

Parte 2

Desarrollo de calefactores a gas de tiro balanceado avanzados

Prototipos de alta eficiencia y prestaciones

Por *Luis Juanicó y Sebastián Gortari*

Resumen

Sobre la base de un estudio térmico aerodinámico volcado en un trabajo anterior, se desarrollan varias mejoras en el diseño de calefactores de tiro balanceado y se obtiene un prototipo de alta eficiencia térmica, que brinda un mejor confort térmico. Todas las modificaciones son de bajo costo, y podrían implementarse sencillamente dentro de una línea de producción industrial actual o incluso por los propios usuarios.

Introducción

La eficiencia en el uso de la energía en el sector residencial depende de varios factores, entre ellos la eficiencia de los equipos de calefacción empleados. En la primera parte de este trabajo, ya estudiamos la eficiencia térmica de calefactores comerciales de tiro balanceado, empleados en más del 80% de los hogares conectados a la red de gas natural. Se encontraron eficiencias que iban de moderadas a pobres (40 a 60%), muy alejadas de los estándares internacionales (~90%). Sin embargo, identificamos varias causas de este

pobre desempeño, concluyendo que era factible su mejora significativa por medio de sencillos cambios de baja complejidad.

En esta segunda y última parte de la investigación, estudiamos la posibilidad de desarrollar nuevos modelos de calefactores comerciales de alta eficiencia, que sean de implementación accesible a las empresas fabricantes nacionales.

Para ello, realizamos modificaciones externas sobre un calefactor comercial base, y estudiamos su efecto sobre la eficiencia térmica, la emisión de contaminantes y 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 abierta del gabinete para facilitar la transferencia de calor.

El diseño de estos calefactores admite muchas mejoras; 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, de modo que puedan ser realizadas (incluso) por el propio usuario. No se trata aquí de discutir si el concepto en sí de este tipo de producto es equivocado, sino de evaluar posibles soluciones y mejorar los 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 de potencia nominal 3.000 kcal/h (3,48 kW). 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. La pintura se aplicó directamente sobre la existente en el modelo comercial, de color plateado (emisividad de 0.18), alcanzando una emisividad de 0.95.

Se investigaron distintas alternativas para forzar la convección del aire interior. Se decidió, finalmente, adoptar cuatro ventiladores de 75 mm de diámetro de bajo costo (precio minorista local: \$3; precio mayorista F.O.B. en China: \$1 c/u) y de provisión universal (*coolers* para fuente de PC). Se fijaron al gabinete estándar con flujo de aire dirigido hacia arriba, favoreciendo el sentido de la convección natural. Los cuatro ventiladores requieren menos de 12 W en total, provista por un pequeño transformador de bajo costo (precio minorista local: \$9). Cabe mencionar que anteriormente hubo un calefactor comercial con un único ventilador largo de eje longitudinal de 220 V. Este modelo fue discontinuado y actual-

mente no hay en el mercado modelos con forzador.

Para que el aumento en la transferencia de calor por radiación se traduzca en una mejora en eficiencia térmica, es necesario que el gabinete permita la radiación directa de la cámara hacia el ambiente. Para esto se reemplazó la rejilla original del frente por una de menor interferencia visual con la cámara, y se realizaron aberturas laterales. El gabinete se pintó de color negro en su exterior, y de plateado en el interior, lo cual permitió bajar su temperatura en operación.

Las figuras 1a) y 1b) muestran fotografías del prototipo. En la figura 1a) se observa la pintura negra agregada en la cámara de combustión. En la figura 1b) se muestra parte del gabinete modificado y el detalle de montaje de los cuatro ventiladores de 12 V utilizados. La fuente de corriente es externa, de 1 amper de capacidad, provista por un transformador, asegurando que el equipo está en contacto sólo con 12 V, eliminando riesgos eléctricos. En la figura 1b) nótese el detalle de la rejilla nueva.

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 original (Juanicó, *et al.*, 2008 a,b). Brevemente,

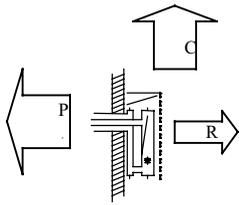


Figura 1a): Cámara del calefactor recubierta con pintura negra.



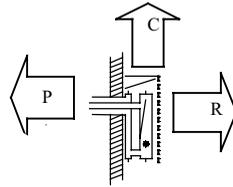
Figura 1b): Detalle del montaje de cuatro ventiladores para la convección forzada.

Configuración original



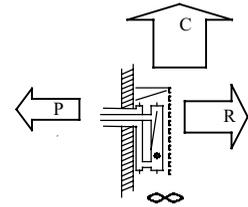
- Pérdidas comparables al calor útil
- La convección es el mecanismo predominante en el interior de la vivienda
- Relación de aire muy superior a la estequiométrica

Pintura negra y gabinete modificado



- 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

Agregado de los "coolers"



- 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

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 más 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 $2,5 \text{ m}^3/\text{h}$, calibrado especialmente por el fabricante. El resto de las variables se midió empleando el mismo sistema antes descrito.

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.

Resultados y análisis Efectos de 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 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 NOx por efecto térmico. 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, aumentando también el rendimiento térmico. 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 va 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 metros 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 se calculó el coeficiente de emisividad,

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

Tabla 1. Resultados para calefactor modificado

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?

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 de 160°C.

Además de las consecuencias ambientales directas (emisión de gases contaminantes NOx), esta disminución de temperatura claramente prolonga la vida útil del calefactor.

Eficiencias térmicas

La Tabla 1 muestra los resultados de eficiencias térmicas en función de

las modificaciones realizadas sobre el calefactor 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. Vaire representa la velocidad del aire en metro/segundo en el tubo de entrada de aire. Las velocidades obtenidas aquí son menores a las registradas en el modelo original, con mayor incidencia en el caso TBU que en el TB. 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 (por ejemplo, colocando una placa orificio convenientemente calibrada de acuerdo con la altura de tiraje por emplear) daría una mejora interesante.

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, alcan-

zando 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 en el 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.

Es interesante discutir cuál es la incidencia del cambio de gabinete. Para esto hicimos experiencias con el gabinete original sin modificar y sin gabinete; esta última sería la situación (ideal) de máxima emisividad. El resultado ha sido consistentemente 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 predecirla con mayor precisión.

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 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; obtenemos así una mejora promedio del 23%.

La implicancia en el consumo global es directa. Por ejemplo, en la ciudad de Bariloche (González, 2006), el promedio de consumo por vivienda y por año en calefacción es de 4.000 m³ de gas natural. Para el 85% de los hogares que cuentan con calefactores de tiro balanceado, una mejora del 23% en la eficiencia resultaría entonces en un ahorro de 1.300 m³ de gas natural por año y por hogar. Considerando un total de 24.000 hogares conectados al

gas natural en Bariloche, 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 la accesibilidad de las modificaciones propuestas.

Si bien no hemos realizado un estudio detallado del 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. Esto mejora directamente la vida útil de la

cámara, y otro tanto puede afirmarse sobre los márgenes de seguridad del equipo.

Conclusiones

En el presente trabajo investigamos modificaciones sencillas y económicas para mejorar el desempeño de calefactores comerciales, construyendo un nuevo prototipo. 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, reemplazando la rejilla original por una de menor interferencia visual, y abriendo ventanas laterales. También se instalaron cuatro ventiladores pequeños de bajo consumo, universalmente utilizados en computadoras. 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 170°C.

Estas mejoras tienen consecuencias ambientales directas: una, 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 10 veces el del gas natural. 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 570°C se redujeron a 400°C, y los gases de salida de 487°C a 401°C.

Este trabajo ha demostrado la gran potencialidad que enfrentan los fabricantes de calefactores nacionales de producir mejores equipos, con modestos cambios. 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 generalizaran entre los usuarios potenciales. Además, estos cambios conllevarían mejoras asociadas (de confort, medio ambientales, de perfil exportador de los calefactores) de alto impacto en Argentina, dada la actual coyuntura energética que enfrentamos, con restricciones en la disponibilidad del gas y la electricidad. ■

Referencias

- Andrés D.A., *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, pp. 61-66.
- Enargas. 2006. Ente Nacional Regulador del Gas. www.energas.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, pp. 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. 2007. "Eficiencia de calefactores a gas de tiro balanceado: Medición e impacto en usuarios residenciales". *Revista Interciencia* 32 (12), pp. 854-856.
- Juanicó, L. *et al.* 2008. "A high-efficiency prototypes of commercial gas heaters extensively used in Argentina". *International Journal of Hydrogen Energy* 33, pp. 3471-3474.
- Juanicó, L. *et al.* 2008. "A Savings on natural gas consumption by doubling thermal efficiencies of balanced-flue space heaters". *Energy and Buildings*, 40 (8), pp. 1479-1486.
- Lutz, J. *et al.* 2006. "Life-cycle cost analysis of energy efficiency design options for residential furnaces and boilers". *Energy* 31, pp. 311-329.

El Dr. **Luis Juanicó** es investigador del Conicet y profesor del Instituto Balseiro. Por su parte, el Ing. **Sebastián Gortari** es investigador de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), Centro Atómico Bariloche, (8400) Bariloche, Río Negro.