

Principios de diseño para estufas de cocción con leña



Aprovecho Research Center
Shell Foundation
Partnership for Clean Indoor Air

La Alianza para Aire Limpio Intradomiciliario (descrito aquí como Alianza o PCIA por sus siglas en inglés, “Partnership for Clean Indoor Air”) fue establecida por la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos y otros socios principales de la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible en Johannesburgo en septiembre 2002, para mejorar la salud, el sustento y la calidad de la vida al reducir la exposición a la contaminación del aire intradomiciliario, sobre todo entre mujeres y niños, debido al uso de combustible en la casa. Más de 95 organizaciones están trabajando juntas para aumentar el uso de prácticas limpias, confiables, comprobables y eficientes de cocción y calefacción en el hogar, que reduzcan la exposición de la gente a la contaminación del aire intradomiciliario en países en vías de desarrollo. Para más información, o para unirse a la Alianza, visite www.PCIAonline.org.

Este documento fue desarrollado por el Centro de Investigaciones Aprovecho gracias a una subvención de la Fundación Shell para proporcionar ayuda técnica a los proyectos de energía casera y de la salud y asegurar que sus diseños representan la mejor práctica técnica. Los autores principales de este folleto incluyen al Dr. Mark Bryden, a Dean Still, Peter Scott, Geoff Hoffa, Damon Ogle, Rob Balis y Ken Goyer.

La contaminación del aire intradomiciliario causa serios problemas de salud para 2 mil millones de personas en todo el mundo que usan biocombustibles tradicionales para sus necesidades de cocción y calefacción. En los últimos 30 años, han crecido los conocimientos sobre el costo ambiental y social del uso de combustibles tradicionales y de estufas, y los conocimientos sobre formas de reducir las emisiones de estas estufas. No obstante, las estufas mejoradas actualmente disponibles a los clientes más pobres no siempre representan la mejor práctica o un concepto del diseño que se base en la ingeniería moderna. El conocimiento requerido para diseñar estufas más limpias existe en centros de excelencia en diferentes lugares del mundo. Brindar esta información a los que promueven estufas mejoradas es un primer paso necesario a la hora de reducir la exposición por parte de los usuarios de estufas al aire intradomiciliario contaminado.

Aprovecho es un centro de investigación, experimentación y educación en tecnologías alternativas que son ecológicamente sostenibles y culturalmente sensibles. El laboratorio de Estudios Avanzados en Tecnología Apropiada de Aprovecho se esfuerza en desarrollar tecnologías de bajo consumo energético, no contaminantes y renovables que reflejan la investigación actual pero que se diseñan para fabricarse en cualquier país. El centro está situado en un hermoso terreno de 40 acres cerca de Eugene, Oregon. Para más información sobre Aprovecho, visite www.Aprovecho.net.

Ilustraciones: Mike Van, Jayme Vineyard y Ethan Hughes

Principios de diseño para estufas de cocción con leña

Dr. Mark Bryden, Dean Still, Peter Scott, Geoff Hoffa, Damon Ogle, Rob Bailis, Ken Goyer

Contenido

Introducción 5

Capítulo 1 - Teoría de estufas 7

Capítulo 2 - Diez principios de diseño..... 12

Capítulo 3 – Diseñar estufas con Baldwin y Winiarski..... 17

Capítulo 4 - Opciones para cámaras de combustión26

Capítulo 5 - Prueba en el campo de ebullición de agua 30

Apéndice – Glosario de términos37

Introducción

Estrategias comprobadas

La contaminación del aire intradomiciliario afecta la salud de los 2 mil millones de personas que se sirven de biocarburantes para cocinar y calentar sus casas. En los últimos 30 años, hay una mayor conciencia del costo social y ambiental del uso de combustibles y de estufas tradicionales. Al mismo tiempo, los estudios del problema han resultado en estrategias comprobadas que reducen el uso de combustible y las emisiones dañosas.

Lastimosamente, las estufas usadas actualmente no siempre representan los diseños mejores que ofrece la ingeniería moderna. Este folleto intenta examinar el problema al compendiar algunos de los avances en la teoría y el diseño de estufas. Poder comprender estos conceptos es útil para los administradores de proyectos de estufas, los políticos, los trabajadores en el campo de asistencia global y para las mismas cocineras que usan sus estufas diariamente.

Aunque los fuegos abiertos suelen malgastar el combustible, cuando se realizan cuidadosamente en pruebas de laboratorio, estos fuegos han demostrado que se pueden quemar en forma eficaz y limpia. En muchos casos, las cocineras no se preocupan demasiado del tipo de combustible y los estudios han demostrado que los fuegos abiertos de tres piedras pueden usar una cantidad excesiva de madera para cocinar una pequeña cantidad de comida. Pero en otros lugares, donde los materiales combustibles son más escasos, los fuegos abiertos pueden ser controlados cuidadosamente y su eficiencia rivaliza con las estufas cocineras de primera generación.

La diferencia reside en la manera de controlar el fuego abierto y en el uso de otras herramientas. En los años 70 y a principios de los años 80, los fuegos abiertos solían definirse como esencialmente ineficientes. Pero fue al analizar el fuego abierto que los investigadores lograron desarrollar estufas realmente mejoradas. El Dr. Grant Ballard-Tremeer y el Dr. Kirk Smith fueron los primeros

científicos en descubrir que el fuego de tres piedras podía ser más eficiente y más limpio en combustión que algunas estufas “mejoradas”.

Teniendo en mente que las tecnologías indígena se han desarrollado sobre incontables años de experimentación y son de gran valor, ha cambiado la perspectiva de los científicos que lidian contra las causas del sufrimiento humano. Observar las formas en las que los expertos realizan un fuego abierto ha enseñado a los ingenieros a diseñar estufas todavía más avanzadas. Las estufas modernas para cocinar se han diseñado primariamente para lograr una combustión más limpia. Se puede después forzar el calor contra la olla sin aumentar las emisiones nocivas.



Un fuego puede arder y ser limpio cuando

Figura 1- Fuego abierto tradicional

cocineros expertos meten la leña poco a poco en el fuego, midiendo el combustible. El fuego abierto puede ser un fuego ardiente, útil cuando hay que preparar la comida o la bebida rápidamente. El calor pasa a la olla en vez del cuerpo frío de una estufa. Incluso, el fuego abierto puede quemar madera sin producir mucho humo ya que; los fuegos calientes queman humo mientras sale de la madera. No obstante y desgraciadamente, muchos de los fuegos para cocinar se hacen enfocando la sencillez y terminan por malgastar y contaminar.

En el laboratorio, las estufas modernas ganan más puntos que cualquier fuego abierto, aunque estos se realicen bien. Una buena estufa ofrece otros beneficios además de ahorrar leña o reducir el humo. La manera en que la estufa cocina la comida es típicamente la calidad más apreciada por los que las usan.

Es posible que con las estufas mejoradas sea más fácil, seguro y rápido cocinar con leña, además de contribuir a la belleza de la cocina. Una buena estufa es más fácil de prender, requiere poco mantenimiento mientras quema y satisface las necesidades de la cocinera. Un diseño exitoso es una mejora bienvenida en la calidad de vida lo cual suele tener mayor importancia que los puntos obtenidos en una prueba de laboratorio.

Décadas de investigación

Un gran número de investigadores ha contribuido a un entendimiento moderno de la termodinámica de estufas de cocina. El estudio científico de estufas de leña ha llegado a un punto en el que existe un gran consenso acerca de la manera en que funciona esta tecnología. El Dr. Larry Winiarski ha estudiado la combustión y la cocina con leña por más de 30 años y ha ayudado a diferentes organizaciones a construir miles de estufas en países de todo el mundo. El Dr. Winiarski es el Director Técnico del Centro de Investigación Aprovecho, donde las estufas han sido el mayor tema de estudio desde 1976. El equipo de la Universidad Eindhoven, dirigido por el Dr. Krishna Prasad y que incluye al Dr. Verhaart y al Dr. Visser, experimentó con estufas de leña durante más de diez años y publicó libros fundamentales sobre el tema. El Dr. Samuel Baldwin resumió años de experiencia en África occidental y en laboratorios con su libro extenso, *Biomass Cookstoves: Engineering Design, Development and Dissemination (1987)* (*Estufas con biocarburantes: ingeniería del diseño, elaboración y distribución*).

El primer capítulo, *Teoría de estufas*, delinea la labor de estos investigadores destacados y ofrece estrategias que un diseñador de estufas puede usar para mejorar una estufa.

El segundo capítulo, *Diez principios de diseño*, detalla la síntesis de diseño que ha creado el Dr. Larry Winiarski.

Los capítulos tres y cuatro, *Diseñar estufas con Baldwin y Winiarski* y *Opciones para cámaras de combustión*, contiene información técnica de apoyo para el diseñador encargado de elaborar un proyecto de estufa.

Y finalmente, el capítulo cinco, *Prueba en el campo de ebullición de agua*, provee a diseñadores un método para medir en el campo el rendimiento de prototipos de estufas a medida que se elaboran. Esta prueba no requiere ordenador ni cálculos complicados para analizar datos.

Respeto por los conocimientos locales

Esperamos que los siguientes principios de diseño ayuden en un proyecto, poniendo el énfasis en el respeto y la inclusión de técnicas y tradiciones locales. La sensibilidad y la apreciación de los conocimientos locales apoyan el intercambio de información, aprendiendo de la pericia de la gente local y de su tecnología mientras se comparten conocimientos.

Se espera que la diseminación de principios de diseño sea más inclusiva que la promoción de un diseño de estufa estático. La literatura frecuentemente muestra que la creatividad local es apropiada en cada parte de un proyecto de estufa. Sin la información de la comunidad que usará la estufa, un proyecto no dispondrá de los conocimientos necesarios para tener éxito.

Todos los miembros de un comité de diseño, incluyendo a cocineras, artesanos, administradores, organizadores y asesores técnicos, pueden fácilmente aprender los principios de diseño de estufas. El poder de invención y la experiencia práctica del equipo entero son vitales a la hora de crear un producto que satisface las necesidades y los gustos locales.

La autonomía que brinda el proceso de diseño puede servir de inspiración para que la población local pase a capacitar, promover, diseñar y fabricar. Los técnicos suelen descubrir información valiosa sobre el diseño, la fabricación y la promoción por parte de la población local y aprenden a la par de enseñar. Quizá la conclusión que dice que los proyectos probablemente tendrán éxito cuando todas las partes interesadas ayuden a crear una estufa refleja la esperanza que una mejor representación creará soluciones a los problemas sociales de mayor envergadura.

Capítulo 1

Teoría de estufas

Hasta un fuego abierto alcanza 90% de eficacia a la hora de convertir madera a calor. Pero sólo una proporción pequeña, de 10% a 40% del calor producido, llega a la olla. Mejorar la eficiencia de la combustión no parece resultar en que la estufa use menos combustible. Por otra parte, mejorar la eficiencia del intercambio térmico a la olla resulta en una gran diferencia.

Mejorar la eficiencia de combustión es necesario para reducir el humo y las emisiones dañinas que perjudican a la salud. Mejorar la eficiencia del intercambio térmico puede seriamente reducir el uso de combustible. El fuego es naturalmente eficaz, pero las ollas no capturan el calor tan bien porque pasan el calor ineficientemente. Para poder reducir las emisiones y el uso de leña, *el diseñador de estufas se esfuerza principalmente en que el fuego queme más limpiamente y luego en que la mayor cantidad posible de calor pase a la olla o la plancha.* Ambas funciones pueden ser realizadas en un fogón bien concebido.

Es siempre mejor añadir una chimenea en cualquier fogón de cocina o de calefacción que queme madera. Además, es preferible utilizar una estufa que quema más limpiamente con el fin de proteger la calidad del aire dentro y fuera de la casa. Las chimeneas que captan y eliminan el humo y otras emisiones del espacio habitable protegen a familias al reducir la exposición a contaminantes y otros peligros a la salud. Inclusive las estufas que queman más limpiamente pero sin chimenea pueden crear niveles malsanos de contaminación intradomiciliaria.

Las estufas que no están ventiladas deberían utilizarse al exterior o en zonas abiertas. Cuando las chimeneas no se pueden costear o no son prácticas, se puede instalar una campana encima del fuego, abrir ventanas o crear rejillas de ventilación en el techo debajo de los aleros para reducir los niveles de contaminación nociva. El uso de una estufa que quema limpiamente también puede ser útil desde

este punto de vista pero, si es posible, todas las estufas que queman leña deberían tener una chimenea que funcione.

¿Cómo diseñar una estufa que mejora el diseño de un fuego abierto? Primero, hagamos una lista de las ventajas que tiene un fuego de tres piedras comparado con algunas estufas:

- ▶ El calor del fuego no se absorbe por la masa de un cuerpo de una estufa. Las Estufas de alta masa pueden absorber el calor que podría haber sido para la olla. Un fuego de tres piedras suele hervir agua con rapidez.
- ▶ El fuego pega contra la base y a veces contra los lados de la olla, exponiendo mucho de la olla al calor.
- ▶ Es posible meter los palos de leña en incrementos apropiados mientras las puntas queman, ayudando a tener una combustión completa.
- ▶ Un fuego abierto con suficiente calor quema relativamente limpiamente. Toda estufa sufre porque su masa absorbe el calor. Pero una estufa mejorada sigue realizando una mejor combustión y eficiencia que un fuego abierto.

Como mejorar la combustión

(Tener menos polución dañina comparado con un fuego abierto)

- ▶ Asegúrese que circula suficiente aire por el fuego.
- ▶ Aísle el fuego para que queme más caliente. Un fuego más caliente quema más gases combustibles y produce menos humo.
- ▶ Evite usar materiales pesados o fríos como la tierra o la arena alrededor de la cámara de combustión.
- ▶ Levante la leña que está quemando para que el aire pueda pasar por debajo y por el carbón.

- ▶ Use una chimenea corta y aislada encima del fuego para que aumente la corriente de aire y para que haya un lugar donde se combina el humo, el aire y el fuego, lo cual reduce emisiones. Esta estrategia es popular en varias estufas, como las estufas Z-stove, Vesto, Estufa Tom Reed, Rocket, Tso Tso, etc. El grupo Eindhoven utilizó una chimenea con la estufa que más limpiamente quemó fuego. Micuta fabricó estufas incorporando esta misma idea (*Modern Stoves for All [Estufas modernas para todos]*, 1981). Winiarski desarrolló el concepto a principios de los años 80, creando una estufa cuya combustión es más limpia y con mejor eficiencia del intercambio de calor.
- ▶ Meta los palos poco a poco en la cámara de combustión para crear un fuego caliente, feroz, y vivo sin mucho carbón. Este tipo de fuego producirá menos emisiones peligrosas, menos hollín que termina tapando la chimenea y menos creosota. Caliente sólo la parte de la madera que quema. No deje que la madera que no esté quemando produzca humo.
- ▶ Limite la cantidad de aire frío que entra en la cámara de combustión al crear la abertura al fuego lo más pequeña posible. Las aberturas más pequeñas también hacen que las cocineras usen menos leña y que ésta se quemara más eficientemente.
- ▶ Una cierta cantidad de aire es necesaria para obtener una combustión completa. El precalentamiento del aire que entra ayuda mantener limpia la combustión.

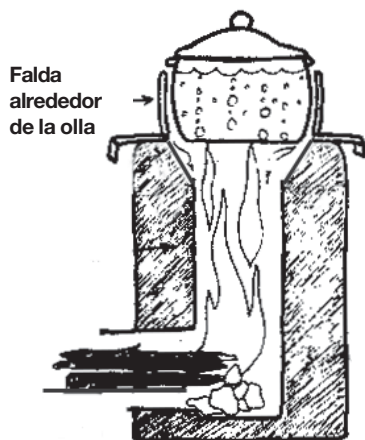


Figura 2 - Uso apropiado de una falda

Como mejorar la eficiencia del combustible

(Aumentar el calor de la olla)

- ▶ Aumente la temperatura del gas o de la llama que toca la olla, haciendo que el calor roce la base y los lados de la olla por un canal angosto, mediante una “falda” que atrape el calor contra la olla.
- ▶ Aumente la velocidad de los gases calientes que salen por la chimenea y rozan la olla. Los gases veloces penetran un estrato de aire quieto que, cuando la velocidad es más baja, puede prevenir que los gases toquen la superficie de la olla o plancha. El aire es un medio inferior para el intercambio térmico. Calentar una olla requiere bastante aire caliente.
- ▶ Utilice ollas de metal en vez de ollas cerámicas.
- ▶ El poder del fuego determina el tamaño del espacio entre la falda y la olla, así como la eficiencia óptima del intercambio de calor. *Los fuegos más pequeños* que sirven para cocinar y que satisfacen al que cocina serán considerablemente más eficientes.
- ▶ Utilice ollas anchas con diámetros grandes. El uso de una olla ancha crea más superficie y aumenta el intercambio térmico. Asegúrese que la parte superior de la estufa se inclina hacia el perímetro exterior de la olla, tal como lo muestra la figura 2.

“*Biomass Stoves: Engineering Design, Development, and Dissemination (Estufas con biocombustibles: la ingeniería del diseño, la elaboración y la distribución)*, 1987”, por Sam Baldwin es un buen resumen de las formas de fabricar estufas mejoradas. Es una obra altamente recomendada. El Dr. Baldwin averiguó la relación entre el tamaño del canal entre la falda y la olla, la intensidad del fuego y la eficiencia. Aquí presentamos unos ejemplos usando una olla de tamaño familiar:

1. Un fuego de 1,7 kW con un canal de 6mm que obliga a los gases calientes a rozar 15cm de la de la olla tendrá una eficiencia de 47%.

2. Un fuego de 4 kW con un canal de 10mm que obliga a los gases calientes a rozar 15cm de la olla tendrá una eficiencia de 35%.
3. Un fuego de 6 kW con un canal de 12mm que obliga a los gases calientes a rozar 15cm de la olla tendrá una eficiencia de 30%.
4. Un fuego de 8 kW con un canal de 14mm que obliga a los gases calientes a rozar 15cm de la olla tendrá una eficiencia de 26%.

Como recomendación general, Baldwin aconseja que una estufa de familia que quema menos de un kilo de madera por hora tenga un canal de 10mm entre la falda y la olla. Si la estufa quema 1,5 kilos por hora, el canal debe ser de 12mm. Si 2 kilos de madera se queman por hora, el canal debe ser de 14mm. Por favor lea “*Biomass Stoves*” para obtener más información.

En estufas de leña, se transfiere mucho calor a la olla o a la plancha por convección. El poder del fuego, (la cantidad de leña quemada por hora) y el tamaño del canal son relacionados. Si el espacio entre la falda y la olla es muy angosto, no hay suficiente corriente y el humo se llena en el hogar.

Aumente el intercambio térmico a la olla al asegurar que la temperatura de los gases que pasan por la estufa sea lo más alta posible. Debe aislar al exterior de todos los espacios por donde viajan los gases, menos debajo de la olla o la plancha. Si hay suficiente superficie dentro de la estufa donde pueda rozar el calor, los gases que salen de la chimenea saldrán más fríos. Si la temperatura del aire que sale de la chimenea es más de 200 centígrados, aumente la superficie dentro de la estufa para poder utilizar más calor. Lo más seguro es que las ollas o las planchas secundarias cerca de la chimenea nunca hervirán agua, pero sí ayudan a calentar la comida, el agua para lavar platos o para bañarse.

Una falda en la olla también asegura que entra más calor a la olla al forzar los gases a que sigan rozando los lados de la olla después de rozar la base.

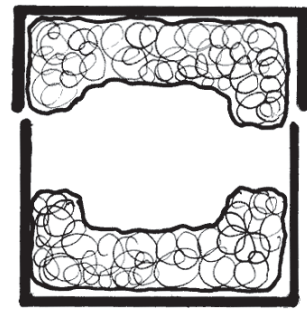


Figura 3 - Vista superior de la caja

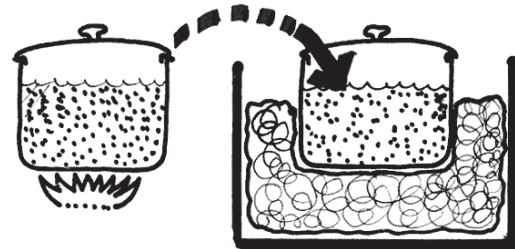


Figura 4 - Poner la olla en el aislante

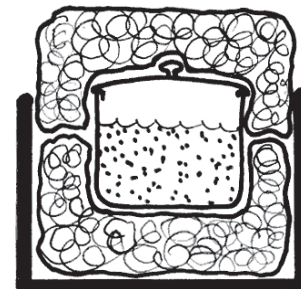


Figura 5 - Poner una tapa hermética encima de la caja



Figura 6 - La comida sigue cocinando dentro de la caja

Una caja aislante optimiza el uso eficiente del calor capturado. Una vez que hierve una olla con comida, solamente tiene que poner la olla caliente dentro de una caja herméticamente sellada y llena de aislante. El aislante mantendrá la temperatura de la olla, y la comida se cocinará sola sin usar más leña.

Después de hervir la comida en la olla, el fuego se puede extinguir. Poner la olla de comida en una caja aislada es la mejor manera de usar el calor generado por el fuego para cocinar. La caja pierde poco calor y mantiene una temperatura generalmente constante sin el uso de combustible. Esta técnica ahorra enormes cantidades de leña. El uso de una caja aislada para cocinar (en vez de un fuego lento) ahorra tiempo para la que cocina ya que la comida se hace sola.

Errores comunes

1. El calor retenido en el cuerpo de una estufa ayuda a cocer la comida.

FALSO

Los experimentos realizados por Baldwin han demostrado que el calor retenido se pierde en su mayor parte. El carbón sobrante puede calentar la comida después de apagarse el fuego, pero el calor retenido en el cuerpo de la estufa suele ser demasiado frío para poder calentar efectivamente.

Observe que la energía retenida en una estufa puede ser una ventaja si se utiliza la estufa como calefacción.

2. Mantener el calor de la estufa al disminuir la corriente de aire ayudará a cocer la comida. Reducir la temperatura de los gases saliendo de la chimenea quiere decir que la estufa está funcionando bien.

FALSO

Como ya vimos, reducir la corriente daña a la combustión y la eficiencia del intercambio térmico. Los gases calientes necesitan velocidad para poder transmitir su calor.

3. Usar un regulador de tiro en una chimenea permite que una estufa funcione mejor.

FALSO

De nuevo, inhibir la corriente de aire en un fogón es usualmente dañino. Los reguladores de tiro no son necesarios en una estufa bien diseñada.

4. La tierra compactada o las piedras actúan como un aislante.

FALSO

Los materiales densos absorben el calor con relativa rapidez, mientras que un aislante detiene el paso del calor. Un aislante consiste de bolsillos de aire separados por un material de conducción pobre y liviano.

Un aislante es ligero y ventilado. Los materiales pesados son mejores ejemplos de masa térmica. Un aislante permite que una estufa hierva agua rápidamente mientras que la masa térmica roba el calor de la olla y evita que el agua hierva.

5. Cualquier cosa es mejor que un fuego abierto.

FALSO

Un fuego abierto puede hervir agua con mayor rapidez que muchas estufas pesadas. El fuego de tres piedras puede quemar limpiamente y ser relativamente eficiente con respecto a la combustión. Aunque el fuego abierto puede derrochar bastante cuando se usa sin cuidado, las primeras opiniones en las que cualquier estufa era mejor han sido reemplazadas por una apreciación nueva de esta antigua tecnología. Los ingenieros han aprendido a diseñar estufas de cocina mejoradas al estudiar los beneficios que ofrece el fuego de tres piedras.

Las pruebas son esenciales

El Dr. Baldwin incluye un capítulo notablemente completo que trata de las pruebas realizadas con estufas de biocarburentes. Nos avisa que comprobar el funcionamiento de prototipos es necesario mientras se desarrolle el diseño de la estufa.

Las pruebas con estufas también determinan si el modelo es apto para el comercio, si los costos de producción son lo más bajos posibles y si las mejoras son necesarias.

Baldwin incluye pruebas para determinar si los consumidores están satisfechos del producto, si ahorran leña y como la estufa ha afectado el estilo de vida. Sin pruebas continuas, un proyecto de estufas avanza en la oscuridad y le falta información técnica, sociológica, y económica esenciales. Leer este capítulo es altamente recomendado.

Las pruebas detalladas con estufas brindan un entendimiento más preciso sobre la construcción de estufas mejores. Sin experimentación ni pruebas, el desarrollo de una estufa se basa en conjetura. La investigación científica puede destacar rápidamente la verdad de la opinión. Conducir pruebas variadas tiene dos funciones: identificar problemas y revelar soluciones. Es un ingrediente esencial para poder progresar. Una prueba sencilla de ebullición de agua está incluida en el capítulo 5 la página 30.

¡Las estufas deben ser seguras!

Prevenir las quemaduras es posiblemente una de las funciones más importantes de una estufa mejorada. Las quemaduras son bastantes comunes en casas en las que se utiliza fuego y pueden ser mortales o desfigurar en forma horrenda. Para proteger a la familia, la temperatura del cuerpo de la estufa no debe ser tan alta como para causar daño. Las estufas y las ollas deben estar siempre estables. Rodee al fuego con el cuerpo de la estufa para que los niños no se quemen. Las heridas por incendio son problemas serios que se pueden remediar con una estufa mejorada.

Las chimeneas o las cubiertas de humo sirven para sacar al humo de la cocina. Según deducciones recientes establecidas por la Organización Mundial de la Salud (OMS o WHO por sus siglas en inglés), hasta 1,6 millones de mujeres y niños jóvenes mueren cada año por respirar aire contaminado en sus hogares.

La pulmonía y otras enfermedades de los pulmones que afectan a niños jóvenes radican principalmente en la respiración de humo. Las estufas sin ventilación pueden usarse fuera de la casa, debajo de un techo, o por lo menos cerca se una ventana abierta.

Las chimeneas operacionales y las estufas herméticamente cerradas pueden eliminar esencialmente toda la polución del ambiente intradomiciliario. Los países industriales utilizan chimeneas y las requieren para proteger la familia de las emisiones peligrosas. ¿No merece la misma protección la gente de países más pobres?

Capítulo 2

Diez principios de diseño

Los principios de diseño del Dr. Larry Winiarski han sido utilizados por varias organizaciones para crear estufas exitosas. La estufa con plancha hecha por HELPS en Guatemala, la estufa EcoStove hecha por PROLEÑA en Nicaragua, la estufa Justa hecha por AHDESA y por “Trees, Water and People” en Honduras, la estufa ProBec de Sudáfrica, la nueva generación de estufas GTZ en África, y la famosa estufa Rocket han sido todas diseñadas con estos principios. Los diseños de Winiarski combinan la combustión limpia y completa junto con la optimización del intercambio térmico. Todo tipo de estufa de alimentación intermitente de leña puede diseñarse primero conforme a las necesidades de la población local y terminar por adaptar estos principios.

Las estufas que queman un gran volumen de carburante a la vez, y las los que usan ventiladores, funcionan diferentemente. Estos métodos alternativos en el diseño de estufas pueden ser igualmente útiles para mejorar estufas de leña. Mientras que muchos expertos enfocan el diseño de estas estufas, ambos Crispin Pemberton-Pigott y el Dr. Tom Reed han desarrollado modelos excelentes que están a la venta. Para obtener más información sobre el diseño de la estufa de gran volumen de carburante, se ruega poner en contacto con: Crispin Pemberton-Pigott, vesto@newdawn.sz o VESTO, P.O. Box 85274 Emmarentia, Republica de Sudáfrica 2029.

El Dr. Tom Reed ha consagrado décadas a la experimentación con la combustión de madera. Sus estufas con ventilador son excelentes invenciones. Es posible ponerse en contacto con el Dr. Reed mediante Biomass Energy Foundation Press, o tombreed@comcast.net.

PRINCIPIO UNO:

En la medida de lo posible, es necesario aislar alrededor del fuego con materiales livianos y resistentes al calor. Si es posible, no use materiales pesados como la arcilla y la arena. El aislante debe ser liviano y lleno de cavidades pequeñas de aire. Los ejemplos de materiales naturales con propiedades aislantes incluyen la piedra pómez, la vermiculita, la perlita y la ceniza de madera. Los ladrillos refractarios livianos (ladrillos horneados y resistentes a las quebraduras en temperatura altas) pueden fabricarse con los materiales disponibles en la región.

Un aislante alrededor del fuego lo mantiene caliente, lo cual ayuda a reducir el humo y las emisiones dañinas. Incluso, un aislante alrededor del fuego asegura que el calor del fuego llegue a la olla, en vez de al cuerpo frío de la estufa.

Desafortunadamente, el metal no dura mucho tiempo cerca de un fuego caliente. Sin embargo, es posible encontrar baldosas cerámicas de fabricación local que sirven como paredes duraderas en una cámara de combustión. Un aislante suelto puede llenar el espacio alrededor de esta construcción. (Véase en el capítulo 4, la sección *Opción 1: Baldosas*, página 26).

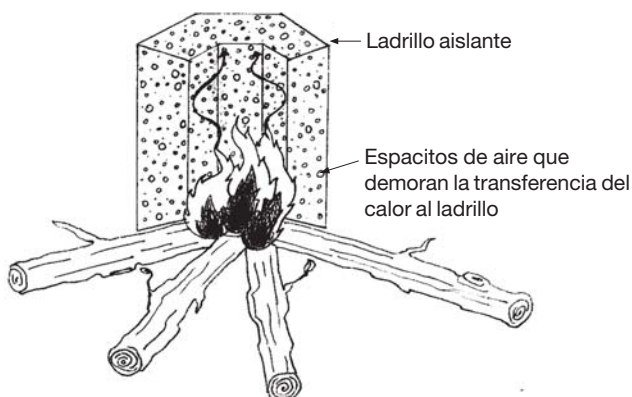


Figura 7 - Aislante alrededor del fuego

PRINCIPIO DOS:**Instalar una chimenea corta y aislada directamente encima del fuego.**

Una chimenea corta encima del fuego estimula una fuerte corriente de aire y hace que el fuego queme caliente y feroz. La chimenea debe ser aproximadamente tres veces más alta que su diámetro. El humo tocará las llamas en la chimenea y la combustión será completa, reduciendo las emisiones. Las ollas o las superficies a calentar se ponen directamente encima de esta chimenea interna. Una chimenea más alta, tres veces más alta que el diámetro de la abertura limpia más humo, pero una chimenea corta transporta gases calientes a la olla. Una chimenea demasiado alta puede crear un exceso de corriente y el aire frío que entra puede reducir el intercambio térmico.

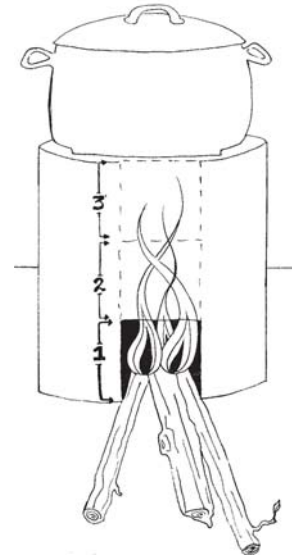


Figura 8 - Chimenea corta encima del fuego

PRINCIPIO TRES:

Calentar y quemar las puntas de los palos a medida que se meten al fuego. Si únicamente la madera que se quema está caliente, habrá mucho menos humo. Intente que el resto del palo esté tan frío que no pueda estar incandescente ni hacer humo. La meta es lograr una cantidad de gas apropiada para que arda limpiamente sin crear carbón o humo. ¡El humo es gas que no se ha quemado! No se debe respirar. Inclusive las combustiones de apariencia más limpia contienen emisiones peligrosas.

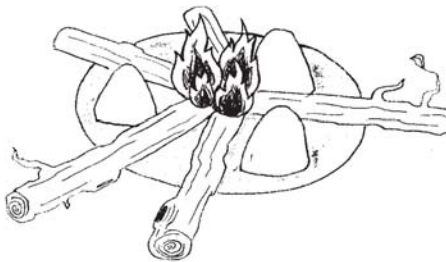


Figura 9 - Combustión más limpia

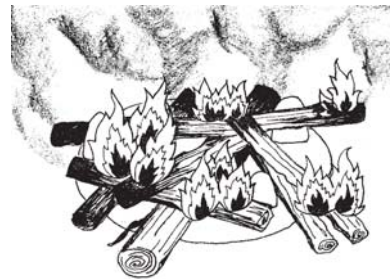


Figura 10 - Madera incandescente que hace humo

PRINCIPIO CUATRO:**Crear temperaturas altas y bajas según la cantidad de leña que se mete al fuego.**

Ajuste la cantidad de gas y el fuego creado conforme a la tarea prevista. (La madera se calienta y emite gas. El gas prende fuego y crea calor.)

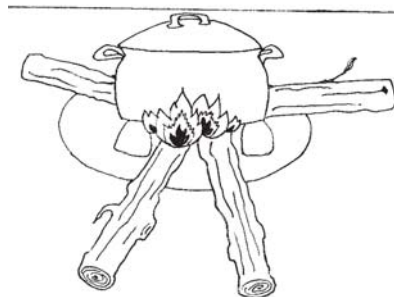


Figura 11 - Fuego lento

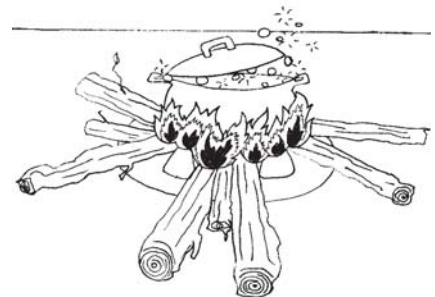


Figura 12 - Fuego alto

PRINCIPIO CINCO:

Mantener una corriente de aire buena y rápida en todo el carburante. Justo como soplar el fuego o el carbón puede crear calor, tener una corriente apropiada ayudará a mantener altas temperaturas en su estufa. Un fuego caliente es un fuego limpio.

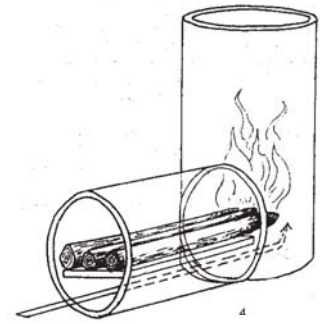


Figura 13 - Mantener una buena corriente de aire

PRINCIPIO SEIS:

La falta de corriente de aire en el fuego resulta en humo y exceso de carbón. Sin embargo, demasiado aire enfría al fuego y no es útil. Aberturas más pequeñas en el fuego ayudan a reducir el exceso de aire. Mejorar la eficiencia del intercambio térmico a la olla o plancha es el factor más importante que reducirá el uso de combustible en una estufa de cocina. Mejorar la eficiencia de combustión reduce la contaminación, pero es menos importante cuando se quiere ahorrar leña.

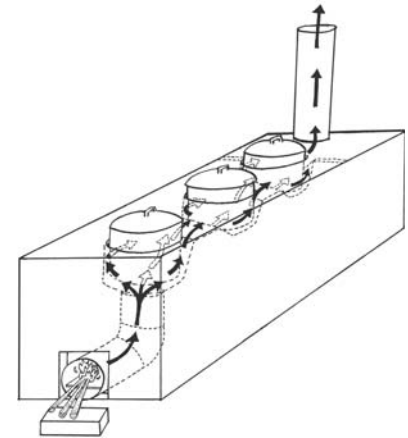


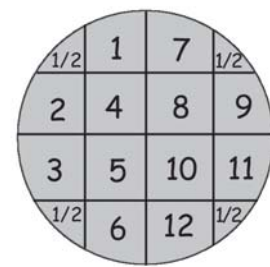
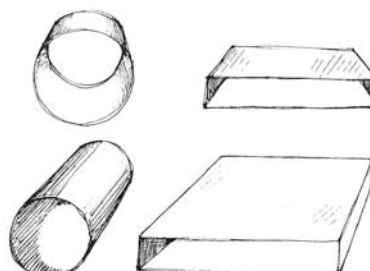
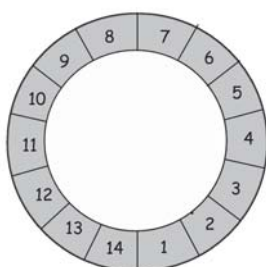
Figura 14 - Equilibrar la corriente de aire en una estufa de varias ollas

PRINCIPIO SIETE:

La abertura al fuego, el tamaño de los espacios dentro de la estufa por donde pasan los gases calientes y la chimenea externa deben ser aproximadamente del mismo tamaño. Esto se llama **mantener una superficie transversal consistente** y ayuda a mantener una corriente pareja en la estufa. Una buena corriente no sólo mantiene el calor del fuego, sino que también es esencial para que el aire caliente creado por el fuego pueda transferir efectivamente su calor a la olla. El aire no carga mucha energía por lo cual tiene que pasar mucho aire por la estufa si se debe calentar comida o agua.

El tamaño de las aberturas es mayor en las estufas que queman más leña y crean más calor. **Como regla general, una puerta orientada al fuego con una abertura cuadrada de 12cm por lado con chimenea y túneles del mismo tamaño al interior de la estufa producirá un fuego adecuado para la cocina de la familia.** Las estufas comerciales necesitan mayores aberturas, túneles y chimeneas porque los fuegos más grandes requieren más aire. Para más información, consulte el capítulo *Diseñar estufas con Baldwin y Winiarski* en la página 17.

Figura 15 - Mantener constante el área transversal



PRINCIPIO OCHO:

Usar una reja debajo del fuego. No ponga los palos en el piso de una cámara de combustión. Tiene que pasar aire por debajo de los palos que queman, por el carbón y dentro del fuego. Un estante en la abertura de la estufa también levanta a los palos para que el aire pueda pasar por debajo de ellos. Cuando se queman palos, es mejor tenerlos juntos y planos en el estante, con un espacio de aire entre cada palo. Los palos ardientes mantienen el calor del fuego y cada fuego refuerza al otro para que se quemen completamente. Lo ideal es que el aire pase por debajo del estante y por los carbones para que cuando llegue al fuego, ya esté precalentado para que los gases se quemen

totalmente. El aire que pasa por encima de los palos no es tan útil ya que es más fresco y enfría al fuego. Un fuego ardiente y caliente es un fuego limpio, mientras que un fuego frío puede ser bastante sucio.

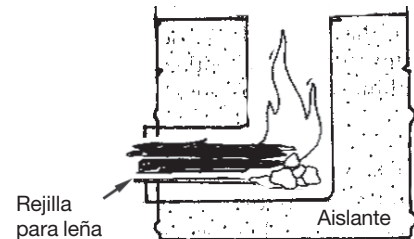


Figura 16 - Uso de una rejilla debajo del fuego

PRINCIPIO NUEVE:

Aislar la trayectoria del aire caliente. Las cocineras suelen preferir estufas que hierven agua rápidamente. Esto puede ser especialmente importante en la mañana cuando miembros de la familia tienen que ir a trabajar. Si el calor pasa al cuerpo de la estufa, la olla se calienta lentamente. ¿Para qué calentar 50 ó 100 kilos de estufa cada mañana cuando lo que se quiere es calentar un kilo

de comida o un litro de agua? Los materiales aislantes en una estufa mantienen calientes los gases de combustión para que calienten mejor la olla o la plancha. Los materiales aislantes están llenos de orificios de aire y son extremadamente livianos. La arcilla, la arena u otros materiales densos no son aislantes. Los materiales densos absorben el calor y lo desvían de la comida.

PRINCIPIO DIEZ:

Aumentar el intercambio térmico la olla con espacios adecuados. Transmitir calor a una olla o a una plancha es más fácil con canales pequeños. Los gases calientes de combustión están forzados por estos canales estrechos, donde rozan la olla o la plancha. Si los canales son muy grandes, los gases pasan por el centro y no transfieren su calor a la superficie apropiada. Si los espacios son demasiado angostos, la corriente disminuye enfriando el fuego, aumentando las emisiones e impidiendo que pase el calor a la olla.

Cuando se diseña una estufa, es posible reducir el espacio en el canal al lado de la olla o plancha hasta que el fuego “flore”. Probando y errando, abra el espacio poco a poco hasta que el fuego se mantenga caliente y vigoroso.

Los dos factores más importantes para aumentar el calor que pasa a una olla o plancha son: 1) mantener la más alta temperatura posible de los gases de combustión que tocan la olla o la plancha; y 2) forzar los gases calientes a rozar la superficie con rapidez y no lentamente. El aire no conserva mucho calor. Los gases de combustión más veloces que rozan la olla o la plancha podrán transmitir mucho más calor que el aire frío y lento.

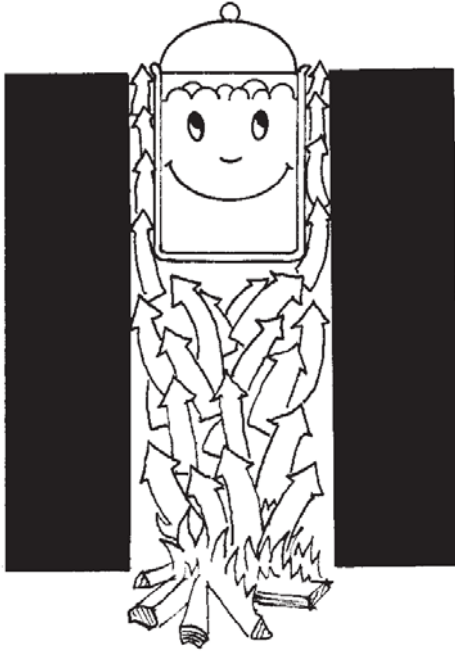


Figura 17 - Un canal de tamaño apropiado optimiza el intercambio térmico con la olla

Es posible calcular el tamaño del canal al mantener constante la superficie transversal del interior de la estufa. Cuando se usa una chimenea externa con mayor corriente, es posible reducir los espacios de los canales. Para mayor información sobre estos espacios, se ruega consulte el siguiente capítulo.

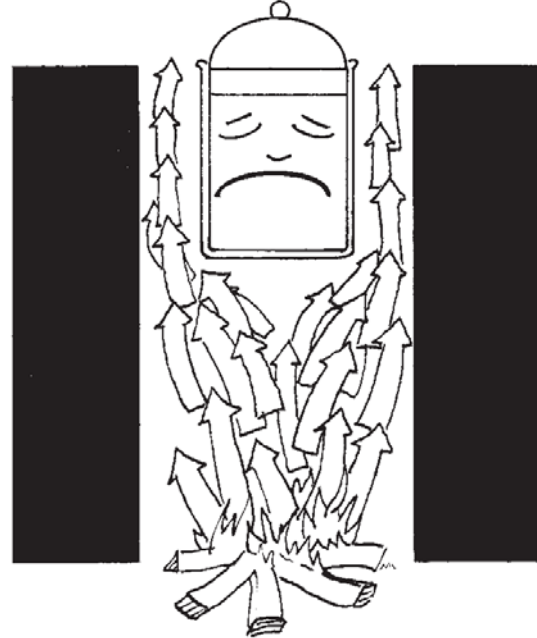


Figura 18 - Un canal demasiado ancho reducirá el intercambio térmico con la olla

Capítulo 3

Diseñar estufas con Baldwin y Winiarski

Forzar que los gases de combustión pasen por la superficie de una olla o plancha por un canal angosto es una estrategia de diseño popularizada por el Dr. Samuel Baldwin y el Dr. Larry Winiarski. En 1982, el Dr. Winiarski creó una falda para ollas, un cilindro de metal delgado que rodea la olla, formando un canal estrecho y mejorando la eficiencia del intercambio térmico. El Dr. Baldwin estudió estufas en África y en 1987 escribió su libro *Biomass Stoves: Engineering Design, Development, and Dissemination* (1987) (*Estufas de biocombustibles: ingeniería del diseño, desarrollo y distribución*) en el que se enfatiza la importancia de estos canales angostos para transmitir más calor a la olla.

En general, hay tres maneras de aumentar el intercambio térmico por convección:

- ▶ Los gases de combustión que rozan la superficie por calentar deben ser lo más calientes posibles.
- ▶ La superficie del intercambiador de calor debe ser lo más grande posible.
- ▶ La velocidad de los gases de combustión calientes debe incrementarse lo más rápido posible. Una corriente rápida al exterior de la olla altera la capa de aire frío estacionario y evitar que se caliente eficientemente.

Los canales angostos formados cerca de la olla por una falda aislada (ver la figura 19) pueden ayudar a optimizar los tres principios de manera simple y económica. Aunque un espacio estrecho puede aumentar la eficiencia del intercambio térmico,

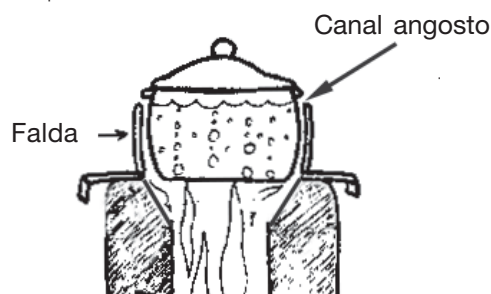


Figura 19 - El canal angosto cerca de la olla aumenta el intercambio térmico por convección

también puede reducir el flujo de aire que pasa por la estufa. Por lo tanto, el tamaño del espacio debe corresponder al poder del fuego. Mientras más leña se quema por minuto, más aire requieren la combustión y la corriente que evita la difusión del humo en el hogar. Si el espacio es muy estrecho, el fuego quemará bien a fuego lento aunque le faltará aire a fuego alto. Por otra parte, un canal grande permite un fuego grande, aunque se desperdiciará calor debido al intercambio térmico escaso.

Estrategias de diseño

Los dos diseñadores de estufas enfocan de manera diferente el problema del tamaño del canal. Winiarski, en *Rocket Stove Design Principles* (*Principios del diseño de estufas Rocket*) (1997), recomienda que los técnicos empiecen a diseñar estufas manteniendo un área transversal constante en toda la estufa. Establece el área en la abertura del fuego, o cargador de combustible, y crea a continuación los espacios apropiados alrededor de las ollas, conforme a la necesidad de mantener el área constante en todo momento. El método de Baldwin requiere que el diseñador seleccione el máximo de poder alto para la estufa. Según el nivel de poder fijo seleccionado, se calcula el tamaño del canal. En un caso, Winiarski elige el tamaño de la entrada de leña primero mientras Baldwin usa el poder de la estufa como punto de inicio. Los espacios en la estufa son determinados por una de estas dos opciones principales.

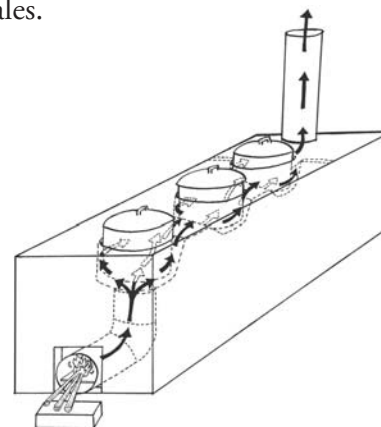


Figura 20 - Los gases calientes de combustión son forzados por la superficie de las ollas en un canal angosto

Método de Winiarski

Los siguientes diagramas y cuadros (véanse las páginas 19 y 20) muestran cómo el tamaño de los canales cerca de la olla o plancha cambia a medida que se agranda la entrada de la leña. El Dr. Winiarski aconseja que una abertura de 12cm por 12cm suele bastar para una estufa de una familia. Las aberturas más grandes que permiten el uso de más leña producen un fuego más alto y requieren espacios y canales más grandes.

Establecer una misma área transversal dentro de una estufa asegura que habrá suficiente corriente de aire para mantener una buena combustión

mientras se crean canales que mejoran la eficiencia del intercambio térmico. Esto significa que la abertura a la cámara de combustión, la cámara de combustión, el espacio debajo de la olla o plancha y la chimenea son del mismo tamaño (cantidad constante en centímetros cuadrados) aunque sus formas sean diferentes. Winiarski aconseja a los diseñadores de estufas que construyan prototipos que mantengan un área transversal constante para optimizar el flujo de aire que pasa por la estufa. Reducir la velocidad de la corriente de aire perjudica tanto a la combustión como a la eficiencia del intercambio térmico con la olla.

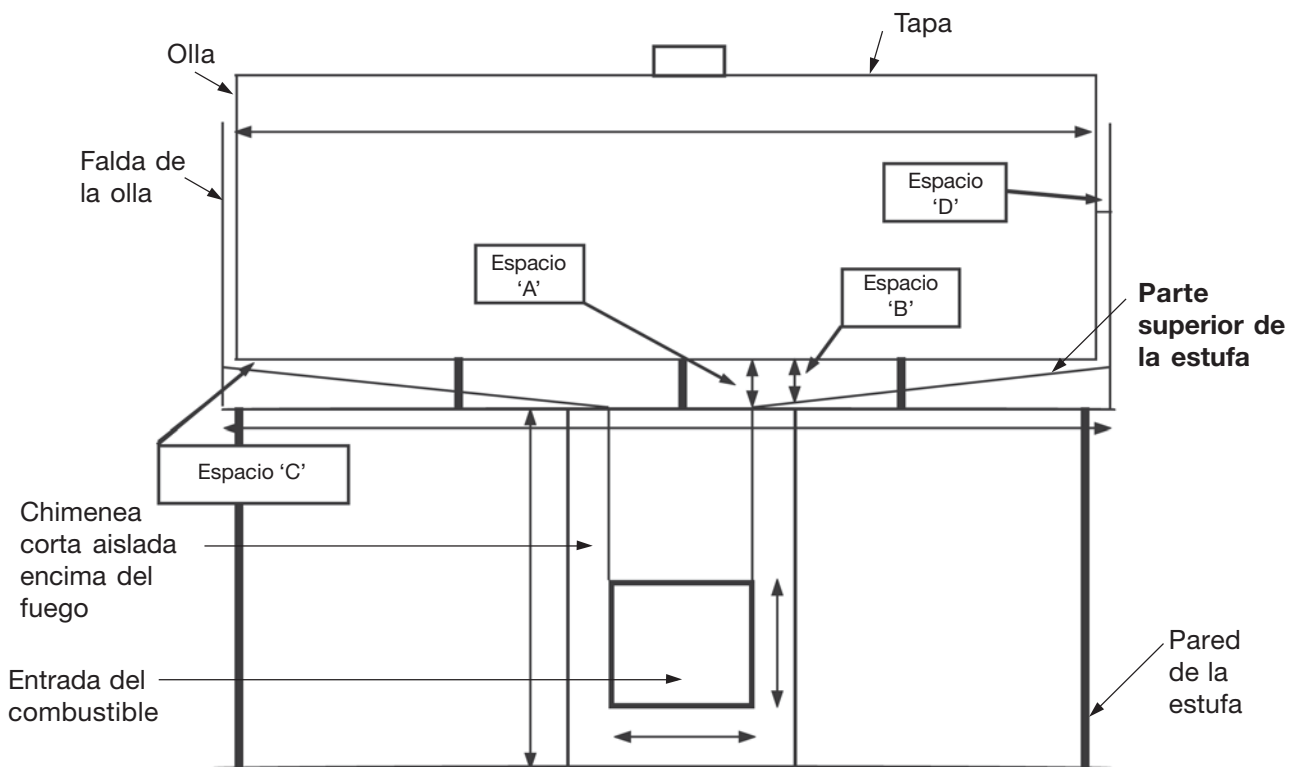


Figura 21 - Una estufa típica de Winiarski
(Utilice este diagrama junto con los cálculos en las páginas 19 a 25 para determinar el tamaño apropiado del canal)

ÁREA TRANSVERSAL PARA CÁMARAS DE COMBUSTIÓN CUADRADAS

Utilice estos cuadros para crear estufas con un área transversal constante

Cuadro 1

Cámara de combustión cuadrada de 12 cm X 12 cm				
Tamaño de la olla (cm)	20	30	40	50
ESPACIO A (cm)	3	3	3	3
ESPACIO B (cm)	2,5	2,5	2,5	2,5
ESPACIO C (cm)	2,3	1,5	1,1	0,9
ESPACIO D (cm)	2,1	1,5	1,1	0,9
Cámara de combustión cuadrada de 14 cm X 14 cm				
Tamaño de la olla (cm)	20	30	40	50
ESPACIO A (cm)	3,5	3,5	3,5	3,5
ESPACIO B (cm)	3,1	3,1	3,1	3,1
ESPACIO C (cm)	3,1	2,1	1,6	1,2
ESPACIO D (cm)	2,7	2	1,5	1,2
Cámara de combustión cuadrada de 16 cm X 16 cm				
Tamaño de la olla (cm)	20	30	40	50
ESPACIO A (cm)	NA	4	4	4
ESPACIO B (cm)	NA	3,7	3,7	3,7
ESPACIO C (cm)	NA	2,7	2	1,6
ESPACIO D (cm)	NA	2,5	1,9	1,6
Cámara de combustión cuadrada de 18 cm X 18 cm				
Tamaño de la olla (cm)	20	30	40	50
ESPACIO A (cm)	NA	4.5	4.5	4.5
ESPACIO B (cm)	NA	4.3	4.3	4.3
ESPACIO C (cm)	NA	3.4	2.6	2.1
ESPACIO D (cm)	NA	3.1	2.4	2
Cámara de combustión cuadrada de 20 cm X 20 cm				
Tamaño de la olla (cm)	20	30	40	50
ESPACIO A (cm)	NA	5	5	5
ESPACIO B (cm)	NA	4,9	4,9	4,9
ESPACIO C (cm)	NA	4,2	3,2	2,5
ESPACIO D (cm)	NA	3,7	3	2,4

ÁREA TRANSVERSAL PARA CÁMARAS DE COMBUSTIÓN CIRCULARES

Cuadro 2

Cámara de combustión de diámetro de 12 cm				
Tamaño de la olla (cm)	20	30	40	50
ESPACIO A (cm)	3	3	3	3
ESPACIO B (cm)	2	2	2	2
ESPACIO C (cm)	1,8	1,2	0,9	0,7
ESPACIO D (cm)	1,6	1,2	0,9	0,7
Cámara de combustión de diámetro de 14 cm				
Tamaño de la olla (cm)	20	30	40	50
ESPACIO A (cm)	3,5	3,5	3,5	3,5
ESPACIO B (cm)	2,4	2,4	2,4	2,4
ESPACIO C (cm)	2,4	1,6	1,2	0,9
ESPACIO D (cm)	2,2	1,5	1,2	0,9
Cámara de combustión de diámetro de 16 cm				
Tamaño de la olla (cm)	20	30	40	50
ESPACIO A (cm)	NA	4	4	4
ESPACIO B (cm)	NA	2,9	2,9	2,9
ESPACIO C (cm)	NA	2,1	1,6	1,3
ESPACIO D (cm)	NA	2	1,5	1,3
Cámara de combustión de diámetro de 18 cm				
Tamaño de la olla (cm)	20	30	40	50
ESPACIO A (cm)	NA	4,5	4,5	4,5
ESPACIO B (cm)	NA	3,4	3,4	3,4
ESPACIO C (cm)	NA	2,7	2	1,6
ESPACIO D (cm)	NA	2,5	1,9	1,6
Cámara de combustión de diámetro de 20 cm				
Tamaño de la olla (cm)	20	30	40	50
ESPACIO A (cm)	NA	5	5	5
ESPACIO B (cm)	NA	3,8	3,8	3,8
ESPACIO C (cm)	NA	3,3	2,5	2
ESPACIO D (cm)	NA	3	2,4	1,9

Baldwin: el poder del fuego determina el tamaño del canal

Como lo indica el siguiente cuadro, los métodos de Baldwin y Winiarski parecen crear espacios similares en tamaño. Estos valores son derivados de cuadros encontrados en *Biomass Stoves*, que resume los descubrimientos de Baldwin. El cuadro es una aproximación cuyo objeto es servir de guía para la relación entre el poder del fuego, la cantidad de leña usada por hora, el largo y el ancho del canal y la eficiencia de la estufa.

Cuadro 3 - Tamaños de los espacios sugeridos por Baldwin

Madera quemada por hora (kg)	Espacio entre olla y falda (mm)	Largo de canal (cm)	Eficiencia térmica de la estufa (%)	Poder del fuego (kW)
0,50	8	20	40	2,8
0,75	10	20	35	4,1
1,00	11	20	30	5,5
1,25	12	20	28	6,9
1,50	13	20	26	8,3
1,75	14	20	25	9,6

Una estufa típica diseñada por Winiarski con una cámara de combustión cuadrada de 12cm x 12cm quema leña a una velocidad de 1,5 kg/hora cuando quema a alto poder. En su programa informático, Baldwin usa una olla de 30 cm de diámetro como “tamaño familiar.” Considerando este tamaño de olla, el espacio debajo del perímetro de la olla usando el método de Winiarski se calcularía al dividir el área ($A = 12\text{cm} \times 12\text{cm} = 144\text{ cm}^2$ para una cámara cuadrada) por **el perímetro** de la olla ($P = \pi (d)$, la circunferencia, o $3,14 \times 30 = 94\text{ cm}$). El espacio que resulta es $144\text{cm}^2 / 94\text{cm} = 1,5\text{cm}$ (15mm). Al seguir el cuadro de Baldwin, vemos que una estufa quemando leña a una velocidad de 1,5 kg/hora ocuparía un espacio de 13mm para lograr su máxima eficiencia, una diferencia de 2mm del modelo de Winiarski.

Cálculos

Para utilizar los métodos de Winiarski en mantener un área constante debajo de la olla, es necesario calcular la altura correcta del espacio debajo de la olla. Esta altura variará a medida que uno se desplaza del centro de la cámara de combustión hacia la orilla externa de la olla. Para lograr este cálculo, calcule el espacio necesario al borde la cámara de combustión y al borde de la olla. Aunque parezcan complicados, estos cálculos son realmente sencillos. Hay 5 pasos para lograr este cálculo:

1. Calcule la superficie de la cámara de combustión que se mantendrá por toda la estufa. Si la cámara es cilíndrica, el área se calcula usando la fórmula:

$$A_c = \pi \cdot r_c^2$$

...donde A_c es el área, $\pi = 3,14$ y (r) es el radio, equivalente a mitad del diámetro del círculo. Si la cámara es cuadrada o rectangular, el área se calcula usando la formula:

$$A_c = l \cdot w$$

...donde l es la altura de la abertura, y w es el ancho.

2. Al borde de la chimenea aislada encima del fuego, los gases voltean y siguen el fondo de la olla. Para determinar el espacio necesario al borde de la cámara de combustión, primero determine la circunferencia del área por la cual pasarán los gases calientes. Para obtener este cálculo, mida desde el centro de la salida de la cámara de combustión hasta la orilla más lejana, r_c . En una cámara de combustión circular, esto será el radio. En una cámara de combustión cuadrada, la distancia necesaria se mide desde el centro de la salida de la cámara a una de las esquinas. Determine la circunferencia asociada con esta distancia. La formula es:

$$C_c = 2 \cdot \pi \cdot r_c$$

Para una cámara de combustión rectangular, la circunferencia es igual al perímetro del rectángulo, ó

$$C_c = 2 \cdot l + 2 \cdot w$$

3. Luego, divida el área transversal A_c del círculo, tal como se determinó en el paso 1, por C_c tal como se determinó en el paso 2. Esto es:

$$G_c = A/C_c$$

...donde G_c es el espacio necesario entre el fondo de la olla y el borde superior de la cámara de combustión.

4. Ahora determine el espacio óptimo al borde de la olla. Mida la circunferencia, G_p de la olla. Esto es la distancia que mide todo el cuerpo externo de la olla. La circunferencia puede medirse de dos maneras. La más fácil es rodear la olla con un trozo de hilo y luego medir el hilo. Otro método consiste en determinar la circunferencia usando el radio de la olla, r_p .

$$C_p = 2 \cdot \pi \cdot r_c$$

5. En forma similar al paso 3, divida el área transversal A_c , tal como se determinó en el paso 1, por C_c , tal como se determinó en el paso 4, para calcular el espacio necesario al borde de la olla, G_p . Esta formula es:

$$G_p = A/C_p$$

Tal como se nota arriba, el área debajo de la olla debe reducirse lentamente mientras viaja desde la orilla de la cámara de combustión hasta el borde de la olla. Los lectores meticulosos notarán que esta reducción del espacio no es lineal. Sin embargo, utilizar las reglas presentadas aquí para lograr una aproximación cercana será la mejor manera de lograr esto. Según sus cálculos, aproxime la distancia del espacio desde la orilla de la cámara de combustión a la orilla de la olla de una manera lineal.

Tras crear el prototipo con un área transversal constante, se tendrá que afinar la estufa al reducir el espacio del canal mientras tenga el fuego en alto poder. Reduzca el espacio lo más posible mientras permita suficiente corriente de aire para lograr una combustión limpia. Es buena práctica recordar que las estufas se operarán a menudo a muy alta potencia; por lo tanto, un diseñador esmerado no apretará los espacios más de lo que aguanta un fuego de alto poder. Ampliar la distancia más allá del espacio teóricamente ideal también provee algo de protección contra las obstrucciones de productos de combustión incompleta.

Ejemplo 1

Considere el caso de una estufa con una cámara de combustión cilíndrica, con 12cm de diámetro y con una olla de 30cm de diámetro.

El primer paso es calcular el área transversal de la cámara de combustión. Usando el radio, esto es:

$$A_c = \pi \cdot 6^2 = \pi \cdot 36 = 113,1\text{cm}^2$$

Luego, calcule el espacio necesario entre el centro de la olla y el borde más cercano de la cámara de combustión. Primero buscamos la circunferencia del área por la cual pasarán los gases. Este cálculo es:

$$C_c = 2 \cdot \pi \cdot 6 = \pi \cdot 12 = 37,7\text{cm}$$

De este cálculo podrá encontrar el espacio necesario entre la olla y la salida de la cámara de combustión, siendo:

$$G_c = 113,1/37,7 = 3,0\text{cm} \quad \leftarrow$$

Si este espacio fuese de sólo dos centímetros de altura, el área transversal medida como Espacio A sería solamente de 75,4cm², reduciendo la corriente de aire y aumentando la producción de humo. Si el tamaño de Espacio A fuese de cinco centímetros, el área transversal sería de 188,5cm². Esta área es tan grande que aunque se mantenga el flujo, disminuye la velocidad de los gases y estos no se rozan contra el fondo de la olla, lo cual impide la provisión de energía a la olla.

Al borde de la olla, la circunferencia por la que tendrán que pasar los gases calientes es:

$$C_p = 2 \cdot \pi \cdot 15 = \pi \cdot 30 = 94,3\text{cm}$$

El espacio necesario debajo de la orilla de la olla es:

$$G_p = 113/94,3 = 1,2\text{cm} \quad \leftarrow$$

Es importante tener en mente que estos números son aproximaciones y que el espacio se debe afinar en el campo usando el más alto fuego en la estufa. En adición, necesitaremos reducir gradualmente el espacio de 3,0cm al borde de la cámara de combustión a 1,2cm al borde de la olla.

Ejemplo 2

En muchos casos es menos costoso construir cámaras de combustión cuadradas o rectangulares. Considere el caso de una cámara de combustión rectangular de 10cm x 12cm con una olla de diámetro de 30cm. El primer paso es calcular el área transversal de la cámara. Esto es:

$$A_c = 12 \cdot 10 = 120\text{cm}^2$$

A continuación, calculamos el espacio necesario entre la olla y la salida de la cámara de combustión. Primero determinamos la circunferencia del área por cual circularan los gases calientes. Esto es igual al perímetro del rectángulo, ó:

$$C_c = 2 \cdot l + 2 \cdot w = 2 \cdot 12 + 2 \cdot 10 = 44,0\text{cm}$$

Con este cálculo, podemos encontrar el espacio necesario entre la olla y la salida de la cámara de combustión:

$$G_c = 120/44,0 = 2,7\text{cm}$$



En el borde de la olla, la circunferencia por la cual tienen que pasar los gases es igual a 94,3:

$$C_p = 2 \cdot \pi \cdot 15 = \pi \cdot 30 = 94,3\text{cm}$$

El espacio necesario debajo de la orilla de la olla es:

$$G_p = 120/94,3 = 1,3\text{cm}$$



De nuevo hay que tener en mente que está es una aproximación y que el espacio tendrá que ser afinado en el campo usando el más alto fuego en la estufa. En adición, debemos reducir gradualmente el espacio desde 2,7cm al borde de la cámara de combustión hasta 1,3cm al borde de la olla.

Ejemplo 3

Otra aplicación de la regla de área transversal constante consiste en determinar el espacio necesario entre la olla y una falda aislada para la olla. Una falda aislada es una lámina de metal fina aislada al exterior, que rodea la olla, obligando los gases calientes a circular por los lados de la olla. Considere la estufa con la cámara de combustión cilíndrica con un diámetro de 12cm y una olla de 30cm, tal como se examinó en el ejemplo 1.

Para calcular el espacio entre la olla y la falda a lo largo de sus paredes verticales, es decir el espacio D de la figura en la página 18), empieza con el área de cámara de cocción que muestra el ejemplo 1:

$$A_c = \pi \cdot 6^2 = \pi \cdot 36 = 113\text{cm}^2$$

Divida esto por la circunferencia alrededor de la olla:

$$C_p = 2 \cdot \pi \cdot 15 = \pi \cdot 30 = 94,3\text{cm}$$

El espacio necesario es, entonces:

$$G_{falda} = A_c / C_p = 113,1 / 94,3 = 1,2\text{cm}$$

Note que este es el mismo espacio entre el borde de la olla y la superficie de la estufa. Siempre recuerde que este número es una aproximación, pero una aproximación muy buena. También recuerde que esto es únicamente un punto de inicio y que el espacio siempre debe ser afinado en el campo, con la estufa prendida a todo poder.

Conclusiones

Los métodos de ambos Winiarski y Baldwin resultan en soluciones funcionales que parecen estar estrechamente vinculadas. La creación de canales pequeños que aumentan la eficiencia del intercambio térmico es una estrategia común empleada por ingenieros para optimizar el intercambio térmico. La aplicación de esta técnica a las estufas de cocina ha logrado mejorar la eficiencia de la combustión. Hasta un fuego abierto es a menudo 90% eficiente en transformar leña a calor. Pero sólo un pequeño porcentaje, de 10% a 40% del calor producido llega a la olla. Mejorar la eficiencia de combustión tiene pocos efectos apreciables en la eficiencia total del sistema de cocción; es decir, el consumo reducido de leña. Por otro lado, mejorar la eficiencia en el intercambio térmico con la olla puede hacer una grande diferencia, ahorrando cantidades significantes de leña.

Las estufas deben usar espacios que son suficientemente grandes para soportar la corriente de aire mientras queman a todo poder. Mucho menos poder es necesario para mantener hirviendo a la comida. No obstante, sufre la eficiencia del intercambio térmico en esta situación porque los canales son demasiado grandes cuando baja la velocidad de la corriente. Por esta razón, sin espacios ajustables, las estufas tienden a demostrar un mejor intercambio térmico cuando son operadas a alto poder. Una falda ajustable para la olla resuelve este problema.

Es interesante que Baldwin estuviera impresionado por las mejoras realizadas al instalar una chimenea corta y aislada encima del fuego, característica que define a la estufa Rocket de Winiarski. Al reconfigurar la cámara de combustión de esta manera, Baldwin indica un aumento en la velocidad de los gases calientes de combustión debido a la altura de la chimenea, lo que resulta en una combustión limpia y un uso eficaz de la leña (página 43, *Biomass Stoves*). Instalar una chimenea corta y aislada encima del fuego parece ayudar a limpiar la combustión. Obligando los gases calientes a rozar la olla o plancha mediante espacios estrechos puede aumentar la eficiencia del intercambio térmico sin aumentar seriamente las emisiones dañinas.

Capítulo 4

Opciones para cámaras de combustión*

Varias pruebas de la estufa de arena y arcilla “Lorena”, iniciadas en 1983, mostraron que el hecho de poner materiales con alta masa térmica cerca de un fuego puede tener un efecto negativo en la receptividad, la eficiencia del carburante y las emisiones de la estufa, ya que estos materiales absorben el calor del fuego. Ejemplos de materiales de alta masa térmica son el barro, la arena y la arcilla. Cuando se construyen estufas con estos materiales, su eficiencia (cuando se comprueba en laboratorios) puede ser peor que la de un fuego de tres piedras.

¿Qué materiales se pueden usar entonces? Las estufas que queman más limpiamente pueden producir temperaturas tan altas en la cámara de combustión (donde arde el fuego), que el metal, hasta el acero inoxidable, puede destruirse. Las cámaras hechas de hierro colado, aunque más duraderas, son caras.

Mientras que el barro, la arena y la arcilla son de alta masa térmica, sí brindan ciertos beneficios. Se encuentran en casi todas regiones, son baratos, fácil de usar y suelen ser duraderos porque no se gastan con el calor intenso producido por un fuego. La creatividad y la buena ingeniería permiten que un diseñador sepa utilizar estos materiales provechosamente sin permitir que sus altas masas térmicas afecten la calidad de la estufa.

Los fabricantes de estufas han estado usando piezas de cerámica por muchos años. La estufa de balde Tailandesa usa una cámara de combustión cerámica. La estufa “Jiko” de Kenya también usa un estrato de cerámica para proteger el cuerpo metálico de la estufa. Se han escrito varios libros que describen cómo diseñar cámaras de combustión que durarán por varios años.** Existe una cooperativa de mujeres en Honduras llamada Nueva Esperanza que fabrica piezas cerámicas refractarias y duraderas para estufas con una mezcla

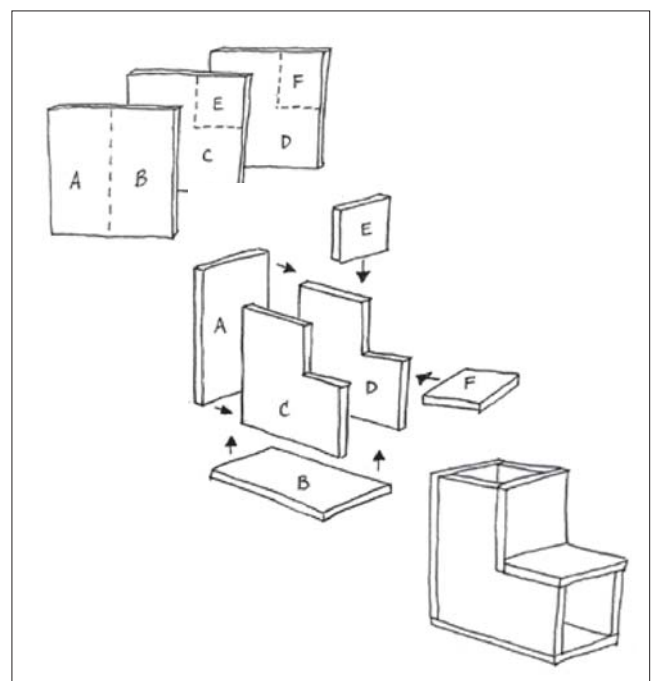
de arcilla, arena, estiércol de caballo, y goma de árbol. Estas cámaras de combustión se usan en las estufas Doña Justa y Eco Stoves (Eco Estufas) que son populares en Centroamérica.

La ventaja de las cámaras de combustión hechas de cerámica en estas instancias es su longevidad. Como veremos en el ejemplo que sigue, la clave a la hora de minimizar las desventajas del material cerámico consiste en usar la menor cantidad posible sin comprometer su fuerza y al rodearlo con un material aislante.

Opción #1: baldosas

Don O’Neal, de Helps International, y el Dr. Winiarski localizaron un material alternativo en Guatemala conocido como baldosas. Estas baldosas son de 2,5cm de grueso y pueden cortarse o ensamblarse conforme a la configuración de la cámara de combustión. Un aislante suelto llena el espacio entre la cámara de combustión y el interior del cuerpo de la estufa. La ceniza de madera, la

Figura 22 - Baldosa cerámica



*Publicado originalmente en Boiling Point No. 49

**Un libro a recomendar sobre este tema es *The Kenya Ceramic Jiko: A Manual for Stovemakers [La estufa Jiko de cerámica de Kenya: una guía para fabricantes de estufas]* Hugh Allen, 1991)

piedra pómez, la vermiculita, la perlita son todas buenas fuentes de aislantes sueltos resistentes al calor natural.

La baldosa es barata y ha durado cuatro años en las estufas con aislamiento de HELPS y “Trees, Water and People” en Centroamérica.

La prueba de la baldosa consiste en meterla en un fuego hasta que esté al rojo vivo. Luego se saca y se mete rápidamente a un balde lleno de agua. Si la baldosa no se fractura, es probable que dure en la cámara de combustión. Las baldosas suelen fabricarse con arcilla roja y secarse al horno bajo 900° - 1000° centígrados. Son más o menos porosas y emiten un sonido agudo cuando se golpean con un nudillo. El uso de baldosas para construir una cámara de combustión rodeada de aislante suelto es otra opción en materiales para el diseñador de estufas.

Opción #2: cerámicas aislantes

El objeto de las siguientes fórmulas es ayudar a los promotores de estufas a fabricar cerámicas aislantes para usar en estufas de cocina mejoradas. Cada uno de estos materiales incorpora arcilla que funciona como un aglomerante. La arcilla forma una matriz alrededor de un relleno, lo cual brinda calidades aislantes. El relleno puede ser un material liviano e incombustible (como la piedra pómez, la perlita o la vermiculita) o un material orgánico (el carbón o el aserrín). En este segundo caso, el material

orgánico se quema mientras se hornea la cerámica, dejando espacios de aire aislantes en la matriz de arcilla. En todos los casos, se mezclan el relleno y la arcilla con una cantidad predeterminada de agua, esta mezcla se introduce en moldes para crear ladrillos. Los ladrillos húmedos se ponen a secar, lo cual puede tomar varias semanas, y a continuación se cuecen a temperaturas comunes en los hornos de cerámica y ladrillos de Centroamérica.

Nuestras muestras de comprobación utilizaron arcilla de tipo “raku” obtenida en una alfarería local. En otros países, la mejor fuente de arcilla sería la del tipo usado por alfareros o ladrilleros locales. En casi todas partes, la gente ha descubierto mezclas de arcilla y técnicas de horneado que crean cerámicas durables. Las cerámicas aislantes necesitan ser livianas (baja densidad) para proveer funciones aislantes y de baja masa térmica. A la misma vez, tienen que ser físicamente durables y poder resistir fracturas y abrasiones cuando se empuja la leña al fondo de la estufa. Estos dos requisitos existen en oposición: añadir más relleno a la mezcla creará un ladrillo más liviano y más aislante, pero también será más débil. Añadir arcilla suele aumentar la firmeza del ladrillo pero lo hace más pesado. Pensamos que un buen compromiso es un ladrillo cuya densidad está entre 0,8 gm/cc y 0,4 gm/cc.

Las fórmulas del cuadro 4 indican las proporciones, por peso, de varios materiales. Recomendamos estas fórmulas como punto de inicio para hacer

Cuadro 4 - Cerámicas aislantes

Tipo	Relleno (peso en gramos)	Arcilla (húmeda) (peso en gramos)	Agua (peso en gramos)	Horneados (temp. en centígrados)	Densidad gr/cc
Aserrín	490	900	1300	1050	0,426
Carbón	500	900	800	1050	0,671
Vermiculita	300	900	740	1050	0,732
Mezcla de perlita	807	900	1833	1050	0,612
Mezcla de piedra pómez	1013	480	750	950	0,770

cerámicas aislantes. Las variaciones en las arcillas locales y los rellenos probablemente requerirán ajustes en las proporciones para obtener los resultados ideales.

Las cerámicas aislantes usadas en estufas pasan por ciclos repetidos de caliente y frío (ciclos térmicos). Estos ciclos pueden eventualmente producir fracturas pequeñas que pueden desmenuzarse o quebrar los materiales. Todas estas fórmulas parecen durar suficientemente bien bajo ciclos térmicos. La única prueba verdadera, sin embargo, es instalar en una estufa y usarla durante un tiempo y en condiciones actuales de cocinar.

Aserrín/arcilla:

En esta formulación, el aserrín fino se obtuvo colando un aserrín basto (de un sitio de construcción) por un tamiz No. 8 de 2,36mm. A continuación, la arcilla se mezcla a mano con agua hasta formar un barro denso. Después se añade el aserrín, y el material que resulta se pone en moldes rectangulares. Es posible fabricar excelentes cerámicas aislantes usando aserrín u otros materiales finos orgánicos como la corteza de coco, el estiércol de caballo o la cáscara de arroz. El problema con este método es obtener grandes cantidades de materiales apropiados para una operación comercial. Los residuos de la cosecha agrícola pueden ser muy difíciles de moler lo suficiente para poder usarlos en la fabricación de ladrillos.

Este método sería apropiado en lugares donde hay aserraderos o talleres de carpintería en los que se produce mucho aserrín.

Carbón/Arcilla:

En esta formulación, el carbón crudo (no en briquetas) se redujo a un polvo fino usando un martillo y una trituradora. Se pasó el polvo resultante por un tamiz No. 8 (2,36mm). La arcilla se mezcló a mano con el agua y luego se añadió el carbón. Una mezcla acuosa resultó y se puso en los moldes para secar. Fue necesario esperar varios días hasta que el material se secase suficientemente para poder sacarlo del molde. Luego los ladrillos se

hornearon a 1050° C. El carbón se puede encontrar en casi todos lugares y se puede usar cuando no hay otros materiales. El carbón es mucho más fácil de reducir en tamaño que otros materiales orgánicos.

La mayoría del carbón se quemará fuera de la matriz del ladrillo. Cualquier cantidad de carbón que permanece en el ladrillo suele ser liviano y proveer calidades aislantes.

Los ladrillos de carbón y arcilla suelen achicarse más que los de otros materiales durante el secado y el horneado. El producto final parece ser liviano y generalmente durable, aunque pruebas completas no se han hecho con estos materiales.

Vermiculita/arcilla

En esta formulación, la vermiculita comercial (un aditivo de tierra para la jardinería), que puede pasar fácilmente por un tamiz No. 8 (2,36mm), se mezcla directamente con agua y arcilla y se introduce en los moldes. El material se seca al aire y se hornea a 1050° C.

La vermiculita es un material liviano, barato e incombustible producido por depósitos naturales de minerales en muchas partes del mundo. Se puede usar en la fábrica de cerámicas fuertes, livianas e aislantes con muy poco esfuerzo. Como las partículas de vermiculita son planas de estructura, estas son fuertes y muy resistentes al calor.

La vermiculita parece ser uno de los mejores materiales disponibles para la fabricación de cerámicas aislantes.

Mezcla de perlita/arcilla

Para los mejores resultados, la perlita debe mezclarse con otros materiales antes de que se combine con arcilla para formar un ladrillo. Para preparar esta mezcla, primero separe la perlita cruda en grupos compuestos de tres tamaños: 9,5mm – 4,75mm, 4,75mm – 2,36mm y 2,36mm y más finos. Recombine (por volumen) dos partes del tamaño más grande, una parte del tamaño

mediano, y siete partes del tamaño más pequeño para formar la mezcla de perlita. Esta mezcla ahora se puede combinar con arcilla y agua y formar ladrillos, que luego se secan y hornean.

La perlita es la obsidiana, calentado hasta dilatarse y volverse liviano. También se usa como aditivo a la tierra en la jardinería y como material aislante. Los depósitos minerales de perlita ocurren en muchos países del mundo, pero el producto dilatado y liviano sólo se encuentra en países que tienen fábricas comerciales de dilatación artificial. Cuando se halla disponible, la perlita suele ser barata y abundante.

Los ladrillos de perlita y arcilla son uno de los materiales más livianos y útiles de cerámica que hemos producido hasta la fecha.

Piedra pómez/arcilla:

La piedra pómez, como la perlita, produce los mejores resultados cuando se mezcla en forma gradual. Se debe tratar de obtener la piedra pómez más liviana posible para la mezcla. La arena volcánica, que se suele encontrar con la piedra pómez, puede ser pesada y no servir para las cerámicas aislantes. Puede que sea necesario moler piedras más grandes para obtener los tamaños pequeños necesarios. La mezcla se prepara al separar la piedra pómez en tres tamaños: 12,5mm – 4,75mm, 4,75mm – 2,36mm, y 2,36 mm y más finos. En este caso, los componentes se recombinan (por volumen) en una proporción de dos partes de las partículas grandes, una parte de las medianas y cuatro partes de las más pequeños. La arcilla se combina con el agua y se mezcla hasta formar un barro acuoso. La mezcla pómez se añade después y el material que resulta se introduce en los moldes. Es posible que se deba aplicar bastante presión para eliminar el aire y producir un ladrillo sólido. Se puede quitar el molde inmediatamente y dejar que seque el ladrillo durante varios días antes del horneado.

La piedra pómez se encuentra en muchas partes del mundo y es barata y abundante. Debe prestarse atención a la calidad de la piedra lo cual puede ser un problema en muchos lugares. Es muy fácil que un ladrillo liviano y aislante se convierta en uno pesado de alta masa térmica si no se presta atención a los detalles del proceso. La piedra pómez (así como la perlita) es sensible al calor alto (más de 1100° C). Hornearla mucho puede causar que las partículas se contraigan y se vuelvan rojas, resultando en un producto inferior. A pesar de estos temores, la piedra pómez es una buena forma de suministrar cantidades altas de cerámicas aislantes en muchos lugares del mundo.

Hay muchas fórmulas viables para fabricar cámaras de combustión refractarias y livianas. Un aislante alrededor del fuego permite hervir agua más rápidamente, prender la estufa con mayor facilidad y ahorrar leña. Es necesario crear temperaturas altas en la cámara de combustión afín de eliminar las emisiones peligrosas. Lastimosamente estas temperaturas altas degradan rápidamente a los metales, incluyendo el acero inoxidable. Las cerámicas refractarias proveen un material que es duradero y que no reduce las temperaturas de combustión a diferencia de los materiales de alta masa térmica.

Capítulo 5

Prueba en el campo de ebullición de agua

Esta prueba brinda al diseñador de estufas datos fiables sobre el comportamiento de diferentes modelos de estufas de leña. La prueba consiste en tres fases que determinan la capacidad de la estufa en: 1) hervir agua desde un punto de inicio frío; 2) hervir agua cuando la estufa está caliente; y 3) mantener el agua caliente a fuego lento. Esta prueba sirve para evaluar una serie de estufas a medida que se elaboran. La prueba no sirve para comparar estufas de diferentes zonas porque las ollas y la madera diferentes utilizadas influyen los resultados.

La prueba es una versión simplificada de la revisión de la Universidad de California en Berkeley (UCB por sus siglas en inglés) y de la Fundación Shell de la Prueba de Ebullición de Agua de Norma Internacional de VITA de 1985. La madera usada para hervir y calentar a fuego lento, y el tiempo necesario para hervir se determinan por sustracción sencilla. Todos los cálculos pueden hacerse a mano en el campo.

Utilizando una olla común y corriente, y tomando en cuenta la cantidad de humedad en la madera, la cantidad de vapor generado y otros factores, la prueba completa de ebullición de agua de la UCB y la Fundación Shell permite comparar estufas de diferentes lugares.

Antes de iniciar las pruebas...

1. **Reúna por lo menos 30kg de combustible secado al aire para tener suficiente combustible para realizar tres pruebas en cada estufa. Es posible que las estufas grandes de ollas múltiples requieran más combustible. Use madera del mismo nivel de secado y de tamaño similar. No use madera verde.**
2. Ponga 5 litros de agua en la olla de pruebas y caliéntelos hasta hervir con fuerza. Asegúrese que el fuego esté muy alto y que el agua esté hirviendo con ardor. Use un termómetro digital,

preciso a una décima de grado, para medir la temperatura de ebullición local. Meta al termómetro al centro de la olla, 5cm más arriba del fondo de la olla. **Anote** la temperatura del punto de ebullición del agua en la hoja de datos (ver página 34).

3. Realice las pruebas en un lugar completamente protegido del viento.
4. Apunte todos los resultados en la hoja de datos.

Equipo para la prueba en el campo de ebullición de agua:

- Balanza de por lo menos 6kg de capacidad y que mida a 1g de precisión
- Almohadilla resistente al calor para proteger la balanza
- Termómetro digital, preciso a un décimo de un grado, con sondas termoconectoras sumergibles
- Temporizador
- Ollas de prueba
- Instrumento de madera para sujetar la sonda de termómetro en el agua
- Pequeña pala o espátula para remover el carbón de la estufa
- Pinzas para manipular el carbón
- Otra pala para transferir el carbón
- Bandeja de metal para contener el carbón mientras se pesa
- Guantes resistentes al calor
- Tres bultos de madera secada al aire. Uno, usada para cocinar a fuego lento, de 5 kilos. Los otros dos, para hervir de inicio frío o caliente, de unos 2 kilos cada uno.

Inicio de la prueba

- a. **Apunte** la temperatura del aire.
 - b. **Apunte** el peso de una olla de uso común sin la tapa. Si se usa más de una olla, apunte el peso de cada una. Si los pesos son diferentes, asegúrese de no confundirse de olla durante la prueba. **No utilice tapas de ollas** para esta fase, o cualquier otra fase de esta prueba.
 - c. **Apunte** el peso del envase del carbón.
 - d. Prepare dos bultos de madera de unos 2 kilos cada uno para las pruebas de inicio frío y caliente. Prepare un bulto de combustible de madera de unos 5 kilos, para uso la prueba de cocción a fuego lento. Use palos de madera de tamaño similar para todas las pruebas. **Apunte** las dimensiones aproximadas del combustible. Pese y **apunte** los pesos en los espacios apropiados de la hoja de datos. Identifique cada cantidad y manténgalos separados.
6. Cuando el agua en la primera olla llega a su punto de ebullición, indicado por el termómetro digital, haga lo siguiente en cuanto antes:
 - a. **Apunte** la duración de tiempo que tardó la olla principal en llegar a su punto de ebullición. **Apunte** también la temperatura del agua en las otras ollas.
 - b. Quite toda la madera de la estufa y apague todas las llamas. Suelte todo el carbón de las puntas de la madera y póngalas en la bandeja usada para pesar carbón.
 - c. Pese la madera no quemada de la estufa junto con la madera restante del bulto anteriormente pesado. **Apunte** el peso.
 - d. Pese cada olla, con su agua. **Apunte** el peso
 - e. Quite todo el carbón de la estufa, combínelo con el carbón que sacudió de los palos y péselo. **Apunte** el peso del carbón y de su bandeja.

Fase de alto poder con inicio frío

La temperatura de la estufa debe ser ambiental.

1. Llene cada olla con 5 litros de agua fría y limpia (-20 centígrados). **Apunte** el peso de la o las ollas más el del agua.
2. Usando los instrumentos de madera, ponga una sonda de termómetro en cada olla para que la temperatura se pueda medir en el centro, a 5cm del fondo de la olla. Asegúrese de utilizar un termómetro digital. **Apunte** las temperaturas del agua.
3. **Apunte** el peso de los materiales de inicio. Utilice siempre la misma cantidad y el mismo material.
4. Prenda el fuego con la madera del primer bulto de 2 kilos.
5. Una vez que arda el fuego, empiece el Temporizador y **apunte** "0". Si se está utilizando un reloj, **apunte** la hora de inicio. Hierva la primera olla sin gastar mucho combustible.

Esto completa la fase de alto poder con inicio frío. Continúe sin pausa a la fase de alta poder con inicio caliente de la prueba. No deje que se enfríe la estufa.

Fase de alto poder con inicio caliente

1. Rellene la o las ollas con 5 litros de agua fría. Pese la o las ollas (con agua) y mida la temperatura inicial. **Apunte** las dos medidas.
2. Prenda el fuego usando leña menuda y madera del segundo bulto de 2 kilos. **Apunte** el peso de cualquier combustible adicional usado para prender el fuego.
3. **Apunte** la hora cuando se prendió el fuego y caliente rápidamente la primera olla hasta su punto de ebullición sin gastar demasiado combustible.
4. **Apunte** la hora en que la primera olla alcanza el punto de ebullición local. **Apunte** la temperatura de todas las ollas.

5. Una vez que se alcanza el punto de ebullición, haga lo siguiente en cuanto antes:
 - a. Quite toda la madera de la estufa y sacuda cualquier carbón suelto depositándolo dentro del contenedor de carbón. Pese la madera quitada de la estufa, junto con la que sobró del segundo bulto. **Apunte** los resultados.
 - b. Pese cada olla, con su agua, y **apunte** estos datos.
6. Quite el carbón que queda en la estufa y péselo (incluyendo el carbón que se quitó de los palos). **Apunte** al peso del carbón con el contenedor.

Sin pausa, siga directamente con la prueba de cocción a fuego lento.

Prueba de cocción a fuego lento

Esta fase está diseñada para comprobar la capacidad de una estufa en hervir agua a fuego lento usando lo menos leña posible. Utilice la madera del bulto de 5 kilos para hervir el agua. A continuación, apunte el peso de la madera que sobra, y siga cociendo el agua lentamente por unos 45 minutos.

Solamente la olla principal se utiliza en esta prueba.

Inicio de la prueba de poder reducido:

1. **Apunte** el peso de la madera que sobró del bulto original de 5 kilos.
2. Rellene la olla con 5 litros de agua fría. Pese la olla (con agua). **Apunte** el peso. **Apunte** la temperatura.
3. Prenda el fuego de nuevo con la madera del bulto pesado anteriormente. **Apunte** al peso de cualquier combustible adicional usado para prender el fuego.
4. Haga hervir la primera olla sin gastar más combustible de lo necesario. Justo cuando se llega al punto de ebullición local, haga lo siguiente **en cuanto antes y con cuidado**.

5. **Apunte** el tiempo que tardó en hervir el agua y su temperatura. Rápidamente pese el agua en la olla principal y póngala de nuevo en la estufa. **Apunte** el peso de la olla con el agua. **Apunte** el peso de la madera que sobró del bulto original de 5 kilos. Vuelva a poner el termómetro en el agua y prosiga con la prueba de cocción a fuego lento reduciendo el fuego. **Mantenga el agua lo más cerca posible de 3 centígrados bajo el punto de ebullición.**
6. **Apunte** la temperatura inicial del agua.
7. **Apunte** el tiempo de inicio. Durante los próximos 45 minutos, mantenga el fuego a un nivel que conserve la temperatura del agua lo más cerca posible de 3 centígrados bajo el punto de ebullición.
8. Una vez que transcurran 45 minutos, haga lo siguiente en cuanto antes:
 - a. **Apunte** la hora en que se terminó la prueba (debe ser 45 minutos)..
 - b. **Apunte** la temperatura del agua al fin de la prueba.
 - c. Quite toda la madera de la estufa y sacuda todo el carbón suelto de las puntas de la madera. Póngalas en la bandeja usada para pesar carbón. Pese la madera que queda, incluyendo la madera no utilizada del bulto original. **Apunte** el peso de la madera.
 - d. Pese la olla con el agua que queda. **Apunte** el peso.
 - e. Extraiga todo el carbón que sobra de la estufa y péselo (incluyendo al carbón que se soltó de los palos). **Apunte** el peso de la bandeja con el carbón.

Esto concluye la prueba completa de ebullición de agua. La prueba completa debe realizarse por lo menos tres veces con cada estufa para obtener resultados exactos.

No es un problema si la temperatura sube y baja, pero:

- 1. La persona que realiza las pruebas debe asegurarse que la temperatura del agua no baja de más de 3 centígrados debajo de la temperatura de ebullición local.**
- 2. La prueba es inválida si la temperatura en la olla baja de más de 6 centígrados debajo de la temperatura de ebullición.**
- 3. La persona que realiza las pruebas no debe partir la madera en pedazos más pequeños para reducir el poder del fuego.**

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

- Averigüe qué tiempo requiere la ebullición con inicio frío, inicio caliente y para la fase de ebullición de la prueba de cocción a fuego lento.
 - Calcule la cantidad de madera usada restando el peso de la madera sobrante al final de cada fase del peso inicial. Haga esto para las pruebas de alto poder con inicio frío, alto poder con inicio caliente, la fase de ebullición de la prueba de cocción a fuego lento y para la cocción a fuego lento.
 - Calcule el agua que se perdió con el vapor para cada una de las cuatro fases sustrayendo el peso restante del peso inicial del agua.
 - Haga lo mismo para el carbón producido.
 - Use estos números para evaluar el funcionamiento de la estufa. Cambie el diseño de la estufa para reducir el uso de madera y crear menos carbón. El hecho de crear mucho carbón indica que la combustión es pobre.
 - Calcular la cantidad de vapor perdido es un método valioso para comprobar que el funcionamiento de la estufa es similar en todas sus fases. Usualmente la prueba de alto poder con inicio caliente usa mucho menos combustible y el tiempo de ebullición es más rápido comparado con la fase de alto poder con inicio frío. Si existen serias diferencias entre los pesos apuntados, el tiempo de ebullición y el vapor perdido entre las fases 2 y 3, se recomienda repetir las pruebas prestando atención a no variar demasiado como se mete leña al fuego.
 - El vapor perdido durante la fase de cocción a fuego lento también es un buen indicador de la capacidad de funcionamiento de una estufa cuando se usa a bajo poder. Es difícil diseñar una estufa que pueda hervir agua rápidamente y cocinar bien a fuego lento sin usar una gran cantidad de combustible. Sin embargo, como la mayor parte del tiempo dedicado a la cocción se hace con fuego lento, los ahorros más grandes de combustible pueden residir en una estufa que funcione eficazmente durante este tiempo. Grandes cantidades de vapor durante la cocción a fuego lento es señal de que la estufa tiene problemas en pasar del alto poder requerido para hervir agua rápidamente al bajo poder requerido para la cocción eficaz a fuego lento. Trate de cambiar el diseño para que la estufa pueda cocinar a fuego lento sin dificultad a la par de satisfacer a los que cocinan y desean una ebullición rápida.
- Tenga en mente que los resultados de esta prueba no sirven para comparar estufas comprobadas en otros lugares. La prueba completa de UCB/Shell debe ser usada para dichos propósitos.
- Para más información, visite nuestra página Web en www.aprovecho.net o contáctenos en:
- Aprovecho Research Center**
80574 Hazelton Rd.
Cottage Grove, OR 97424
(541) 942-8198

Hoja de datos

Fecha

Prueba Numero

Estufa

punto de ebullición local

temperatura del aire

dimensiones de la madera

peso olla 1

peso olla 2

peso del contenedor de carbón

Notas: DATOS DE LA PRUEBA EN EL CAMPO DE EBULLICIÓN DE AGUA Y HOJA DE CÁLCULOS
 Deben rellenarse todos los espacios
 Resultados del DOS y el TRES deben ser similares.
 Las estufas mejores usan menos madera y producen menos carbón.
 Los que cocinan suelen apreciar una ebullición rápida

	2 - 2k	3 - 5k	4
	Alto poder con inicio frío	Hervir	Cocinar a fuego lento 45 minutos
	inicio fin	inicio fin	inicio fin
BULTO 1 - 2kilos			
tiempo	A <input type="text"/> B <input type="text"/>	E <input type="text"/> F <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>
peso madera	#G <input type="text"/> H <input type="text"/>	#K <input type="text"/> L <input type="text"/>	M <input type="text"/>
Temp agua olla 1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Temp agua olla 2	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
peso olla 1 más agua	N <input type="text"/> O <input type="text"/>	R <input type="text"/> S <input type="text"/>	T <input type="text"/>
peso olla 2 más agua	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
peso materiales usados para prender fuego	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Peso carbón y contenedor	U <input type="text"/>	V <input type="text"/>	X <input type="text"/>

Hoja de cálculos

Tiempo de ebullición:

_____ = B – A = Tiempo que requiere la ebullición en la fase de alto poder con inicio frío

_____ = D – C = Tiempo que requiere la ebullición en la fase de bajo poder con inicio caliente

_____ = F – E = Tiempo que requiere la ebullición en la fase de ebullición de la cocción a fuego lento

Uso de madera:

_____ = G – H = Uso de madera para la fase de alto poder con inicio frío

_____ = I – J = Uso de madera para la fase de bajo poder con inicio caliente

_____ = K – L = Uso de madera para la fase de ebullición de la cocción a fuego lento

_____ = L – M = Uso de madera para la fase de cocción a fuego lento

Agua convertida a vapor:

_____ = N – O = Agua perdida al vapor durante la fase de alto poder con inicio frío

_____ = P – Q = Agua perdida al vapor durante la fase de bajo poder con inicio caliente

_____ = R – S = Agua perdida al vapor durante la fase de ebullición de la cocción a fuego lento

_____ = S – T = Agua perdida al vapor durante la fase de cocción a fuego lento

Carbón creado:

_____ = U – Y = Carbón creado en la fase de alto poder con inicio frío

_____ = V – Y = Carbón creado en la fase de bajo poder con inicio caliente

_____ = X – V = Carbón creado o consumido durante la fase de cocción a fuego lento
(Si esta cifra es positiva, significa que se creó carbón durante la cocción a fuego lento, y si es negativa, significa que se consumió carbón durante la fase de cocción a fuego lento)

Apéndice

Glosario de términos

Alto poder—Modo de operación de la estufa cuando el objetivo es hervir el agua lo más rápido posible; el poder más alto con el que pueda funcionar una estufa.

Bajo poder—Modo de operación de la estufa cuando el objetivo es calentar el agua o el alimento a fuego lento; el poder más bajo con el que pueda funcionar una estufa y seguir manteniendo una llama y cocinando comida.

Baldosa—Azulejo de piso aproximadamente de 2,5cm de espesor, que se puede cortar o moldear en formas apropiadas para una cámara de combustión.

Caja aislante—Recinto aislado, relativamente hermético, que mantiene la temperatura de la olla, permitiendo que se terminen de cocinar los alimentos una vez que se quita la olla de la estufa.

Cámara de combustión—Parte de la estufa en la que quema el combustible.

Capa límite—Capa muy delgada de aire inestable lento inmediatamente adyacente a la superficie de la olla; aísla la olla de los gases calientes de combustión y disminuye la cantidad de calor que entra a la olla.

Carbón de leña—Material negro y poroso que contiene carbón en su mayor parte y que se produce al quemar madera o un biocarburante.

Convección—Intercambio térmico en un gas o un líquido debido el movimiento del aire o del agua.

Corriente de aire—Aire que se desplaza por una estufa y que sube por la chimenea.

Eficacia del combustible—Porcentaje de la energía térmica del combustible que se utiliza para calentar alimentos o agua.

Eficacia de combustión—Porcentaje de la energía térmica del combustible liberada durante la combustión. La eficacia de combustión se refiere a la cantidad de la energía del biocarburante que se convierte en energía térmica.

Eficacia de intercambio térmico—Porcentaje de calor liberado por la combustión que pasa a una olla.

Emisiones—Subproductos del proceso de combustión que se descargan en el medio ambiente.

Energía retenida—Energía de calor que calienta los recintos alrededor del fuego que no se escapa a su exterior; se puede utilizar para calentar una sala.

Estufa de gran peso—Estufa hecha de tierra sin aislante, de arcilla, de hierro fundido u otro material pesado que requiere un alto nivel de energía para poder calentarse cuando se utiliza.

Exceso de aire—Cantidad de aire usada en exceso de la cantidad necesaria para la combustión completa.

Falda de la olla—Cilindro, que suele ser una lámina de metal, que rodea una olla, creando un espacio estrecho que permite que más calor de los gases de combustión pase a la olla.

Gases de combustión—Gases calientes que fluyen de la cámara de combustión y salen por la chimenea (si hay una chimenea).

Potencia del fuego—Tasa de consumo del combustible, generalmente en kilogramos de combustible por hora.

Prueba de ebullición de agua (WBT por sus siglas en inglés)—Prueba que sirve para medir el rendimiento general de una estufa de cocina.

Hay varias versiones de la prueba de ebullición de agua. En general la prueba consiste en tres fases: 1) hervir agua desde un punto de inicio frío; 2) hervir agua con una estufa caliente; y, 3) mantener el agua a fuego lento.

Rejilla—Red de barras o maya que sirve para mantener fijo el combustible o la comida en una estufa, un horno o una chimenea.

Vermiculita—Material ligero, barato e incombustible, producido por depósitos minerales que existen naturalmente en muchas partes del mundo. La vermiculita sirve para hacer cerámicas ligeras y aislantes, con muy poco esfuerzo. Es muy fuerte y resistente al calor, y parece ser una de las mejores opciones para hacer cerámica aislante.



Aprovecho Research Center
Advanced Studies in Appropriate Technology



SHELL
FOUNDATION



United States
Environmental Protection
Agency

Office of Air & Radiation
(6609J)

EPA-402-K-06-005
July 2006