


$$\int_a^b f(x) dx = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n f(x_i) \Delta x =$$

# Desarrollo de calefactores a gas de tiro balanceado avanzados

## Parte I: Estudio de calefactores comerciales

Por *Luis Juanicó y Sebastián Gortari*

Se investigó experimentalmente el rendimiento térmico de un calefactor a gas de tiro balanceado comercial, para el cual se determinaron eficiencias térmicas del 40 al 60%, según la configuración de chimenea. Se identifica el origen de este comportamiento y se discute la norma nacional, que sobreestima la eficiencia. Como corolario, se propone una nueva metodología experimental que corregiría este error sistemático.

Son conocidos en el mundo gran variedad de medios empleados para calefacción de hogares, de los cuales su eficiencia constituye un tema abierto. Investigadores del Laboratorio Nacional de Berkeley estudiaron recientemente la posible mejora en eficiencia en todos los sistemas de calefacción empleados en Norteamérica (Lutz, 2006), alcanzando eficiencias del 90 al 95%. Sistemas centralizados tanto en edificios como en el ejido urbano (*district heating*) son comunes en países desarrollados. En la Argentina, en cambio, la opción más generalizada son los calefactores a gas de tiro balanceado debido a su bajo costo, a pesar de su menor eficiencia.

Se ha investigado el uso del gas natural en Bariloche (González, 2006 y 2007), ciudad que se caracteriza por una temperatura media anual de 8°C y 3600 grados-día (Eto, 1988), similar a Estocolmo, Suecia. Comparado con los hogares nórdicos, el consumo de energía específico (por m<sup>2</sup>) es aquí tres veces mayor. Esta figura se explica habitualmente por la mala calidad de la envuelta térmica; pero la pobre eficiencia de los calefactores es otro factor preponderante, usualmente soslayado.

Ninguno de los fabricantes nacionales de calefactores declara la eficiencia de sus equipos, los que se caracterizan únicamente por la potencia que consumen a llama máxima. Los usuarios no pueden llegar entonces a una elección balanceada entre costo y eficiencia energética, y tampoco se sienten impulsados a ello por la baja tarifa de gas que perciben.

En este primer trabajo caracterizamos experimentalmente el desempeño térmico de un calefactor a gas de tiro balanceado muy difundido en nuestro país. Identificaremos las causas de su pobre rendimiento y discutiremos cómo la normativa vigente sobreestima sistemáticamente la eficiencia, proponiendo modificaciones superadoras.

## Aparato experimental

Estudiamos un calefactor de tiro balanceado comercial de media potencia, con un quemador de 3.000 kcal/h (3,48 kW). Para éste existen dos opciones de chimenea: una, a través de dos tubos horizontales de 0,5 m de largo, concéntricos (TB); dos, con chimenea de entrada y salida verticales paralelas (TBU). De acuerdo con el fabricante, el 85% de sus ventas corresponde al tipo TB, el 7% al de chimeneas verticales TBU y el 8% restante a tiro natural.

Considerando el área frontal de la cámara de combustión (el área de transferencia de calor) y su potencia, el flujo de calor es de 20 kW/m<sup>2</sup> en llama máxima, considerablemente mayor que en otros sistemas, como un radiador de agua caliente (≈1 kW/m<sup>2</sup>). Esta figura simple puede a primer orden explicar tanto su baja eficiencia como bajo costo.

Se construyó un dispositivo experimental para medir la distribución de temperaturas sobre el equipo y los gases de salida de combustión, los caudales de gas y aire circulantes dentro de la cámara de combustión. El sistema de termometría se basa en el uso de termocuplas tipo K envainadas marca Omega conectadas a un lector de termocuplas marca FLUKE, el cual asegura errores en la lectura de ±1,0°C o menores en todo el rango de medición utilizado, tal como fue verificado en un horno calibrador. Se instaló un conjunto de 10 termocuplas en diversas posiciones:

- 1) solapa (pestaña) de soldadura superior,
- 2) zona central frente donde impacta directamente la llama del quemador,
- 3) zona cercana a la llama en pared posterior (orientada hacia la pared),
- 4) zona debajo de la línea de llama, en centro del frente,
- 5) zona sobre un costado, debajo de la línea de la llama,
- 6) pared exterior del tubo de admisión de aire frío,
- 7) pared exterior del tubo de salida de gases calientes,
- 8) tapa superior del gabinete envolvente del calefactor,
- 9) chapa deflectora bajo gabinete,
- 10) temperatura de gases calientes sobre la caja distribuidora.

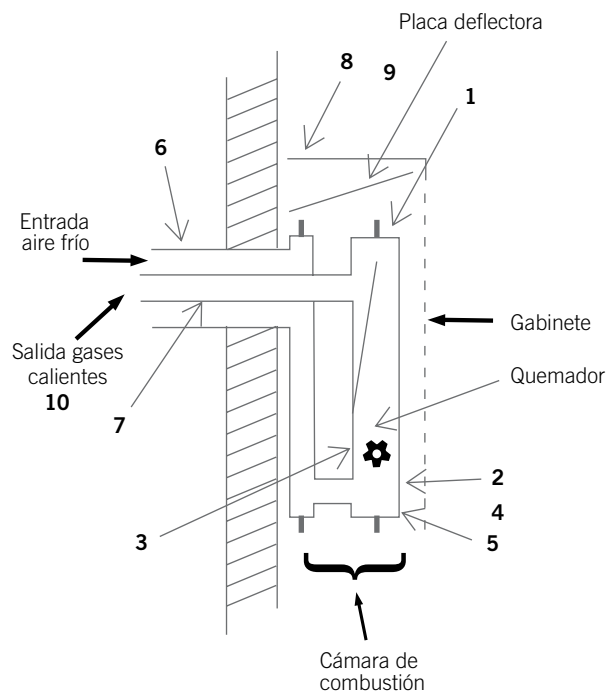


Figura 1. Esquema del calefactor estudiado, con detalle de termocuplas instaladas.

La temperatura de gases calientes es una magnitud crítica para la determinación de la eficiencia según la metodología utilizada (Enargas, BS 6332, EN613). Ésta calcula la potencia de calefacción del balance de energía, como diferencia entre la potencia total de gas consumido y la potencia desperdiciada al exterior por la chimenea. Nótese la complejidad que involucraría el medir directamente la potencia entregada al hábitat. Siendo que se establece un flujo del aire calefaccionado por convección natural, no se conoce a priori este caudal. Cualquier propuesta (por ejemplo, instalar una placa orificio dentro de un conducto especialmente diseñado) que modifique esta libre circulación de aire, estaría modificando también las condiciones de operación del propio calefactor, invalidando el ensayo.

La norma argentina calcula la temperatura de gases calientes como promedio entre cinco puntos equidistantes a medir, ubicados sobre un círculo vertical exterior que circunscribe al sombrero de salida de la chimenea horizontal central, en la configuración TB. Uno de estos puntos corresponde a la posición inferior; al ser ascendente el flujo

de gases calientes (por ende, el aire frío ingresa preferentemente por debajo) no sorprende que se midan valores 100°C menores en esta posición. Al ser inexplicable este error sistemático (por defecto) introducido por la norma actual, se cometen asimismo otros errores relevantes que discutiremos ahora.

En mediciones de flujos de gases con altas temperaturas, es necesario proporcionar blindaje de radiación al sensor; se evita así la interacción por radiación infrarroja con el entorno, sensiblemente más frío que el gas (transparente a la radiación térmica) que se pretende medir (Incropera, 2002). Este efecto ha sido considerado en la norma británica vigente (BS 6332, 1983) que sustituye a la norma de referencia (BS 1250, 1969) en la cual se basó Gas del Estado (en la década del 70) para desarrollar la norma argentina actual. Una forma muy sencilla de reducir el efecto de pérdidas infrarrojas consiste en introducir el termómetro dentro de la chimenea, ya que las paredes de ésta están a una temperatura similar a la que se desea sensar. Se observaron temperaturas hasta 100°C mayores empleando este sencillo método, siendo éste otro error sistemático por defecto.

Por otro lado, debido a la baja transferencia de calor entre el gas y la termocupla, se desarrolló una técnica experimental especial para reducir la resistencia térmica del contacto, reduciendo este nuevo error sistemático por defecto. Para esto se fijó una placa de absorción de calor solidaria a la termocupla, construida en material de alta conductividad (aluminio) y de gran área de contacto térmico. Este absorbedor solidario a la termocupla integra el perfil de temperaturas sobre la sección del tubo. Sin este dispositivo, comprobamos que la medición dependía de la posición en la sección del tubo de salida de gases calientes, debido al perfil transversal de temperaturas que se establece en el flujo interior del caño, y se obtenían lecturas apreciablemente menores. Con el dispositivo instalado, se observaron lecturas hasta 50°C mayores que sin él.

Para medir el caudal de gas se instaló un medidor comercial de bajo caudal (máximo 2,5 m<sup>3</sup>/h), marca Elster AMCO modelo BK-G1.6, calibrado por el fabricante (a pedido) con una precisión mejor que el 0,5%. También se controló con un regulador de presión y se monitoreó con un manómetro la presión de gas manométrica a la entrada del calefactor, verificándose que se estableciera en 180 mm de columna de agua para todas las experiencias, como fija la norma vigente.

Hasta aquí la metodología empleada se puede considerar similar a la de la norma argentina, con los detalles comentados en termometría. Cabe aclarar que tanto la norma argentina como las europeas (BS 6332, 1983; EN613, 2001) se basan en considerar que el caudal de aire aspirado en la cámara de combustión queda determinado por la relación estequiométrica de gases, dada por la reacción de combustión completa.

De aquí (y dada la concentración de oxígeno en el aire), se infiere que cada mol de gas natural se combina con aproximadamente 11 moles de aire. Sin embargo, y como demostraremos, este caudal de aire así inferido (pero no medido) constituye sólo un límite inferior, por debajo del cual no se produciría la combustión completa del gas (asumido como 100% metano). Como veremos, el tiraje de gases en chimenea se puede establecer con



Figura 2. Set up experimental (se omite el gabinete sólo para la foto).

caudales varias veces superiores a los estequiométricos, determinados por el mecanismo predominante en este caso, de convección natural. Esto se demuestra por la observación de que en un mismo calefactor adosado a tres chimeneas de distintas alturas, observamos un exceso de tiraje proporcional a esta altura. De esta forma, se reduce apreciablemente la eficiencia al pasar del tiraje corto TB a uno TBU de gran altura. Este comportamiento es típico de un fenómeno de convección natural en chimenea.

Para obtener el caudal de aire que circula por el calefactor se midió la velocidad del aire dentro del tubo de entrada, utilizando un anemómetro de hilo caliente (*hot wire*) marca Airflow modelo TA 2, el cual permite una lectura con un error de medición de  $\pm 5\%$ . Para el caso del sistema de circulación TBU, la velocidad del aire se midió directamente intersectando el flujo de aire dentro del tubo de entrada. En el caso del sistema TB, concéntrico, esta medición directa del flujo no es posible; la alta temperatura presente 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 por el cual se tapa la entrada original y se abre una derivación situada en la parte inferior. Se analizaron las distribuciones de temperatura entre la chimenea original y la derivación alternativa, para estimar el grado de perturbación introducido por este montaje *ad hoc* experimental, observándose comportamientos similares, pero con temperaturas siempre levemente más altas para la chimenea original, lo cual nos lleva a calcular eficiencias levemente más altas (dentro del 2%) para la configuración experimental estudiada, quedando esta modesta discrepancia dentro de los márgenes de error experimental.

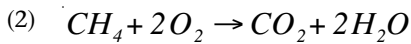
## Determinación de la eficiencia térmica

La eficiencia térmica se calcula en (1) como el cociente entre la potencia útil  $P_{cal}$ , entregada al ambiente y la po-

tencia total consumida en la combustión del gas natural,  $P_{comb}$ , debiendo descontarse en ésta el término de cambio de fase del agua producida en la reacción de combustión del metano (2) cuando utilizamos el calor de combustión superior:

$$(1) \quad \eta(\%) = \frac{P_{cal}}{(P_{comb} - \dot{m}_{agua} * H_{f,agua})}$$

donde  $H_{f,agua}$  es la entalpía de cambio de fase del vapor de agua y  $\dot{m}_{agua}$  es el caudal másico de agua producido en la reacción de combustión del gas (metano) (2), calculado por estequiometría a partir del caudal másico de gas  $\dot{m}_{gas}$  conocido a partir del caudal volumétrico  $Q_{gas}$  y la densidad  $\rho_{gas}$  del gas medidos.



La potencia total  $P_{comb}$  se calcula del calor superior de combustión del gas natural  $H_{comb}$ ,  $\rho_{gas}$  y  $\dot{m}_{gas}$ , según (3):

$$(3) \quad P_{comb} = \frac{H_{comb} * \dot{m}_{gas}}{\rho_{gas}}$$

Cabe mencionar que  $H_{comb}$  se conoce de datos oficiales del Enargas, basados en mediciones normalizadas realizadas sobre el fluido entregado en la zona por Camuzzi el distribuidor local. Este valor medio mensual viene incluido en la factura bimestral.

La potencia útil  $P_{cal}$  se puede calcular indirectamente del balance de energía (4), estimando los términos de pérdidas al exterior según las distintas especies formadas en la combustión (2) y el oxígeno no quemado por exceso del flujo de admisión, como:

$$(4) \quad P_{cal} = P_{comb} - (P_{agua} + P_{co_2} + P_{aire})$$

Se calcula cada uno de los términos de pérdidas por su balance de entalpía:

$$(5) \quad P_{agua} = \dot{m}_{agua} * \{C_{p,vapor}^{sal} * (T_{gas}^{sal} - T_{aire}^{ent}) + H_{vapor}\}$$

$$(6) \quad P_{aire} = \dot{m}_{aire}^{exceso} * C_{p,aire}^{sal} * (T_{gas}^{sal} - T_{aire}^{ent})$$

$$(7) \quad P_{co_2} = \dot{m}_{co_2} * C_{p,co_2}^{sal} * (T_{gas}^{sal} - T_{aire}^{ent})$$

donde  $C_{p,x}$  y  $\dot{m}_x$  denotan genéricamente el calor específico a presión constante y el caudal másico del componente  $x$ , para condiciones a la entrada (*ent*) o salida (*sal*) de

la cámara, determinadas con las temperatura del aire de entrada y de los gases calientes de salida, ambas medidas en cada experimento.

Como muestran las ecuaciones anteriores, deben conocerse a priori los caudales de los distintos gases para estimar correctamente la potencia perdida por la chimenea. Su medición directa es engorrosa, dada la alta temperatura de los gases de combustión, y quizás por esto las normas actuales soslayan este inconveniente, asumiendo que el caudal de gases que atraviesa la cámara de combustión coincide estrictamente con el estequiométrico fijado por la combustión (2). Como demuestran nuestros experimentos, esta aproximación no es nunca buena en las condiciones estudiadas. Lo que es peor, siendo que esta aproximación sistemáticamente subestima el caudal de gases calientes (y por ende, la potencia perdida), sobreestima en otro tanto la potencia útil, y por ende, la eficiencia de los calefactores. Cabe mencionar aquí que según la reglamentación vigente, todos los modelos deben certificar una eficiencia superior al 70%. En contraposición, hemos calculado eficiencias hasta del 39%. En este trabajo resolvimos la medición de gases calientes, calculando ésta por balance de masa en la cámara de combustión por suma de ambos caudales (de aire frío y de gas), medidos en forma sencilla con errores razonables.

## Resultados y análisis

### Distribución de temperaturas y emisividad radiativa

En las figuras 3 y 4 se muestran dos fotografías infrarrojas de la cámara de combustión del equipo funcionando en llama máxima (sin gabinete) para configuración TBU y TB. Se aprecia en la comparación un menor gradiente de temperaturas total en el segundo caso (300°C vs. 400°C), y una zona central (sobre el quemador) más homogénea que refleja el menor exceso de aire hacia la cámara, respecto del TBU en el cual, como veremos, la combustión se realiza con gran exceso de aire. Otra utilidad de la termometría es el permitir determinar experimentalmente las emisividades de radiación infrarroja, recalibrando las lecturas de los distintos puntos medidos por emisión infrarroja contra las temperaturas medidas por las termocuplas, usando a la emisividad como variable de ajuste. El valor de emisividad promedio obtenido es de 0,18, el cual se encuentra en el rango esperado (Incropera, 2002) para el tipo de pintura de color plateado (óxido de aluminio) provista en la cámara de combustión en el modelo estudiado.

En la figura 4 pueden apreciarse dos zonas de muy alta temperatura, la parte superior de la cámara y la zona cercana a la llama en el frente de la cámara. Los valores en esta última son cercanos a 600°C en llama máxima y 300°C al mínimo, como se indica en la tabla 1 para distintas configuraciones de llama y chimenea. De acuerdo con investigaciones previas (Andrés *et al.*, 2006), se encontró que la generación de óxidos de nitrógeno (NOx) por calefactores de tiro balanceado puede llegar a ser un 30% mayor al valor máximo permitido para ambientes según la regulación vigente. Sabido es que el NOx se puede generar (aun en equipos de cámara estanca) por oxidación del nitrógeno del aire en contacto con superficies a altas

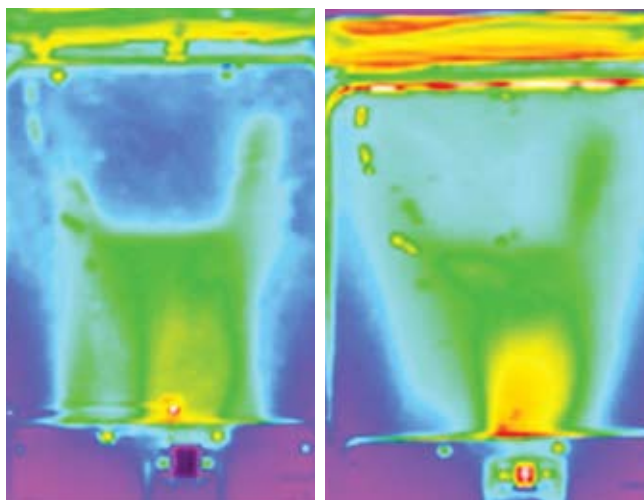


Figura 3.  
Foto infrarroja del TB,  
temperaturas desde 200°C (violeta)  
hasta 570°C (rojo)

Figura 4.  
Foto infrarroja del TBU,  
temperaturas desde 150°C (violeta)  
hasta 550°C (rojo)

temperaturas, como la cámara de combustión, por lo que los resultados aquí encontrados permitirían corroborar los anteriores (Andrés, 2005).

En los casos de chimenea vertical, en las paredes de la cámara de combustión se obtuvieron menores temperaturas que en el caso de tiraje horizontal. En ambos, sin embargo, las altas temperaturas están relacionadas con la escasa emisión de radiación de la cámara, como consecuencia del color plateado elegido. Consultados algunos fabricantes, se entendió que ésta es una elección motivada en criterios de marketing. Los especialistas en comercialización suponen que el color plateado es más atractivo para el comprador, y que un color oscuro sugeriría un equipamiento antiguo. Para maximizar la transferencia de calor por radiación el color más adecuado sería negro o, estrictamente hablando, un emisor negro en el espectro infrarrojo. Siguiendo esta elección se podría bajar la temperatura de la cámara, lo cual, por una parte, disminuiría la producción de gases contaminantes NOx, y por otra, aumentaría la transferencia térmica hacia el interior de la vivienda, y con esto, la eficiencia.

### Eficiencias térmicas

La tabla 1 resume los resultados de las mediciones para la obtención de las eficiencias térmicas de calefacción. Los casos 1 al 4 son para sistemas de chimenea vertical TBU. Para investigar la influencia del tiraje, en los casos 1 y 2 se dispusieron los tubos de entrada y salida sobre techo y de 5 metros de desplazamiento vertical; y en cambio en los casos 3 y 4 de sólo 1 metro también vertical. Los casos 5 y 6 corresponden al sistema de tubo horizontal de entrada y salida concéntricas. En cuanto al tiraje para el funcionamiento del calefactor, con la conexión horizontal se tiene sólo la altura interna de la cámara de combustión, en la cual la entrada es por la parte inferior y la salida por la superior. Vale decir, aquí la altura de efecto chimenea (tiraje) es la mínima, con una distancia similar a la altura de la cámara, de cerca de 40 cm.

Vaire representa la velocidad del aire en metro/segundo en el tubo de entrada de aire. Nótese que las velocidades de flujo de aire (como era de esperar en convección natural) disminuyen a medida que se reduce la altura de chimenea.

Nº	Tiraje	Llama	Temp. máx. pared cámara	Vaire (m/s)	Caudal relativo estequiométrico	Tgases (°C)	Eficiencia (%)
1	TBU, 5 m	Máxima	556	0,8	3,5	434	39
2	TBU, 5 m	Mínima	252	0,65	8,1	197	44
3	TBU, 1 m	Máxima	560	0,7	2,8	443	50
4	TBU, 1 m	Mínima	267	0,55	5,9	229	53
5	TB, horiz.	Máxima	568	0,5	1.8	487	63
6	TB, horiz.	Mínima	330	0,4	3.6	287	61

Tabla 1. Configuraciones de uso y valores obtenidos para calefactores de tiro balanceado

Es interesante observar las consecuencias en las temperaturas de los gases de salida y en las eficiencias térmicas. En la tabla 1 se resumen las temperaturas medidas para cada caso. En forma consistente, las temperaturas de los gases de salida aumentan al disminuir la altura del tiraje y, como consecuencia del menor caudal de aire caliente hacia el exterior, las eficiencias térmicas mejoran hasta un máximo de 63% en el equipo con tubos horizontales TB. El error en la medición de la temperatura es menor a 0,5°C, y en la velocidad del aire en 0,05 m/s, lo cual permite acotar el error en las eficiencias medidas al  $\pm 7\%$ .

Así como para las temperaturas de los gases de salida, la conexión de chimenea horizontal TB conlleva las temperaturas máximas obtenidas en todos los puntos medidos del calefactor. Esto es consistente con la disminución del caudal de aire, el cual actúa como refrigerador del equipo. Las altas temperaturas obtenidas, tanto para la configuración TB como TBU, muestran el efecto combinado de la baja emisividad de la cámara (color plateado,  $\epsilon = 0,18$ ), y el intercambio de calor deficiente con el ambiente que se intenta calefaccionar. Del relevamiento de calefactores ofrecidos en plaza, se observa que la tendencia actual es hacia gabinetes cada vez más cerrados, con limitación tanto para la transferencia por radiación como para la convección natural. En el caso del gabinete muy cerrado éste se publicita como "frío". Como se entiende del presente estudio experimental, la condición de un gabinete "frío" se logra (en los diseños actuales) en desmedro de la transferencia de calor al ambiente.

### Consecuencias en el uso eficiente del gas

La evolución del diseño de calefactores parece priorizar aspectos que podríamos considerar atractivos para la comercialización, aunque en desmedro de la eficiencia térmica. Al presente, esto es viable por el bajo precio del gas natural en nuestro país en general, siendo además fuertemente subsidiado en la región patagónica. El resultado de una encuesta realizada en Bariloche mostró que con un promedio de tres personas por vivienda, se instalan en

promedio 3,4 calefactores de tiro balanceado por hogar. La carencia de técnicas constructivas adecuadas al clima frío, con aislaciones térmicas deficientes, lleva a obtener confort agregando calefactores. Esto es posible porque su precio de compra e instalación es relativamente bajo y por el bajo precio del gas natural. Por otra parte, los usuarios desconectados de la red de gas natural rara vez utilizan el calefactor de tiro balanceado con gas envasado. En su lugar, la leña es el combustible más utilizado por ese sector residencial, que comprende el 40% de los hogares argentinos.

El consumo promedio de gas natural para viviendas unifamiliares de Bariloche es de 169 GJ/año (González *et al.*, 2006), equivalentes a 3.700 kg de gas licuado de petróleo, 12.000 kg de leña de buena calidad, o 4.500 litro de gas oil. Por unidad de energía, el precio de la leña es cuatro veces mayor al del gas natural, y de 10 veces más para el gas oil y el gas envasado. Se entiende, entonces, que la instalación masiva de calefactores con baja eficiencia térmica se corresponde con un precio bajo del gas, particularmente dentro de un contexto de subsidios regionales, los cuales no crean incentivos a un uso energético más eficiente.

Desde el punto de vista económico, y para las necesidades de la región patagónica, la instalación de un sistema de calefacción por tiro balanceado en una vivienda tipo puede resultar en un costo inicial de 2 a 3 veces menor que el de un sistema con caldera y radiadores. El exceso en consumo debido a las bajas eficiencias es económicamente viable al presente por el precio muy bajo del gas natural. Con una relación de precio más cercana a la de los niveles internacionales, el costo inicial de una instalación de caldera y radiadores se amortizaría en pocos años (Juanicó, 2007).

## Conclusiones

Estudiamos las características termo-aerodinámicas de equipos comerciales a gas de tiro balanceado conectado con dos tipos de chimeneas. Se obtuvo la eficiencia térmica, que en el caso de chimenea horizontal resultó menor al 63%, y en el caso de chimenea vertical de 40% y 50% para una altura de 5 m y de 1 m, respectivamente. Dadas las eficiencias muy bajas obtenidas estudiamos en detalle aspectos del diseño de los equipos. Algunos puntos notables son:

- La radiación se ve obstruida por la baja emisividad de la cámara de combustión y el diseño de gabinete muy cerrados, que reducen fuertemente el flujo neto de calor radiante desde la cámara hacia el ambiente.
- El pobre diseño aerodinámico de la cámara y gabinete reducen fuertemente el calor intercambiado por convección con el ambiente.
- La chimenea no presenta regulación de tiraje.

Concluimos por lo anterior que el calefactor analizado presenta un pobre diseño térmico-aerodinámico que sería factible de mejorar significativamente con esfuerzos de diseño modestos. Éste será nuestro objetivo en la próxima fase de este trabajo, en el cual presentaremos el desarrollo de prototipos de alta eficiencia. ■

## Referencias

- Andrés D.A, *et al.* 2005. "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.
- BS, British Standard 1250. Part 4. Space Heating Appliances (en biblioteca IRAM).
- BS, British Standard 6332. 1983. Part 4. Thermal performance of domestic gas appliances. Specification for thermal performance of independent convector heaters. In: [www.GlobalIHS.com](http://www.GlobalIHS.com)
- Carlsson-Kanyama *et al.*, 2005. "Indirect and direct requirements of city households in Sweden". *Journal of Industrial Ecology* 9 (1-2) 221-235.
- EN613. 2001. Independent gas-fired convector heaters. European Standard, ISBN: 9780580609114.
- Enargas, 2006. Ente Nacional Regulador del Gas. Norma NAG 315, en: [www.enargas.gov.ar](http://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., 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](http://www.asades.org.ar)
- González A. 2006. "Residential energy use in one-family households with natural gas provision in a city of the Patagonian Andean region". *Energy Policy*, 35 (2007) 2141-2150.
- Incropera, F. and DeWitt, D. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 5th ed., John Wiley and Sons, New York, 2002.
- IEA, 2006. International Energy Agency. Key World Energy Statistics, en: [www.iea.org](http://www.iea.org).
- 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. y González, A. 2008. "Thermal efficiency of natural gas balanced-flue space heaters: Measurements for commercial devices". *Energy and Buildings* 40, pp. 1067-1073.
- Lutz J. *et al.*, 2006. "Life-cycle cost analysis of energy efficiency design options for residential furnaces and boilers". *Energy* 31, 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 – Centro Nuclear Bariloche.