósfera y almacenamiento en el suelo (fuente <http://en.wikipedia.org/wiki/Biochar>)

carbono en el suelo con una estructura altamente porosa que resulta en una gran cantidad de superficie donde los nutrientes pueden ser adsorbidos y pueden llevarse a cabo intercambios químicos. También es muy recalcitrante (no fácilmente oxidado o metabolizado por microorganismos). Los suelos que han sido modificados con bio-carbón tienen mayor capacidad de retención de agua en condiciones de sequía, han reducido la densidad aparente, y retienen el aire y otros gases. Los poros en el bio-carbón proporcionan un hábitat adecuado para muchos microorganismos, protegiéndolos de los depredadores y el secado mientras que proporciona muchas de sus diversas necesidades nutricionales y energéticas. Los estudios de Terra Preta muestran un aumento dramático en la biodiversidad del suelo en comparación con suelos tropicales adyacentes no mejorados, sin enmiendas de bio-carbón.

Estudios recientes han indicado que la incorporación de biochar en el suelo reduce emisiones del óxido nitroso (N_2O) y aumenta la absorción del metano (CH_4) de los suelos. El metano es 20 veces más eficaz en atrapar el calor en la atmósfera de CO_2 , es decir el metano contribuye 20 veces más al efecto invernadero que el CO_2 , mientras que el óxido nitroso contribuye quizás 310 veces más que el CO_2 . Aunque los mecanismos de estas reducciones aún no se entienden completamente, es probable que una combinación de factores bióticos y abióticos esté involucrada, y estos factores pueden variar según el tipo de suelo, clima, uso del suelo, y las características del bio-carbón.

Una mejor comprensión del papel de bio-carbón en la reducción de los distintos gases de efecto invernadero (GEI) promoverá su incorporación en estrategias de mitigación del cambio climático.

El bio-carbón puede ser una herramienta importante para aumentar la seguridad alimentaria y la diversidad de las tierras de cultivo en las zonas con suelos muy agotados, recursos orgánicos escasos y suministros inadecuados de agua y fertilizantes químicos. El bio-carbón es una oportunidad única para mejorar la fertilidad del suelo a largo plazo utilizando materiales disponibles localmente. Con el fin de obtener beneficios para los suelos, cada año se añaden compost, estiércol y / o agroquímicos en cierta dosificación a los suelos, o por si solo en combinación. Las tasas de aplicación de estos abonos pueden ser reducidas cuando se encuentra bio-carbón en el suelo. El bio-carbón se mantiene en el suelo, y las aplicaciones singulares pueden continuar a proporcionar beneficios durante muchos años.

El reconocimiento internacional del potencial del Bio-carbón para mitigar el clima y la seguridad alimentaria

En 2008 y 2009, previo a la reunión de Copenhague sobre el clima, varios países y la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (UNCCD) formularon alegaciones en apoyo del bio-carbón a la UNFCCC. Los países son Micronesia, Belice y un consorcio de los gobiernos de África (hechas por Suazilandia, en nombre de Gambia, Ghana, Lesotho, Mozambique, Níger, Senegal, Tanzania, Uganda, Zambia y Zimbabwe). La presentación de Belice sugirió la necesidad de desarrollar líneas base mundiales de reservas de carbono del suelo, y un sistema de monitoreo que permitirá medir el mejoramiento del carbono del suelo basada en el uso de bio-carbón como mejoramiento del suelo para la mitigación y adaptación, en el marco del Mecanismo de Desarrollo Limpio existente (MDL) y en otros mecanismos que pueden ser considerados en el futuro. La presentación conjunta por el consorcio de los gobiernos africanos señalaron el deseo de incluir el potencial de los suelos de secano en el secuestro de carbono, incluso con el uso de bio-carbón. La presentación destacó los vínculos intrincados entre el cambio climático y las sequías frecuentes y graves,

degradación de la tierra y la desertificación y su impacto particular en los países en vías de desarrollo, los habitantes pobres y vulnerables de las zonas áridas. La presentación de los Estados Federados de Micronesia señaló que el bio-carbón también tiene un gran potencial de 'inicio rápido' en la estrategia para mitigar el cambio climático en el futuro inmediato a corto plazo. Por ejemplo, la sustitución de estufas tradicionales de emisiones altas por micro-gasificadoras pirolíticas de emisiones bajas que producen bio-carbón puede reducir las emisiones de hollín y el impacto de partículas negras tanto en el calentamiento de la atmósfera como los cambios en el albedo de los glaciares que resulta de la deposición de hollín. A la vez estufas más limpias pueden proteger la salud y la productividad de las personas. Habrá un ahorro doble de las estufas que producen carbón en comparación con las estufas que utilizan carbón y emiten partículas negras de carbón.

Además, tanto la FAO y el PNUMA han anunciado licitaciones que potencialmente apoyarían el bio-carbón. La Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO) realizó una presentación a fondo sobre el secuestro de carbono en el suelo por biochar como una tecnología de mitigación científicamente válida y reconocida previamente, la que debe ser adoptada y habilitada en el proceso post-2012.

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) también tiene una presentación que apoya el aumento del secuestro de carbono a través de mejor uso de la tierra y la reducción de la degradación del suelo.

El Compendio de Ciencia de Cambio Climático del PNUMA de 2009, (una revisión de 400 grandes contribuciones a la comprensión del clima publicadas en la literatura científica desde el cierre de la investigación, a ser examinadas por el Informe de Evaluación del IPCC), destaca al bio-carbón como "un enfoque innovador para el secuestro de carbono en el suelo" que "puede ofrecer una manera de bajo riesgo y muy eficaz para mitigar el cambio climático y reponer la fertilidad de la tierra". Si bien se reconoce que el impacto del bio-carbón en la fertilidad del suelo aún no es completamente entendido y se necesita más investigación, el informe señala: Sin embargo, los agricultores están avanzando en el uso de bio-carbón, debido a su capacidad de revitalizar suelos degradados.

La rápida adopción de biochar en África y otros lugares

La ciencia del bio-carbón como esfuerzo moderno es todavía muy nueva. Aunque existen ensayos científicos de campo en curso que han mostrado buenos resultados, solamente existen datos de pocos años. Sin embargo, la necesidad de soluciones a las crisis actuales de seguridad alimentaria, energía y clima, han incentivado a muchos individuos, organizaciones y empresas a explorar el potencial del bio-carbón, iniciando amplios proyectos piloto.

Uno de los proyectos más exitosos es el trabajo del Fondo de Bio-carbón (Biochar Fund) en Camerún, con los agricultores pobres que muchas veces ganan menos de \$ 300 al año a partir de sus cultivos. Un ensayo de campo de 2009 que involucra a cientos de campesinos trabajando 75 parcelas diferentes de prueba mostró que la adición de bio-carbón, en aplicaciones de 10 o 20 toneladas por hectárea era tan eficaz en aumentar los rendimientos como la utilización de fertilizantes químicos. Los agricultores informan que están satisfechos con el resultado y están muy entusiasmados en continuar el experimento.

En Haití después del terremoto de Enero 2010 hay varios esfuerzos con el uso del bio-carbón dirigido a la restauración de cuencas hidrográficas y mejorar la calidad del suelo. Otro ejemplo del uso de bio-carbón es el de una Asociación de Agricultores Orgánicos (APODAR) en Costa Rica. Los 26 miembros abastecen las principales cadenas de

supermercados con vegetales orgánicos. Todos los agricultores han estado utilizando carbón vegetal con bokashi, un inoculante microbiano desarrollado en Japón, para su producción orgánica en los últimos 15 años. La productividad mediante el uso de estos métodos orgánicos es comparable a la productividad de las granjas convencionales y la tecnología se está extendiendo a otros países de Centro América.

El Bio-carbón da a los agricultores pobres una alternativa de auto-suficiencia para los costosos fertilizantes que deben ser transportados en camiones.

Una vez que conocen las técnicas para el uso de biochar, la única barrera restante es la tecnología para producir bio-carbón de manera limpia y eficiente de los residuos agrícolas y biomasa de otras fuentes. La elaboración y difusión de las estufas y hornos pirolíticos que producen carbón vegetal es una tarea que debe llevarse a cabo con el fin de aprovechar todo el potencial del bio-carbón.

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

HERA – Poverty-oriented Basic Energy Services

Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5

65760 Eschborn

T +49 6196 79 1361

F +49 6196 79 80 1361

E hera@giz.de

I www.gtz.de/hera