

EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DEL FUNCIONAMIENTO DE UNA ESTUFA RUSA MEJORADA INSTALADA EN UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR DE SAN RAFAEL, MENDOZA.

Luis I. Boccaccini¹ y Alejandro Hernandez²

¹Laboratorio de investigación, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Rafael,
Av. Gral J. J. Urquiza 314. (5600) San Rafael. Mendoza

Tel (0260) 15-440-5353/ 442-1078/ 442-4406 e-mail - liboccaccini@frsr.utn.edu.ar

²Universidad Nacional de Salta (UNSa), Avda. Bolivia N° 5.150, CP. 4400, Salta Capital

²Instituto de Investigación en Energías No Convencionales (INENCO), UNSa – CONICET

Tel. 54-0387-4255579 – Fax 54-0387-4255489

Recibido 14/08/14, aceptado 26/09/14

RESUMEN: El siguiente trabajo expone los avances realizados en un estudio de investigación denominado “Evaluación energético-económica de una estufa rusa mejorada. Comparación de rendimiento utilizando biomasa y gas”. El objetivo del trabajo es el estudio teórico-experimental del funcionamiento de una estufa de mampostería con hogar cerrado y horno para cocción de alimentos (estufa rusa) empleada en la calefacción de una vivienda de 90 m² de planta ubicada en la localidad de San Rafael, Mendoza. Este prototipo incluye como innovación tecnológica de diseño un intercambiador de calor para la calefacción de un ambiente contiguo. Durante el período invernal se evaluó su funcionamiento teniendo en cuenta las variables climáticas de la zona donde se encuentra ubicada (San Rafael, Mendoza), donde se registran temperaturas mínimas invernales inferiores a 0°C y amplitudes térmicas diarias que superan los 18°C. El siguiente texto analiza las mediciones adquiridas en el recinto calefaccionado utilizando gas como combustible, en donde se obtuvieron valores de temperaturas confortables durante toda la noche aunque se sobrecalienta alrededor del mediodía debido a las altas temperaturas registradas en el exterior durante esas horas.

Palabras clave: estufa rusa, alto rendimiento, biomasa, calefacción.

INTRODUCCION

Las energías renovables son reconocidas como una de las alternativas viables para resolver, en parte, los problemas de ineficiencia, contaminación y agotamiento de los recursos no renovables. Entre los objetivos de planeamiento energéticos del gobierno nacional las energías renovables tienen una importancia relevante sin precedentes ya que son una opción potencial para la diversificación energética, el remplazo de los combustibles fósiles y la reducción de emisiones contaminantes al medio ambiente, entre otras alternativas de vital importancia como el aumento del rendimiento energético de los sistemas y la política de concientización de los usuarios. Estas estrategias deben tener un objetivo claro en la política energética, adelantándose a las futuras necesidades y previendo el remplazo sistemático de los combustibles fósiles.

Aunque las energías renovables han demostrado ser una opción técnicamente adecuada para satisfacer las necesidades básicas de algunas poblaciones aisladas, no son económicamente accesibles para sus pobladores debido a sus inestables economías de subsistencia. En las regiones precordillerana o en nuestra Patagonia el combustible principal de estas zonas es la biomasa de especies leñosas nativas cuya extracción intensiva no es sustentable. El problema se agrava aún más debido a la alta ineficiencia térmica de los fogones donde se quema esa biomasa y a la aparición de enfermedades pulmonares en sus usuarios por los altos niveles de contaminación que genera la combustión incompleta de la leña.

El Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010 publica el “Cuadro P41. Total del país. Población en viviendas particulares por tipo de vivienda, según combustible utilizado principalmente para cocinar.”(INDEC, 2010). En él se presenta la cantidad total de viviendas en el territorio nacional, discriminadas según el combustible que utilizan para cocinar.

Sobre un total de 39.672.520 viviendas particulares en todo el país resulta:

- 3,27% de éstas utiliza leña o carbón.
- 45,4 % utilizan gas en zepelín, o garrafas.
- 51,1 % utilizan gas de red.
- 0,18 % utilizan red eléctrica únicamente.

De estos datos se desprende que el 96,5 % de la energía primaria consumida en el territorio nacional, preferentemente para la cocción de alimentos, es de origen no renovable y la quema de combustibles fósiles como el gas aumenta la emisión de gases

contaminantes del medio ambiente. Solo el 3,27% de la energía utilizada en una vivienda para calefacción o cocción tiene una base de consumo energético en la biomasa dado su elevado costo de adquisición y baja eficiencia de los métodos tradicionales aunque la energía generada desde la biomasa sea amigable con el medioambiente.

Tissari et al. (2009) evaluaron las emisiones de gases carbonados (CO y OGC, hollín, etc.) producidas por las estufas de sauna finlandesas y de mampostería convencionales con hogar cerrado. Para las primeras obtuvieron valores de concentración de contaminantes superiores a los generados por otros tipos de estufas a leña mientras que para las segundas estos valores fueron menores. Asimismo, determinaron que en las estufas de mampostería de hogar cerrado, si se emplean troncos pequeños, las emisiones contaminantes son mayores que si se emplean troncos grandes. Duplicando la carga de leños se cuadruplica la emisión del contaminante OGC (carbono gaseoso orgánico). En las estufas de mampostería con hogar cerrado el 90% del material particulado se produce durante la fase de encendido. Los autores concluyen que las principales causas de la alta generación de gases y partículas contaminantes producidos en las estufas de sauna y de mampostería de hogar cerrado convencionales de Finlandia son el escaso suministro de aire debido a un veloz proceso de pirólisis y la generación de cenizas por las altas temperaturas de combustión. Las estufas de mampostería modernas, que incluyen diseños de parrilla que permiten la circulación y mezcla del aire dentro del hogar cerrado, siendo bien operadas, arrojaron valores muy bajos de contaminantes gaseosos y particulados originados en la combustión incompleta de la leña.

El INTA (Instituto Nacional De Tecnología Agropecuaria) recomienda como elemento de calefacción de ambientes de alto rendimiento el dispositivo conocido como “Estufa Rusa” (estufa de mampostería de hogar cerrado) que aprovecha la masa térmica de los ladrillos refractarios de su estructura para reducir el consumo de leña por acumulación del calor a corto y mediano plazo. En su informe “ESTUFA A LEÑA DE ALTO RENDIMIENTO” (INTA, 2002) reseña comparativamente los rendimientos de distintos sistemas de calefacción, indicando textualmente: “Las estufas rusas alcanzan un rendimiento de 84 a 93%, muy superior a las de hierro (20% a 40%) y a las cocinas económicas (30%). La estufa rusa produce el mismo calor con 100 kg de leña que una estufa común de hierro con 400 kg”. Por otra parte, el INTI (2008) presentó un informe donde están calculados los rendimientos de los calefactores de tiro balanceado, los cuales varían entre un 60 y un 70 % de la energía provista por el gas natural. Esto posiciona a las estufas rusas entre los primeros puestos del ranking sobre el uso eficiente de la energía en los sistemas de calefacción convencional, resultando la mejor alternativa en las zonas rurales donde no llegan las redes de electricidad ni gas y donde el acceso a la leña se reduce sistemáticamente por su extracción no sustentable.

Otro punto a favor de esta tecnología de bajo costo y mantenimiento se encuentra en un texto de la Dra. Marcela Regnando (2004) cuya investigación está dirigida a la medición de CO en sangre en usuarios de estufas de combustión a leña. La autora destaca la importancia de la utilización de estufas de mampostería de alto rendimiento por los bajos niveles de contaminantes presentes en sus usuarios en relación a los métodos tradicionales.

Según Regnando, la eficiencia global de funcionamiento de las estufas de alto rendimiento se basa en que:

1. Están construidas de un material que tiene gran capacidad de absorber calor, acumularlo y luego entregarlo lentamente.
2. La temperatura de combustión es muy alta y el recorrido de los gases dentro de la estufa es muy largo antes de salir por la chimenea, lo que permite que se efectúe una combustión completa.
3. La gran capacidad de su hogar y la posibilidad de controlar ajustadamente el tiraje permite que la leña colocada la noche anterior permanezca prendida hasta las 3 o 4hs. de la mañana, entregando calor y ayudando a mantener caliente esa gran masa de ladrillos refractarios.

En una publicación realizada por la División de Energía del MISSOURI DEPARTMENT OF NATURAL RESOURCES (USA) sobre su estufa de alto rendimiento, se consignan como ventajas las siguientes:

1. El costo es similar al de los hogares estilo inglés.
2. Las estufas de mampostería consumen mucha menos leña, hasta un 30% menos que las estufas de hierro (salamandras).
3. La unidad puede ser usada como parte de la masa de acumulación de calor en sistemas pasivos.
4. Las estufas de mampostería proporcionan un calor radiante más confortable que el de las estufas de hierro.
5. Los propietarios de este tipo de estufas reportan un confort personal más alto a temperaturas del local más bajas.
6. Cuando operan adecuadamente, estas unidades reducen la acumulación de creosota en las cañerías de eliminación de humos.
7. Generan menos poluentes al enviar menos cenizas volantes y gases mal quemados a la chimenea y a la atmósfera.
8. Se puede adaptar la unidad para el calentamiento de agua sanitaria.
9. Puede incluir un horno empotrado para la cocción de alimentos.
10. Las estufas de mampostería cuestan solo un poco más que las estufas con cañerías.

En las latitudes más australes, en la zona de oeste y sur Cuyo y algunas regiones cordilleranas del territorio argentino, las temperaturas mínimas extremas son determinantes para la elección del medio de calefacción y resulta de fundamental importancia analizar la eficiencia de los sistemas térmicos que contribuyan a mejorar la calidad de vida de los usuarios, que disminuyan la contaminación del medio ambiente, que sean versátiles a los cambios de combustibles y que puedan ser utilizados por la población más necesitada de servicios básicos.

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ENSAYADO

El prototipo ensayado se encuentra instalado en una vivienda de uso familiar, ubicada a $34^{\circ}34'53''$ de latitud sur y $68^{\circ}20'34''$ de longitud oeste, a 5km de la ciudad de San Rafael en la zona precordillerana de Mendoza. El clima se caracteriza por ser templado y seco con una amplitud térmica diaria muy marcada. Las temperaturas mínimas, máximas y promedios mensuales de la zona se obtuvieron a partir de la información publicada en el sitio web “Contingencias Mendoza”, tomando como datos representativos los correspondientes a las estaciones meteorológicas de La Llave y Las Paredes por su cercanía con el emplazamiento bajo estudio. De estas estaciones se publican en dicha web los valores de temperaturas máximas, mínimas y promedios mensuales de los últimos 15 años ,datos que se utilizaron para validar los tres meses de temperaturas medidas en la zona de estudio dentro del periodo invernal. Para este análisis se utilizaron los estadísticos T de Student para la distribución de medias, y Chi cuadrado para la distribución de varianza, demostrando la significancia de la muestra en las mediciones históricas. Los promedios mensuales de mínimas invernales devolvieron valores por debajo de 0°C ,y el promedio de amplitud térmica fue de 18.1°C , evidenciando diferencias importantes entre máximas y mínimas.

El prototipo evaluado es la única fuente de calor instalada en una vivienda de uso familiar, que tiene una superficie cubierta total de 90m^2 . El edificio está construido principalmente con ladrillo común de 15cm de espesor y posee techo de chapa aislado con poliestireno expandido y lana de vidrio. Tiene dos locales fundamentales para calefaccionar: una cocina comedor que tiene una superficie de 50m^2 y un dormitorio con vestidor y baño de 35m^2 aproximadamente. La cocina comedor cuenta con 16m^2 de ventanas con vidrio simple de 6mm de espesor ubicadas al Norte y al Oeste que permiten aprovechar la ganancia solar directa durante el día pero que resultan térmicamente ineficientes durante la noche y los períodos nublados. El dormitorio tiene un ventanal de 4m^2 de vidrio simple ubicado hacia el Este.

La estufa rusa se encuentra ubicada en la cocina comedor, que se calienta directamente por convección y radiación desde la fuente caliente. El dormitorio se calefacciona indirectamente mediante el aire que, tomado de la cocina, se calienta dentro del intercambiador de calor de flujo cruzado ubicado en la parte superior de la estufa (Figura 1, sector inclinado de color rojo) sin tomar contacto con los gases de combustión y circula por convección natural a través de un ducto. De esta forma se genera una circulación natural entre la cocina y el dormitorio que favorece la distribución del aire caliente. En la Figura 2 se muestra la ubicación de la estufa dentro del edificio y el ducto que lleva el aire caliente al dormitorio.

El hogar está construido interiormente con ladrillo refractario de sílice, material muy denso de baja conductividad térmica y alta capacidad térmica volumétrica. Exteriormente está recubierta con piedra tipo laja resultando una unidad de gran almacenamiento térmico que puede enfriarse lentamente durante el periodo de descarga. Como combustible, este prototipo puede utilizar indistintamente leña o gas natural a través de un quemador instalado en la cámara de combustión. A la mitad de su altura dispone de un horno para fines culinarios que aumenta su utilizabilidad durante el periodo invernal y mejora su efectividad al permitir ahorrar parte del combustible que se emplearía en la cocción de alimentos si ésta debiera hacerse en una cocina convencional externa a la estufa.

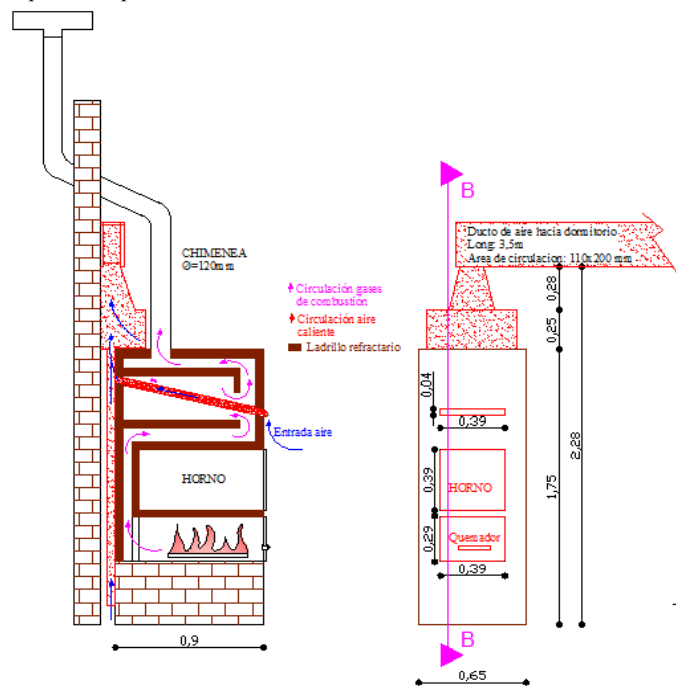


Figura 1: Izquierda: Estufa rusa ensayada. Derecha: vista anterior y corte donde se observa el sentido de circulación del aire y el intercambiador de calor de flujo cruzado incorporado como mejora de diseño.

Los gases de combustión generados a muy alta temperatura (superiores a 600°C) en la cámara de combustión ubicada en la parte inferior de la estufa circulan primeramente en sentido vertical por detrás y alrededor del horno, transfiriendo gran parte de su energía térmica a esta cavidad y a las paredes laterales, y posterior construidas con ladrillo refractario. A continuación

realizan un movimiento horizontal de ida y vuelta por una canalización construida interiormente con los mismos ladrillos y toman contacto con el intercambiador de calor de flujo cruzado cediendo otro porcentaje importante de su energía térmica. Finalmente, salen al exterior por una cañería metálica que irradia parte del calor residual al ambiente interior. La temperatura de salida de los gases de combustión es inferior a 60 °C lo que indica que la mayor parte de la energía liberada por el combustible fue acumulada en la masa de la estufa y transferida por convección y radiación al ambiente interior.

En la cara posterior de la estufa existe un canal construido a todo su ancho y alto con chapa de hierro donde el aire en contacto con ella y la pared de la estufa se calienta hasta unos 70 °C, generando una circulación termosifónica vertical que se mezcla con la que proviene del intercambiador de calor, siendo ambas colectadas por el ducto superior que conduce el aire caliente hacia el dormitorio (Figura 1, imagen central). Esta circulación convectiva permite aprovechar más eficientemente la energía disipada por la superficie posterior de la estufa y potencia la succión del flujo de aire dentro del intercambiador.

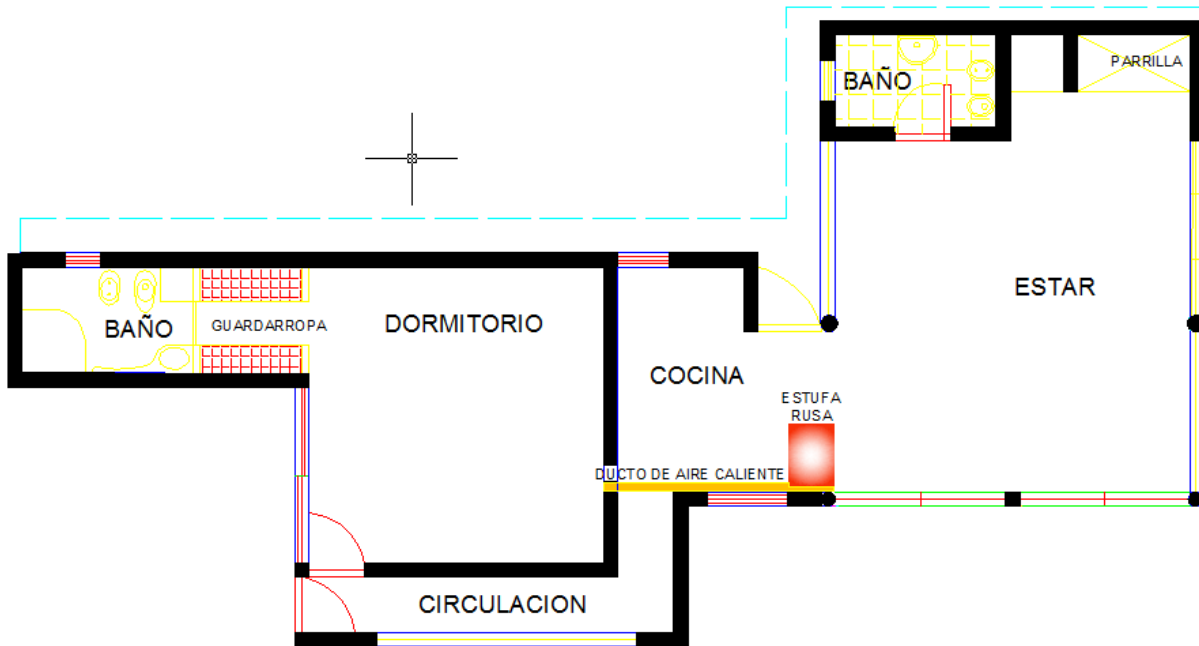


Figura 2: Gráfico en planta del edificio con la ubicación de la estufa rusa.

MEDICIONES REALIZADAS

El equipo de monitoreo empleado en el ensayo del funcionamiento de la estufa rusa mejorada consistió en:

- Un datalogger marca Pasco con el cual se midieron y almacenaron datos de temperatura de la parte externa de la estufa para conocer su régimen de trabajo. El sensor utilizado fue una termo cupla tipo K. El período de toma de datos fue fijado en 5 min.
- Dos dataloggers marca HOBO modelo U12-012 para medición y almacenamiento de datos de temperatura de aire que fueron ubicados uno en el exterior de la vivienda para el registro de la temperatura ambiente y otro dentro de la cocina comedor para la evaluación de su evolución térmica. El período de toma de datos fue fijado también en 5 min en sincronía con el datalogger PASCO.

Según los resultados de las mediciones, para que esta estufa llegue a su régimen normal de funcionamiento necesita estar encendida durante 10hs. al máximo de potencia, aportándole una cantidad de calor de 3.985,4 Kcal/h. Los valores de consumo de gas se midieron mediante un medidor instalado antes de la entrada a la estufa, arrojando una tasa de 0,434 m³/ h de gas consumido durante el período inicial mencionado. La tasa en Kcal/h se obtuvo multiplicando la tasa de consumo por el poder calorífico del gas informado por la empresa ECOGAS (9.183 Kcal/m³), brindadora del servicio.

Bajo estas condiciones de funcionamiento la temperatura en el exterior de la cámara de combustión asciende hasta los 85° C. Una vez en régimen, se enciende el quemador todas las tardes a las 17 horas aproximadamente y se mantiene encendido durante la noche hasta las 9 de la mañana del día siguiente. Sólo se debe encender por más horas cuando la temperatura externa desciende por debajo de 0° C durante la mañana o la tarde.

Del un total de diez días de monitoreo, se seleccionaron tres días consecutivos, que tienen características térmicas similares a la media de días evaluados en la zona donde se emplaza, en los cuales la temperatura ambiente exterior tuvo una fluctuación comparable con los valores históricos antes mencionados en sus máximos, mínimos y promedios diarios invernales. En la Figura 3 se presenta la evolución temporal de las tres variables monitoreadas:

- La curva naranja corresponde a temperaturas sensadas sobre la superficie exterior de la estufa a la altura de la cámara de combustión, cuyo valor máximo en régimen varió entre 84 y 86°C aproximadamente.
- La curva verde corresponde a la variación de la temperatura de bulbo seco del aire dentro de la cocina comedor.
- La curva celeste corresponde a la evolución de la temperatura del aire exterior, cuyos valores tienen transiciones acordes a las registradas históricamente en la zona.

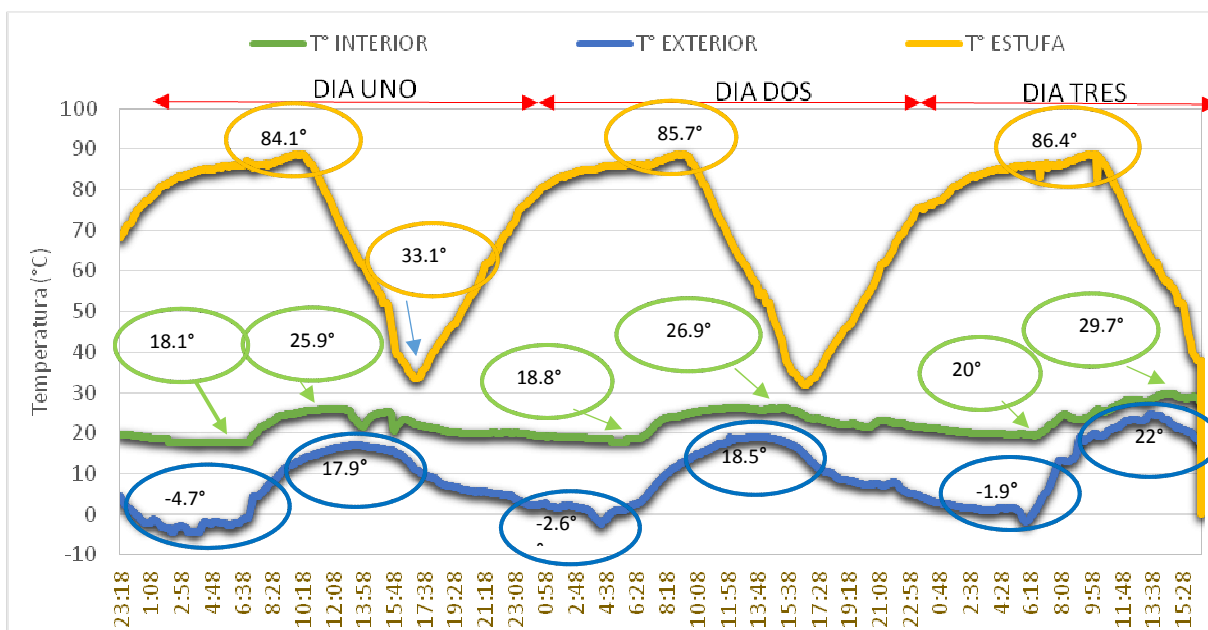


Figura 3: Evolución de las temperaturas medidas dentro y fuera del edificio.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

La temperatura media exterior durante los 3 días de monitoreo fue de 8,2 °C, con una amplitud térmica diaria promedio de 23 °C, registrándose todos los días temperaturas mínimas inferiores a -2 °C. Se observa en esta curva que durante el tercer día la temperatura ambiente registró marcadas oscilaciones entre las 7 y las 15hs. debido a la fluctuación de la radiación solar por la presencia de nubosidad intermitente. Estas fluctuaciones se observan también en la curva correspondiente a la temperatura interior.

La temperatura media de la cocina comedor durante dicho período fue de 23 °C con una amplitud térmica diaria promedio de 8,2 °C. La gran diferencia entre las temperaturas medias externa e interna es el resultado del aporte energético de la estufa rusa. Se observa en la gráfica que durante los períodos nocturnos la temperatura interior disminuye sólo 2 °C (entre las 20:00 y las 8:00 hs. del día siguiente), a pesar de no existir aislación térmica en las paredes de la envolvente y poseer grandes áreas vidriadas con vidrio simple. Esto es el resultado de la gran capacidad de acumulación de calor de esta estufa que contribuye a mantener el nivel térmico interior mediante su disipación convectivo-radiativa. En consecuencia, este gran local permanece dentro del rango de confort térmico durante los períodos de encendido de la estufa que coinciden con los de las temperaturas más bajas en el exterior. La temperatura mínima dentro de la cocina comedor nunca fue inferior a 17,9 °C mientras que la mínima absoluta durante el período monitoreado fue de -4,7 °C fuera del edificio.

Mediante el régimen de manejo del encendido-apagado de la estufa practicado en el ensayo se logró que la temperatura interior de la cocina comedor se mantuviera por encima de los 20 °C durante 15 a 20 hs. por día (desde las 7 a las 24 hs. aproximadamente), alcanzando valores máximos de entre 26 y 30 °C alrededor de las 15 hs. Estos altos valores generan un sobrecalentamiento interior importante que debe ser controlado mediante prácticas de manejo de las aberturas para evitar el desconfort térmico de los habitantes del edificio.

Al inicio de cada día la temperatura interior comienza a incrementarse debido a las tendencias crecientes de la radiación solar y de la temperatura exterior. En este sentido, la ganancia solar directa a través de los grandes ventanales juega un papel preponderante en el sobrecalentamiento registrado durante las horas de sol que puede ser mitigado mediante un manejo

adecuado de elementos de apantallado móvil (cortinas, celosías, etc.) que no están presentes en el edificio por el momento. Por lo tanto, no es aconsejable la combinación de la estufa rusa con altos niveles de ganancia solar directa por ventanas en un clima de gran amplitud térmica como el de San Rafael.

Las dos disminuciones bruscas de la temperatura interior registradas entre las 12 y las 16 hs. del primer día graficado corresponden a la apertura de puertas durante períodos de 10 minutos aproximadamente. Esto demuestra que la ventilación selectiva es una estrategia efectiva de enfriamiento de este ambiente ante posibles sobrecalentamientos originados por el funcionamiento de la estufa y, de hecho, los propietarios de la vivienda la ponen en práctica cuando es necesario.

La curva de calentamiento superficial de la estufa presenta el comportamiento habitual de un sistema acumulador de energía con una fuerte pendiente al inicio del proceso de carga que disminuye a medida que se aproxima el estado estacionario. La temperatura máxima alcanzada en la superficie de la estufa al final del período de encendido varió entre 84 y 86 °C lo cual genera un alto valor de la temperatura media radiante que será analizado en futuros ensayos.

Al apagar el quemador a las 9 de la mañana la temperatura superficial de la masa de la estufa registra un rápido descenso a una tasa promedio de 7 °C por hora durante las 8 hs. que dura su enfriamiento por disipación convectivo-radiativa, alcanzando una temperatura final del orden de 30 °C antes de reiniciar el ciclo de encendido.

En la Tabla 1 se presentan los valores diarios del consumo de gas y de la energía entregada por el combustible junto a los períodos de encendido correspondientes.

| Día | Período de encendido (hs) | Consumo de gas (m ³) | Energía entregada (Kcal) |
|-----|---------------------------|----------------------------------|--------------------------|
| 1 | 15,18 | 6,51 | 59.781,33 |
| 2 | 16,2 | 7,08 | 65.015,64 |
| 3 | 17,5 | 7,47 | 68.597,01 |

Tabla 1: Valores diarios del período de encendido, el consumo de gas y la energía entregada por el combustible.

Se observa que el consumo de gas varía cada día debido a que la gestión del encendido y apagado no se encuentra automatizado, dependiendo del libre albedrío de los ocupantes de la vivienda. En promedio, se puede asumir que el período de encendido dura 16 hs. y durante él la estufa consume 7 m³ de gas con un aporte energético de 65.000 Kcal diarias liberadas por el combustible. Si bien este consumo aparentemente es muy alto, se debe tener en cuenta que el clima invernal del lugar es muy riguroso, el espacio a calefaccionar muy grande y la envolvente edilicia de muy baja calidad térmica.

Dado que el local calefaccionado presenta temperaturas dentro del rango de confort hacia el final de la noche y también a media tarde, se podría disminuir el período de encendido del quemador en 2 hs. De esta manera el encendido se realizaría a las 18:00 y el apagado a las 08:00 del día siguiente. Esto contribuiría a disminuir el sobrecalentamiento que se registra en el horario diurno, a evitar el pico en la temperatura superficial de la estufa previo al apagado, a disminuir la cantidad de contaminantes enviados a la atmósfera por día y a reducir el consumo de gas y el costo del servicio.

CONCLUSIONES

En este trabajo se presentaron los primeros resultados obtenidos en la evaluación térmica de una estufa rusa mejorada instalada en una vivienda unifamiliar de la ciudad de San Rafael, Mendoza, utilizando como combustible gas natural. Dadas las características constructivas de la envolvente edilicia (grandes áreas vidriadas con poca mampostería masiva y sin aislación térmica), se observó que el estado térmico interior del edificio se encuentra influenciado por las variaciones diarias de la temperatura ambiente y la radiación solar.

Una vez alcanzado el régimen, se operó la estufa encendiendo el quemador durante 16 hs. (en promedio) y apagándolo durante 8 hs., en forma cíclica, durante los tres días de monitoreo evaluados.

Los resultados de las mediciones indican que, como consecuencia del funcionamiento de la estufa, la temperatura interior del ambiente donde está instalada se mantuvo siempre por encima de los 18 °C a pesar de que en el exterior se registraron temperaturas por debajo de 0 °C durante las noches. Es importante destacar que este local se mantuvo dentro del rango de confort térmico durante la mayor parte del período monitoreado.

Durante las horas próximas al mediodía se registraron temperaturas interiores muy elevadas que variaron entre 26 y 30 °C como consecuencia de la combinación entre la máxima temperatura exterior, el ingreso de radiación solar por los grandes ventanales y la disipación convectivo-radiativa de la estufa al final de su período de enfriamiento.

Este sobrecalentamiento diurno indica que no es recomendable incluir una estufa con gran capacidad de acumulación térmica en un ambiente con gran colección solar directa y poca masa de acumulación en sus paredes, aunque el sobrecalentamiento puede ser mitigado mediante un adecuado manejo de los elementos de apantallado móvil de las ventanas y la ventilación natural selectiva.

Otras estrategias que se pueden estudiar para aumentar la tasa de enfriamiento de la estufa rusa durante los períodos de sobrecalentamiento son:

- A- Reemplazar los materiales de construcción de la estufa por otros que tengan menor capacidad térmica volumétrica con el objeto de disminuir su inercia. Esta alternativa disminuye la eficiencia termo-energética de la estufa al salir los gases de combustión más calientes hacia el exterior.
- B- Disminuir el tamaño de la estufa, para disminuir la cantidad de masa acumuladora de calor, reduciendo así el potencial energético capaz de devolver al ambiente durante el enfriamiento. Esta alternativa disminuye también la eficiencia termo-energética de la estufa rusa.
- C- Forzar el enfriamiento del prototipo por medio de la circulación de agua mediante cañerías convenientemente distribuidas dentro de la mampostería de la estufa. Esta alternativa aumenta su eficiencia y permite disponer de agua caliente para circular por radiadores ubicados en otros ambientes del edificio o para acumular en un termotanque como agua caliente sanitaria.

Cabe destacar que la amplitud térmica promedio de la zona pone en cuestionamiento este sistema de calefacción que puede conducir al sobrecalentamiento de los espacios durante las horas de mayor temperatura exterior. Pero esto no implica que la estufa rusa no pueda ser adaptada o utilizada en este ámbito geográfico sino que se debe estudiar la mejor manera de adecuarla a cada caso particular. Este es el objetivo principal del trabajo de investigación que los autores están llevando a cabo a través de este proyecto.

En futuros ensayos se instalará un ventilador forzador de aire a la salida del ducto del dormitorio a fin de mejorar la transferencia de calor convectiva en el intercambiador de calor de flujo cruzado y el canal posterior de la estufa. Esto contribuirá a aumentar la disipación de calor de la masa de ladrillo refractario y a aumentar la efectividad del intercambiador y de la estufa propiamente dicha, mejorando asimismo el nivel térmico del dormitorio. Se espera que con esta mejora tecnológica de bajo costo se minimice la ocurrencia de sobrecalentamientos en la cocina comedor. Se realizarán nuevas campañas de monitoreo evaluando los niveles térmicos dentro de la estufa en distintas posiciones cuidadosamente seleccionadas y las temperaturas media radiante y de bulbo seco y la humedad relativa dentro de la cocina comedor. Se determinará empíricamente la eficiencia termo-energética de la estufa rusa mejorada y los niveles de gases contaminantes presentes en el interior del edificio y en los gases de salida por la chimenea.

Finalmente, para resaltar la alta eficiencia termo-energética de este sistema de calefacción con acumulación de calor se destaca, como resultado mensurado, el hecho de que este prototipo que ocupa un espacio de sólo 1 m³ fue suficiente para mantener dentro del rango de confort térmico un espacio de más de 150 m³ (cerrado mediante una envolvente edilicia de baja calidad desde el punto de vista térmico) durante la mayor parte de un período en que todas las noches la temperatura mínima exterior descendió por debajo de los -2 °C. La salida del rango de confort fue sólo por sobrecalentamiento durante las horas diurnas, comportamiento que puede mitigarse, como ya se dijo, mediante un manejo adecuado de la ventilación natural selectiva.

REFERENCIAS

- CENSO 2010. En <http://www.censo2010.indec.gov.ar/> (último ingreso el 02/12/13).
- INTA(2002). “Estufa a Leña de Alto Rendimiento – P.Batro, 1994”, Informe de la Estación Experimental Agropecuaria – Chubut – Centro Regional Patagonia Sur, Septiembre de 2002.
- INTI (2008). “Análisis de Estufas de Tiro Balanceado en el Programa Pruebas de Desempeño de Productos”. Informe Técnico.
- Regnando, M. (2004). “La Cocina y Estufa Rusa en Zonas Rurales Frías Como Factor de Protección del Aire”. En <http://pdfcrop.in/ebook/title/Justificacion-Por-La-Contaminacion-Del-Aire.html>. (último ingreso el 14/03/14).
- MISSOURI DEPARTMENT OF NATURAL RESOURCES. “The Missouri Designed Masonry Stove”. En <http://ded.mo.gov/energy/pubs/pub781.pdf> (último ingreso el 14/03/14)
- Tissari, J.; Hytonen, K.; Sippula, O.; Jokiniemi, J. (2009). “The effects of operating conditions on emissions from masonry heaters and sauna stoves”. *Biomass and Bioenergy*, **33**, pp 5 1 3 – 5 2 0.

ABSTRACT: The present paper describes the advances in a research study called: "Energetic-economical evaluation of an improved Russian stove. Performance comparison using biomass and gas." The aim of this work is a theoretical-experimental study of the performance of a Russian closed hearth masonry stove and oven for cooking used in heating a 90 m² house located in the city of San Rafael, Mendoza. This prototype includes as technological innovation design a heat exchanger to warm an adjacent room. In winter, stove operation was evaluated with respect to the climate variables in the area, with minimum temperature below 0 ° C and daily thermal amplitudes exceeding 18 °C. Due to high thermal amplitude, measurements indicate that the area to be heated is comfortable overnight but it is overheated around noon.

Keywords: Russian stove, efficiency energetic, biomass, heating.