

CAPACITACIÓN EN DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTUFAS A LEÑA TIPO ROCKET EN LA PATAGONIA ANDINA

Conrado Tognetti ¹⁾, Alejandro D. González ²⁾

¹⁾ CEA 3 (Centro de Educación Agropecuaria N° 3) Mallín Ahogado, El Bolsón, Río Negro. E-mail: congo1981@yahoo.com

²⁾ Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Medioambiente (INIBIOMA), CONICET y UNCOMA, Centro Regional Universitario Bariloche, 8400 Bariloche, Río Negro. E-mail: gonzalezad@comahue-conicet.gob.ar

Recibido 15/08/14, aceptado 27/09/14

RESUMEN: En este trabajo se presentan el diseño y las capacitaciones realizadas para construir estufas tipo rocket, y se analiza el funcionamiento de varios modelos que llevan más de 4 años de funcionamiento en la región. Las estufas rocket se basan en la combustión de leña en un conducto vertical de alta temperatura y un posterior recorrido de transferencia térmica al ambiente. La separación de la zona de combustión de la zona de transferencia térmica disminuye las pérdidas por chimenea relativo a las estufas de metal. Los calefactores rocket logran alta temperatura en una cámara de combustión aislada del ambiente, y luego cuentan con un recorrido horizontal de humos de hasta 10 m lineales a través de una masa de ladrillo, y/o piedra, y/o adobe, u hormigón. Según la vivienda, la masa varía desde 1 a 5 toneladas. La calefacción es el producto del almacenamiento de la energía de una combustión completa a máxima llama con abundante oxígeno. Las emisiones son bajas (no hay humo visible) y la temperatura de la chimenea ronda los 60°C o 70°C. Se dictaron talleres prácticos que condujeron a la ejecución de diversas estufas de mampostería tipo rocket.

Palabras clave: Capacitación en oficios, Estufas a leña, Combustión completa, Masa térmica, bienestar humano

INTRODUCCIÓN

La biomasa como productora de energía térmica tiene potencialmente diversas ventajas: 1) en condiciones de manejo adecuadas es un recurso renovable; 2) se adapta a la producción y procesamiento local; 3) su uso se adapta a tecnologías apropiadas y de autoconstrucción. La leña es un combustible de biomasa que tiene estas ventajas. Por otro lado, entre las desventajas se encuentra la emisión de contaminantes, que en los combustibles sólidos es relativamente mayor que en combustibles líquidos o gaseosos.

Uno de los problemas centrales es la mezcla homogénea del aire y del combustible para que exista combustión completa. En este sentido, los combustibles gaseosos tienen ventajas sobre los líquidos, los cuales se busca pulverizar o gasificar para aumentar la eficiencia de combustión. A su vez, en los combustibles sólidos el procesamiento en partículas pequeñas aumenta la eficiencia de combustión. En el caso de la leña esto ha derivado en el procesamiento de biomasa en forma de pellets y briquetas, con resultados significativos en disminución de emisiones contaminantes (Olsson et al., 2003). Tanto el pellet como la briqueta se componen de partículas de grano pequeño prensadas, las cuales en la combustión se disgregan y posibilitan una mezcla más eficiente con el aire. De todos modos, la leña sigue ocupando un lugar destacado en la preferencia del usuario: 1) es de fácil producción y comercialización y 2) su precio es menor a otros combustibles que requieren procesamiento. Así, en las zonas frías de Argentina y Chile, en donde no hay acceso a gas natural y donde se requiere uso de calefacción en gran parte del año, la leña es el combustible de menor precio y de mayor uso (Schueftan y González, 2013).

Actualmente, las estufas a leña comerciales son del tipo caja de metal, con una cámara de combustión primaria y alguna derivación de gases para aumentar la probabilidad de una segunda combustión (véase por ejemplo: Nuke, 2014; Bosca, 2014). Estas estufas son de calentamiento rápido y no tienen masa térmica que acumule calor. Para conseguir combustión completa y bajas emisiones de contaminantes deben operarse con abundante entrada de aire; sin embargo esto aumenta la pérdida de calor por chimenea, reduce la duración de la leña, y disminuye el período útil con una determinada carga de combustible. Debido a estas restricciones, el usuario en general opta por cerrar las entradas de aire, con lo cual se aumenta la duración de la leña pero a la vez se aumenta significativamente la emisión de contaminantes. Más abajo explicamos en detalle estos problemas y analizamos experimentos que muestran la dependencia de los contaminantes con el tiraje.

En la evolución del manejo del fuego, la chimenea produjo un gran cambio, permitió: i) sacar el humo de la vivienda, y ii) generar lo que conocemos como “tiraje”, que es la succión que genera el aire caliente elevándose en un conducto vertical. La succión aumenta la velocidad y la entrada de aire al fuego, mejorando la calidad de la combustión y facilitando la salida de humo del ambiente interior. De todos modos, la chimenea trajo consigo problemas subsiguientes, principalmente el de la contradicción entre eficiencia térmica vs. eficiencia de combustión, el aumento de una va en detrimento de la otra. Las estufas de caja de metal tienen chimeneas externas, y es la chimenea caliente afuera de la estufa la que la hace funcionar. Sin chimenea externa, o con la chimenea externa fría, la estufa no funciona.

En la evolución histórica de la calefacción a leña, el mayor cambio fue la aplicación de la tecnología de la chimenea interna, principalmente a partir de los diseños que desarrollaron en Suecia el Barón Carl Johan Cronstedt y el Barón Fabian Wrede,

quienes, en el año 1767 recibieron el encargo del rey en respuesta a la preocupación general de que los bosques desaparecieran ante el gran requerimiento de leña (Lyle, 1984). La chimenea interna supera la contradicción eficiencia térmica vs. eficiencia de combustión, ya que la chimenea que genera la succión necesaria para la entrada abundante y turbulenta de aire está dentro de la estufa. En la práctica, esta chimenea interna no es más que una cámara de combustión con una altura de más o menos 1,2 m. Los principios de diseño de Cronstedt y Wrede siguen vigentes hasta el día de hoy (Lyle, 1984; Paunu, 2012).

En nuestra región, las estufas denominadas “escandinava y rusa” (pero que poco tienen en común con sus ancestros del antiguo mundo), agregan masa térmica y mayor número de divisiones en la derivación de los humos luego de la cámara de combustión para aumentar la transferencia de calor al interior de la casa, y con esto disminuir la salida por la chimenea (INTA, 2011). De todos modos, a pesar de las mejoras en eficiencia por la inercia térmica, la aplicación de estas tecnologías de estufa de mampostería en la zona no tuvieron en cuenta la importancia de la chimenea interna en el diseño, por lo tanto la mayoría de los modelos siguen dependiendo de la succión que genera una chimenea caliente exterior a la estufa, lo cual disminuye la eficiencia térmica.

Las cocinas y estufas rocket

Es interesante notar que las estufas rocket no llegan al escenario de la calefacción en zonas frías heredando la larga tradición de construcción de estufas de mampostería en Europa, sino que llegan por la necesidad de mejoras de las cocinas en Centroamérica, en el contexto de la crisis internacional de leña para fines principalmente culinarios en los años '70. Los intentos de lograr una combustión limpia para cocinar con muy poca leña eventualmente derivaron en los quemadores rocket (Ochieng et al., 2013). La clave que encontraron para lograr muy buena combustión y muy rápida cocción con muy poca leña fue la chimenea interna.

Años más tarde, el galés Ianto Evans aplicó lo aprendido en cocinas al desarrollo de la estufa rocket de masa, para calefacción en zonas frías de los Estados Unidos y Canadá. Así es cómo, partiendo de aplicaciones diferentes, la búsqueda de la eficiencia en la combustión y la eficiencia térmica convergen en un mismo concepto: la chimenea interna.

La eficiencia de los calefactores rocket resuelve la segunda contradicción intrínseca de las estufas de metal, a saber: para lograr bajas emisiones de material particulado es necesario una combustión con abundante oxígeno, lo cual consume rápidamente la leña. Entonces, en la práctica cotidiana, en las estufas de metal se restringe la entrada de aire para bajar el consumo de leña, aunque el resultado son altas emisiones tóxicas.

Los calefactores rocket para climas fríos combinan la respuesta rápida y calor radiante inmediato del tambor, con la radiación de onda larga que emite el banco. Además, el sistema de sillón posibilita el calor por contacto al cuerpo humano. A diferencia de la mayoría de las viviendas de Europa, las casas en nuestra zona tienen mucho chiflete y poca aislación térmica. Es por esto que muchas veces las estufas de mampostería que no cuentan con una superficie radiante como el tambor de la rocket no logran brindar un bienestar a los habitantes de la vivienda. El calor por convección de las temperaturas más bien bajas (alrededor de 70°C) de la superficie de mampostería se pierde fácilmente en las viviendas típicas de nuestra zona.

El nombre “rocket” deriva del sonido que produce el flujo intenso de gases a muy alta temperatura en la estufa, similar a la combustión en los cohetes de lanzamiento. Estas estufas combinan la ventaja de la masa térmica acumuladora con la respuesta rápida de las cajas metálicas, y son el objeto de estudio del presente trabajo.

Las estufas rocket de masa se construyen en la Patagonia Andina desde hace media década, hay más de 50 artefactos en funcionamiento en viviendas de Bariloche, El Bolsón, Las Golondrinas, Lago Puelo, El Hoyo, Epuyen y Esquel, y en el último año se han incluido en el programa educativo de una escuela técnica rural. Esta capacitación fue solicitada por los alumnos en función del interés que existe en este tipo de estufas, y se desarrolló con la experiencia de haber participado directamente en la construcción, en la capacitación, y en el seguimiento de más de 30 de estas estufas. En el presente trabajo se muestran los modelos desarrollados en las capacitaciones de 2014, así como también diversos aspectos en consumo de leña, equipos que se reemplazan, dificultades en el manejo, confiabilidad, confort en el uso y hábitat de la vivienda. Se encontró una gran reducción en el consumo de leña y aumento en el bienestar térmico en las viviendas que reemplazaron otras estufas a leña por una rocket.

En las secciones siguientes se comparan distintas estufas a leña, mostrando el principio de funcionamiento de la estufa rocket y sus detalles constructivos. Los primeros desarrollos se realizaron en EE.UU., y en la actualidad se construyen y utilizan en casi todos los países con alta necesidad de calefacción. Los modelos no son comerciales y se construyen de acuerdo a las necesidades de la vivienda, adaptando la configuración de masa térmica y cámara de combustión a los requerimientos del usuario.

DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS DE CALEFACCIÓN A LEÑA

Estufas de metal tipo caja

Actualmente, las estufas a leña comerciales son del tipo caja de metal, en las cuales puede incluirse o no una división en la cámara de combustión, denominada templador, donde puede producirse una combustión secundaria. Ésta es importante para quemar gases residuales de la combustión primaria. Con este propósito, la mayoría de las estufas de metal están provistas de dos entradas de aire, una inferior que alimenta la combustión primaria, y una superior para la secundaria (Bosca, 2014), y se denominan comúnmente estufas de combustión doble. La diferencia con la tradicional “salamandra” o las cocinas a leña radica en que éstas no tienen la división de la cámara de combustión, y a fuego máximo disminuye el rendimiento debido a las pérdidas de calor por chimenea.

Distintas experiencias realizadas en Chile con estufas de combustión doble mostraron rendimientos térmicos entre 57% y 68% (CNE, 2009). También se midieron las emisiones de material particulado (MP) fino MP₁₀, con resultados de laboratorio entre 2,4 y 3,8 g MP por kg de leña quemada. Las cocinas ensayadas en Chile dieron rendimientos térmicos para calefacción alrededor de 50%, y emisiones de 1,7 g MP por kg de leña quemada (CNE, 2009; CONAMA, 2008). Estos valores coinciden con ensayos de cocinas a leña en Nueva Zelanda, 51% y 2,7 g MP/kg leña (ESSE, 2010), confirmando que si bien el rendimiento térmico para calefacción de las cocinas es menor, las emisiones son menores o iguales a las de las estufas a leña modernas. Esto es interesante porque ejemplifica la fuerte dependencia de las emisiones con la provisión de aire en la combustión. Las cocinas y salamandras operan con entrada de aire poco restringida, al contrario de las estufas de doble combustión en las cuales puede cerrarse totalmente la entrada de aire. La combustión con limitación de aire no alcanza las altas temperaturas necesarias para la combustión secundaria, y produce mayor emisión de MP.

Por otro lado, las mediciones mencionadas en el párrafo anterior se refieren a ensayos en condiciones ideales de laboratorio, y pueden diferir de los valores encontrados en el uso cotidiano en los hogares. Por ejemplo, los protocolos de medición en laboratorio parten de una estufa en pleno régimen y con fuego vivo, por lo cual evitan el período de encendido, el cual se encontró que genera altas emisiones y bajo rendimiento (Houck, 2007). Además, la leña utilizada en laboratorio es secada en horno y con humedad calibrada, lo cual difiere también del uso cotidiano. La entrada de aire regulable, para los ensayos de laboratorio mencionados anteriormente, se deja abierta; pero si en la operación el usuario cierra el tiro de aire las emisiones pueden aumentar hasta 10 veces (CONAMA, 2008). Debido a estas dificultades, y en el intento de conocer valores reales de funcionamiento, se han desarrollado protocolos de ensayo en hogares, denominados “real-world emission factors” (factores de emisión reales) (Scott, 2005; Kelly et al., 2007; Houck, 2007). El Ministerio de Medio Ambiente de Nueva Zelanda ha medido dos calidades de estufas, encontrando emisiones reales que cuadruplican las emisiones de laboratorio (Scott, 2005; Kelly et al., 2007).

Las estufas a leña de metal no tienen masa térmica significativa que acumule calor, y por lo tanto su efecto en la calefacción se debe al calor que entregan por convección y radiación cuando la combustión se encuentra activa. Este es el motivo por el cual la mayor parte de los usuarios consultados en Valdivia (Chile), donde 95% de los hogares tiene calefacción a leña, declara que usa el tiro de aire de la estufa cerrado. Con ello se conserva la leña ardiendo más tiempo, pero las emisiones de MP son mucho mayores. Si el tiro de aire de la estufa de metal se deja abierto, hay menos emisiones pero la eficiencia disminuye, debido a la mayor salida de calor por chimenea. De alguna manera, el diseño de estas estufas contiene una trampa tecnológica, por la cual, si se busca aumentar la eficiencia y la duración del combustible se emite más particulado dañino para la salud, y si se mejora la combustión y se disminuyen las emisiones al mismo tiempo se aumenta el consumo de leña. Estas dificultades han tratado de ser corregidas en diversos diseños de estufas a leña con acumulación de calor por masa térmica, como veremos en la sección siguiente.

Estufas de mampostería

Se denomina estufa de mampostería a una amplia gama de calefactores a leña que están construidas con material de mampostería: ladrillo, ladrillo refractario, piedra, laja, etc. La versión más conocida en la zona tiene un sistema simple que retarda la salida de los gases de combustión por la chimenea y acumula calor en su masa. Aunque no es similar a las estufas tradicionales del país al cual hace referencia su nombre, habitualmente se la conoce como “estufa rusa”. Esta ha sido estudiada extensamente y promovida por INTA en zonas rurales y periurbanas de Argentina (INTA, 2011). Básicamente, se trata de una construcción con ladrillos refractarios, que dispone de una cámara de combustión con camino de salida de gases en zigzag para aumentar su recorrido y transferencia de calor a los ladrillos. Es un modelo sencillo de fabricar pero demanda una inversión considerable en ladrillos refractarios pesados y su transporte.

Hay infinidad de variantes en el diseño y construcción de las estufas de mampostería: con ladrillos comunes, piedra, hormigón, etc., y adaptadas a las particularidades de los ambientes de la vivienda. Estas pueden ocupar parte de la cocina y/o estar y disponer de horno incorporado al diseño. Estas estufas han sido muy usadas en Escandinavia, en donde se construyeron con paneles modulares de cerámica; de aquí su nombre “estufa de cerámica” (Paunu, 2012). A pesar de su buen funcionamiento y alto rendimiento térmico, las estufas de mampostería tienen la desventaja de que el calentamiento es lento y deben estar encendidas muchas horas hasta que el efecto sea notable, en contraste con las estufas de metal que son de rápida respuesta pero no acumulan calor. El calentamiento rápido es importante en edificios de ocupación temporaria, por ejemplo, las viviendas en zona urbana y periurbana. Los modelos de estufas “Rocket” intentan disponer de las dos ventajas a la vez: acumulación de calor y rápida respuesta (Evans y Jackson, 2006).

PRINCIPIOS BÁSICOS DE FUNCIONAMIENTO DE ESTUFAS ROCKET

Carga de leña y canal de combustión

La Figura 1a muestra un esquema en corte de una estufa rocket. Aunque estas estufas pueden ser adaptadas para cargas de leña horizontales, la mayoría de los sistemas cuentan con la carga vertical (#4 en la Fig. 1a). A medida que el extremo inferior de la leña se va quemando, la leña se auto-carga por gravedad. La llama sale horizontalmente por el túnel de quema y junto con los gases de la combustión entra a gran velocidad a la chimenea interna, aquí continúa la combustión y los gases muy calientes que suben a través de esta chimenea interna generan la succión que hace funcionar la estufa y que a su vez da lugar a su nombre (#3 en Fig. 1a).

La etapa de combustión está recubierta de material aislante (#2 en Fig. 1a) para limitar la pérdida de temperatura desde la cámara de combustión al ambiente, permitiendo sostener altas temperaturas de combustión, y reducir la oscilación de

temperaturas durante el periodo de quema. El material aislante para alta temperatura se ha hecho en casi todos los casos con materiales disponibles en un radio cercano a la obra (menor a 2 km). El aglutinante es arcilla, y luego lleva agregados minerales como arena volcánica, piedra pómez, ceniza; o materiales vegetales como el aserrín o la viruta. En el caso de los vegetales, éstos se queman dejando una esponja porosa de arcilla de baja densidad y alta calidad aislante. También se ha experimentado con aislantes de origen industrial, como manta cerámica y perlita/vermiculita. En todos los casos las estufas funcionan bien y las temperaturas de combustión son suficientes para que no haya humo visible en la salida de gases.

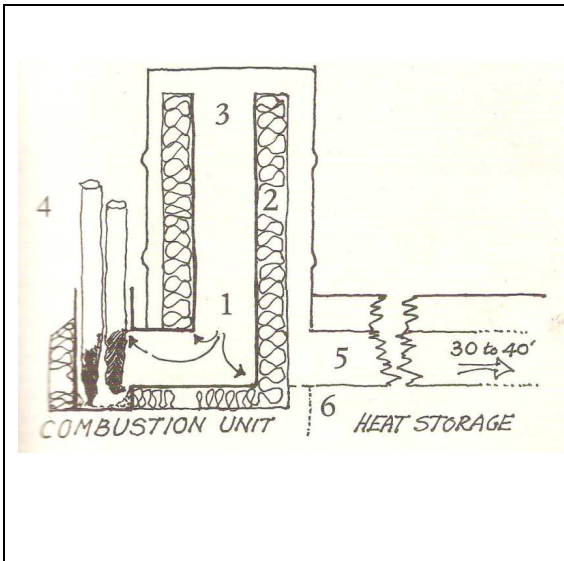


Figura 1a: esquema en corte de la etapa de combustión de una estufa rocket (Tomado de Evans y Jackson, 2006)



Figura 1b: etapa de combustión de una estufa rocket construida en la capacitación. Se observa la boca de carga de leña y la chimenea de combustión secundaria

La Figura 1b muestra una típica cámara de combustión con su chimenea interna. La mayoría de estufas construidas tienen 12 ladrillos refractarios para la parte de carga de leña y túnel de quema. Con 60 ladrillos comunes se construye las demás partes y la chimenea interna.



Figura 2a: Encamisado de chapa y aislamiento térmico de la chimenea



Figura 2b: Chimenea de construcción alternativa con caño de hierro, y tambor exterior de 200 litros para salida de gases.

La combustión comienza en el alojamiento vertical y en el primer tramo horizontal corto, y luego a lo largo de toda la chimenea interna (#3). Con el #1 se indican los ángulos de 90° que ayudan a generar turbulencia en la chimenea de combustión, en la cual, debido a la aislación térmica (Figura 2a) se alcanza temperaturas cercanas a 900°C (Evans y Jackson, 2006). La tecnología de la chimenea interna permite lograr la tres T de la combustión limpia: Temperatura, Turbulencia, Tiempo (Evans, Jackson, 2006).

- Temperatura, la combustión completa de los gases que produce la degradación de la biomasa bajo el efecto del fuego ocurre arriba de los 650 °C (hasta el 60% del potencial calórico de la leña se libera a partir de esta temperatura ref.);
- Turbulencia, la entrada de aire debe ser abundante, pero además debe ser turbulenta para que todas las moléculas de oxígeno se dispersen en una mezcla óptima con los gases de la combustión;
- Tiempo, el recorrido turbulento y de alta temperatura debe durar cierto tiempo para que la combustión finalmente sea completa.

Tambor intercambiador de calor

Luego de la combustión en la chimenea interna, los gases bajan por el espacio anular que queda entre la aislación térmica de la chimenea interna y un tambor de aceite reciclado que hace de intercambiador de calor (Figura 2b), bajando la temperatura de los gases hasta unos 250°C. Desde el espacio anular los gases ingresan al recorrido horizontal de 8 a 10 m a través de un banco de ladrillo o piedra. Finalmente encuentran la chimenea externa de la estufa para salir del edificio con unos 60 o 70°C. Si la temperatura de los gases de salida es menor a éstas se corre el riesgo que los gases no se eleven y la estufa falla.

En la Figura 2a se observa el encamisado de chapa que contiene la aislación térmica que recubre la chimenea interna. En este caso se utilizó una mezcla de viruta y arcilla. La viruta se va quemando y el encamisado sostiene la frágil esponja aislante de arcilla que queda (de una densidad estimada en 200 kg/m³). Lo que falta llenar del encamisado de la foto se completa con una pasta refractaria densa que hace las veces de tapón. En la Figura 2b se observa la colocación del tambor de aceite usado; su correspondiente tapa y suncho se colocan luego para permitir calibrar la altura del borde del tambor con respecto a la chimenea central. Esa distancia es importante porque determina la salida de gases calientes de la combustión. Aquí encontramos otra variable que se regula según la vivienda: en el caso de que la estufa se utilice para cocinar, se calibra la altura de la tapa hasta unos 5 cm de la chimenea interna, el resultado es que se logra una hornalla de gran temperatura en el centro de la tapa del tambor. Si la estufa no se utiliza para cocinar, sino como calentador circunstancial, entonces se deja un espacio de hasta 15 cm y al haber menos transferencia en esta transición habrá mayor derivación de calor al posterior recorrido horizontal. En la Figura 2b se utilizó para la chimenea interna un caño de hierro como alternativa a los ladrillos mostrados en la Figura 2a. Podemos apreciar aquí el ánulo entre el encamisado y el tambor para dirigir los gases luego de la combustión.

La Figura 3a muestra el detalle del paso siguiente de la salida de gases: una vez que descienden a través del espacio entre el tambor y la chimenea deben dirigirse al conducto intercambiador de calor en el banco térmico. La Figura 3b es una foto de una estufa rocket terminada y en funcionamiento en una casa de El Bolsón (RN). Esta vivienda (que tiene pésima aislación térmica y mucha superficie vidriada) contaba con una estufa rusa del diseño INTA (2011), que no era suficiente para mantener confort mínimo en invierno, siendo necesario clausurar varios ambientes de la casa. En la actualidad, con el diseño integrado rocket la casa entera se habita con buen nivel de bienestar. Nótese la chimenea de salida próxima al tambor que contiene la chimenea de combustión. Esta es una configuración conveniente porque la radiación del tambor calienta la chimenea de salida y aumenta el tiraje.

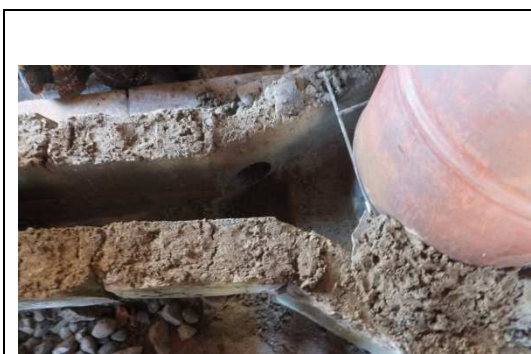


Figura 3a: Salida de gases de la combustión hacia el banco de masa térmica.



Figura 3b: Estufa rocket terminada. Se observa la carga de leña vertical, el tambor externo a la chimenea interna, el banco másico de intercambio térmico, y la chimenea de salida.

En todas las estufas se ha usado un tambor metálico reciclado de algún tipo, ya que ningún cliente quiso prescindir del calor radiante inmediato, y de la superficie tipo hornalla. Sin embargo en muchos casos se ha revestido los lados del tambor hasta diferentes alturas. La superficie radiante total del tambor es considerable, además la tapa sirve para todo tipo de cocción. El tambor se quema y se limpia antes de colocar. Los tambores con tapa y suncho facilitan la limpieza de ceniza que se acumula en la cima de la chimenea interna.

Batería térmica: intercambio de calor entre gases y masa del banco térmico

La masa térmica de la estufa varía según la vivienda y las costumbres de sus habitantes. Por lo general se calcula una masa de unas 2 o 3 toneladas. La forma más fácil de construir el banco es armar el recorrido horizontal con caño y luego recubrir estos caños con piedra y un mortero de barro. Sin embargo, por diferentes circunstancias se han construido bancos con conductos cuadrados o rectangulares de adoquines reciclados, ladrillo hueco relleno con arcilla y ripio, ladrillo común, adobe, etc.

En la Figura 4 vemos una estufa en proceso constructivo. La cañería del escape permite tener la estufa en funcionamiento a medida que se arma la masa térmica de barro y piedra. Notar el sellado de las uniones con cinta resistente a la temperatura.

Este sistema constructivo permite poner en funcionamiento la estufa con unas 20 o 30 horas de trabajo, porque el camino de los gases está finalizado, y se continúa el banco en una subsiguiente etapa constructiva.



Figura 4: estufa rocket construida con salida de gases en caño galvanizado con uniones selladas.

Nótese los accesos para limpieza en el recorrido del caño. En este caso todo el banco se montó sobre una cama de ladrillo hueco para disminuir la pérdida térmica hacia el piso. Siempre que sea conveniente se incorpora aislación térmica entre el banco y las paredes exteriores.

El beneficio del banco como calefactor de la casa es notable en el bienestar de quienes la habitan. En casas de no más de 70 m² y con un aislación térmica moderada, se mantiene el banco a una temperatura adecuada para calentar toda la casa con 2 horas de fuego diario, o entre 14 y 16 kg de leña blanda (álamo, sauce). Esto implica una potencia alta de combustión, alrededor de 30 kW, con combustión rica en aire y baja en emisiones de MP. La configuración de la masa térmica hace posible almacenar el calor antes que se pierda por chimenea. Además, se puede regular su transferencia térmica al ambiente cubriendo el banco con almohadas, frazadas, etc. Por ejemplo, si se cubre bien el banco luego del fuego de la mañana y se va al trabajo, al regresar por la tarde se destapa y el calor irradiado puede evitar la necesidad de hacer fuego nuevamente. Estas ventajas son aún mayores si la vivienda tiene una aislación térmica adecuada.

Otro beneficio del banco como batería térmica es su simpleza constructiva. No requiere ningún tipo de conocimiento previo de algún oficio, ni plomada, ni nivel. Simplemente con ganas y ojo cualquier persona puede revestir una cañería con piedra y barro que acumule el calor de la combustión. Esto es un gran contraste con las estufas de mampostería con grandes masas verticales, que requieren mano de obra especializada.

La mayoría de las estufas cuentan con recorridos horizontales de entre 8 y 10 m lineales, a través de conductos de más o menos 20 cm de diámetro, o de 18 cm x 18 cm. Hemos experimentado con sistemas de hasta 12 m, con intención de maximizar la eficiencia térmica, pero vimos que la consecuente reducción de la temperatura de los gases de la chimenea externa por debajo de los 50°C iba en detrimento de la calidad de la combustión, y aparecía humo visible en la salida.

CURSOS DE CAPACITACIÓN EN LA PATAGONIA ANDINA

En la última década, ha habido diversos talleres para la construcción de estufas rocket en la Patagonia Andina, y se han mencionado algunos en las secciones anteriores.



Figura 5: construcción de chimeneas de combustión rocket en una capacitación en El Bolsón

La Figura 5 muestra varias chimeneas de combustión que construyeron diferentes participantes en una capacitación teórico-práctica en el año 2013. Luego se eligió una de estas chimeneas y se completó el sistema con aislación, encamisado, tambor y

múltiple. En paralelo se construyó una estufa definitiva en la vivienda que albergó la capacitación intensiva de dos días. Se ha invertido en gran cantidad de ladrillos refractarios y ladrillos comunes para poder brindar estas experiencias prácticas “ladrillo en mano” a personas que en muchos casos nunca han trabajado con ladrillos.

En la Figura 6 se muestra una estufa construida en un taller de capacitación en Esquel (Prov. Chubut). En este caso, el recorrido de gases es a través de conductos hechos con adoquines que fueron donados por una fábrica en Trevelin (Chubut). Estos adoquines de material cementicio, y destinados a pavimentos, tienen alta densidad y buena transferencia térmica. Esta estufa se completó durante dos días de taller, y funciona en un jardín maternal.



Figura 6: proceso constructivo de conductos de salida de gases en adoquines cementicios

La última capacitación se desarrolló durante marzo, abril, mayo y junio de 2014 en el Centro de Educación Agropecuaria N° 3 (CEA 3), Paraje Mallín Ahogado, El Bolsón, Provincia de Río Negro. Esta es una escuela de educación no-formal para adultos que tiene como eje principal la permanencia en la zona rural de su población, brindando formación en actividades que valorizan el trabajo desde lo económico hasta el factor humano que hace a la identidad del habitante rural. Se brindan capacitaciones anuales y cuatrimestrales en mecánica y mantenimiento de herramientas y máquinas rurales (motosierras, cortadoras de césped, tractores, etc.), carpintería, panadería (con harinas integrales sembradas y cosechadas en la zona), fieltro, huerta, cerámica (se trabaja con arcilla local), chacinados, y otros, además de contar con una laboratorio para análisis de triquinosis. El curso sobre estufas rocket contó con 20 participantes, en su mayoría habitantes de la zona de Mallín Ahogado, de edades entre 20 años hasta los 65 años, y de ambos sexos. Se brindó en jornadas intensivas de 8 hs, una vez por semana. Se trabaja una modalidad tipo taller, aplicando principios de la pedagogía de Paulo Freire, donde el equipo docente propone el aprendizaje conjunto a partir de la realidad cotidiana y la posibilidad de su transformación.

Muchas de las personas que participaron de esta capacitación luego hicieron su propia estufa, y otras practican la construcción de estufas rocket como oficio. Creemos que la capacitación no solo debe cubrir las necesidades de la auto-construcción, sino también impulsar la consolidación de un oficio con todo el rigor que esto implica, para lograr llegar a más viviendas y abarcar un mayor espectro social. En este sentido la propuesta educativa del curso de capacitación en estufas rocket no focaliza en la construcción de un modelo único, sino que incentiva la conceptualización del funcionamiento y promueve la diversidad de los posibles equipos. En la capacitación de 2014 se construyeron 3 estufas con configuraciones y tamaños distintos.



Figura 7: estufa construida por alumnos de CEA 3 en 2014, para la feria rural “Nehuen”.

En la Figura 7 se muestra una de las tres estufas definitivas de diferentes diseños que se construyeron durante la capacitación en el CEA 3 de Mallin Ahogado en el año 2014. Esta se construyó para uso cotidiano de la feria rural “Nehuen”, es un salón

(aún en obra) para la comercialización de productos de la zona. Notar el pirómetro inserto en la tapa del tambor. Aquí se tomaron temperaturas en el final del recorrido de la combustión y se pesaron cargas de leña durante un periodo de dos horas, como parte de las actividades de capacitación.

En la Figura 8 se observa un diseño de rocket con carga horizontal para uso diario en la Cooperativa La Mosqueta, de productores lanares, situada en la Pampa de Mallín del paraje Mallín Ahogado (RN). Como tambor se recicló un termotanque a leña pinchado, con la idea de que a cualquier poblador la primera imagen de la estufa sea de algo conocido, y que la carga sea en el modo convencional. Se instaló en el marco de la capacitación 2014 en el CEA 3 en media jornada. Es de muy fácil manejo, y el banco tiene paredes de ladrillo de canto con una masa térmica ligera que en media hora ya está caliente, brindando bienestar durante la jornada diaria de 8 horas de la cooperativa. La tecnología de esta estufa es un desarrollo único de los participantes del curso, aplicando los principios de la chimenea interna de la rocket a un diseño específico y culturalmente adaptado para fácil manejo por usuarios no periódicos. La ausencia de humo en la salida de la chimenea causó perplejidad a los usuarios durante las primeras jornadas de uso.



Figura 8: estufa rocket construida en la Cooperativa La Mosqueta, por alumnos del curso 2014 de CEA 3

En la Figura 9 se muestra la última estufa del curso 2014 en el CEA 3, y puso a prueba las capacidades de desempeño en el oficio que busca brindar el curso. Esta es una estufa de mampostería de la línea tradicional europea, el diseño – llamado “Gymse” - es del danés Lars Helbro. Esta estufa también cuenta con un banco caliente para enfriar los gases del escape hasta 50 o 60 °C. La cámara de combustión, de ladrillo refractario, que tiene la forma de una chimenea, está adentro de una masa de ladrillo común, las uniones son con manta cerámica para evitar fisuras por expansión/retracción diferencial.



Figura 9: estufa tradicional danesa, “Gymse”, construida por los alumnos del curso 2014 de CEA 3

Los gases calientes de la combustión, envuelven a toda la chimenea interna en un recorrido descendente antes de entrar a los conductos del banco, al igual que en la rocket. Esta estufa tiene una potencia que supera en 4 a 6 veces a un rocket, y se utiliza para viviendas o espacios muy grandes. La particularidad y el gran atractivo es la posibilidad de usarla con puerta abierta sin poner en juego la eficiencia térmica, ya que, asemeja un hogar con chimenea pero no existe la salida vertical

directa. El poder usar la puerta abierta también provee al ambiente de calor radiante inmediato. La cámara de combustión también sirve de horno una vez que se apaga el fuego. Notar la entrada de aire por debajo, este aire entra a una cámara de precalentamiento que está debajo de la cámara de combustión y luego entra a gran velocidad por la parte posterior de la cámara de combustión directamente a la llama. Es la clave para lograr la turbulencia que asegura una combustión limpia, y es similar al diseño en estufa de mampostería finlandesa mostrado por Paunu (2012, pág. 7).

Capacitación en modo de operación de la estufa rocket

El modo de operación más eficiente de estos dispositivos es también parte de la capacitación. Se ha realizado un seguimiento periódico de todas las estufas que hemos construido y puede afirmarse que una vez armado el sistema el factor determinante en su rendimiento está en manos de quien la opera. Hay grandes barreras culturales hacia el concepto de combustión rápida. Mucha gente prefiere quemar uno o dos palos a la vez durante todo el día que hacer un fuego turbulento y de gran potencia durante una o dos horas que cargue el banco de calor para el resto del día y la noche. En la limpieza de los sistemas estas diferencias son notables. Hay gente que se preocupa por tener leña seca y partida en pedazos de no más de 7 u 8 cm de diámetro, pero hay otra que no.

Sin embargo, en todos los casos los usuarios están satisfechos con su sistema de calefacción, pudiendo verificar el bienestar que les brinda en comparación con sistemas anteriores o con vecinos. Hemos hecho calefactores rocket para reemplazar todo tipo de sistemas de calefacción, desde estufas rusas, lozas radiantes, estufas de metal, etc., en todo tipo de vivienda y edificios de uso público. En todos los casos las personas que las usan a diario manifiestan gran satisfacción no solo por el bienestar que les brinda sino por la cantidad reducida de leña que usan, la facilidad para encender, y la ausencia total de humo dentro del ambiente.

Según los participantes del curso 2014 en CEA 3, imagen de la Figura 10 captura “el espíritu del fuego”. Podemos ver cómo los gases de la combustión entran a gran velocidad y en combustión a la chimenea interna de la estufa. En la chimenea externa no se observa humo en ningún momento.



Figura 10: cámara de combustión de “Gymse” con carga horizontal. Se observa el fuerte tiraje hacia la chimenea de combustión interna

CONCLUSIONES

Los resultados a lo largo de los últimos 4 años, desde que se comenzó a capacitar en este tipo de calefactores en la zona nos han demostrado que los calefactores rocket tienen gran potencial en ambos sentidos, energético y social. En condiciones de vida real su eficiencia es notable y prometedora. Los costos de su construcción son relativamente bajos, y existen muchas posibilidades de capacitación para la auto-construcción y para la formación de recursos humanos capacitados para el diseño y construcción en condiciones particulares de cada necesidad.

No hemos podido todavía hacer ensayos extensivos de emisiones de particulado y medición de flujo de gases de salida por falta del instrumental necesario. Este tipo de mediciones nos permitirá ajustar algunas variables en el diseño que permitan combustión más limpia de manera constante, ya que hay oscilación en la combustión óptima, en algunos casos por sobrecarga repentina de leña y en otras por cargas minimalistas.

La carga promedio de leña, de 2 kg cada 15 minutos, y el tiempo de uso promedio de 2 horas diarias en el caso de la vivienda con aislación térmica moderada (paredes de 22 cm de paja aliviana con arcilla, techo con 10 cm de arena volcánica, superficie 70m²), nos da una idea de la eficiencia de esta estufa, que en el balance final hemos estimado consume hasta 60 o 65 % menos leña que una estufa de metal para la calefacción en la misma vivienda.

REFERENCIAS

Bosca (2014). Fabricante de estufas y hogares. www.bosca.com.ar

- CNE, 2009. Comisión Nacional de Energía. Certificación de artefactos a leña. Lic. 610-7-LE09. Informe final, Ambiente Consultores.
- CONAMA, 2008. Actualización del inventario de emisiones en las comunas de Temuco y Padre las Casas. Dictuc Ingeniería para Comisión Nacional del Medio Ambiente http://www.sinia.cl/1292/articles-46042_recurso_1.pdf
- ESSE, 2010. Particulate Emission Power Output & Efficiency Testing of the EW Ironheart. <http://www.pivotstove.com.au/assets/dynamic/attachments/report-esse-ew-series-wet.pdf>.
- Evans I., Jackson L. (2006). Rocket mass heaters: superefficient woodstoves you can build. Cob Cottage Company, Coquille, Oregon, EE.UU.
- Houck J.E., Pitzman L.Y., Tieggs P. (2007). Emission factors for new residential certified wood heaters. Environmental Protection Agency, <http://www.epa.gov/ttnchie1/conference/ei17/session4/houck.pdf>
- INTA (2011). Estufas de alto rendimiento. <http://inta.gob.ar/documentos/la-estufa-a-lena-de-alto-rendimiento/>
- Kelly C., Mues S., Webley W. (2007). Warm Homes Technical Report. Real Life Emissions Testing of Wood Burners in Tokoroa. Ministry for the Environment, New Zealand. <http://www.mfe.govt.nz/publications/energy/emissions-testing-wood-burners-tokoroa-jun07/emissions-testing-wood-burners-tokoroa-jun07.pdf>
- Lyle, David. (1984) The Book of Masonry Stoves, Rediscovering an old Way of Warming. Chelsea Green Pub., Vermont US
- Ñuke (2014). Fabricante de estufas y hogares. www.productosnuke.com.ar
- Ochieng C.A., Tonne C., Vardoulakis S. (2013). A comparison of fuel use between a low cost, improve wood stove and traditional three-stone stove in rural Kenya. Biomass and Bioenergy 58, 258-266
- Olsson M., Kjällstrand J., Petersson G. (2003). Specific chimney emissions and biofuel characteristics of softwood pellets for residential heating in Sweden. Biomass and Bioenergy 24, 51-57
- Paunu V.V. (2012). Emissions of residential wood combustion in urban and rural areas of Finland. Master's Thesis, Aalto University. <http://lib.tkk.fi/Dipl/2012/urn100624.pdf>
- Schueftan A., González A.D. (2013). Comparación de recursos energéticos residenciales en las ciudades de Valdivia (Chile) y Bariloche (Argentina): precios y consumos. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente 19, 7.09-7.17
- Scott A.J. (2005). Real-life emissions from residential wood burning appliances in New Zealand. Ministry for the Environment New Zealand, <http://ecan.govt.nz/publications/Reports/air-report-emissions-residential-wood-burning-appliances-nz-000805.pdf>

ABSTRACT: The aim of this work is to introduce the design and education workshops on rocket stoves' building. The operation of several rocket stoves built in the last 4 years is also discussed. Rocket wood stoves use the concept of a second combustion at high temperature in an internal chimney, and heat exchange of hot flue gases with a thermal mass to accumulate heat indoors. Metal wood stoves have larger chimney losses due to lower capacity to exchange and store heat. After very high temperature in the combustion chamber, a heat-exchange path of around 10 m directs residual gases outdoors. The stove is design according to needs and characteristics of households. With these stoves, space heating is the result of air-rich combustion, and thereby particulate emissions are low and there is no visible smoke out of the flue. Workshops have been performed in El Bolsón and neighbouring villages, leading to the construction of several rocket stoves by participants.

Keywords: Stoves' builders education – Woodstoves – Thermal mass stoves – Clean combustion – House comfort