

MEJORA EN LA EFICIENCIA DE CALEFACTORES A GAS DE TIRO BALANCEADO

L. Juanicó *¹, A.D. González **¹, S. Gortari *

* Centro Atómico Bariloche e Instituto Balseiro, Av. Bustillo 9500, 8400 Bariloche, Río Negro. e-mail: juanico@cab.cnea.gov.ar , gortari@cab.cnea.gov.ar

** Conicet, y Centro Regional Universitario Bariloche, Universidad Nacional del Comahue, e-mail: agonzalez@crub.uncoma.edu.ar

Resumen: Se investigó la mejora de calefactores de tiro balanceado comerciales de uso corriente. Sobre la base de un estudio térmico-aerodinámico reciente, se desarrollan aquí varios criterios de diseño que permiten mejorar el desempeño de estos equipos, en especial su eficiencia térmica. Estos criterios se enfocan en aumentar la transferencia de calor desde la cámara de combustión estanca al ambiente interior, tanto por convección como por radiación infrarroja. Estos aspectos se encuentran soslayados en los actuales diseños comerciales, los cuales presentan gabinetes muy cerrados y cámaras con recubrimientos de muy baja emisividad. Las modificaciones propuestas son de bajo costo, y fueron estudiadas experimentalmente, observándose aumentos significativos en la eficiencia térmica y reducciones en la temperatura de la cámara. Esto último además brinda ventajas en cuanto a la reducción del efecto de desecamiento ambiente y la emisión de óxidos de Nitrógeno (NOx), lo cual conlleva a una mejor calidad de calefacción.

Palabras clave: calefacción – tiro balanceado – radiación infrarroja – uso eficiente del gas

INTRODUCCIÓN

La eficiencia en el uso de la energía en el sector residencial depende de varios factores, entre otros: la calidad de la aislación de los cerramientos, la eficiencia térmica con que los equipos de calefacción utilizan la energía, y el comportamiento del usuario. En trabajos previos, investigamos las condiciones de uso de la energía en el sector residencial de la ciudad de Bariloche, en la región patagónica andina (González et al., 2005; 2006). A través de encuestas detalladas en 70 viviendas unifamiliares de distintos barrios de la ciudad, se analizaron las condiciones edilicias, de equipamiento, y se registró el consumo discriminado de gas y electricidad. Se encontró un consumo promedio de gas natural de 169 GJ/año (4.800 m³ de gas natural) y por vivienda, de los cuales más del 80% se usa en calefacción. Estos valores exceden, en un factor entre dos y tres, a otros en localizaciones climáticas similares pero con soluciones constructivas distintas. La conclusión de esos trabajos ha sido que, en primer lugar, el exceso de energía requerida es consecuencia de la deficiencia en la aislación térmica de la vivienda; y en segundo lugar, la eficiencia del equipamiento usado para calefacción. De todos modos, dado el alto consumo observado y las características de las instalaciones, existe un alto potencial de mejora en ambos aspectos, edificio y artefactos.

Más del 80% de las viviendas encuestadas usan calefactores de tiro balanceado (el resto radiadores de agua caliente). Esquemáticamente, un tiro balanceado consiste en un quemador dentro de una cámara estanca hacia el ambiente interior y con salida de gases y entrada de aire del exterior. Estos equipos están habilitados para su uso en ambientes cerrados (ENARGAS, 2006). La interacción del quemador con el ambiente se realiza a través de la transferencia térmica entre la cámara de combustión cerrada (chapa de 1 mm de espesor) y el ambiente a calefaccionar. Los mecanismos de transferencia de calor dominantes son la radiación y la convección natural originadas desde esta superficie caliente.

En un trabajo reciente (y enviado a esta misma revista), investigamos las características de un calefactor de tiro balanceado tipo que se ofrece en el mercado, que fue encontrado como de uso mayoritario en las encuestas. El mismo equipo puede ser conectado a dos configuraciones distintas de chimenea: horizontal de salida corta por pared, o vertical de salida larga por techo. A través de mediciones cuidadosas de temperatura de gases de salida, y caudales de gas y aire utilizados, se obtuvieron eficiencias del orden de 60% para la configuración de chimenea horizontal y entre 40% y 50% para los casos de tubos verticales (Juanicó et al., 2006). Estos valores son muy bajos comparados con estándares internacionales informados en diversas publicaciones (Lutz et al., 2006) empleando otros sistemas de calefacción. Pudimos entender que el motivo del exceso de energía liberada al exterior por chimenea se debe, en primer lugar, a una deficiente transferencia de calor entre la cámara de combustión y el ambiente a calefaccionar; y en segundo lugar, a un exceso de aire de alimentación.

En el presente trabajo realizamos modificaciones externas sobre un calefactor comercial, y estudiamos su efecto en la eficiencia térmica, en la emisión de contaminantes y en el nivel de confort. Estas consisten en aumentar la emisión radiante (de espectro infrarrojo) de la cámara de combustión, aumentar la circulación de aire forzando la convección, y ampliar el área

¹ Investigador del Conicet

abierta del gabinete para permitir una mejor transferencia de calor al ambiente a calefaccionar. El diseño de estos calefactores admiten muchas mejoras de diseño, sin embargo, sólo incluimos aquí la discusión de aquellas que pueden realizarse con muy bajo costo, y sin cambiar conexiones de gas ni otros elementos de seguridad ya aprobados para el equipo. No se trata aquí de discutir si el concepto en sí de este tipo de producto es quizá equivocado, sino de evaluar posibles soluciones para la mejora en la eficiencia de equipos existentes, por otra parte ya instalados en millones de hogares en Argentina.

MATERIALES Y MÉTODOS

Modificaciones y Dispositivo Experimental

Se trabajó sobre un calefactor comercial convencional de marca EMEGE, modelo 9030, línea patagónica, de potencia nominal 3.000 kcal/h (3,48 kW). De acuerdo a datos del fabricante el 85% de los equipos vendidos cuentan con chimenea de circulación de aire de entrada y gases de salida horizontal, por tubos concéntricos con el interior para la salida de gases calientes. En el 7% de los casos las chimeneas de entrada y salida son verticales dispuestas en tubos separados paralelos. El 8% restante de los equipos de este tipo vendidos corresponden a modelos en donde ya sea el aire para la combustión proviene del ambiente y/o los gases de salida son vertidos al ambiente interior. Estos últimos no están habilitados para su instalación en ambientes cerrados y no fueron incluidos en el presente estudio.

El tipo de chimeneas concéntricas se identifica con la sigla TB (“Tiro Balanceado”) y el de chimeneas verticales, de largo variable, se denomina TBU (“Tiro Balanceado en U”). Sobre la base del modelo TB, se configura un mismo calefactor para operar como TBU modificando la salida de gases a través de una caja de conexión estándar comercial provista por el mismo fabricante. En los distintos casos, la altura de los tubos define el caudal de aire que circulará por la cámara de combustión denominado tiraje de la chimenea. El modelo con tubos horizontales presenta el menor tiraje.

Para mejorar la transferencia de calor por emisión de radiación infrarroja se pintó la cámara de combustión de color negro, con pintura especial para alta temperatura. Es importante notar que varias zonas de la cámara pueden alcanzar entre 500°C y 600°C como se midió, entonces se debe usar una pintura adecuada a este rango de temperaturas. La pintura se aplicó directamente sobre la existente en el modelo comercial, la cual es de color plateado de coeficiente de emisividad medido igual a 0,18 (Juanicó et al., 2006). Con el color negro el coeficiente de emisividad alcanzado es de 0,95. En el caso TBU la chimenea vertical se pintó también el tramo interior al hábitat del tubo de salida de gases calientes en este caso de 2 m de largo sobre un total de 5 metro de tiraje.

Se investigaron distintas alternativas para forzar la convección del aire interior. Se ensayaron: ventiladores de 220V y 100 mm de diámetro comercializados para extractores de aire; ventiladores de gran caudal y canalizadores de aire; y diversos modelos de ventiladores de 12 V de 75 mm de fuentes de computadoras personales. Para el modelo de calefactor estudiado se decidió finalmente adoptar cuatro ventiladores de 12V y 75 mm de diámetro, comerciales, de bajo costo (precio mayorista local \$2.5 c/u) y de provisión masiva universal (“coolers” para fuente de PCs). Se instalaron en la base del calefactor fijados al gabinete estándar, con flujo de aire dirigido hacia arriba, favoreciendo el sentido de la convección natural. Medido a 10 cm de distancia sobre los ventiladores, éstos producen una corriente de aire de 4 m/s de velocidad. Los cuatro ventiladores instalados requieren menos de 12W de potencia eléctrica total, provista con un pequeño transformador comercial de bajo costo (precio mayorista local \$9).

Cabe mencionar que existió anteriormente un modelo comercial de calefactor similar al usado aquí como base, provisto con un forzador de aire. Este utilizaba un único ventilador largo de eje longitudinal de 220V de costo relativo elevado, que a consumidor final era cercano al 50% del de un calefactor completo. Por diversos motivos que escapan a los objetivos del presente trabajo analizar, el uso de ese forzador fue discontinuado por el proveedor. Al presente, no hemos detectado en el mercado modelos con forzador de convección.

Para que el aumento en la transferencia de calor por radiación se traduzca en una mejora en eficiencia térmica de calefacción es necesario que el gabinete del equipo permita la radiación directa de la cámara hacia el ambiente. Para lograr esto se reemplazó la rejilla original del frente por una de menor interferencia visual con la cámara. También se eliminó completamente el uso de una chapa lateral (que opera como doble pared al gabinete, dispuesta con el fin de reducir la temperatura de este último), y se realizaron aberturas laterales en el mismo, reemplazando la chapa entera por rejillas. En cuanto al color, el gabinete se pintó de color negro en su exterior (para maximizar la irradiación al ambiente), y de plateado en el interior (para minimizar la absorción de radiación proveniente de la cámara), lo cual permitió alcanzar en el mismo temperaturas en operación menores que el modelo original, y empleando menores inversiones y material.

Las figuras 1a) y 1b) muestran fotografías del equipo modificado. En la Figura 1a) se observa la pintura negra agregada en la cámara de combustión, y las conexiones de las termocuplas de medición, para el sistema de chimenea TB. En la Figura 1b) se muestra parte del gabinete modificado y el detalle de montaje de los cuatro ventiladores de 12V utilizados. La fuente de corriente es externa, de 1 Amper de capacidad, provista por un transformador de tipo compacto para conectar a 220V sobre un tomacorriente común. De este modo se asegura que el equipo está en contacto únicamente con 12V, eliminando riesgos eléctricos. En la Figura 1b) nótese el detalle de la rejilla de alta visual para la emisión infrarroja, de más de 90%, que reemplaza a la original de una visual de menos de 60%. El gabinete se pintó en su exterior con el mismo recubrimiento que la cámara.



Figura 1a): Cámara del calefactor recubierta con pintura de alta temperatura color negro, y sistema de termocuplas.



Figura 1b): Detalle del montaje de cuatro ventiladores para la convección forzada, y parte inferior del gabinete modificado.

Medición de Temperaturas y Eficiencia Térmica

El arreglo experimental para medir los parámetros de funcionamiento es igual al utilizado en el estudio del modelo convencional sin modificar (Juanicó et al., 2006). Brevemente, esto es: un conjunto de 9 termocuplas envainadas en diversas posiciones que permite medir las temperaturas y a su vez calibrar las fotografías infrarrojas para obtener el perfil térmico cuantitativo del equipo. En el caso de la medición de temperatura en la chimenea de gases calientes, se fijó una placa de absorción de calor solidaria a la termocupla, para evitar variaciones de lectura en la temperatura debidas a la posición de la termocupla y para mejorar el contacto gas-vaina, logrando así minimizar el error sistemático por defecto introducido por una medida defectuosa, lo cual redundaría en una sobreestimación directa de la eficiencia del equipo, como se comprobó que sucede empleando sistemas de termometría mas simples.

El caudal de gas natural se midió con un error de $\pm 0.5\%$ o menor, con un medidor marca Elster AMCO modelo BK-G1.6, para caudal máximo 2,5 m³/h, calibrado especialmente por el fabricante. La presión en la entrada al calefactor fue de 180mm de columna de agua en todas las experiencias, siendo la recomendada por las normas de instalación ENARGAS vigentes. Para obtener el caudal de aire que circula por la cámara de combustión se midió la velocidad del aire dentro del tubo de entrada, utilizando un anemómetro de hilo caliente marca Airflow modelo TA-2, el cual, con escala analógica logarítmica, permite una lectura mínima de 0,05 m/s y máxima de 10 m/s, con una precisión del $\pm 5\%$ o superior. Para el caso de sistema de circulación TBU, la velocidad del aire se midió directamente interceptando el flujo de aire dentro del tubo de entrada original, pero la configuración de tubos concéntricos característica del TB no permite este método ya que la alta temperatura debida a la presencia del tubo de salida caliente, altera la distribución de velocidades con respecto a la posición en la sección del paso de aire de entrada. Entonces, para este caso, diseñamos un dispositivo de entrada de aire alternativo en el cual se tapa la entrada original y se abre una derivación situada en la parte inferior. En esta se instaló un tubo de 75 mm de diámetro, similar al estándar usado en el TBU. Se tuvo cuidado de verificar que esta adaptación no producía alteraciones significativas en el equipo, comparando las distribuciones de temperatura con la chimenea original y con la derivación alternativa para medición, obteniéndose resultados equivalentes dentro del 2%, siendo la chimenea original la que provee el mayor caudal de aire (y por ende, la menor eficiencia). La pequeña diferencia encontrada no afecta el funcionamiento del equipo, ya que, como se verá en detalle, la cantidad de aire circulante es, en todos los casos, mayor a la requerida por la relación estequiométrica de la combustión.

En la Figura 2 se esquematiza la secuencia de mejoras a través de un diagrama de flujos de calor hacia el interior y exterior de la vivienda. La pintura aumenta la radiación infrarroja de la cámara, mejorando la eficiencia, lo cual se refleja en la menor temperatura de los gases calientes al exterior. El segundo paso es el aumento de la convección a través de los ventiladores, esto disminuye aún más la pérdida al exterior. Se indica, además, la influencia de las modificaciones en el flujo de aire y la relación con aquel que satisface la estequiometría de la combustión. Cada mejora en la transferencia de calor al interior hace disminuir el flujo de aire que circula por el calefactor, y que impulsa el aire caliente al exterior por chimenea.

Configuración original	Pintura negra y gabinete modificado	Agregado de los “coolers”
<ul style="list-style-type: none"> • Perdidas comparables al calor útil • La convección es el mecanismo predominante en el interior de la vivienda • Relación de aire muy superior a la estequiométrica 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumenta la radiación al interior • Disminuye un poco la convección • Disminuyen las pérdidas • Cámara de combustión más fría, menos convección dentro de la misma y mejor relación aire/gas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Disminuye un poco la radiación • Aumenta mucho la convección, ahora forzada • Disminuyen más las pérdidas • Nueva mejora en la relación aire/gas, más cercana a la estequiométrica.

Figura 2: Diagrama de mejoras de la transferencia de calor en un calefactor de tiro balanceado tipo TB concéntrico

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Efectos en la Distribución de Temperaturas

En la Tabla 1 se resumen los resultados principales de las mediciones para el calefactor modificado. A fin de discutir la incidencia de cada aspecto se muestran los resultados para experiencias con y sin ventilación forzada. La temperatura máxima en la pared de la cámara de combustión se midió en el centro, en la cara exterior, y cerca de la llama del quemador (quinta columna en la tabla). La columna siguiente (Dif. Temp c/original) representa la disminución de temperatura, en °C, obtenida respecto del modelo original.

En aquellos casos en que no se usan los ventiladores (ensayos N° 1 a 4) pueden apreciarse los efectos sólo de la radiación facilitada por el color negro y por el nuevo diseño de gabinete. La marcada disminución de la temperatura máxima en la pared de la cámara, de hasta 102°C, produciría (según la teoría que explica su formación) una disminución en producción de gases contaminantes tipo NOx. Asimismo, el efecto de una mejora en la radiación puede observarse claramente en la temperatura de los gases de salida, los cuales en comparación al modelo original disminuyeron hasta cerca de 80°C en el modelo TB concéntrico, y con consecuencias directas en el rendimiento térmico del equipo. Nótese que, simplemente el cambio de color y de gabinete produjo un aumento en la eficiencia térmica hacia el interior de la vivienda, de valores del orden de 39% a 63% que se tenían en el original, a valores entre 63% a 73%, lo cual es un aumento significativo y consistente de eficiencia, que van del 10 al 69%, de gran impacto sobre el consumo de gas e inversiones requeridas, que detallaremos luego.

Es de notar el menor flujo de aire por chimenea también producido por el aumento de la emisividad infrarroja de la cámara. Las diferencias son más relevantes para el TBU de 5 metro de chimenea, para el cual en el modelo original se encontraron velocidades de hasta 0,9 m/s, mientras que en el de color modificado las mismas no superaron en ningún caso los 0,5 m/s. Entonces, el cambio en la emisividad produce un aumento de eficiencia térmica operando cambios simultáneos sobre las temperaturas y el flujo de gases calientes, en concordancia con el fenómeno de convección natural que domina el tiraje. En el equipo modificado los caudales de gases son más cercanos a los estequiométricos, aunque aún mayores. Las relaciones de aire respecto del valor requerido por la combustión disminuyeron en la comparación, del rango 1,8 a 8 al rango 1,6 a 4,4.

De las fotografías infrarrojas (y las temperaturas medidas con termocuplas) se derivó el coeficiente de emisividad, que resultó de 0,95, en contraste con 0,18 que presentaba el color plateado (pintura de óxido de aluminio) original. Aparentemente, los expertos en comercialización prefieren incluir los colores plateados debido a una supuesta mejor aceptación en el público. Cabe preguntarse: ¿qué elegiría un público informado de que su cuenta de combustible disminuiría al menos 20% gracias a un cambio de color?; o, independiente del costo, ¿qué color preferiría un público sensible a temas ambientales, si estuviera informado de la diferencia en eficiencia y contaminantes? Al presente no tenemos respuesta a estas preguntas, las cuales son de nuestra aspiración llevar al terreno práctico.

La ventilación forzada también produce disminución en la temperatura superficial de la cámara de combustión, como puede observarse en la Tabla I. Para los casos 5 y 6 (llama máxima) la disminución en la temperatura de superficie es de más 160°C.

Además de las consecuencias ambientales directas (emisión de gases contaminantes NOx), esta disminución de temperatura claramente prolonga la vida útil del calefactor. Para llama mínima este aspecto no es tan relevante, de todos modos, también se observa disminución significativa de la temperatura de superficie.

Un campo de diseño a considerar en el futuro es el uso de pinturas de colores diferentes, toda vez que se requiere optimizar la emisión únicamente en el espectro infrarrojo (dentro del cual emite la cámara), pero no en el visible. Es factible encontrar recubrimientos de alta emisividad de otros colores y que cumplan estas condiciones.

Eficiencias Térmicas

La Tabla 1 muestra los resultados de las mediciones de eficiencias térmicas en función de las modificaciones realizadas, para distintas intensidades de llama, y para configuraciones de chimenea concéntrica TB o verticales TBU de 5 metro de altura. En todos los casos el equipo medido contó con la superficie de la cámara de color modificado (negro). La tercera columna indica si se usó o no el sistema de ventiladores para forzado de la convección natural en el calefactor. Los detalles del cálculo de eficiencia en base a la medición de temperaturas y caudales de gas y aire han sido explicadas en Juanicó et al. (2006).

Vaire representa la velocidad del aire en metro/segundo en el tubo de entrada de aire. Las velocidades obtenidas con las modificaciones introducidas son menores a las registradas en el modelo original, con mayor incidencia porcentual en el caso de chimeneas verticales de alto tiraje que en el modelo concéntrico. De todos modos, los caudales de aire permanecen más elevados que los correspondientes al caudal estequiométrico requerido por la combustión, más aún en el tiraje vertical. Este hecho confirma que el efecto de tiraje es el mecanismo dominante para la circulación de aire a través del calefactor, y que sólo una intervención en la sección del tubo de entrada de aire daría un resultado notable. Este punto ha sido parcialmente estudiado y será analizado en detalle en trabajos futuros.

Nº	Tiraje	Conve. forzada	Llama	T máx pared cámara °C	Dif. Temp c/ original	Vaire (m/s)	Caudal rel. estequiom.	Tgases salida, °C	Eficien. (%)	Mejora en Eficiencia
1	TBU, 5 m.	No	Máx	454	102	0.5	2.1	381	66	69 %
2	TB, horiz	No	Máx	482	82	0.45	1.6	401	73	16 %
3	TBU, 5 m.	No	Mín	246	6	0.4	4.4	216	63	43 %
4	TB, horiz	No	Mín	278	52	0.4	3.8	238	67	10 %
5	TBU, 5 m.	Si	Máx	381	175	0.45	1.9	354	71	82 %
6	TB, horiz	Si	Máx	404	164	0.45	1.6	379	75	19 %
7	TBU, 5 m.	Si	Mín	179	81	0.4	4.4	186	68	54 %
8	TB, horiz	Si	Mín	175	155	0.4	3.8	204	72	18 %
9	TB, horiz.	No	Piloto	114	----	0.4	23.5	69	53	----

Tabla 1. Valores obtenidos para calefactores de tiro balanceado con capacidades de radiación y convección ampliadas

En la Tabla 1 se observa que, en todos los casos la eficiencia mejora con respecto al modelo original, ya sea por aumento de la emisión infrarroja como por la mejor convección. Para las configuraciones con chimenea vertical, de mayor tiraje, las mejoras son más importantes, alcanzando aumentos en la eficiencia de hasta 82% mayores a los originales (partiendo de eficiencias del orden de 39% en el modelo original, hasta el 71% en el modificado). Las mejoras más notables se producen para el sistema TBU, que es el que mayor porcentaje de calor por tiraje pierde al exterior. Las temperaturas de los gases de salida son, para todos los casos, significativamente menores a las registradas para el modelo original, con una disminución de 80°C en el caso 5; de 108°C en el sistema concéntrico del caso 6; de sólo 11°C para el TBU en llama mínima del caso 7; y de 83°C para el caso 8 también concéntrico. Los efectos para llama mínima son menores debido al mecanismo dominante del exceso de aire dado por el tiraje.

El caso 9 en la Tabla 1 corresponde al calefactor con sólo la llama piloto encendida, e ilustra una situación extrema de exceso de aire de combustión. La relación del flujo de aire respecto al estequiométrico es de 23, la temperatura de los gases de salida de 69°C y resulta una eficiencia térmica del 53%.

Es interesante discutir cuál es la incidencia del cambio de gabinete. Para esto hicimos experiencias con el gabinete original sin modificar y sin gabinete, que sería, esta última, la situación (ideal) de máxima emisividad. El resultado ha sido consistentemente de una disminución de la eficiencia entre 2% y 4% al incluir el gabinete original. Para los calefactores con gabinetes muy cerrados y paredes de chapa metálica dobles, especialmente diseñadas para impedir el calentamiento de las caras exteriores del mismo, la disminución en la eficiencia es posible predecir como mayor.

El efecto del enfriamiento de la cámara hacia el local —ya sea por efecto de la mayor emisividad y/o de la ventilación forzada— se observa tanto en temperaturas menores de los gases de salida como así también en flujos por chimenea menores, y la consecuencia directa es el mayor rendimiento térmico del equipo.

Efectos de las mejoras en el uso eficiente del gas

De las secciones anteriores, es claro que el efecto de las modificaciones ha sido elevar la transferencia de calor al ambiente, y con esto disminuir la cantidad de energía entregada al exterior. Las mejoras tienen consecuencias ambientales, económicas y, en lo referido al ambiente interior, en la salud de los ocupantes debido a la menor emisión de óxidos de Nitrógeno (NOx).

El potencial de ahorro en gas natural es directo. Para una estimación global podemos tomar un promedio pesado de la mejora de las eficiencias térmicas, considerando como ponderadores a los porcentajes de penetración en el mercado de las dos configuraciones de chimenea investigadas. Si bien la mejora es mayor en el caso de chimeneas verticales, la presencia de este producto puede estimarse en 7%, contra el 85% del TB horizontal. Como aproximación consideraremos que el restante 8% del tipo tiro natural (que no fue medido aquí), presentaría la misma mejora que el TBU, entonces, combinando los resultados de mejora en la eficiencia resumidos en la Tabla 1 con estos porcentajes para ponderar, obtenemos una mejora promedio del 23%.

La implicancia en el consumo global es directa. Por ejemplo en la ciudad de Bariloche, y de acuerdo a una investigación previa (González et al, 2006), el promedio de consumo por vivienda y por año en calefacción es de 4.000 m³ de gas natural. Para aquellos hogares que cuentan con dispositivos de tiro balanceado para calefacción, una mejora del 23% en la eficiencia resultaría entonces en un ahorro de 1.300 m³ de gas natural por año y por hogar. Del mismo trabajo previo puede estimarse que alrededor del 20% de los hogares conectados al gas natural disponen de otro tipo de calefacción, en general por circulación de agua caliente. Si entonces descontamos estos, y considerando un total de 24.000 hogares conectados al gas natural en Bariloche (aplicando la media nacional de 60% conectados), llegamos a una estimación de ahorro de 22 millones de m³ por año sólo para el sector residencial conectado a la red en una ciudad pequeña como Bariloche. Esta es una cifra muy significativa, sobre todo si se tiene en cuenta el muy bajo costo y simpleza de las modificaciones propuestas.

Por otro lado, al presente, y como es de público conocimiento, existen restricciones severas para obtener una nueva conexión de gas natural en esa ciudad, debido a que la demanda actual supera en parte la capacidad de transporte del gasoducto troncal, el cual ya fue ampliado en 2005. Un ahorro de 22 millones de m³ por año permitiría conectar a unos 6.000 nuevos usuarios residenciales en esa ciudad. Para indicar la magnitud relativa del impacto de ese ahorro, nótese que la lista de espera de usuarios residenciales actual no supera los 1.500. Vale decir, podrían conectarse además usuarios que se encuentran desconectados en el periurbano y que pagan actualmente entre 10 y 12 veces más cara la unidad de energía, ya sea de gas envasado o de querosén.

En el clima frío patagónico, y dadas las características constructivas inadecuadas de las viviendas, los usuarios desconectados de la red de gas usan calefactores de tiro balanceado alimentados a gas envasado sólo como sistemas de recuperación rápida pero no como mantenimiento de la temperatura de confort. En ese sector de la población la leña es el combustible más usado en el mantenimiento de la calefacción. Con las modificaciones propuestas, una mejora del 23% en la eficiencia resultaría en diferencia de costos muy significativa, dado el precio relativo elevado del gas envasado.

Existe también una consecuencia en los costos de instalación debida al aumento de la eficiencia. La cantidad de energía requerida en calefacción en una vivienda depende de parámetros propios del cerramiento, del clima, y del nivel de confort que se establece. Una vez determinadas estas condiciones, la potencia a proveer en artefactos en el ambiente interno depende directamente de la eficiencia térmica de los equipos. Así, con una mejora en la eficiencia, el número de calefactores a instalar en un local dado disminuiría proporcionalmente, y con ello el costo, la energía de ciclo de vida, y su impacto ambiental.

Si bien no hemos realizado un estudio detallado de ciclo de vida, dada la simpleza de las modificaciones y de su muy bajo costo, es esperable que el resultado sea positivo respecto a los efectos notables obtenidos. Por ejemplo, el aumento en la necesidad de energía eléctrica en los ventiladores representa sólo el 10% del ahorro en gas que estos producen. Aquí otro aspecto importante es la vida útil del equipo. Dada la convección forzada y la mejora en la radiación, se consiguió bajar las temperaturas en la chapa de la cámara de combustión en más de 170°C para el caso de llama máxima. Esto mejora directamente la vida útil de la cámara, la cual constituye, en costo, el 25% del precio de compra del calefactor. Otro tanto puede afirmarse sobre los márgenes de seguridad del equipo, los cuales están relacionados directamente con la integridad y estanqueidad de su cámara. Estos aspectos importantes del ciclo de vida requieren un análisis detallado que escapa al objetivo del presente trabajo.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo propusimos e investigamos experimentalmente modificaciones sencillas y económicas para mejorar el desempeño de calefactores comerciales, diseñando y construyendo un nuevo prototipo en base a un calefactor comercial. Para aumentar la emisividad de la superficie de la cámara de combustión se la pintó de color negro. Para maximizar el beneficio de este cambio se debió modificar también el gabinete del equipo, buscando un diseño que aumente el flujo neto de calor por radiación hacia el ambiente. Para lograr esto se reemplazó la rejilla original por una de menor interferencia visual, se abrieron dos ventanas laterales, y se quitó una chapa que opera como doble pared en el gabinete original. También se instalaron cuatro ventiladores pequeños de bajo consumo, comerciales y universalmente utilizados para enfriamiento de fuentes de computadoras, con el fin de mejorar la transferencia por convección. Esta solución configura un sistema forzador de muy

bajo costo, elevada sencillez y seguridad intrínseca (por el uso de 12 V) y que como todas las modificaciones aquí propuestas, son asequibles a un usuario medio.

Las mediciones de los parámetros de funcionamiento del prototipo demuestran mejoras sustanciales. Se mejoró la eficiencia térmica entre el 18% y 82% dependiendo de la intensidad de llama y del tipo de chimenea usada; y se redujeron las temperaturas máximas de la superficie de la cámara en más de 170°C. Estas mejoras tienen consecuencias ambientales directas: uno, menor consumo de gas; dos, menor número de calefactores requeridos para una vivienda, debido a la mejora en la potencia neta entregada al interior; tres, menores emisiones de óxidos de Nitrógeno al ambiente interior, por menores temperaturas superficiales; cuatro, mayor vida útil del equipo, también por la disminución de temperaturas en superficie; cinco, posibilidades del uso del gas en forma racional para un mayor número de usuarios (por ejemplo, sólo con estas mejoras en Bariloche podrían conectarse cerca de 7.000 nuevos usuarios); y seis, notable mejora en costos para usuarios que utilizan gas envasado, a un precio de 10 a 12 veces el del gas natural subsidiado. Cuantitativamente, se partió de equipos comerciales estándar que operan con eficiencias entre 40% y 60%, y con mejoras simples y de bajo costo se llegó a un rango entre 60% y 75%. En cuanto a temperaturas superficiales máximas de la cámara de combustión, de cerca de 570°C se redujeron a 400°C, y los gases de salida de temperatura máxima de 487°C a 401°C.

Este trabajo, pionero hasta donde conocemos en la materia estudiada, ha demostrado la gran potencialidad que enfrentan los fabricantes de calefactores nacionales de producir mejores equipos, con modestos cambios en las líneas de producción actual, aplicando los conceptos de transferencia de calor aquí desarrollados. La generalización de estos cambios se podría alcanzar rápidamente aún desde motivaciones estrictamente económicas, dada la mayor competitividad que los nuevos equipos tendrían (menor costo operativo, mayor confortabilidad, etc) si los nuevos calefactores aquí propuestos se generalizan entre los usuarios potenciales, que constituyen la mayoría de la población.

Además, estos cambios conllevarían mejoras asociadas (de confort, medio ambientales, de perfil exportador de los calefactores, entre otros) de alto impacto en Argentina, dada la actual coyuntura energética que enfrentamos, con restricciones en la disponibilidad del gas y la electricidad. Para que este escenario futuro más eficiente se produzca, quizás requiera un fuerte cambio del marco regulatorio actual de parte del ENARGAS, el cual debería desarrollar nuevas normas de medición de la eficiencia térmica de calefactores de gas, y controlar el estricto cumplimiento de las mismas.

AGRADECIMIENTO

Al técnico gasista matriculado Carlos Catenazzi y a su grupo de trabajo del CAB, por el apoyo imprescindible para la ejecución de las experiencias. A la firma Elster AMCO de Argentina, por la donación de un medidor de gas calibrado.

REFERENCIAS

- Andrés et al. 2006. Comparación de la influencia de distintos equipos de calefacción en la contaminación interior por óxido de nitrógeno. Conclusiones finales. *Energías Renovables y Medio Ambiente* 17, 61-66.
- ENARGAS, 2006. Ente Nacional Regulador del Gas. www.enargas.gov.ar
- Eto J.H., 1988. On using degree-days to account for the effects of weather on annual energy use in office buildings. *Energy and Buildings* 12, 113-117
- González A.D., Crivelli E., Gortari S., 2005. Uso racional de energía y conservación de bosques en la Patagonia Andina, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 9, 7.10-7.16 con acceso libre en www.asades.org.ar
- González A.D., Crivelli E., Gortari S., 2006. Eficiencia en el uso del gas natural en viviendas unifamiliares de la ciudad de Bariloche. 2006, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, enviado, en proceso de arbitraje.
- Juanicó L., González A.D., Gortari S., 2006. Eficiencia térmica de calefactores a gas de tiro balanceado. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, enviado, en proceso de arbitraje
- Lutz J. et al., 2006. Life-cycle cost analysis of energy efficiency design options for residential furnaces and boilers. *Energy* 31, 311-329
- Rosenfeld E. et al. 2003. El uso de la energía en el sector residencial del Gran La Plata. Discriminación de consumos, cambios tecnológicos y opinión de los usuarios en las décadas del '80 y '90. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 7, 07.25-07.30, con acceso libre en www.asades.org.ar

ABSTRACT: The technical improvement of commercially available balanced draft space heaters is investigated. Based on our recent work on the study of thermal performance of these devices, we develop here various design criteria to improve the standard equipments performance, mainly its thermal efficiency. These criteria are focus to heat transfer improving from the hot combustion chamber to the room air, either by convection or infrared radiation. These aspects are not well taken care for in commercial space heaters of the balanced flue type, which present, in addition, enclosing cabinets that do not let infrared emission and convection freely be transferred to the room. Simple and low cost improvements were made on a prototype, and this was experimentally studied. An improvement of the thermal efficiency between 16 and 82%, depending on running conditions, was achieved, along with a noticeable reduction of more than 170°C on the chamber's surface, with a consequence on low NOx emissions. Environmental consequences as well as advantages for households are also discussed.

Key words: household space heating – balanced draft flue type – using gas efficiently