APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESIDUAL DE LOS GASES DE SALIDA DE UNA ESTUFA A GAS DE TIRO BALANCEADO DE APLICACIÓN EN VIVIENDAS

Néstor J. Mariani, Roberto Pereiras, Sergio D. Keegan y Guillermo F. Barreto

RESUMEN

Se presenta un estudio destinado a caracterizar experimentalmente el comportamiento térmico y fluidodinámico de una estufa a gas natural de tiro balanceado de las comercializadas extendidamente en la Argentina como medio de calefacción de las viviendas, con el objetivo de mejorar su eficiencia térmica. Estas estufas presentan como ventaja distintiva el aspecto relacionado a la seguridad de las personas, ya que toman el aire del ambiente exterior donde también descargan los gases producto de la combustión. Sin embargo, su eficiencia térmica definida como la energía aprovechada para calefacción respecto al calor liberado en la combustión dista de ser óptima. En este contexto, se reportan los resultados preliminares de la implementación de un dispositivo recuperador de calor, compatible en tamaño con la estufa, que permite aprovechar la entalpía de los gases de salida producto de la combustión, precalentando el aire de ingreso a la estufa.

Introducción

En los países de Latinoamérica el sector residencial y comercial consume ~30% de la energía de uso final (Sheinbaum-Pardo y Ruiz, 2012). Poyer *et al*. (1997) señalan que el costo de la energía resulta un componente de importancia en la economía familiar, variando su impacto de acuerdo al área geográfica, precios de los combustibles, características del grupo poblacional (ingreso familiar, nivel de educación, etc.) y características de la vivienda (tipo, antigüedad, etc.).

La energía total consumida puede emplearse en forma directa o indirecta. En general, una parte considerable de la energía de uso directo corresponde al rubro calefacción. En Argentina el sistema de calefacción domiciliaria mayoritariamente utilizado son las estufas a gas de tiro balanceado. De acuerdo a la información consignada en las estadísticas de productos industriales, elaborada mensualmente por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC, 2013), el promedio anual de estufas a gas producidas en la Argentina entre 2003 y 2012 es de 358000 unidades. Si se tiene en cuenta que alrededor del 60% de las mismas son de tiro balanceado, resultan ~215000 unidades anuales (Cámara Argentina de Fabricantes de Artefactos de Gas; comunicación personal en 07/2012).

Las estufas de tiro balanceado son elegidas fundamentalmente por razones de confort y seguridad, ya que no consumen aire del ambiente interior ni descargan los gases de combustión en el mismo. Su principio de funcionamiento se basa en la circulación natural de los fluidos por diferencia de densidades: los gases de combustión calientes abandonan la estufa mientras que el aire frío proveniente del exterior de la vivienda (más denso) ingresa a la misma. La configuración mayormente empleada para evacuación e ingreso de los gases es la de conductos concéntricos horizontales; por el conducto interior los gases de combustión abandonan la estufa hacia el exterior de la vivienda, mientras que por el ánulo ingresa el aire frío. Sin embargo, la eficiencia térmica, definida como energía entregada al ambiente a calefaccionar frente a la energía consumida, de las unidades comercializadas en la actualidad dista considerablemente de ser óptima. Si bien los fabricantes, en general, no informan valores de eficiencia, cabe aclarar que la norma vigente en la actualidad en Argentina (NAG 315, 1995) prevé una eficiencia no inferior a 65% (calentadores cuya potencia sea <5000kcal·h^{-1}) o 70% (calentadores cuya potencia sea >5000kcal·h^{-1}) para operación a caudal térmico nominal (i.e., llama o potencia máxima), presión normal de ensayo y conductos de entrada de aire y salida de gases de combustión en un ambiente calmo, mientras que para operación a llama mínima, este valor no debe ser inferior a 50%.

A pesar de su uso extendido y su madurez como producto en el mercado (se comercializan en la Argentina desde hace más de 50 años), la información disponible en la literatura abierta referida a la evaluación del funcionamiento térmico y fluidodinámico de estos gasodomésticos resulta llamativamente escasa; sólo

PALABRAS CLAVE / Eficiencia Térmica / Estufas a Gas de Tiro Balanceado / Recuperación de Calor Residual /

Recibido: 16/05/2013. Modificado: 04/10/2013. Aceptado: 18/11/2013.

Néstor J. Mariani. Ingeniero Químico y Doctor en Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata (UNLP), Argentina. Investigador, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina. Dirección: PROIRQ, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata y Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias Aplicadas "Dr. J. J. Ronco" (CINDECA) CCT La Plata - CONICET. La Plata, Argentina. e-mail: nmariani @quimica.unlp.edu.ar

Sergio D. Keegan. Ingeniero Químico, (UNLP), Argentina. Profesor, UNLP, Argentina.

Roberto Pereiras. Ingeniero Químico, (UNLP), Argentina. Becario, CONICET, Argentina.

Guillermo F. Barreto. Ingeniero Químico, (UNLP), Argentina. Ph.D. in Ingeniería Química, London University, RU. Profesor, UNLP, Argentina. Investigador, CONICET, Argentina.

WASTE HEAT RECOVERY FROM COMBUSTION GASES OF RESIDENTIAL BALANCED FLUE SPACE HEATERS

Néstor J. Mariani, Roberto Pereiras, Sergio D. Keegan and Guillermo F. Barreto

SUMMARY

This paper presents an experimental study to characterize thermal and fluid dynamic behavior of natural gas balanced flue space heater largely employed in Argentina as a home heating device, in order to increase its efficiency. The main advantages of these heaters are linked with health and safety aspects, as they take the air from the outside environment, to which the combustion gases are also discharged. However, its thermal efficiency, defined as the ratio of energy effectively used for heating and heat released during combustion, is far from being optimal. In this context, preliminary results from the implementation of a heat recovery device that pre-heats the air using combustion gases are reported.

APROVEITAMENTO DO CALOR RESIDUAL DOS GASES DE ESCAPE DE UMA ESTUFA A GÁS DE FLUXO BALANCEADO DE APLICAÇÃO NAS MORADIAS

Néstor J. Mariani, Roberto Pereiras, Sergio D. Keegan e Guillermo F. Barreto

RESUMO

Apresenta-se um estudo destinado a caracterizar experimentalmente o comportamento térmico e fluidodinâmico de uma estufa a gás natural de fluxo balanceado das comercializadas em grande escala na Argentina como meio de calefação das moradias, com o objetivo de melhorar sua eficiência térmica. Estas estufas apresentam como vantagem distintiva o aspecto relacionado à segurança das pessoas, já que tomam o ar do ambiente exterior onde também descarregam os gases produto da combustão. No entanto, sua eficiência térmica definida como a energia aproveitada para calefação relativa ao calor liberado na combustão dista de ser ótima. Neste contexto, se relatam os resultados preliminares da implementação de um dispositivo recuperador de calor, compatível em tamanho com a estufa, que permite aproveitar a entalpia dos gases de escape produto da combustão, pré-aquecendo o ar de ingresso à estufa.

pueden contabilizarse una serie de trabajos relativamente recientes del mismo grupo de investigadores argentinos (e.g., Juanicó y González, 2008a, b). En los mencionados trabajos se reportan medidas de eficiencia térmica realizadas para una marca de estufa en particular que, dependiendo del sistema de evacuación de los gases empleado, arrojan valores de ~60% a llama máxima. Estos valores, ya sean los establecidos por la norma o los medidos, resultan particularmente bajos si se los compara con los de otros sistemas de calefacción domiciliarios que utilizan gas como combustible, tales como las calderas de agua caliente que pueden alcanzar rendimientos de hasta 90% (IDAE, 2007); sin embargo, y como contrapartida, los costos asociados a la adquisición de estos últimos resultan varias veces superiores para calefaccionar una habitación del mismo volumen. Otro aspecto importante de mencionar respecto a las estufas de tiro balanceado, es que en condiciones de operación a potencia máxima, las temperaturas de salida de los gases de combustión pueden resultar considerablemente elevadas (valores cercanos a los 500ºC según informan Juanicó y González, 2008a).

Se evidencia claramente el impacto francamente negativo que presenta el empleo de las estufas de tiro balanceado comercializadas en la actualidad, tanto desde el punto de vista del uso racional de los recursos naturales (por su relativamente baja eficiencia térmica) como en el aspecto medioambiental, dado que las altas temperaturas de salida representan una fuente de contaminación térmica.

De lo expuesto se desprende que resulta de máxima significación el análisis de alternativas que mejoren la eficiencia de las estufas a gas de tiro balanceado comercializadas actualmente en la Argentina. En el presente trabajo se presenta, en primer término, una caracterización a través de ensayos experimentales del comportamiento térmico y fluidodinámico de una estufa a gas de tiro balanceado. Posteriormente, se reportan resultados preliminares obtenidos a partir de la implementación de un dispositivo recuperador de calor, compatible en tamaño con la estufa, que permite aprovechar la entalpía de los gases de salida producidos por la combustión para precalentar el aire de ingreso a la estufa.

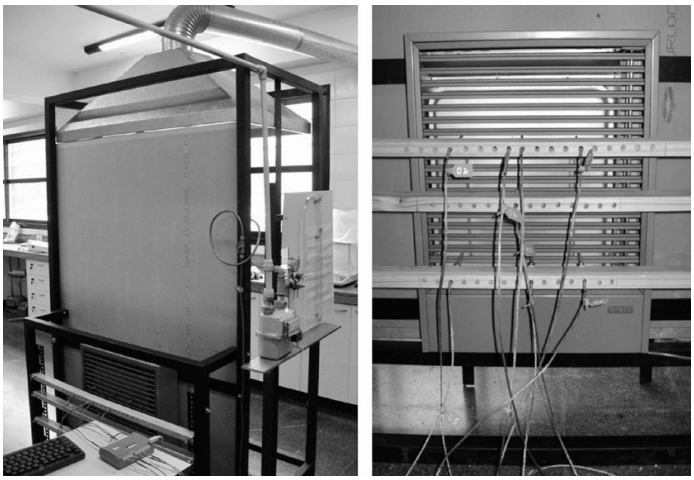

Figura 1. Equipo experimental.

Equipamiento Experimental y Medidas

Con el objetivo de desarrollar un plan de experiencias que permita evaluar el funcionamiento de las estufas a gas de tiro balanceado y de las estufas incorporándoles un recuperador de calor, se instaló un banco de ensayos adecuadamente instrumentado (Figura 1). En una primera etapa se

empleó una estufa a gas natural de tiro balanceado que actualmente se comercializa en la Argentina, marca Emegé 9030 GN línea Patagonia, con una potencia de 3000kcal·h^{-1}.

Los ensayos experimentales fueron realizados en condición de llama piloto y a potencias mínima y máxima, con al menos cinco repeticiones en cada caso. Para cada ensayo se siguió un protocolo experimental permitiendo primeramente que el sistema alcance el estado estacionario, para luego realizar las medidas, las cuales fueron repetidas durante el transcurso del mismo. Las variables medidas fueron: temperatura y humedad del aire ambiente, presión y caudal del gas natural, temperatura y composición de los gases de combustión y el campo de temperaturas en la pared frontal de la cámara de combustión de la estufa.

Para llevar adelante las medidas térmicas se emplearon termocuplas de tipo K las cuales se encuentran conectadas a dos adquisidores de datos USB-TEMP (Measurement Computing Corp.) de ocho canales cada uno, con conexión USB a una computadora personal. La medida de temperatura sobre la pared frontal de la cámara de combustión, con la cual se pretende estimar campo, resultó en cierta forma dificultosa, por presentar la chapa que constituye la pared frontal poca rigidez, lo que ocasiona que el contacto mecánico (y térmico) entre la misma y la punta de la termocupla no resulte adecuado, en particular cuando se emplean termocuplas convencionales para superficies. Se optó por utilizar sondas de tipo magnético marca Testo con una fuerza de adhesión de 20N que permiten un excelente contacto con la superficie a medir. Se corroboró que empleando las sondas magnéticas las temperaturas registradas resultaban considerablemente más elevadas que con las termocuplas convencionales para superficies, midiendo en la misma ubicación.

Las condiciones del ambiente (temperatura y humedad) en el que estuvo ubicado el equipo experimental se registraron mediante un termo-higrómetro digital.

Respecto al análisis de los gases producidos por la combustión se empleó un instrumento marca Testo modelo 327-1, el cual permite monitorear la composición de O_2 (precisión: ±0,2% en vol.) y CO (precisión: ±20ppm hasta 400ppm, ±5% del v.m. hasta 1000ppm y ±10% del v.m. hasta 4000ppm). Paralelamente, se empleó un analizador de gases de marca GasCheck equipado con sensores para medir hidrocarburos no quemados, NO_x y CO_2, además de CO y O_2. Se observó una muy buena concordancia entre las medidas realizadas con ambos equipos para CO y O_2. Respecto a los hidrocarburos no quemados y al NO_x, en ninguno de los ensayos realizados se detectaron cantidades significativas.

Para medir el caudal de gas natural se utilizó un medidor a diafragma marca Elster AMCO modelo BK-G1.6, el cual proporciona una precisión del orden del 1% en las condiciones de medida

TABLA I
ENSAYOS EN UNA ESTUFA DE TIRO BALANCEADO EMEGÉ – MOD. 9030 TB PATAGONIA DE 3,5kW. CONDUCTOS CONCÉNTRICOS DE ENTRADA Y SALIDA. COMBUSTIBLE: GAS NATURAL

	Condiciones	Potencia (kw)	Exceso de aire (%)	Temp. de salida de gases (°C)	Composición a la salida (% v/v)			
					O_2	CO_2	CO	Hc (No quemados)
a	T_{amb}= 18ºC, p_{GN} ≈18mbar	3,4	6-8	420-430	1,4-1,8	11,0-10,7	0,001	-
	(sin regular)	1,8	150	290	13,0	4,5	0,0002	-
b	T_{amb}= 20ºC, p_{GN}= 16mbar	3,0-3,2	17-32	380-405	3,4-5,5	8,5-10,0	0,001	-
	(regulada)	1,6	230	270	15,0	3,3	0,0005	-

Resultados

Las series de medidas realizadas incluyen: estufa en su configuración original, estufa incorporándole un regulador de presión de gas a la entrada, conjunto estufa con regulador de presión-recuperador de calor en posición horizontal en reemplazo de los conductos de entrada y salida de gases estándar y, finalmente, conjunto estufa con regulador de presión-recuperador de calor en posición vertical de manera de elevar el tiraje del sistema en 45cm.

Ensayos sin recuperador de calor

Para las dos primeras series de ensayos (estufa funcionando sin recuperador), la sonda de toma de muestras de gases de combustión y medida de la temperatura de los mismos, se ubicó en el centro del conducto de salida de los gases de combustión a un diámetro (del conducto interno) de la salida de gases de la estufa, de acuerdo a la norma europea EN 613 (2001). Cabe aclarar que la versión revisada de norma Argentina NAG 315, la que se encuentra para su aprobación y posterior puesta en vigencia, adopta el mismo procedimiento de ensayo para las estufas que la norma europea, razón por la que se optó por su empleo. Los resultados obtenidos, en promedio, se muestran en la Tabla I.

La potencia informada en las Tablas I y II es la que surge de medir el consumo de gas natural (caudal) a intervalos regulares durante los ensayos y considerar el valor del poder calorífico superior (9538kcal·m^{-3}) informado por la compañía prestadora del servicio de gas natural (Camuzzi Gas Pampeana, S.A.).

Se desprende de la Tabla I-a que la estufa opera con un exceso de aire mínimo (prácticamente en condiciones de combustión estequiométrica) para potencia máxima, mientras que la temperatura de salida resulta muy elevada. Por otra parte, para la condición de potencia mínima aparece un elevado exceso de aire y simultáneamente la temperatura de salida también puede considerarse alta.

En adición, se detectó que cuando la presión de la línea de gas natural supera los 18mbar (presión estándar de funcionamiento de acuerdo a la normativa Argentina) en más de un 15-20% comienza a aparecer CO a la salida en cantidades significativas para operación a potencia máxima. Por esta razón se decidió, para todos los ensayos a realizar, incorporar un regulador de presión para el gas natural al ingreso a la estufa. Cabe aclarar que otros modelos de estufas comercializadas cuentan con este dispositivo como accesorio de fábrica.

La incorporación del regulador de presión hace que la presión de alimentación disminuya ligeramente respecto de la presión normal de operación (18mbar); esta circunstancia conduce a que la potencia máxima 'efectiva' desarrollada por la estufa resulte algo inferior (3,0-3,2 frente a 3,5kW; ver Tabla I-b). De los datos reportados en la Tabla I-b se advierte que el hecho de operar con una presión regulada de gas natural inferior (16mbar) conduce a que el exceso de aire resulte algo mayor y, por ende, la temperatura de salida ligeramente menor en la condición de llama máxima. La combustión sigue siendo completa sin presencia de hidrocarburos no quemados ni CO en cantidades significativas.

Debe señalarse que se detectó experimentalmente una fuer-

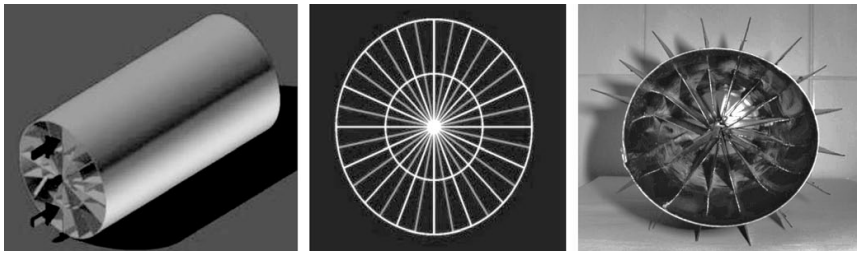

Figura 2. Esquema y fotografía del recuperador de calor incorporado a la estufa en reemplazo de los conductos de entrada y salida de gases estándar.

te asimetría en la distribución de los flujos en la sección transversal. Los gases de combustión tienden a circular por la parte superior del conducto interno, mientras que el aire lo hace básicamente por la inferior del ánulo. No obstante, se verificó que el valor medido en el centro del tubo de acuerdo a la norma resulta representativo de la temperatura media de salida de los gases de combustión. Esta temperatura se empleó para estimar la eficiencia resultando la misma cercana al 70% a potencia máxima.

Respecto al campo de temperaturas sobre la pared frontal de la estufa, los valores máximos resultan >400°C tanto para la estufa sin como con regulador de presión incorporado, siendo ligeramente superiores en el primer caso.

Ensayos incorporando el recuperador de calor

Como se adelantó en la Introducción, para mejorar la eficiencia de la estufa la propuesta a implementar consiste en precalentar el aire necesario para la combustión que ingresa a la misma, empleando los gases de salida producto de la combustión. Para explorar esta posibilidad se simularon, empleando el enfoque bibliográfico clásico de diseño de intercambiadores de calor (Kakaç y Liu, 2002), pero considerando las particularidades tanto desde el punto de vista térmico como fluidodinámico, una serie de recuperadores que presentan la característica común de poseer canales rectilíneos. En todos los casos se estableció como premisa el funcionamiento por circulación natural del conjunto estufa-recuperador. Las simulaciones permitieron comprobar que distintos diseños de tipo compacto compatibles con el tamaño del calefactor, es decir, que pueden perfectamente incorporarse a la salida del mismo, permitirían alcanzar un nivel de recuperación del orden del 40% de la entalpía de los gases de salida producto de la combustión. A partir del análisis de los resultados de las simulaciones se seleccionó de entre los distintos recuperadores estudiados uno consistente en tubos concéntricos aletados (Figura 2) en el que por el tubo interno salen los gases de combustión mientras que por el ánulo ingresa el aire, y que presenta las siguientes características: diámetro del tubo interno 7,5cm; diámetro del tubo externo 15cm; 16 aletas longitudinales (chapa galvanizada) internas y externas con peso (sólo aletas) de ~1kg y dimensiones: altura 3,65cm; espesor 0,05cm; y largo 22cm.

Construido e instalado el recuperador se realizaron una serie de ensayos para el conjunto estufa con regulador de presión-recuperador de calor en posición horizontal en remplazo de los conductos estándar de entrada de aire y salida de gases de combustión. La sonda de toma de muestras de gases de combustión y medida de la temperatura de los mismos, se ubicó a la salida del recuperador de calor en la corriente de gases de combustión.

Se encontró que, a potencia máxima, el tiro no resulta suficiente para vencer la pérdida de presión ocasionada por la incorporación del recuperador, circunstancia que se refleja en el hecho de que se detecta una cantidad prácticamente nula de O_2 y cantidades significativas de hidrocarburos no quemados y CO (>0,4%, límite superior de detección del analizador) en los gases de combustión. Claramente, esta situación no puede admitirse. Respecto a la operación a potencia mínima el recuperador funciona correctamente, observándose una disminución del exceso de aire y de la temperatura de salida de los gases de combustión, y un aumento de las temperaturas de la pared frontal de la cámara de 25°C en promedio, recuperándose ~50% de la entalpía de los gases de combustión.

Debe señalarse que si bien al generarse un intercambio térmico a través de un equipo aletado se produce una uniformización tanto del flujo como de la temperatura en la sección transversal del recuperador, la misma resulta insuficiente para corregir la fuerte no uniformidad asociada a la circulación natural de los fluidos, conduciendo a un desaprovechamiento del área disponible para la transferencia de calor y de las secciones transversales para la circulación de los fluidos. Esta dificultad es inherente a la disposición horizontal del recuperador.

El hecho de que la estufa original no provea un tiraje apropiado, sumado a la distribución asimétrica del flujo, motivaron la implementación de la alternativa de ubicar el recuperador en posición vertical y elevar el tiraje del sistema en 45cm. Los resultados presentados en la Tabla II muestran que para esta alternativa la combustión se produce en forma completa y perfecta, no detectándose la presencia, en cantidades significativas, de CO ni de hidrocarburos no quemados.

Simultáneamente, puede apreciarse que para la condición de potencia máxima ha podido disminuirse la temperatura de salida de los gases de combustión en ~200ºC respecto a la estufa funcionando sin recuperador (Tabla I-b), lo cual implica un nivel de recuperación entálpica elevado (50%), aún considerando que el exceso de aire es mayor para la alternativa estufa-recuperador (con el tiraje incrementado en 45cm). Este comportamiento tiene su correlato en un incremento de entre 10 y 15ºC en los valores de temperatura de la pared frontal de la cámara de combustión.

La disposición vertical del recuperador elevando el tiraje puede considerarse aceptable en términos de recuperación de energía. En este sentido, los resultados alcanzados son alentadores. Finalmente, cabe aclarar que con este tipo de disposición de los conductos de evacuación de gases, el conducto externo debe estar aislado para evitar las pérdidas de calor al aire ambiente.

TABLA II
ENSAYOS PARA EL CONJUNTO ESTUFA DE TIRO BALANCEADO EMEGÉ MOD. 9030 TB PATAGONIA DE 3,5kW Y RECUPERADOR DE CALOR EN POSICIÓN VERTICAL (TIRAJE TOTAL DEL SISTEMA 82cm). COMBUSTIBLE: GAS NATURAL

Condiciones	Potencia (kW)	Exceso de aire (%)	Temp. de salida de gases (°C)	Composición a la salida (% V/V)			
				O_2	CO_2	CO	HC (no quemados)
T_{amb}= 25ºC, p_{GN} =16 mbar	3,0	36-50	190-205	6,0-7,6	7,5-8,5	0,001	-
(regulada)	1,4-1,5	240-260	140-150	15,3-15,6	3,0-3,3	0,0006	-

Conclusiones

En este trabajo se informan las principales conclusiones del estudio experimental de una estufa a gas de tiro balanceado, de las típicamente empleadas en la Argentina como medio de calefacción de las viviendas, con el objetivo de analizar su comportamiento térmico y explorar alternativas que incrementen su relativamente baja eficiencia térmica.

En primer término se determinó la necesidad de incorporarle a la estufa un regulador de presión de gas natural para garantizar una combustión completa. Posteriormente y como resultado significativo de los ensayos se observó que a potencia máxima la temperatura de salida de los gases de combustión alcanza un valor significativamente elevado (>400ºC), mientras que el exceso de aire que resulta de entre 20-30% puede considerarse razonable. A potencia mínima el exceso de aire resulta significativamente mayor (valores >200%).

En este contexto, se reportan también los resultados preliminares del diseño y la implementación de un dispositivo recuperador de calor de tubos concéntricos aletados, con funcionamiento por circulación natural y tamaño compatible con la estufa, que permite aprovechar la entalpía de los gases de salida producto de la combustión para precalentar el aire que ingresa a la estufa.

Se muestra que la incorporación del recuperador operando en forma vertical resulta una alternativa viable por cuanto permite recuperar hasta un 50% de la entalpía de los gases de combustión incrementando la eficiencia del sistema.

Como aspectos pendientes pueden mencionarse la posibilidad, en función de los resultados obtenidos, de rediseñar el recuperador para maximizar la velocidad de transferencia de calor teniendo como premisas incrementar el número de aletas y disminuir la relación entre los diámetros de los tubos interno y externo, y mantener el nivel de caída de presión en los valores actuales. En adición y para otorgarle mayor generalidad a la alternativa del empleo del recuperador de calor, sería deseable avanzar en un estudio sistemático que involucre otros modelos de estufas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el aporte de las siguientes instituciones argentinas: Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica - Ente Nacional Regulador del Gas (PICTO 191), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (PIP 0304) y Universidad Nacional de La Plata (PID 2013).

REFERENCIAS

IDAE (2007) *Procedimiento de Inspección Periódica de Eficiencia Energética para Calderas*. Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Madrid, España. www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10540 _Procedimientos_inspeccion_calderas_GT5_07_f5b208e3.pdf (Cons. 05/05/2013).

EN 613 (2001) *Independent Gas-Fired Convector Heaters*. Comunidad Europea. Bruselas. Bélgica.

INDEC (2013) *Estadísticas de Productos Industriales*. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Argentina.

Juanicó LE, González AD (2008a) High-efficiency prototypes of commercial gas heaters extensively used in Argentina. *Int. J. Hydrog. Energ, 3*: 3471-3474.

Juanicó LE, González AD (2008b) Thermal efficiency of natural gas balanced-flue space heaters: Measurements for commercial devices. *Energy Buildings 40*: 1067-1073.

Kakaç S, Liu H (2002) *Heat Exchangers. Selection, Rating and Thermal Design* 2nd ed. CRC. Boca Ratón, FL, EEUU. pp 33.

NAG 315 (1995) *Norma Provisoria para la Aprobación de Calentadores de Ambiente con Cámara Estanca; Entrada de Aire y Ventilación Verticales, Tipo U y Balanceados*. Ente Nacional Regulador del Gas (ENARGAS). Argentina.

Poyer DA, Henderson L, Teotia APS (1997) Residential energy consumption across different population groups: comparative analysis for Latino and non-Latino households in USA. *Energy Econ. 19*: 445-463.

Sheinbaum-Pardo C, Ruiz BJ (2012) Energy context in Latin America. *Energy 40*: 39-46.