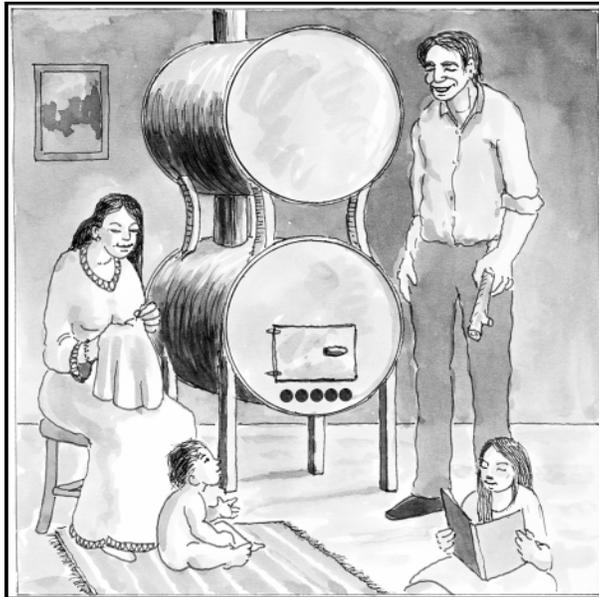


El Diseño de Estufas Mejoradas para Calefacción

por Dean Still



Ilustrado por: Mona Cancino, Mike Ledawski,
Ethan Hughes, Brian Thomas,
Mike Van, Jayme Vinyard

**Centro de Investigación Aprovecho
y la Fundación Shell**

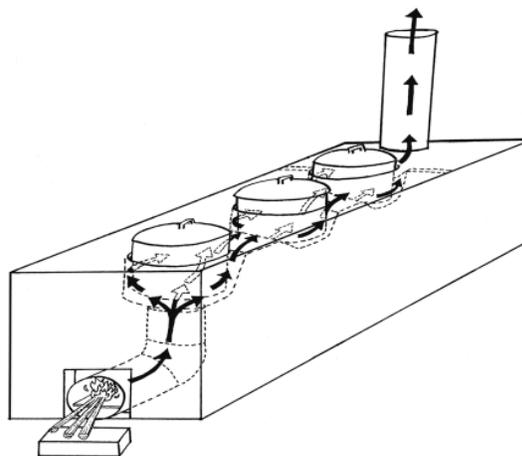
Contenido

Aprendiendo de las Estufas para Cocinar	2
Tres Patrones para las Cámaras de Combustión	7
Intercambiadores de Calor	9
Estufas de Calefacción (ejemplos).....	19
Opciones para Aislar las Cámaras De Combustión	43

Aprendiendo de las Estufas para Cocinar

El centro de investigación Aprovecho ha investigado cómo se queman la leña y otras biomásas desde 1976. La mayor parte de ese trabajo ha tratado de las estufas para cocinar. Sin embargo, muchos de los principios aprendidos de las estufas para cocinar también se aplican a las estufas para calefacción. Después de años de investigación, llegó a estar claro que el índice de traspaso térmico al cazo determina en gran parte la eficiencia de combustible de una estufa para cocinar, especialmente porque la alta eficiencia de la combustión (que transforma una gran parte de la leña en calor) es relativamente fácil de alcanzar.

El director técnico en Aprovecho es el Dr. Larry Winiarski, un talentoso ingeniero industrial. Larry es un profesor que ha dirigido nuestras investigaciones en el centro de investigación. Las estufas para cocinar y las para calefacción, que Aprovecho ayuda a grupos indígenas a desarrollar alrededor del mundo son las invenciones de él. El conocimiento que Larry posee de la termodinámica de la estufa ha resultado en un sistema de diez principios de diseño que se pueden utilizar para crear muchos tipos de estufas.



El Dr. Winiarski precisó hace años cómo mejorar estufas para calefacción e impresionó a personal de Aprovecho al construir estufas que utilizaron menos combustible y que lo quemaron más limpiamente. Sus experimentos demostraron que la cámara de combustión (donde se quema el fuego) es solamente una porción del éxito de la estufa para calefacción. El intercambiador de calor mejora el traspaso térmico al cuarto, controlando en mayor parte cuánta leña se utiliza.

Una cámara de combustión exitosa alcanza una combustión casi completa (que convierte casi 100% de la leña en calor) y no permite que el humo, que es el combustible no quemado, se escape. Bastante aire entra en un compartimiento aislado

para crear un fuego feroz y caliente que se queme limpio. El segundo trabajo de la buena estufa es poner casi el 100% del calor en el cuarto.

Los ductos de la chimenea son intercambiadores ineficaces de calor

Un ducto cilíndrico como chimenea (que evacúa el humo de la combustión hacia el exterior) permite que mucho del calor se escape hacia afuera en vez de forzar el calor a permanecer en el cuarto en donde debe estar su uso. El ducto de la chimenea es ***un intercambiador de calor ineficaz***. El humo caliente fluya por el centro del ducto que evita la fricción con sus lados. Así pues, una porción grande del calor generado al quemar la leña se pierde porque se escapa por la chimenea, hacia fuera en el aire frío más allá de las ventanas y las paredes del cuarto. Las pruebas de Aprovecho ha demostrado que capturar el calor perdido reduce dramáticamente el consumo de combustible. ¡Usar a un buen intercambiador de calor logra bienestar para las familias con mayor comodidad, más rápido, y con menos combustible!

Primero Una Quema Limpia

Una buena cámara de combustión convierte la leña u otra biomasa en calor, sin crear mucho humo o creosota (alquitranes de leña condensados). De la combustión completa de la leña resultan dos subproductos: bióxido de carbono y vapor de agua. La combustión incompleta crea las partículas incombustas que causan la contaminación, y la creosota que llena las chimeneas que se puede quemar produciendo fuegos dentro del ducto de la chimenea cuando ésta se enciende.

La combustión completa es la meta de la cámara de combustión. Pero una estufa para calefacción no puede quemar la leña limpiamente sin un fuego fuerte. La combustión casi completa en una estufa de leña puede ser alcanzada realizando las cosas siguientes:

- 1) *Dividir* la leña o combustible en trozos más pequeños. Meterlos al fuego en una velocidad apropiada, es decir, según como se consumen.
- 2) *Hacer un fuego caliente* que crea una combustión para dividir donde en zonas el combustible, la llama y el aire son mezclados por la turbulencia, en arriba una bastante temperatura, por un período suficientemente largo totalmente al combust. Las temperaturas de la combustión deben ser bastante calientes asistir a quemarse todos los gases que se escapan lanzados de la leña.

Recuerde que la leña misma no se quema. La leña se calienta y después lanza los gases constitutivos que estallan en llamas. Un fuego caliente es un fuego limpio, pero un fuego más frío perezoso contamina el aire que los seres humanos necesitan para respirar.

3) *Precalentar el aire que se incorpore el área de combustión* ayuda a mantener temperaturas calientes.

4) *Encender el humo que se escape* (que es uncombusted el combustible), pasándolo a través de la llama.

5) *Proporcionar aire adecuado*. Sin ello el fuego se reduce, se enfría y produce humo.

**Temperatura de Ignición
(Fahrenheit en aire) de los
Gases de Leña**

Hidrógeno	750
Monóxido de carbono	1125
Métano	1000

*Combustion Engineering, Borman &
Ragland, 1998*

6) *Calentar, y aumentar la velocidad del aire frío que entra en el fuego*. El aire se calienta a medida que pasa por una abertura pequeña en la cámara de combustión. ***Haga agujeros pequeños debajo de la puerta en la cámara de combustión así que los agujeros tienen tanta área en total como la de la chimenea.*** Ubique los agujeros para que el aire sea aspirado primero por las brasas y luego por la leña que se está quemando. ***No permita que el usuario bloquee los agujeros, porque reducirá el aire primario. El bloqueo de la cantidad necesaria de aire creará contaminación.*** La velocidad de combustión en una estufa para calefacción se debe controlar por la cantidad de combustible depositado en la cámara de combustión, no por la limitación de la entrada del aire al fuego.

7) *Juntar los palillos de leña formando una rejilla*. Los trozos que se queman estando cercanos unos a otros, mantienen la temperatura alta. El patrón debe ser palillo, aire, palillo, aire, con espacios uniformes entre los palillos.

8) *Cree una corriente adecuada de aire*. Use una chimenea bastante alta o un ventilador pequeño. Una chimenea aislada crea mucho más corriente de aire que una chimenea sin aislar. Chorros de aire caliente de alta velocidad que entran bajo el fuego, por las brasas, crean una buena mezcla que reduce emisiones. ***No utilice un apagador en la chimenea. Diseñe la estufa para funcionar eficientemente, con suficiente aire entrando y saliendo de la estufa para quemar el combustible completamente.***

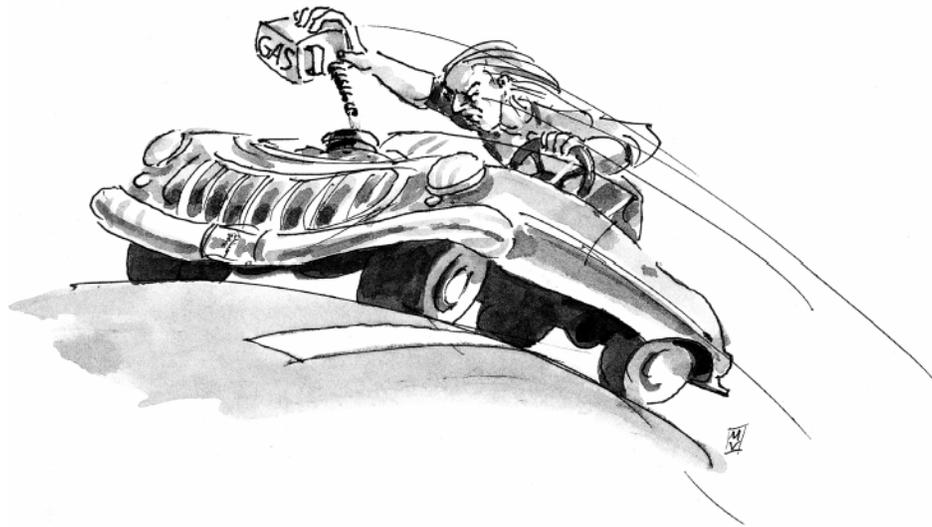
La combustión completa no puede ocurrir al encender una estufa porque la cámara de combustión es demasiado fría. Una cámara de combustión aislada calentará rápidamente, y después cuando las cantidades medidas de biomasa se queman, hará menos humo. Metiendo un gran palo en el fuego, sin embargo, siempre hace humo. Partes del palo son demasiado frías y están haciendo más gases que puede ser quemados.

Sin bastante aire la leña no puede quemarse limpio. El tamaño de las entradas de aire en el fuego se debe sumar hasta la area de la chimenea que sale de la estufa. Retardar el fuego por reducir el aire al fuego causa una columna horrible del humo de la chimenea. Una estufa debe tener bastante aire para funcionar eficientemente.

¡Medición del combustible!

Echar un gran palo al fuego es como descargar un galón de gas, de una vez, dentro del carburador de un coche; el coche puede seguir funcionando, si no se atasca totalmente. Sin embargo, el humo saldrá ciertamente fuera del mofle mientras el coche lucha por quemar el exceso del combustible.

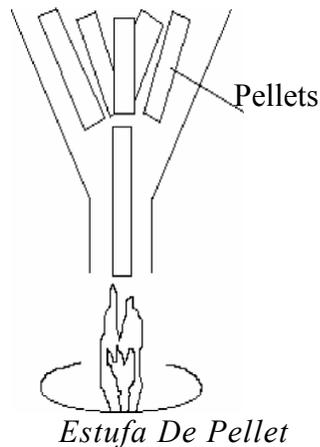
El combustible necesita ser medido para alcanzar una combustión eficiente. Ésto es así, en los vehículos, porque los coches tienen carburadores que mezclan exactamente la cantidad apropiada de aire, de combustible y de chispa. La estufa mejorada para calefacción hace la misma cosa: quema los gases sin dejarlos escaparse hasta que se han quemado completamente.



Estufas De Pellet

Las estufas de pellet no expelen humo porque apenas se entrega la cantidad apropiada de combustible y éste se quema. Un ventilador permite precalentar el aire que entra al fuego y asegurar una buena mezcla de gases, aire y llama. Las estufas de pellet no restringen el aire que entra al fuego. Mucho aire es necesario para quemarse caliente y limpio. La cantidad de calor es regulada al ajustar la cantidad de combustible que entra por minuto al fuego. En una estufa de pellet, el combustible cae abajo en un crisol pequeño, reponiéndose el combustible en la misma velocidad que se consume. Esta pequeña cantidad de combustible se quema totalmente. Ningún humo y pocas emisiones salen fuera de la chimenea. En los Estados Unidos las estufas de pellet queman combustible tan limpiamente que son exentas de regulaciones ambientales.

El medidor del combustible facilita que una quema sea limpia. En una estufa común a leña, la misma cosa se puede lograr quemando trozos pequeños de leña seca, y monitoreándolos para cerciorarse de que una llama feroz sigue consumiendo el combustible. Muy poca observación enseña rápidamente al operador cómo mantener una quema limpia. Desafortunadamente, la adición de combustible a intervalos regulares es mucho más exigente que lanza un palo al fuego y no hacer caso del humo que contamina el ambiente.



Tres Patrones para las Cámaras de Combustión

Si el humo pasa por la llama, se enciende. ¿Cuál de los patrones siguientes tiene el potencial más grande para quemarse limpio?

Las ilustraciones muestran patrones distintos de meter leña a una cámara de combustión.

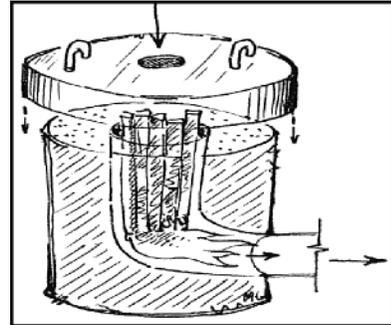
1. El patrón favorito del Dr. Winiarski es la alimentación superior. Los palillos verticales se queman en la base y caen hacia abajo mientras se consumen. El aire va hacia abajo entre los palillos al fuego. Las brasas caen delante de la trayectoria de la llama y ayudan a crear un segundo ambiente en el cual el humo se enciende. Una oja de llama se tira horizontalmente en un espacio aislado. Cualquier humo que escape la quema inicial, encenderá generalmente en la llama. En esta estufa la quema es limpia como la estufa de pellet debido a la medición del combustible que se agrega al fuego.

2. La entrada lateral es el patrón más común para alimentar un fuego. Los palillos se empujan al fuego mientras que se queman. En este patrón, el fuego crea las brasas que quedan debajo de la llama, que es menos útil para asistir a la combustión secundaria. Con cuidado, sin embargo, la alimentación lateral puede ser una opción efectiva.

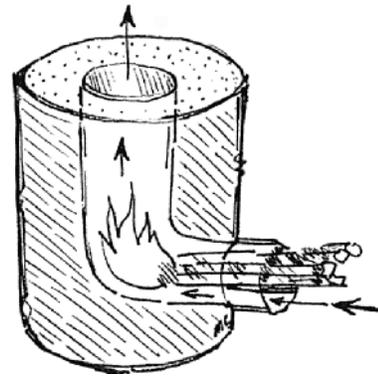
3. El tercer patrón es embalar la leña en la cámara de combustión. Esto se llama cargamento de hornadas. Los palillos se sostienen verticalmente.

¿Si usted deseara reducir el humo al mínimo, encendería el fuego en la tapa o el fondo de la hornada?

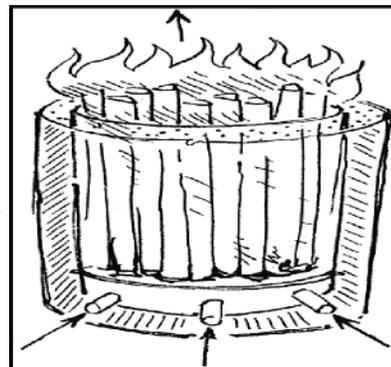
Si la hornada de leña se enciende en el fondo, cualquier humo que se escape, se desplaza hacia arriba y lejos de la llama. Encender la hornada en la tapa, por otra parte, puede resultar en una quema limpia porque el humo es más probable pasar a través de la llama. Las estufas para calefacción hechas de cemento utilizan a menudo esta técnica.



1. Alimentación continua, entrada desde arriba

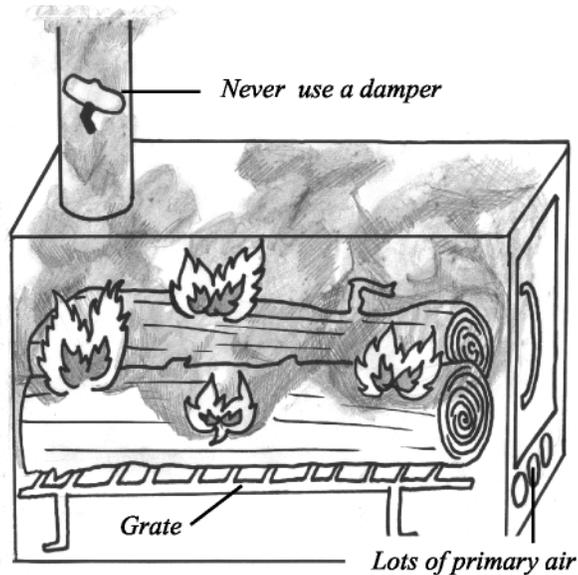


2. Alimentación continua, entrada desde el lado



3. Cargamento de hornadas, entrada del aire desde abajo

4.) Hay, por supuesto, un cuarto patrón para una cámara de combustión: Encierre los palos de leña en un contenedor de metal, levantados del piso por una rejilla, y enciende los trozos grandes a quemarse con astillas. El aire se provee a través de los agujeros que crean chorros de aire de alta velocidad que pasan hacia arriba a través de las brasas a la leña quemando. Estos agujeros permiten que la misma cantidad de aire entre la cámara de combustión que la que salga a través del intercambiador de calor y chimenea.



No permita que el usuario bloquee los agujeros, reduciendo el aire primario*, o que reduzca la circulación de aire en la chimenea usando un apagador. Reducir el aire primario produce humo, generando contaminación y desperdiciando el combustible.

Dado bastante aire, los palos se quemarán sin ser monitoreado por un par de horas, haciendo la estufa fácil utilizar. Pero el proporcionar bastante aire primario y el aislante alrededor del fuego no alterarán la naturaleza de éste arreglo: éste es un patrón inevitablemente humoso. Por otra parte, este patrón es tan agradable de utilizar que, aunque es ambientalmente antipático, tiene que ser incluido como opción.

* El aire primario entra directamente en el fuego. El aire secundario entra sobre el fuego para asistir a la mezcla de aire y fuego del combustible y para proporcionar más oxígeno si es necesario para la combustión de gases.

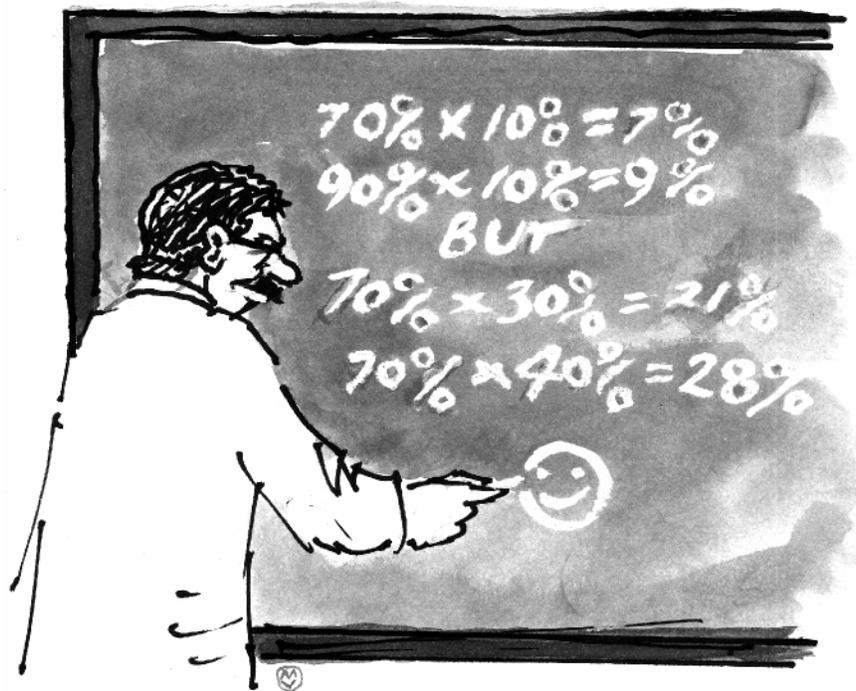
Intercambiadores de Calor

Hay tres tipos de intercambiadores de calor generalmente usados para capturar el calor producido en la cámara de combustión. El humo caliente puede:

- A.) Calentar una **masa** pesada de piedra o de cemento.
- B.) Calentar **agua** que entonces calienta la casa.
- C.) Calentar el **aire** más frío en el cuarto. Esta ruta es la más fácil y menos costosa.

Los intercambiadores de calor aumentan el traspaso térmico al cuarto al asegurarse de que el aire caliente que transfieren se haya enfriado al máximo antes de escapar por el ducto de la chimenea. Aún un fuego muy lento convierte por lo menos el 70% de la leña en calor. Pero la eficiencia del traspaso térmico (calor entregado al cuarto) puede ser menos de un 20% en sistemas mal diseñados. Como demuestra la figura inferior, un poco de mejoramiento en el traspaso térmico produce aumentos impresionantes en la eficiencia del combustible.

Cuando analise un sistema, intente de mejorar la parte menos eficiente primero. Ésta tiene el beneficio más grande en la eficiencia del total sistema!



Cómo Elegir Entre Los Intercambiadores de Calor Aire-a-Aire y Aire-a-Masa

Los intercambiadores de calor de alta masa se crearon en los días de las viviendas mal selladas, cuando la calefacción por aire no sirvió para calentar la casa. Las viejas casas tenían más de 10 intercambios de aire por hora. ¡Todo el aire en la casa era sustituido diez veces o más cada hora! No tenía sentido calentar el aire que saldría rápidamente afuera.

Almacenar calor en una gran masa termal dentro de la casa cumple dos objetivos:

1.) Permite aprovechar de gran quemas, calientes y limpias, donde el exceso del calor se almacena en vez de recalentar el interior de la casa. 2.) Aún cuando esté lleno de calor almacenado, la superficie del intercambiador de calor se mantiene en una temperatura relativamente baja para irradiar calor a una menor velocidad por hora en el cuarto. Una roca grande y caliente que se encuentre en el cuarto calentará a los ocupantes por efecto de la irradiación de calor aún cuando el aire del sitio está frío. Las estufas de alta masa satisfacen perfectamente los ambientes fríos de casas mal selladas para los cuales fueron diseñadas.

Casas Mal Selladas Pierden Constantemente El Calor

Muchas casas de hoy son mejor selladas. Las casas modernas pueden tener la mitad de un intercambio de aire por hora. Calefaccionar el aire se convierte en una opción aceptable. El aire caliente tiene tiempo para calentar los ocupantes e interiores. Sellar las grietas en la casa es el paso más importante para mantener calor en su interior. El aislante de la casa es el segundo paso más eficaz para usar menos combustible.

Muchas personas todavía viven en casas con muchos intercambios de aire por hora. La estufa aire-a-masa evolucionó para calentar exactamente ese tipo de casa. Pero para casas mejor selladas con mejor aislante, es menos necesario usar un intercambiador masivo.



Heat the inside, not the outside

Los Pro y Contra del Intercambiador Masivo

Positivo

1. La masa almacena calor que puede calentar la casa durante la noche.
2. El apacible calor radiante se siente bien.
3. El tiempo de combustión puede ser reducido.
4. El fuego puede ser enorme y caliente, dando por resultado una quema limpia.
Debido a que el calor se almacena a una temperatura más baja, se propagará más lentamente y el sitio no tenderá a recalentarse.

Negativo

1. El calor almacenado está allí si usted lo necesita o no. Si el día repentinamente hace calor, el cuarto puede recalentarse.
2. La masa toma bastante espacio. Para almacenar suficiente calor el intercambiador de calor debe pesar millares de libras.
3. La masa fría tomará un tiempo largo para calentarse y para calentar el cuarto. Una estufa de alta masa, de lenta respuesta, no sirve porque deberá encenderla cada vez que regrese a la casa. La estufa necesita ser mantenida caliente.
4. Construir la canalización en piedra, ladrillo o adobe puede requerir entrenamiento.

El Intercambiador Aire-a-Aire

Positivo

1. Es barato y fácil de hacer.
2. No pesa mucho.
3. Ocupa menos espacio.
4. Calienta el cuarto rápidamente.
5. Si el tiempo cambia y hace calor repentinamente, el calor de la estufa puede ser ajustado.

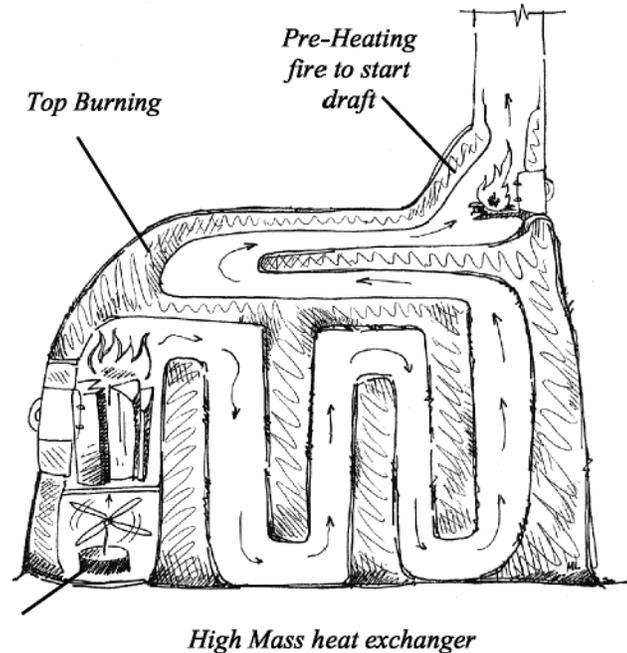
Negativo

1. No conserva el calor, se enfría cuando se apaga el fuego.
2. No impulsa los fuegos fuertes, grandes, calientes, limpios (que recalientan el cuarto). Puede impulsar los fuegos pequeños que contaminan.
3. Convienen las casas mejor selladas.

Los Intercambiadores Masivos Impulsan Una Quema Limpia

Lo bueno de los intercambiadores aire-a-masa y de los sistemas aire-a-agua es que la estufa puede estar muy caliente, encendida durante mucho tiempo sin recalentar el sitio. El calor entra a la piedra o al agua fresca, en vez de pasar inmediatamente al aire del sitio. Los fuegos grandes son muy calientes y queman las partículas más dañinas. Por eso producen emisiones menos dañinas.

Cuando la masa ha capturado el calor después de una quema intensa, se puede apagar el fuego. Un apagador y una puerta hermética en la estufa previene que el aire fluya al ducto de la chimenea. El calor almacenado en la masa irradia en el cuarto, sustituyendo el calor perdida al exterior. La temperatura ambiente permanece relativamente constante aunque el fuego se extinga por períodos de tiempo prolongados.



Ventilador opcional baja la pérdida del calor por empujarlo por pasillas más largas.

Cerrar el tubo (que aísla la chimenea) después de una quema también ayuda a disminuir el número de intercambios de aire en el cuarto. Mientras que el aire está pasando por la chimenea, es sustituido por el aire frío que entra en la casa a través de las grietas de las puertas y en los marcos de las ventanas. Encender una estufa aumenta generalmente el número de intercambios de aire en un cuarto o una casa. Usar una estufa de leña que está encendida constantemente puede tener este efecto secundario negativo.

Apagar la chimenea después de una quema de tres o cuatro horas soluciona este problema. Estufas para calefacción aire-a-aire también pueden reducir o eliminar el aumento de intercambios de aire al alimentar el fuego con aire tomado desde fuera de la casa a través de un tubo en la pared o en el piso en la estufa. De este modo el aire se provee directamente al fuego y no fluye adentro del cuarto a través de las grietas.

Una fuente externa de aire cercana a la cámara de combustión es muy provechosa porque elimina el aumento de intercambios de aire en la casa. Aún un agujero en la pared o en el piso cerca de la estufa ayuda, si la mayoría del aire que entre en el cuarto va hacia el fuego.

Intercambiadores Aire-a-Agua

La calefacción por agua requiere cuidado debido a la subida de presión cuando hierve el agua. Ductos de agua pueden corroerse o ser llenados por completo de depósitos de minerales. A pesar de estos problemas, el agua es un gran medio para almacenar el calor. Por kilo, el agua almacena 5 veces más calor que una roca (la densidad de la roca compensa esta diferencia a un cierto grado). Un BTU levantará la temperatura de una libra de agua en un grado Fahrenheit. Aumentar la temperatura de una roca o un adobe requiere solamente 1/5 de un BTU.

Por esta razón la calefacción por agua es una manera muy eficiente de capturar el calor del fuego antes de que se vaya al cielo. La eficiencia del traspaso térmico en los grandes contenedores de agua puede ser muy buena y el agua almacena y retiene el calor durante mucho tiempo.

En el Centro de Investigaciones Aprovecho hay duchas calentadas por leña. ¡Aún las construidas más cuidadosamente goteaba o explotaba de vez en cuando! Los intercambiadores de calor aire-a-agua parecen estar tan llenos de problemas potenciales que nunca hemos instalado uno en Aprovecho. Imagínese intentar de reparar los ductos malogrados enterrados en su piso... hasta ahora las complicaciones y el costo nos han dirigido a soluciones más simples. El agua como medio de calefacción es una idea teóricamente grande pero también complicada.

Ventajas

1. Puede proporcionar un trasposo de calor muy eficiente.
2. El agua retiene más calor que otras masas térmicas.
3. Permite controlar la cantidad para calefacción al abrir o cerrar radiadores.

Desventajas

1. Usualmente requiere un termostato
2. Necesita válvulas de seguridad.
3. El agua puede gotear.
4. Los minerales del agua puede reducir el diametro interno del ducto, causando un disminución del caudal del agua, aumento de la temperatura, y aumento de la presión en el sistema.

Environmental Building News (Volumen 11, Número 1, Enero de 2002) concluye que calefacción radiante por agua no es necesaria en casas aisladas y selladas. El control de los intercambios del aire en la casa (digamos, menos de un intercambio de aire por hora) y suficiente aislante (el código de Oregon requiere R-38 en el techo y R-21 en las paredes) funciona tan bien que un sistema para calefacción puede ser más pequeño, simple y barato. Aislar y sellar hacen la calefacción simple y fácil.

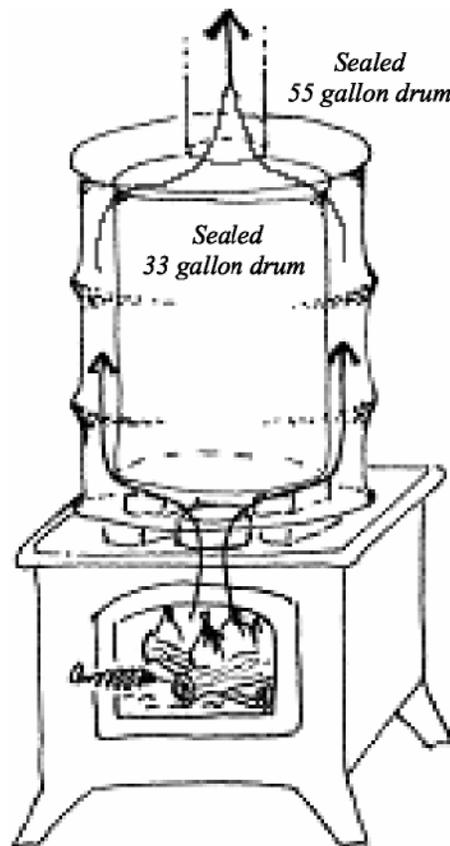
El Intercambiador de Calor Aire-a-Aire Es Más Caliente y Más Barato

Una estufa que usa a un intercambiador de calor de alta masa puede conseguir mucho calor con quemas calientes cortas. Una estufa para calefacción aire-a-aire tiene una tarea más dura por lograr: para crear un fuego igualmente caliente, más pequeño que iguale la demanda para calefacción del espacio. El tipo de estufa aire-a-aire depende más en hacer las cosas correctamente para reducir emisiones nocivas, puesto que no está creando un fuego caliente enorme. El factor grande que favorece el tipo aire-a-aire es que pueden ser construidas económicamente y rápidamente.

Estufas Con Intercambiadores de Calor Aire-a-Aire

Después de cerciorarse de que la cámara de combustión quema limpiamente, el Dr. Winiarski agrega a la estufa uno de dos tipos básicos de intercambiadores de calor aire-a-aire: tiro descendente o tiro ascendente.

Los intercambiadores de calor tienen que cumplir por lo menos dos objetivos para funcionar eficientemente. Mientras que se mantiene una área transversal casi igual de la chimenea original, el calor entra en contacto con una área de metal cuya superficie es mucho mayor. El humo caliente fluye en canales reducidos que fuerzan el calor a frotar contra el metal. El humo calienta la superficie interior del metal. La superficie externa entonces calienta el aire del sitio.

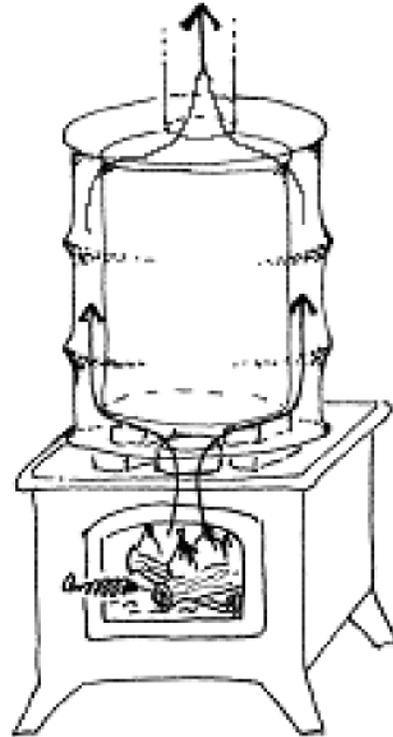


Updraft Heat Exchanger

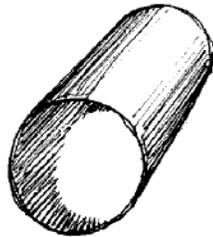
Los buenos intercambiadores de calor aire-a-aire tienen las características siguientes:

1. Área superficial grande.
2. Gran diferencia entre las temperaturas. Una superficie muy caliente propaga un mayor porcentaje del calor a un cuarto que una superficie más fresca. La superficie del intercambiador de calor debe estar tan caliente como sea posible.
3. Forza tanto aire caliente a través del sistema como sea posible
4. Las paredes del intercambiador de calor deben tener alta conductividad (metal, no cerámica, por ejemplo).

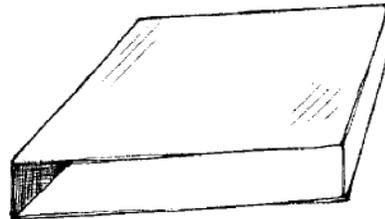
Los siguientes son tres ejemplos de intercambiadores de calor aire-a-aire que se puede construir rápidamente y anexas a una estufa existente para calefacción. Se construyen de barriles de 33 y de 55 galones. Cada uno se ha utilizado y probado en Aprovecho.



Cilindro

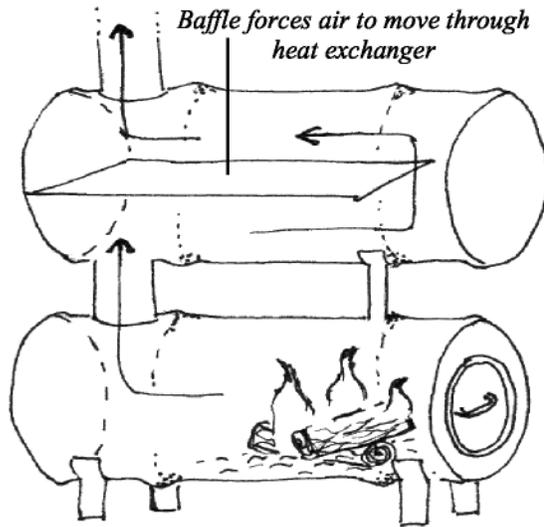


Rectángulo



La misma área trasversal, pero una área superficial muy aumentado en el rectángulo.

Estufa de Dos Barriles



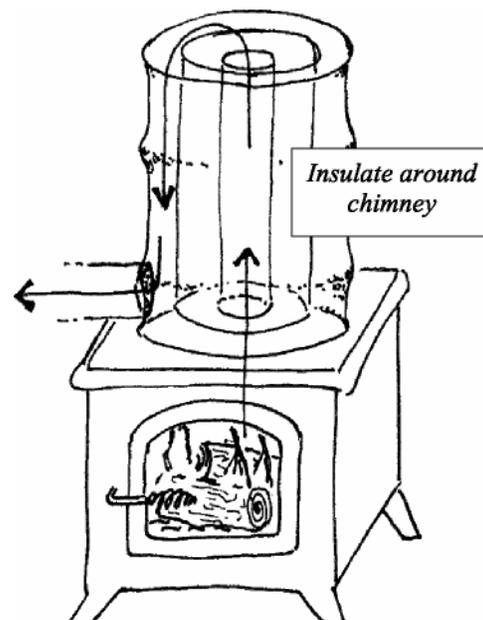
La estufa de barril es muy buena por muchas razones. Es fácil de hacer y es bastante eficiente en la quema de combustible. El ladrillo aislador protege las paredes finas de la cámara de combustión, que entonces pueden durar por años. El compartimiento superior captura el calor y ayuda a reducir la temperatura de salida del ducto de la chimenea, manteniendo más calor el cuarto.

Barril de 33 Galones Dentro de Barril de 55 Galones

El dibujo ilustra un intercambiador de calor de Winiarski en el que un barril de 33 galones lleno de aislante rodea el ducto de la chimenea. El aire caliente entonces pasa abajo por un boquete entre los barriles de 33 y 55 galones antes de salir. La chimenea aislada crea un gran corriente de aire que fuerza el calor hacia abajo al boquete circular entre los barriles de 33 y 55 galones.

Materiales Para Aislar La Chimenea:

- piedra pómez
- ceniza de leña
- perlita
- vermiculita
- cemento esterilizado aireado
- ladrillos aisladores
- cemento refractario ligero



PISTA DE DISEÑO: Aislar la chimenea interior en el intercambiador de calor ayuda su función por aumentar el fluio de aire.

La Versión Tiro Ascendente

La mejor cámara de combustión para calefacción radiante eficaz es una de metal de baja masa con paredes delgadas. Las ondas del calor radiante de una superficie de metal bien caliente pueden calentar a un cuerpo frío rápidamente. Las superficies externas en estufas de alta masa, por otra parte, pueden no alcanzar una temperatura suficientemente alta para enviar mucho calor radiante a una persona temblando. La cantidad de calor obtenida de un intercambiador de calor de alta masa es más sutil.

La adición de ladrillos aisladores a una cámara de combustión con paredes de metal para elevar la temperatura (y proteger el acero contra la degradación) tiene esta sola desventaja: Los ladrillos aisladores bajan la temperatura de las paredes y reduce la calefacción radiante. Matthew Hall, el silvicultor trabajador en el Centro de Investigación Aprovecho, saca los ladrillos aisladores de su estufa de inmediato.

La cantidad de calor emitida por pie cuadrado depende de la temperatura de la masa radiante. Debido a que las temperaturas superficiales son más bajas, los intercambiadores de calor de alta masa necesitan mucha superficie para irradiar calor a un sitio.

TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE (grados Fahrenheit)	ENERGÍA TOTAL TRANSFERIDO (BTU por hora por pie cuadrado)
80	15
100	51
150	168
200	315
400	1230
600	2850
800	5430
1200	9370

Carta del Woodburner 's Encyclopedia, 1976

Aún un intercambiador de calor relativamente pequeño que esté caliente, puede rápidamente irradiar mucho calor a un cuarto. Un hogar aislado puede requerir 20.000 BTU por hora para reponer el calor perdido al ambiente. Si la superficie del intercambiador de calor tiene 100 grados F es necesario proporcionar 400 pies cuadrados de área superficial para mantener la casa calentada. ¡Una temperatura superficial más caliente de 400 grados F requiere un intercambiador de calor con área superficial de menos de 16 pies cuadrados!

Antes de agregar a un intercambiador de calor a la chimenea, compruebe la temperatura de la salida.

Primero inserte un termómetro en el ducto de la chimenea cerca del techo donde sale de la casa. Queremos que la temperatura de la salida esté alrededor de 250 grados F. El humo necesita estar en esta temperatura para que haya suficiente tiro. La adición de un intercambiador de calor puede reducir la temperatura de la salida en 400 grados F. Si el intercambiador de calor desvía tanto calor en el cuarto que la temperatura de la salida cae bajo 250 grados F, puede tener que hacer un intercambiador de calor más pequeño o menos eficiente.

Creosota en el Intercambiador de Calor

La creosota es causada por la condensación de los agentes contaminadores potenciales que no fueron quemados inicialmente en el fuego. Si hay combustión eficiente hay poco o nada de creosota. Las estufas para calefacción que no arden bien no crean una combustión eficiente. Los alquitranes y otras sustancias que vuelan hacia arriba en el humo, condensan en las superficies más frías, se acumulan y pueden eventualmente encenderse dentro de la chimenea.

La solución a la creosota es hacer fuegos más calientes y limpios. Las partículas que producen la creosota se queman en las temperaturas relativamente bajas. Un buen vecino quema su leña limpiamente.

Los tres intercambiadores de calor previamente mostrados se han utilizado por muchas estaciones en Aprovecho. En cada diseño el humo entra en contacto con superficies muy calientes directamente después de salir de la cámara de combustión. La mayoría de los gases y de las gotitas incombustas del alquitrán se pueden encender en ese sitio.

Cualquier intercambiador de calor y su chimenea deben ser inspeccionados regularmente y si están sucios, deben ser limpiados. Las tapas desprendibles en los barriles de 55 galones sirven como buenos puertos de inspección.



Estufas de Calefacción (ejemplos)

Las siguientes estufas para calefacción se han construido y se han utilizado en el Centro de Investigación. Aprendimos de ellas y amamos algunas más que a otras:

- Una estufa de alimentación superior que calienta un banco de tierra.
- Una estufa aislada con alimentación por hornadas con un intercambiador de calor del tipo corriente descendiente de torre.
- Una estufa de torre incluyendo aire precalentado para la combustión secundaria.

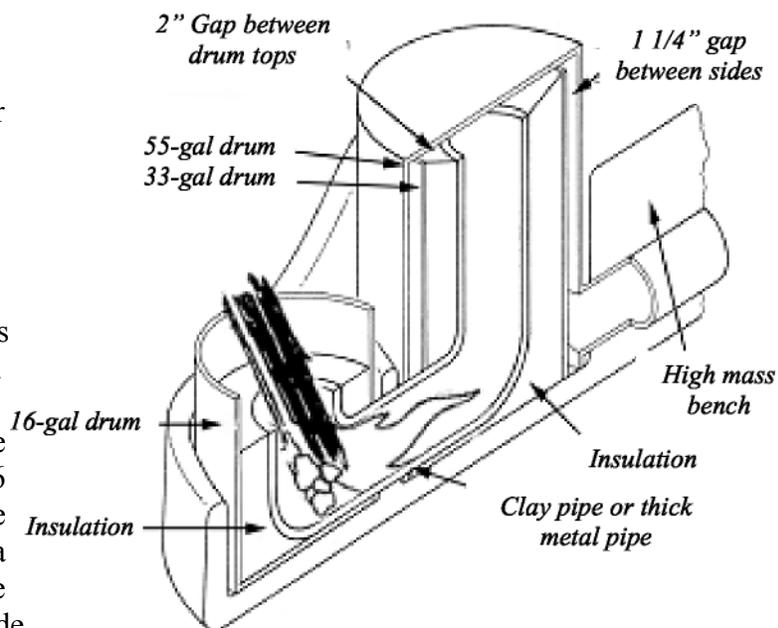
Su estufa probablemente será una poco diferente de estas ideas. Usted encontrará distintos componentes disponibles e inventará variaciones personales. La segunda estufa puede ser mejor que la primera, y si usted es como nosotros, la tercera puede ser de suficiente calidad para regalar a un amigo.

Estufa De Calefacción de Tiro Descendente En Un Banco de Alta Masa

Esta estufa nos enseñó mucho sobre el traspaso térmico en masa. ¡Estudiando la eficiencia de un ducto de la chimenea enterrado en un banco hecho de una mezcla de arena, arcilla y paja se llama “cob” comenzó una de esas aventuras intelectuales maravillosas que pueden hacer la vida más interesante!

En los años 90, los ocupantes de la “Casa de Cob” en Aprovecho pidieron que diseñáramos y construyéramos una estufa para calefacción basada en la cámara de combustión de alimentación superior, y el intercambiador de calor de la corriente descendente. Hay una novedad en esta estufa: después de que el calor sale del intercambiador, viaja 8 pies horizontalmente a través de un banco hecho de “cob”.

La cámara de combustión se hace de un barril de 16 galones. Un cilindro de arcilla (canal mexicano de la lluvia) ocho pulgadas de diámetro crea una cámara de combustión y una chimenea de tres pies de alto dentro del intercambiador de calor.



La ceniza de leña se utiliza como aislante y llena el espacio entre el cilindro de arcilla y el interior del barril de 16 galones. Los palillos de leña se meten verticalmente en el fuego. Son apoyados en un ladrillo detrás de los palillos. *El patrón de alimentación superior crea el máximo precalentamiento del aire primario y también parece hacer la quema más limpia.* El aire se aspira abajo hacia el fuego y se calienta suficiente para que asista a la combustión limpia.

En el patrón de auto alimentación con tiro descendente, solamente los extremos de la leña se queman. La llama y el humo se tiran horizontalmente sobre una cama caliente de brasas que brillan intensamente. Ésto ayuda a quemar todos los gases. Desafortunadamente, una cámara de combustión con alimentación superior puede ser difícil de encender. Jalar el aire hacia abajo requiere mucho tiro. No puede haber escapes, ni siquiera los más pequeños, en la estufa. El patrón de alimentación lateral generalmente es más natural y cómodo, pero no es auto alimentación.

El intercambiador de calor aire-a-aire es hecho de dos barriles: el barril externo es más grande (55 galones) y encierra un barril más pequeño de 33 galones. El espacio entre el cilindro de arcilla y el interior del barril de 33 galones se llena con ceniza de leña. Se puede utilizar perlita, vermiculita o piedra pómez ligera en vez de la ceniza.

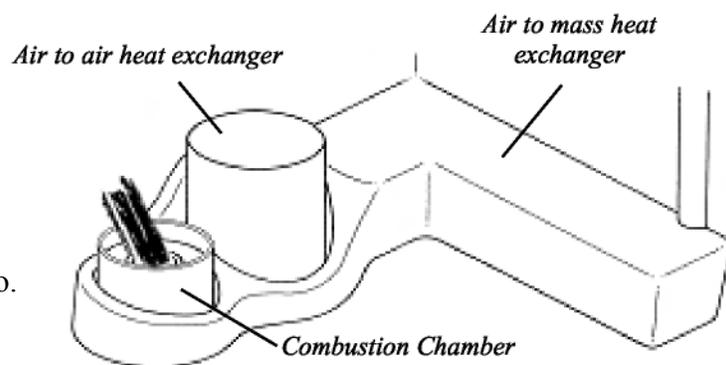
El aislante que rodea el calor aumenta el tiro, puesto que el humo permanece muy caliente. El tiro aumentado así es suficiente para forzar los gases hacia abajo del boquete entre el los dos barriles.

El humo caliente sale del fondo del barril de 55 galones y, en este caso, viaja horizontalmente por un ducto de 20 cm de diámetro antes de dar vuelta hacia arriba y eventualmente salir del cuarto.

Como se ha mencionado, encender una estufa con tiro descendente puede ser difícil, pero con práctica se puede lograr.

Preferimos este método: Ponga un trozo de papel en la cámara de combustión. Haga una rejilla vertical de diez palillos delgados, cerciorándose de que hay un espacio entre cada palillo. Ponga un pedazo de papel desmenuzado debajo de la chimenea interior vertical. Con un

fósforo largo, encienda el pedazo de papel en la cámara de combustión para comenzar el tiro. Una vez que se establezca el tiro, encienda el papel detrás de los palillos y del reloj como el fuego se aspira horizontalmente a través de la rejilla de palillos. Se puede encender más papel detrás de los palillos hasta que se establezca el fuego.



Aquí hay algunas pautas importantes para la construcción:

1. Cerciórese que el compartimiento donde se mete la leña no sea muy alto. Veinte centímetros es una buena altura, justo suficiente para apoyar los palillos. Si este compartimiento es demasiado alto, se convierte en una chimenea y puede reversar el tiro. Además, en un compartimiento alto es más difícil encender la leña.
2. Cerciórese de que el boquete entre los barriles de 55 y 33 galones sea igual en todos lados. Es bueno empernar los dos barriles juntos para asegurarse de que permanecen en la posición correcta.
3. Enterramos el fondo del intercambiador de calor, el barril de 55 galones, en arena, que sirve para sellar el fondo del barril y evitar que el humo se escape.

Lo que aprendimos del intercambiador de calor del banco

En 1995, medimos la eficiencia de esta estufa. Para nuestra sorpresa, había una baja de tan solo 100 grados Fahrenheit en la temperatura que se debía al recorrido a través del banco de adobe. El banco no capturó mucho del calor. De hecho, después de una quema de dos horas en la estufa, que calentó la temperatura del aire en la cabina hasta más de 90 grados F, el centro del banco no era perceptiblemente más caliente al toque.

La temperatura de salida en el ducto que salía del cuarto seguían muy alta, alrededor de 500 grados F. Habíamos sobrestimado la capacidad del ducto que pasaba a través del banco para transferir calor al banco de tierra.



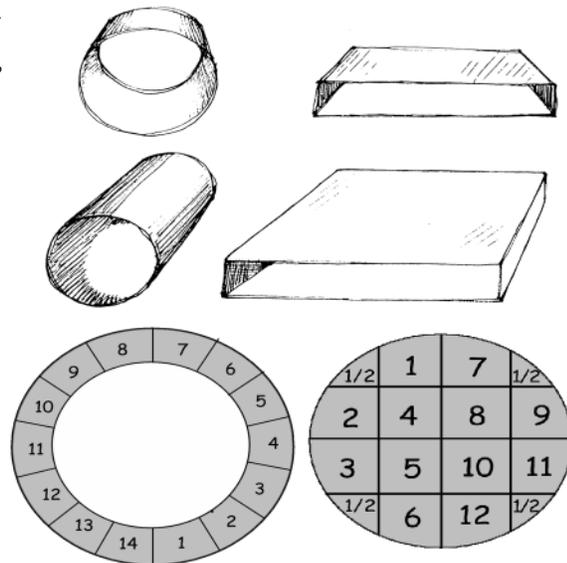
Inyectar Calor En las Cosas Es Difícil

Después de años de pensar y de experimentación con los intercambiadores de calor, **nos hemos dado cuenta que inyectar calor en materiales es difícil, no es fácil.**

Es difícil inyectar un gran porcentaje de calor en sustancias como roca, agua, cemento, o aire. Para optimizar la absorción de calor, la llama y el humo caliente se deben forzar para tomar íntimo contacto con la superficie de la masa, *frotándola*. El calor en un ducto pasa mayormente en el centro del ducto, y no mucho calor se transfiere a través de las paredes del cilindro. El ducto de la chimenea está diseñado para durar mucho tiempo, no para atrapar y difundir calor.

Use una forma distinta

Para optimizar el traspaso térmico es mejor hacer una chimenea con una forma distinta, no cilíndrica, pero con la misma área del corte transversal. La forma debe ser ancha, baja, y rectangular. Aunque la misma cantidad de gases calientes pasa a través de su interior, habrá mayor área superficial en el exterior que estará en contacto con la sustancia que usted desea calentar.



Como regla general, en un intercambiador de calor, se requiere cerca de un metro cuadrado de área superficial optimizada para bajar la temperatura de salida de la estufa en 150 grados C.

La temperatura en la cámara de combustión excede los 1,100 grados C cuando la llama amarilla está presente. Desearíamos que la temperatura de la salida fuera alrededor de 150 grados C. En un diseño optimizado aproximadamente 6 metros cuadrados de superficie son necesarios para transmitir el mismo calor a un cuarto.

Resumen: Incluso en un diseño optimizado, un intercambiador de calor requiere tener una gran superficie. Acercar mucha masa al lado de a una estufa, simplemente dará lugar a un ineficiente traspaso térmico ya que solamente un pequeño porcentaje del calor terminará en la masa. El calor necesita ser forzado a frotar superficies más amplias y largas para que un eficiente traspaso térmico ocurra.

Una libra de piedra o de cemento almacena aproximadamente 2 BTU por grado de aumento de la temperatura. Una casa aislada puede requerir unos 20.000 BTU por hora para mantenerse calefaccionada en un día frío. 1.000 libras de cemento o de piedra calentados 200 grados F almacenan 40.000 BTU, lo que es suficiente para calefaccionar la casa por dos horas. Cinco toneladas de cemento o de piedra, calentadas 200 grados F, pueden liberar suficiente calor almacenado para reemplazar por cerca de 10 horas los BTUs perdidos.

Los criterios de optimización del diseño que hemos tratado en esta discusión son alcanzados en una buena estufa de alta masa: traspaso térmico apropiado, peso de material suficiente para medio día de almacenamiento, y suficiente área caliente para irradiar calor en el cuarto. La estufa de alta masa también promueve una quema caliente, rápida y limpia que no sobrecaliente el cuarto, todo lo cuál hace a este tipo de estufa algo muy impresionante. Un gran libro sobre este tema es: *The Book of Masonry Stoves* por David Lyle, publicado por Brick House Publishing Company, Andover, Massachusetts, EEUU.

Es fácil pasar por alto qué tan difícil es inyectar calor en una masa. Es natural esperar que una cantidad pequeña de masa almacenará una cantidad considerable de calor. Nuestro consejo sería considerar la estufa de alta masa como un sistema que funciona bien cuando todos los componentes están en armonía para funcionar juntos. Para diseñar una estufa de la alta masa, cerciórese de que todas los componentes están bien proporcionados e interconectados correctamente.

Cob Caliente

Pensemos del banco de cob que Larry deseó utilizar para el traspaso y almacenaje de calor. ¿Cómo podemos diseñar un recinto de tierra, fácilmente construido, que bajaría perceptiblemente la temperatura de la salida? Tome varios minutos y juegue con la idea de una chimenea rectangular y ancha, encerrado en tierra. Intente hacer algunos dibujos y practique diseñando cosas.

Recuerde que el aire caliente desea viajar hacia arriba. El recorrido horizontalmente en un pasillo optimizado para fricción es limitado a cerca de 8 pies máximo, probablemente menos, incluso si usted tiene una chimenea muy alta afuera. El tiro descendente o horizontalmente reduce el flujo bastante debido a la fricción agregada.

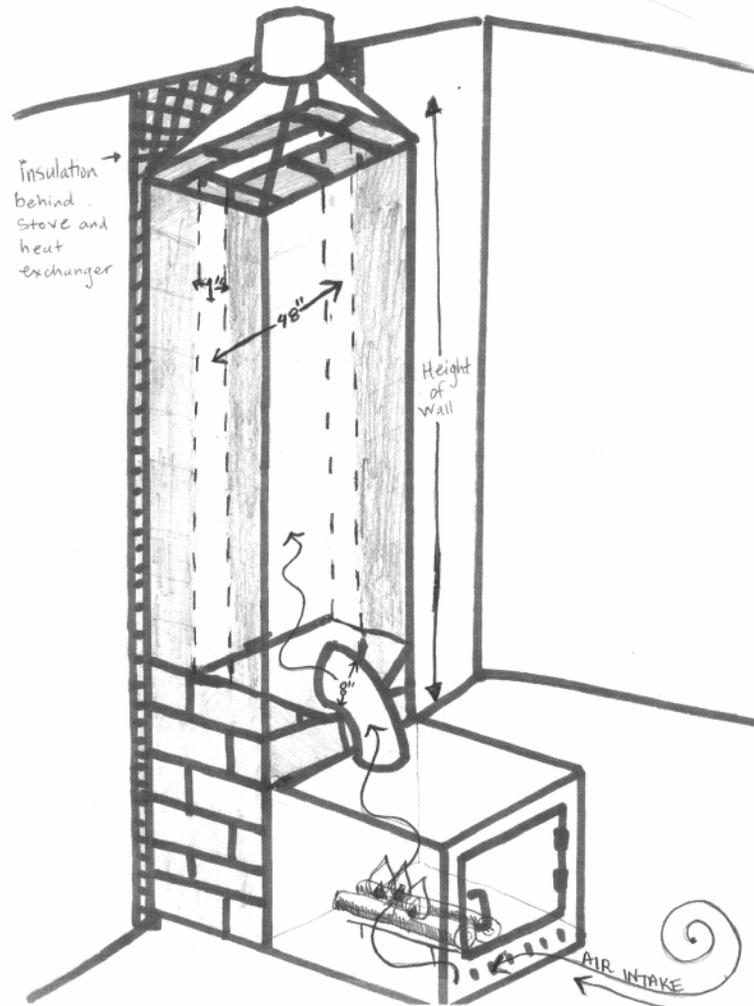
Por esta razón, preferimos limitar los primeros borradores a los diseños en los cuales el flujo es siempre ascendente. Estos intercambiadores de calor tienden a funcionar maravillosamente. Ir de lado o abajo generalmente requiere una prueba. En la página siguiente usted encontrará un ejemplo de una adición de tierra a una estufa. Su invención será mejor, estamos seguros.

La Prueba Pone en Duda las Presunciones

Las invenciones mejoran por las pruebas. No es probable que el primer intento será la mejor solución. Conseguir una línea de fondo del funcionamiento es muy importante. Si usted sepa cómo funciona algo, entonces los cambios al prototipo pueden ser evaluados.

Medir la eficiencia de un prototipo de una estufa para calefacción no es difícil. Marcus Bull en los años 1820 construyó un cuarto especial en el cual él podría quemar una cantidad medida de leña en una estufa particular y ver el efecto. De una manera, cualquier dueño de casa está en la misma posición. Una estufa mejorada calentará el cuarto usando menos combustible.

Otra medida útil es la temperatura de la salida de la chimenea. Una buena estufa para calefacción debe depositar el calor en el cuarto y no fuera de la casa por medio de la chimenea. La inserción de un termómetro en el ducto de la chimenea cerca del techo nos da mucha buena información rápidamente.



Un ejemplo de un intercambiador de calor de tierra

Una manera fácil de conseguir una idea de la cantidad de calor pérdida de su casa es utilizar un calentador eléctrico u otra fuente de calor, que entrega calor a una velocidad conocida. Vea cuánto calor es necesario para mantener una temperatura estable durante una hora cuando las temperaturas exteriores no están fluctuando. Comience el experimento después de que la casa esté caliente a fondo.

Puesto que hay cerca de 8.600 BTU en una libra de leña seca, podemos calcular que con una estufa 100% eficiente, la casa que pierde 20.000 BTU por hora requiere solamente cerca de 3 libras de leña por hora para mantener una temperatura interior confortable. Con una eficiencia del 50% deberá requerir aproximadamente 6 libras de leña por hora.

Asumir una eficiencia del traspaso térmico del 50% es otra regla general que, siendo bastante cercano a la realidad, permite que las estimaciones predigan el funcionamiento. Las compañías de estufas tienden a utilizar números más altos pero se están refiriendo generalmente a la eficiencia de la combustión. En diseños optimizados hemos alcanzado un traspaso de calor al cuarto de más del 50%, y los intercambiadores grandes que usan un ventilador puede alcanzar cerca del 100%.

Orgullo Del Inventor

El orgullo del inventor ha dirigido el carro en más de una ocasión aquí en el Centro de Investigación Aprovecho. El orgullo del inventor es inmensamente poderoso y difícil de evitar. Por eso nos gusta que otras personas prueben nuestras invenciones. Para el inventor es difícil no influir en el proceso de la prueba. Conseguir probadores imparciales para criticar una estufa es excepcionalmente provechoso y crea una tecnología más apropiada.



La Estufa de la Biblioteca

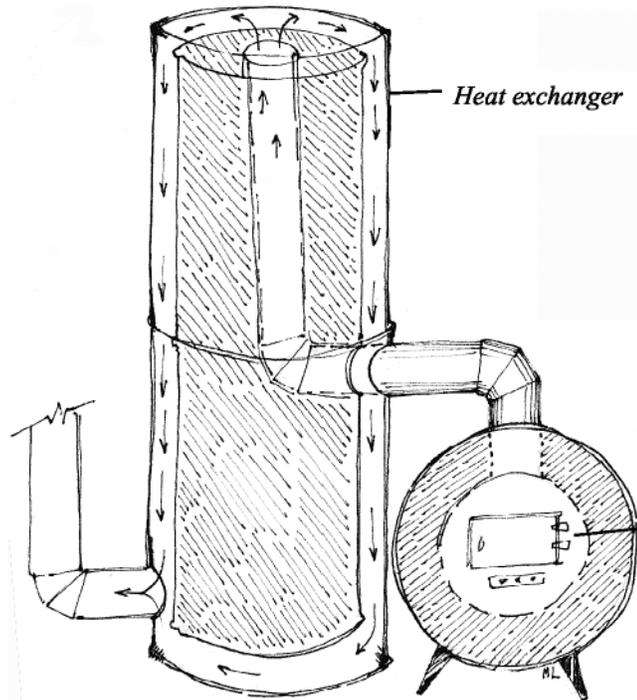
Nuestra vieja biblioteca era un lugar tremendo. El edificio no tenía material aislante y era terriblemente frío. Era el peor lugar imaginable para estudiar. En 1992, nos cansamos del sufrimiento y construimos una estufa que capturó e irradió suficiente calor para mantener a los lectores cómodos. Esta estufa era una buena representación de un patrón del diseño que hemos vuelto a respetar, que es:

Funciones Separadas Para Eficiencia

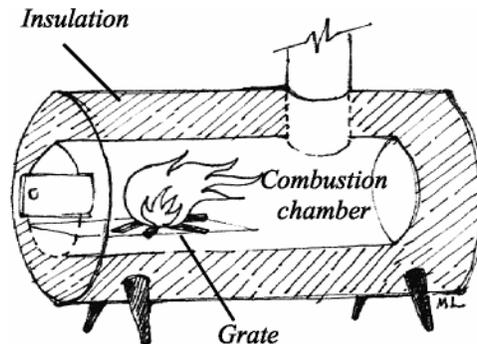
Los estudiantes están siempre dispuestos para intentar que un diseño realice muchas funciones a la vez. Pero en nuestra experiencia, generalmente es mejor hacer una sola cosa buena por vez. Intentar hacer que la cámara de combustión sirva como el intercambiador de calor, por ejemplo, como en la mayoría de las estufas modernas, resulta en una caja pequeña y agradable, pero la compensación es eficiencia reducida. La estufa para calefacción altamente eficiente que combina las funciones ingeniosamente, es la estufa cerámica de la alta masa. Incorpora el intercambiador de calor y la cámara de combustión en una sola caja. Pero esa caja pesa cinco toneladas o más.

La estufa de la biblioteca obviamente separaba la combustión del traspaso térmico, intentando optimizar ambos.

Incluso pusimos las dos funciones en envases separados. El barril interno en la cámara de combustión fue hecho de un ducto grueso de hierro, 40 cm de diámetro. Cortamos un agujero en su tapa para insertar el ducto de la chimenea de 15 cm, y cerramos los extremos con placas soldadas de acero, dejando una abertura para una puerta y agujeros para que entrara aire.



Una rejilla fue utilizada para ayudar a separar la leña. Sin una rejilla los palos se juntarían en el fondo del cilindro, impidiendo el flujo del aire. El aire entra debajo de la rejilla en la cámara de combustión a través de seis agujeros de 2,5 cm cortados en la puerta.



Aislante grueso rodea la cámara de combustión. También pusimos una hoja de aluminio alrededor del exterior del aislante para retardar el paso del calor infrarrojo. El aluminio brillante emite calor radiante lentamente. El viejo estilo de las estufas para cocinar fue aplicado: cromado en el exterior para que las paredes calientes de metal irradiaran menos calor, manteniendo la comodidad del cocinero. La cámara de combustión en la estufa de la biblioteca estaba tan bien aislada (con ceniza de leña) que demoró casi media hora después de encenderse el fuego para que el exterior llegara a estar caliente.

Un resultado de este superaislante fue que los palos grandes partidos uniformemente continuaron quemándose, dejando una línea fina de la ceniza gris. El aislante mantuvo el fuego caliente y redujo el humo. La cámara de combustión superaislada y optimizada no ayudó mucho a calentar la biblioteca.

Lo que calentó el cuarto fue un intercambiador grande en la forma de una torre. Un ducto de 15 cm ascendió dentro de un cilindro hecho de tres barriles de 33 galones unidos verticalmente. Los fondos y las tapas fueron quitados de manera que los tres barriles formaron un solo cilindro. El aislante (vermiculita) llenó el espacio entre el ducto de la estufa y el interior del cilindro vertical formado con los tres barriles de 33 galones.

La chimenea aislada de 15 cm produjo suficiente tiro para empujar el aire caliente hacia arriba y luego hacia abajo en el exterior del cilindro. Dos barriles de 55 galones formaban el exterior del intercambiador de calor. El espacio entre los barriles de 33 y 55 galones era aproximadamente igual, en área, al del área del corte transversal del ducto de la chimenea de 15 cm.

Recuerde que si los espacios dentro de la estufa son más grandes, el flujo de aire se retarda. Si el área del corte transversal se angosta, el flujo de aire (tiro) se retarda otra vez. Piense en un río que acomete en una laguna. El agua se retarda cuando los bancos del río ensanchen. Si un río entra en una barranca estrecha, sucede lo mismo. La velocidad del agua aumenta donde el río es más angosto, pero el volumen total del agua que pasa por la parte angosta disminuye. El agua se acumula junto antes de la parte angosta.

Aunque el área del corte transversal es casi igual del ducto de la chimenea de 15 cm en el intercambiador de calor, el área superficial del ducto entre los barriles es muy aumentado. El metal caliente está en contacto una mayor cantidad del aire del cuarto. El aire en el cuarto se calienta con mucho más eficiencia, que baja la temperatura dentro de la chimenea y reduce el uso de combustible.

Esta estufa estaba en la pista correcta. La biblioteca estaba caliente. El único problema era que ¡la gente destestaba la estufa!

El intercambiador de calor de mucha altura, con tiro descendente, redujo el tiro inicial de manera que, a menos que un fuego intenso fuera producido primero debajo de la chimenea que conducía al intercambiador, el humo podría desplazarse fácilmente hacia atrás, hasta el cuarto. ¡La estufa era difícil de encender!

Los aparatos de tecnología apropiada generalmente intentan ser eficientes. Las estufas y otras herramientas vendidas en sociedades como la estadounidense se diseñan sobre todo para simplificar su uso. Ésta es la razón por la cual el diseño de la tecnología de las herramientas apropiadas es tan divertido: no es muy fácil hacer algo que sea simple de utilizar y a la vez conservar recursos. Se requiere un poco de experimentación para aprender cómo crear algo bueno que puede durar por mucho tiempo, gustar a los usuarios, conservar los recursos, y preservar la salud.

Aunque sea un poco menos eficiente, hemos llegado a apreciar los intercambiadores de calor con subida solamente vertical. Porque la subida vertical no depende de establecer un bueno tiro en la estufa para funcionar bien.

La Estufa Picasso

En 1996 los estudiantes y yo comenzamos una serie de experimentos diseñados para ver si es posible precalentar el aire primario que entra en una estufa. La idea de precalentar el aire que alimenta el fuego es muy atractiva: si el aire en la cámara de combustión excede 1.200 grados F, debe haber una combustión completa.

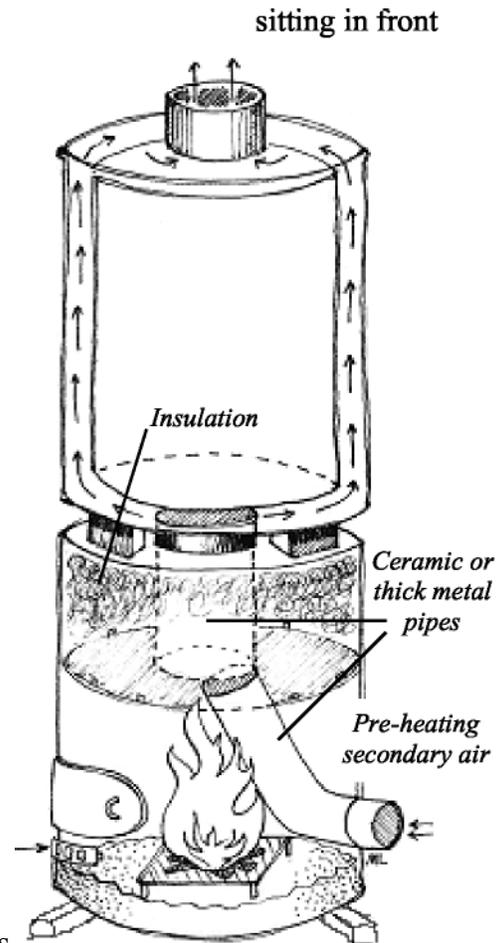
Hasta ahora todas nuestras tentativas de precalentar substancialmente el aire primario han sido irrealizables. El aire caliente desea levantarse, no caer. La fricción en un ducto derrota fácilmente el tiro leve creado por un fuego. El precalentamiento del aire para la combustión primaria es difícil de alcanzar. Sin embargo, calentar aire para asistir a la combustión *secundaria* (combustión que ocurre después de la quema inicial) es mucho más fácil.

La estufa Picasso, nombrada después de una famosa foto de Picasso sentado en frente de un magnífico intercambiador de calor en 1939, ofrece el aire secundario precalentado.

La combustión secundaria ocurre donde el humo escapando se enciende. Como usted ve, los trucos usados en la estufa Picasso son iguales de los de la estufa de la biblioteca, pero hemos variado cosas un poco. Y de hecho, ésta es una estufa muy buena.

La estufa se hace de un barril de 55 galones puesto en bloques de concreto. Una cama gruesa de ceniza aísla la cámara de combustión del piso. Ladrillo aislante es colocado alrededor de la cámara de combustión dentro del barril. Una rejilla levanta la leña sobre el piso así que el aire puede circular a través de la pila de leña quemándose. El aire primario se aspira por seis aberturas de una pulgada debajo de la puerta.

La llama alcanza la entrada de la cámara de combustión secundaria, hecha de un ducto de seis pulgadas y un piso falso hecho de la tapa de un barril de 55 galones que sostiene aislante (vermiculita) alrededor del ducto. El aire caliente llega a la boca de esta cámara de combustión secundaria a través de un ducto de 10 cm que es expuesto directamente a la llama. *Estamos intentando cerciorarnos de que el aire, el combustible, la chispa y una temperatura suficientemente alta, están presentes en un solo lugar para quemar el humo que se escapa de la cámara de combustión primaria.*



El intercambiador de calor es hecho de un barril sellado de 33 galones suspendido en un barril de 55 galones por pernos que mantienen el espacio entre los dos barriles. La trayectoria del aire calentado es solamente ascendente con el boquete entre los dos barriles. Esto asegura un buen tiro y la facilidad de encenderla.

Nos gusta esta estufa y la recomendaría. Es fácil construir, no requiere ninguna soldadura, y se parece reducir el humo asociado a la quema de trozos grandes de leña. Hay una cantidad considerable de combustión secundaria. La temperatura del aire en el ducto de 10 cm puede exceder 1.200 grados F.

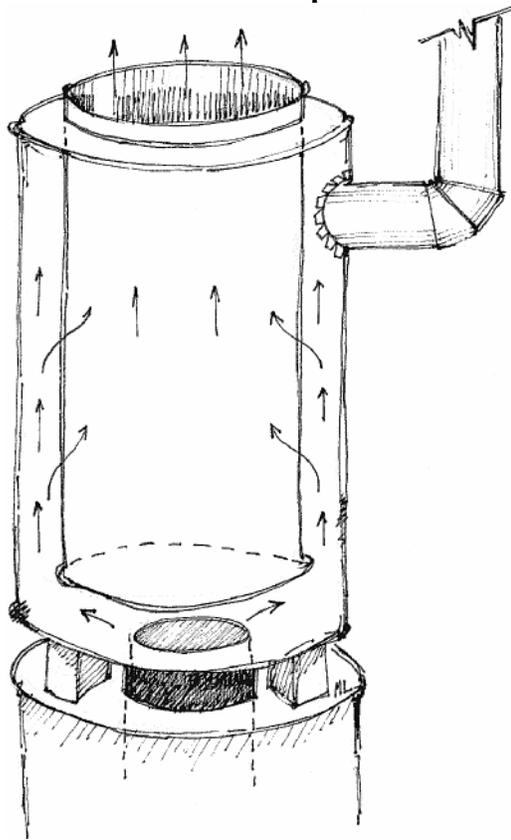
Un Concurso

Los estudiantes y nosotros divertíamos al construir la estufa Picasso cuando Larry sentró en el taller por casualidad. Él vive en una granja enselvada cerca de 50 millas del norte de Aprovecho. Íbamos a construir y probar su nueva estufa para la Cruz Roja el día siguiente. Larry comprobó el intercambiador de calor y después planteó una pregunta al personal y a los estudiantes presentes. Era: ¿usando exactamente los mismos materiales cómo podríamos aumentar la superficie de este intercambiador de calor casi al doble?

Todavía no habíamos visto sus planes de la estufa para la Cruz Roja y el personal no adivinaron la respuesta. Pero un par de estudiantes la solucionó.

Aquí tiene una oportunidad de pensar en un diseño, e intentar de mejorarlo. ¿Puede usted ver lo que era obvio a Larry? *(respuesta en la página siguiente)*

Respuesta



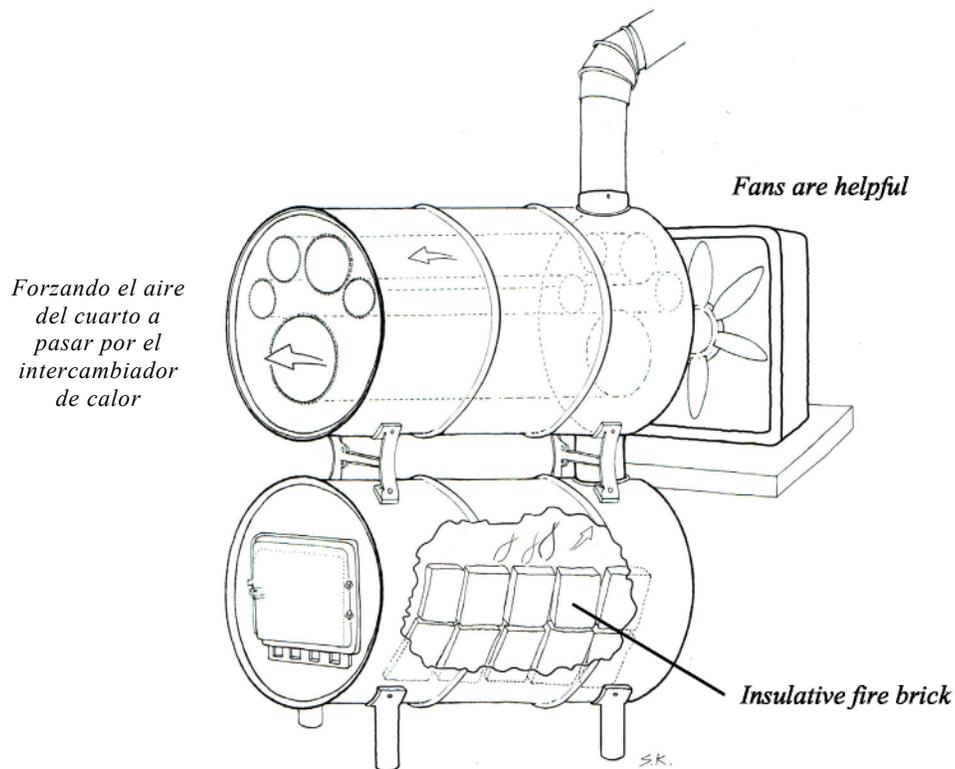
Al quitar la tapa del barril de 33 galones el Dr. Winiarski expuso mucho más de la superficie del metal caliente al aire del sitio. Este diseño se utiliza en las estufas institucionales que ahora son construidas por el Programa de Alimento Mundial en África en la cual casi todo el cazo enorme por completo de alimento, se exponga directamente al fuego.

Esta solución se parece tan simple y elegante.

La Estufa Mejorada De Dos Barriles

En Estados Unidos se puede comprar un kit para convertir dos barriles de 55 galones en una popular y barata estufa para calefacción. Los estudiantes en Aprovecho revisaron esta estufa y crearon un calentador eficiente de gran alcance para el taller de 900 pies cuadrados. El ladrillo aislante fue colocado dentro del barril inferior para prevenir la degradación del acero delgado y ayudar en hacer fuegos más fuertes, calientes y limpios.

El barril superior tenía ductos de diámetro grande instalado longitudinalmente a través del barril entero, de modo que el aire se pudiera forzar a través de los ductos al cuarto. (Ve la ilustración). Estos ductos fueron sellados usando dos dólares de cemento de estufa que ha durado por tres años hasta ahora. Un ventilador sopla el aire de la cámara fría en los tubos que sale a cerca de 140 grados F. Dentro de 30 minutos un gran volumen de aire caliente ha circulado por todo el taller y ha aumentado la temperatura en 20 grados. Sin un ventilador que asiste el traspaso térmico, el cuarto permanece frío por horas.

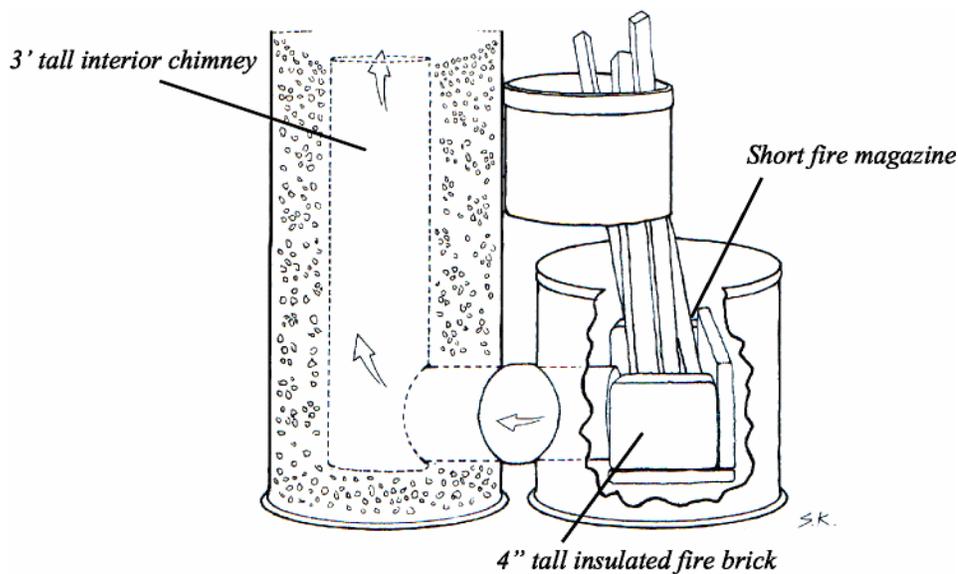


Una Estufa de Tiro Descendente Para Quemar Palos

Éste es un diseño de una estufa de 8 pies de alto en la cual postes o ramas hasta 5 cm de diametro entran verticalmente en la cámara de combustión. Este patrón de alimentación superior quema limpiamente porque, como la estufa de pellet, la leña es medida por medio de gravedad en la zona de la combustión. Solamente los extremos de los postes se se queman. Mientras que la leña es quemado, el carbón en el extremo de la leña se rompe y la leña fresca se enciende.

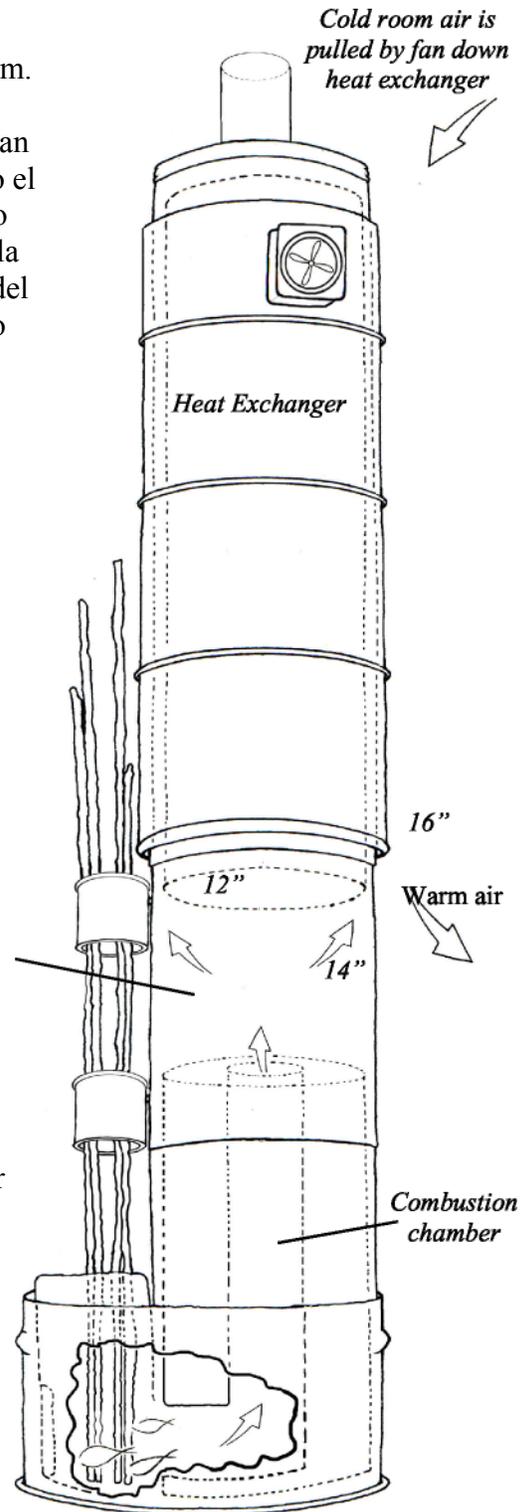
El fuego no intenta de quemar los palillos hacia arriba porque un tiro fuerte sopla la llama horizontalmente hacia una chimenea interior de 3 pies de altura. La chimenea, hecha de ladrillo aislante dentro de un cilindro de lámina, tira el humo calientes en una abertura más amplia con altura de 30 cm. (Ve la ilustración en la página siguiente). Al entrar esta abertura grande el humo retrasa.

Cámara de Combustión con Alimentación Superior



Es necesario retardar el tiro porque si los gases no fueran retrasados, el fuerte tiro impulsado por la chimenea de 8 pies apagaría la llama en los palillos de leña. Esta abertura en el centro del cilindro modera el flujo de aire.

El humo caliente se levanta en un boquete pequeño entre el cilindro de 30 cm y él de 35 cm. El cilindro de 30 cm está cerrado en ambos extremos y llenado con aislante. Los gases frotan el calor contra el cilindro externo, transfiriendo el calor a su superficie. El aire del sitio está tirado por un ventilador hacia abajo en el exterior de la pared caliente y entra en el cuarto en la altura del hombro. El ventilador fuerza mucho aire abajo del boquete entre el cilindro más grande que cubre la mitad superior de la estufa y la pared caliente que la rodea.



Esta abertura es ajustado para crear el tiro de óptima velocidad

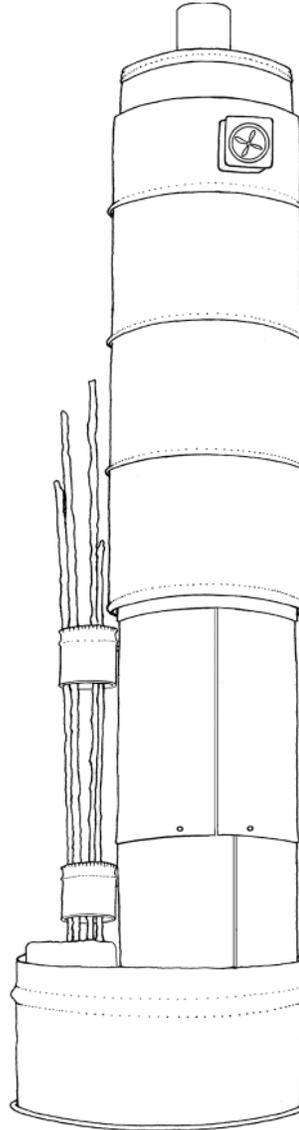
La estufa es muy alta porque la mitad inferior es la cámara de combustión. La mitad superior es el intercambiador de calor. Puesto que solamente los extremos de la leña se queman, no hay casi ningún humo. Este patrón de alimentación superior tiene muchas de las mismas ventajas de la estufa de pellet más elegante y más costosa que quema un combustible uniformemente fabricado.

Los Ventiladores Aumentan la Combustión y La Eficiencia Del Traspaso Térmico

El tiro creado por el levantamiento de aire caliente es muy apacible. Incluso la llama misma no tira en mucho más de metro y medio por segundo. La convección natural elabora un tiro perezoso que no se puede esperar hacer mucho.

¿Puede usted imaginarse qué tan rapido se levanta el humo de un cigarrillo? El levantamiento del humo es lento y lánguido, no rápido ni de gran alcance. El tiro producido por un fuego caliente se puede derrotar fácilmente por la fricción dentro de un ducto de la chimenea si hay muchas vueltas o descensos.

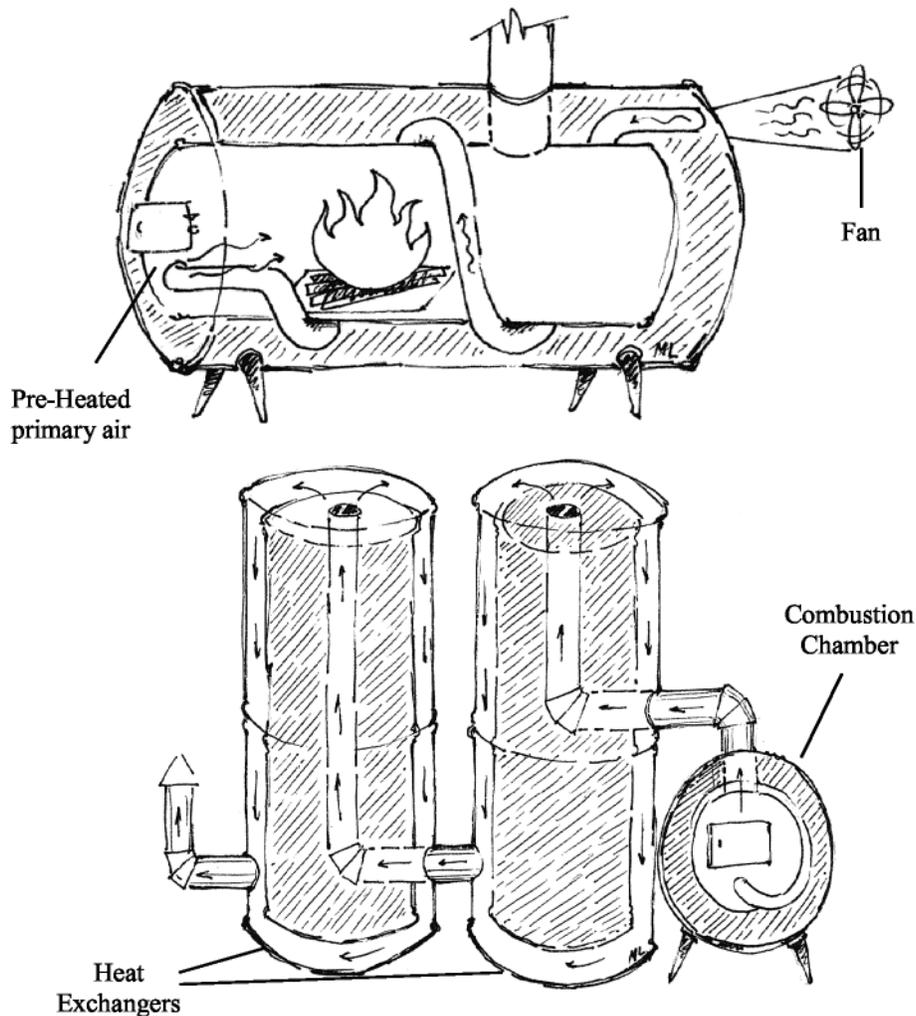
Muchos diseñadores aficionados esperan que el tiro natural superará obstáculos impresionantes tales como corredores largos con poca subida. Desafortunadamente ¡no es así! El río apacible de los humo caliente es retardado fácilmente por vueltas y bajas y puede también ensanchar en un lago estancado si los espacios dentro de la estufa aumentan repentinamente.



Dos Diseños De Calefacción Usando Ventiladores

Los ventiladores son buenos para calentar el aire **primario** (el aire que incorpora el fuego), que mejora bastante la combustión. El aire a presión ayuda que las brasas se queman totalmente, dejando solamente un poco de ceniza. La entrada de aire caliente en una alta velocidad hacen que el combustible, el aire, y el fuego se mezclan bien, asegurando una combustión limpia. Un ventilador puede también empujar el aire por una longitud de intercambiador tan larga que cerca del 100% del calor permanece en el cuarto. Doblando la eficiencia del intercambio de calor puede doblar la eficiencia del combustible. Los ventiladores hacen todo fácil.

Aquí tiene un par de patrones que hemos construido y probado con éxito:



El ventilador empuja el aire por un ducto de 2,5 cm de diámetro que está en contacto con la superficie externa muy caliente de la cámara de combustión. ¡El aislante alrededor de la cámara de combustión y del ducto mantiene ambos muy calientes! El aire entra en la cámara de combustión en una temperatura cerca de 800 grados F, dependiendo del calor del fuego. Es asombroso ver el efecto de un ventilador en el fuego, especialmente con aire precalentado.

Los palos se queman muy brillantemente. El fuego es fácil de encender y la combustión es más completa. La cámara de combustión generalmente brilla roja. (solamente las cámaras de combustión hechas de cemento o de ladrillo refractario pueden soportar esta cantidad de calor.) Ésta es la estufa que quema más limpia de todas que hemos utilizado en Aprovecho.

Debido al tiro generado por el ventilador, el calor puede conducirse por un intercambiador tan largo que atascaría una estufa dependiente en un tiro natural. Es posible agregar intercambiadores de calor hasta que la temperatura de la salida iguale la temperatura del aire ambiente.

La adición de un ventilador a una estufa hace fácil alcanzar una combustión limpia y un traspaso térmico muy bueno al cuarto. El aire se empuja a través de los ductos en contacto con el fuego hasta que el aire remolinando que entra en la cámara de combustión sea muy caliente. El ventilador entonces empuja el humo caliente a través de un intercambiador de calor suficientemente grande que la mayoría del calor permanece en el cuarto.

¿Por qué no se usan los ventiladores más a menudo en las estufas de leña? Una razón es que si el aire está precalentado y forzado en la cámara de combustión, la temperatura puede levantarse fácilmente hasta el punto que el acero comienza a derretir. Forzando aire precalentado en un fuego grande puede crear un horno alto. Además, ser dependiente en un ventilador significa que la estufa no puede funcionar cuando es más necesaria, como durante una tormenta del invierno cuando la electricidad falla. A algunas personas no les gusta el ruido de ventiladores, prefiriendo el silencio del tiro natural. Sin embargo cuando la eficiencia de combustible es la prioridad más alta, la cantidad de electricidad usada por el ventilador es pequeña comparada con el beneficio recibido.

Una Estufa De la Calefacción de Horno Alto

Si se utiliza aire precalentado, la cámara de combustión tiene que ser hecha de piedra o de cerámica de alta temperatura, o de cemento refractario. **El metal fino no dura por mucho tiempo en estufas para calefacción o para cocinar.**

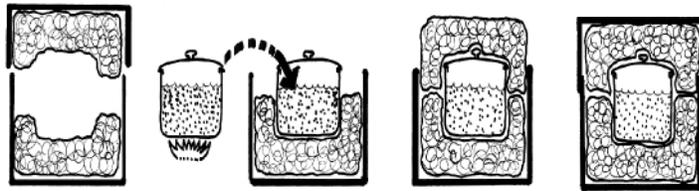
El cemento refractario es un material excelente. Parece mucho el cemento regular y se mezcla con agua de la manera normal. La mezcla mojada se puede verter en un molde hecho de cualquier material tieso, como cartón, chapeado de 0,5 cm, etc. El grueso de la pared de la estufa puede ser tan poco como 2,5 cm, pero en una estufa para calefacción paredes de 5 cm son recomendadas para seguridad adicional.

El cemento refractario está disponible de Refractories norteamericano Company.
Su dirección es:
8361 Broadwell Rd.
Cincinnati, Oh 45244 los E.E.U.U.

En America Central un azulejo de cerámica encendido del techo de la arcilla roja llamó las formas de un "baldosa" la cámara de combustión en Aprovecho diseñado cocinando estufas. El ladrillo encendido de la arcilla puede también soportar altas temperaturas. Pruebe su fuente local calentándola hasta candente y después húndala en la agua fría. Si no se agrieta dura probablemente por años en su estufa. (véase el capítulo en ladrillos refractarios hechos hogar.)

La casa como "el mejor" intercambiador de calor

Cocinamos la comida en Aprovecho de una manera inusual usando una "caja de paja". El cazo de comida se hierve por diez minutos en una estufa y luego el cazo se coloca en una caja bien aislado, sellado del aire. Después de dos horas los frijoles dentro del cazo resultan suaves y sabrosos porque el calor conservado es suficiente para terminar a cocinarlas. Resulta que usamos mucho menos combustible porque la caja de paja ha mejorado el traspaso térmico en el cazo. (También es un método mucho más fácil de cocinar!)



La Caja de Paja

Una Casa Caliente

Los frijoles normalmente se cocinan sobre un fuego lento por dos horas porque el cazo pierde calor constantemente al aire del sitio. La llama reducida debajo del cazo sustituye el calor perdido. ¡Un horno o una estufa de leña de la misma manera está sustituyendo el calor en nuestras casas porque la casa permite que la misma cantidad de calor se escape constantemente! La casa pierde calor y la leña quemando lo sustituye constantemente.

Si la casa pierde mucho calor utilizamos mucha leña por estación. Si la casa pierde poco calor por hora, podemos ahorrar los bosques de árboles y hacer mejor uso de este recurso precioso. Si la casa pierde muy poco calor la estufa no se enciende con mucha frecuencia porque la energía del sol y de las fuentes interiores del calor igualan la demanda para calefacción.

Para reducir el uso de energía en una casa:

Lo más importante es reducir los intercambios de aire incontrolados por llenar las grietas en las paredes, alrededor de las ventanas y las puertas, y por aislar la casa. Una casa que es herméticamente sellada y aislada como en termo o una caja de paja no requiere quemar leña constantemente en una estufa para mantener la temperatura interior.

La "caja de paja" ayuda a reducir el consumo de combustible justo como los intercambiadores de calor que pueden ser agregados a una estufa para calefacción. Capturar el calor disminuye la necesidad de quemar leña constantemente.

Estamos medio terminados sustituyendo las casas viejas en Aprovecho con nuevas casa herméticas, que no requiere inyecciones constantes de energía para calentar a sus ocupantes. Es bueno entrar en el dormitorio hecho de balas de paja en un día frío y realizar, mientras que saca los zapatos y las chaquetas, que la estufa de leña no está encendida. El calor de la estufa para cocinar ha calentado los 220 metros cuadrados. Hoy en día algunas casas nuevas en climas fríos no requieren ninguna calefacción aparte de lo que resulta de las actividades diarias como cocinar, calentar agua, iluminación, trabajo en el interior, etc.

¡La estufa más eficiente para calefacción es la que nunca se utiliza!

La gente vive en las casas que ya existen. Cuesta dinero y toma tiempo para aislar y para reducir intercambios de aire en las casas más viejas. Al mismo tiempo, sin embargo, no tiene sentido construir la estufa de calefacción más eficiente en el mundo y utilizarla en un edificio que depende en una quema constante de leña para mantenerlo caliente. ¿Qué parte de su sistema de calefacción es la menos eficiente? ¿Es la casa o la estufa?

Su Estufa

Esperamos que estas ideas del diseño de estufas le ayudarán a crear estufas caseras que son simples, eficientes y útiles. Como las estufas para cocinar del Dr. Winiarski varían enormemente de un lugar al otro, estos ejemplos de estufas para calefacción siguen un sistema de principios que permiten flexibilidad y adaptación a las circunstancias locales o individuales. La intención es aprender cómo diseñar una estufa, no enseñar diseños específicos. Su estufa perfecta puede ser una amalgama de varias de estas ideas. Puede parecer totalmente única.

Para ser perfecto la estufa solamente necesita satisfacer sus necesidades. Puede ser que, como los requisitos y preferencias personales, una buena estufa se madura y se desarrolla con tiempo. Desarrollar buena tecnología quizá se convertirá en una afición satisfactoria, una expresión de su genio.

¡Le deseamos la mejor suerte!

Opciones para Aislar las Cámaras De Combustión

Estufas que queman limpiamente pueden producir una temperatura tan alta en la cámara de combustión (donde quema el fuego) que metal, incluso acero inoxidable, puede ser destruido. Las cámaras de combustión del hierro fundido, aunque duran más tiempo, son costosas.

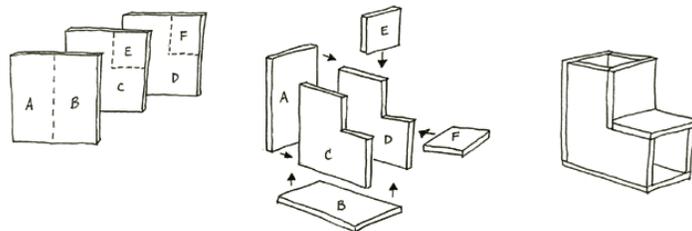
Los fabricantes de estufas han utilizado partes hechas de cerámica en las estufas para cocinar por muchos años. La estufa tailandesa del cubo utiliza una cámara de combustión de cerámica. La estufa keniana “Jiko” también utiliza un forro de cerámica para proteger el cuerpo de la estufa hecho de lamina. Libros se han escrito que describen cómo hacer cámaras de combustión de arcilla que duran por varios años. Un buen libro en el tema es *The Kenya Ceramic Jiko: A Manual for Stovemakers* (Hugh Allen, 1991). Una cooperative de mujeres en Honduras llamada Nueva Esperanza construye partes de las estufas con una cerámica refractaria duradera hecha de una mezcla de arcilla, arena, abono del caballo, y goma del árbol. Estas cámaras de combustión se utilizan en la estufa Justa y las Ecofogones que ahora son populares en America Central.

Opción # 1: Azulejos Del Piso

Don O'Neal (de la ONG HELPS Internacional) y el Dr. Winiarski encontró un material alternativo en Guatemala, un azulejo de piso barato llamado una *baldosa*. La *baldosa* es aproximadamente 2,5 cm de grueso y la se puede cortar o moldear en formas apropiadas para hacer una cámara de combustión. Un aislante flojo llena el espacio entre la cámara de combustión y el interior del cuerpo de la estufa. Ceniza de leña, roca de la piedra pómez, vermiculita, y perlita todas son buenas fuentes naturales de aislante flojo. La *baldosa* es barata y ha durado cuatro años en las estufas construidas en America Central Por HELPS y por la ONG Arboles y Agua Para la Gente.

Baldosas son hechas de arcilla roja y generalmente son horneadas en aproximadamente 900 - 1000 grados C. Son algo

poroso y suenan cuando están tocados con un nudillo. Las *baldosas* en una cámara de combustión rodeada por el aislante flojo provee otra opción para el diseñador de estufas.



Opción # 2: Cerámica Aislante

Las recetas siguientes producen cerámicas aislantes que se utilizan en cámaras de combustión para hacer fuegos más calientes y limpias. Cada uno de estos materiales incorpora arcilla, que actúa como pegamento. La arcilla forma una matriz alrededor del material aislante. Este material puede ser un material incombustible ligero (como piedra pómez, perlita o vermiculita), o un material orgánico (carbón de leña o azerrín). El material orgánico se quema, dejando espacios aislantes de aire en la matriz de la arcilla. En todos los casos, la arcilla y el material aislante se mezclan con una cantidad predeterminada de agua y se presionan en moldes para hacer ladrillos. Los ladrillos húmedos se permiten secarse (que pueden tomar varias semanas) y luego se hornean en una temperatura relativamente baja.

Nuestras muestras de prueba fueron hechas usando arcilla obtenida de un almacén local para alfareros. En otros países, la mejor fuente de arcilla será la clase usada por los alfareros o los fabricantes locales del ladrillo. En casi todas partes, la gente ha descubierto las mezclas de arcilla y las técnicas de hornear que producen cerámica robusta.

La cerámica tiene que ser ligero (tener baja densidad) para proporcionar aislante y una baja masa térmica. Al mismo tiempo, tiene que ser físicamente durable para resistir fractura y abrasión debido a la leña que es forzada en la parte posterior de la estufa. Estos dos requisitos están en oposición; la adición de más material aislante a la mezcla hará el ladrillo más ligero y más aislante, pero también lo hará más débil. La adición de arcilla a la mezcla aumentará generalmente la resistencia del ladrillo pero también el peso. Nos sentimos que un buen compromiso está alcanzado en un ladrillo que tiene una densidad entre 0.4 gm/cc y 0.8 gm/cc.

Las recetas en tabla 1 indican las proporciones, por peso, de varios materiales. Recomendamos estas recetas como punto de partida para hacer cerámica aislante. Las variaciones en arcillas y los materiales aislantes localmente disponibles requerirán un ajuste de estas proporciones para obtener los resultados más deseables.

Tipo De Material Aislante	Peso Del Material Aislante en Gramos	Peso (húmedo) de arcilla en Gramos	Peso Del Agua. en Gramos	Horneado en Temp. en grados C	Densidad en gramos/cc
Azerrín	490	900	1300	1050	0.426
Carbón de Leña	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

La cerámica aislante usada en estufas experimenta ciclos repetidos de calentarse y enfriarse, que puede producir eventualmente grietas minúsculas que causan el material a desmenuzarse o romperse. Todas estas recetas se parecen aguantar bien el ciclo termal. La única prueba verdadera, sin embargo, es instalarlas en una estufa y utilizarlas por un período de tiempo largo, bajo las condiciones normales de una cocina. Si usted tiene con que comprarlo, el ladrillo aislante comercial es una opción fácil y factible.

Azerrín Con Arcilla

En esta formulación, azerrín fino fue pasado por un tamiz #8 (2,36mm). La arcilla fue agregada al agua y mezclada a mano para formar un lodo espeso. El azerrín entonces fue agregado, y el material que resultaba fue presionado en moldes rectangulares. Se puede hacer cerámica aislante excelente usando el azerrín u otros materiales orgánicos finos tales como cáscaras de coco o abono del caballo. El problema con este método es conseguir cantidades suficientes de material para una operación comercial. Los residuos de la cosecha pueden ser difíciles de partir en partículas suficientemente pequeñas para utilizar en la fabricación de ladrillos.

Este método sería bueno en lugares donde hay serrerías o tiendas de carpintería que producen grandes cantidades de azerrín como desecho.

Carbón Con Arcilla

En esta formulación, el carbón crudo de leña (no las briquetas) fue reducido a un polvo fino usando un martillo y una amoladora. El polvo que resultaba fue pasado por un tamiz #8. La arcilla era mezclada a mano con el agua, y el carbón de leña fue agregado por último. Una mezcla algo aguada fue vertida en moldes y permitida secarse. Era necesario esperar varios días antes del material secó suficientemente que el molde podría ser quitado. Los ladrillos secados fueron encendidos en 1050 grados C.

El carbón de leña se puede encontrar por casi todas partes, y se puede utilizar cuando y donde otros materiales no están disponibles. El carbón de leña es mucho más fácil de polvORIZAR que otros materiales orgánicos. La mayoría del carbón de leña quemará cuando el ladrillo es horneado. Cualquier carbón de leña que permanezca es ligero e aislante.

Los ladrillos de carbón con arcilla tienden a contraerse más que otros materiales mientras se secan y se hornean. El producto final se parece ser ligero y bastante durable, aunque las pruebas completas todavía no se han hecho en este material.

Vermiculita Con Arcilla

En esta formulación, el vermiculita comercial (un aditivo del suelo), que puede pasar fácilmente por un tamiz #8 (2.36 mm), se mezcla directamente con agua y la arcilla y se presiona en moldes. El material se seca y se enciende en 1050 grados C.

La vermiculita es un material ligero, barato e incombustible, producido de depósitos minerales naturales en muchas partes del mundo. Se puede hacer en una cerámica aislante fuerte y ligera con muy poco esfuerzo. La estructura de las partículas de vermiculita es plano, como una pila de platos, que las hace fuertes y muy resistentes al calor.

La vermiculita es una de las mejores opciones para hacer cerámica aislante.

Mezcla de Perlita Con Clay

Para los mejores resultados, la partículas de perlita deben ser pasados por un tamiz antes de ser combinada con arcilla para hacer un ladrillo. Para preparar una mezcla óptima de las partículas, primero separe la perlita cruda en tres tamaños componentes:

- 3/8 de pulgada a #4 (9.5 mm a 4.75 mm),
- #4 a #8 (4.75 mm a 2.36 mm) y
- #8 (2.36 mm) y más fino.

Recombine (por volumen) dos porciones del tamaño más grande, una porción del medio tamaño, y siete porciones del tamaño más pequeño, para formar la mezcla de perlita. Esta mezcla se puede entonces combinar con arcilla y agua y moldear en ladrillos, los cuales se secan y se hornean.

La perlita es el obsidiano mineral, el cual se ha calentado hasta que se amplía y se hace ligera. Se utiliza como un aditivo del suelo y material aislador. Los depósitos minerales del perlita se encuentran en muchos países del mundo, pero el producto ampliado está disponible solamente en los países que tienen fabricas para procesarla. Donde está disponible, es barato y abundante.

Los ladrillos de perlita y arcilla son algunos de los materiales de cerámica más ligeros y útiles que hemos producido hasta ahora.

Mezcla de Piedra Pómez Con Clay

Piedra pómez, como perlita, produce los mejores resultados cuando se hace en una mezcla cernida. Se debe tomar cuidado para obtener la piedra pómez más ligera como posible para hacer la mezcla. La arena volcánica natural, que se encuentra a menudo con piedra pómez, puede ser muy pesada e inadecuada para usar en cerámica aislante. Puede ser necesario machacar los pedazos más grandes de piedra pómez para obtener los tamaños pequeños necesarios. La mezcla es preparada separando la piedra pómez en tres tamaños:

½ pulgada a #4 (12.5 mm a 4.75 mm),

#4 a #8 (4.75 mm a 2.36 mm) y

a #8 (2.36 mm) y más fino.

En este caso, los componentes se recombinan (por volumen) en la proporción de dos porciones del tamaño más grande, una porción de medio tamaño, y cuatro porciones del tamaño más pequeño. La arcilla se agrega al agua y se mezcla para hacer un lodo algo aguado. La mezcla de la piedra pómez entonces se agrega y el material se presiona en moldes. Debe ser apisonada o presionada bastante para quitar el aire atrapado y formar un ladrillo sólido. Se puede quitar el molde inmediatamente y secar el ladrillo por varios días antes de hornearlo.

La piedra pómez está disponible en muchas partes del mundo y es barata y abundante. Debido a la variedad del material, se requiere mucha atención al control de calidad, y ésta podría ser un problema en muchos lugares. Es muy fácil convertir un ladrillo aislante ligero en un ladrillo pesado y conductivo con inatención a los detalles. La piedra pómez (y perlita también) es sensible a alto calor (sobre 1100° centígrado). Hornearlas demasiado hará las partículas de la piedra pómez a contraerse y hacerse rojo, dando por resultado un producto inferior. A pesar de estas preocupaciones, la piedra pómez proporciona una gran oportunidad de proveer una gran cantidad de cerámica aislante muy barata en muchas áreas del mundo.

Hay muchas recetas viables para hacer cámaras de combustión de cerámica refractaria ligera. Es necesario crear una alta temperatura en una cámara de combustión para evitar emisiones peligrosas. Desafortunadamente esta alta temperatura degrada rápidamente los metales, incluyendo el acero inoxidable. La cerámica refractaria es una gran alternativa.

Aprovecho es un centro para investigación, experimentación y educación en tecnologías alternativas que son ecológicamente sostenibles y culturalmente responsivas. El Grupo de Proyectos en Tecnología Apropiada trabaja para desarrollar tecnologías económicas de energía, renovables, que no contaminan y que reflejan investigación actual pero que son diseñadas para ser hechas en cualquier país.

El Centro de Investigación Aprovecho ofrece puestos de interno de diez semanas en estudios intensivos de enseñanzas para una vida sostenible. Las clases diarias se enfocan en el tres áreas: Silvicultura Sostenible, Cultivo Orgánico, y Tecnología Apropiada. Las clases combinan formatos de charlas y discusiones con actividades prácticas. Estimulamos una comprensión holística de cada tema que es fundada en experiencia específica y realizada por las perspectivas intelectuales más amplias disponibles en nuestro ambiente diverso de aprendizaje.

El centro está situado en un terreno hermoso de 40 acres cerca de la ciudad de Eugene en el estado de Oregon.

Contactar Aprovecho:

www.aprovecho.net

(541) 942-8198

Centro de Investigación Aprovecho
80574 Hazelton Rd.
Eugene, Oregon 97424
Estados Unidos