

APLICACIÓN DE UN RECUPERADOR DE CALOR A UN CALEFACTOR A GAS DE TIRO BALANCEADO CON CONDUCTOS DE ENTRADA Y SALIDA INDEPENDIENTES

Sergio D. Keegan^{1,2}, Néstor J. Mariani^{1,2}, Guillermo F. Barreto^{1,2}

¹PROIRQ, Dpto. de Ing. Química, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata

²CINDECA, CONICET- CIC-UNLP

keegan@quimica.unlp.edu.ar - Calle 47 esq. 1 – CP 1900 - La Plata

INTRODUCCIÓN

Una parte importante de los requerimientos energéticos de los países corresponde al consumo residencial, presentando el rubro calefacción una particular relevancia. En nuestro país, en promedio, aproximadamente un 56% del consumo de gas residencial se destina a calefacción (Gastiarena y col., 2017), siendo los calefactores a gas de tiro balanceado los dispositivos mayoritariamente elegidos en virtud de su precio de adquisición relativamente accesible, de la seguridad que ofrecen y del ambiente térmicamente confortable que generan, ya que no consumen aire ni descargan los gases de combustión en el mismo. Como contrapartida, puede señalarse que, en general, las unidades comercializadas en la actualidad presentan una eficiencia térmica (entendida como la relación entre la energía entregada al ambiente a calefaccionar frente a la energía consumida) relativamente baja. Al respecto la norma vigente en la Argentina, NAG 315 (Enargas, 2015), establece en su Anexo AC que los calefactores deben incluir un etiquetado (obligatorio a partir de 2019) de acuerdo a una eficiencia térmica ponderada según un protocolo de consumo que tiene en cuenta el tiempo de uso a potencia máxima, mínima y piloto durante un día del periodo invernal. En la etiqueta, la letra A corresponde al dispositivo más eficiente, cuya eficiencia ponderada debe ser mayor que 71%, y la E al menos eficiente (valor inferior a 59%). Cabe aclarar que, a la fecha, los fabricantes argentinos no consignan ningún tipo de información relacionada a la eficiencia de los mismos. A este aspecto debe sumársele el hecho de que la tarifa de gas tanto natural como envasado se ha incrementado significativamente en los últimos años, haciendo que el funcionamiento actual de los calefactores ocasione una penalidad económica de importancia. De lo expuesto se concluye que resulta de máximo interés el análisis de alternativas que mejoren la eficiencia de los calefactores de tiro balanceado actualmente comercializados. Con la finalidad de avanzar en la idea de emplear un recuperador de calor que permita aprovechar la entalpía de los gases de combustión calientes que abandonan el calefactor para precalentar el aire que ingresa al mismo, en trabajos previos se estudió el funcionamiento de un calefactor tiro balanceado con conductos de entrada y salida concéntricos (modelo Emegé Patagonia 9030 GN 3000 kcal h⁻¹) en su configuración original. Pudo verificarse que efectivamente su funcionamiento es plausible de ser mejorado en pos de una utilización más racional de la energía. El uso de recuperadores de calor en este tipo de dispositivos condujo a mejoras en la eficiencia térmica con ciertas limitaciones, las cuales fueron advertidas y puntualizadas para diferentes esquemas de recuperación (Keegan y col., 2015). En este trabajo se pretende analizar el uso de recuperadores de energía en calefactores de tiro balanceado con conductos de entrada y salida de gases independientes, con la expectativa de que este sistema presente una mayor flexibilidad operativa a la hora de instalar el recuperador en reemplazo de los conductos originales y se puedan alcanzar niveles de recuperación térmica de significación.

Diseño del recuperador de calor

Se diseñó y construyó un intercambiador de calor *ad hoc* (recuperador de calor) compuesto por canales rectilíneos de sección rectangular (9 cm x 14.5 cm), tanto para el pasaje de aire que ingresa por la parte inferior como para los gases de combustión que salen por la parte

superior (ver Figura 1). Los canales están delimitados por aletas de chapa galvanizada de 0,5 mm de espesor colocadas en forma longitudinal. Las aletas están dispuestas a lo largo del recuperador en 3 conjuntos de 10 aletas de 10 cm de largo y 14 cm de altura, con una mínima separación entre ellos. Se optó por la alternativa de colocar 3 conjuntos para minimizar la conducción térmica axial en las aletas que conduciría a uniformizar la temperatura.

A su vez se construyó un mezclador el cual se posiciona a continuación del recuperador para obtener medidas homogéneas y representativas de temperatura y composición de salida, ya que el flujo de gas de combustión tiende a estratificarse en los canales formados por las aletas. Para evitar el intercambio de calor con el medio ambiente, tanto el intercambiador como el mezclador fueron aislados en su totalidad. Por último, también se construyó un conducto vertical que puede ser anexado después del mezclador de 15 cm de altura para incrementar el tiro en caso de necesidad.

En la Figura 1 se presentan fotos y detalles del recuperador y del mezclador.



Figura 1. Fotografías del recuperador y del mezclador (Intercambiador-mezclador-tiro)

Equipamiento experimental y medidas

Las experiencias se realizaron sobre un calefactor de tiro balanceado a gas natural marca Coppens (modelo Peltre de potencia nominal 2500 kcal h^{-1}) equipado con conductos de entrada y salida de gases independientes.

Los ensayos experimentales fueron realizados a potencias mínima, intermedia y máxima, con (al menos) 5 repeticiones en cada caso. Las variables medidas fueron: temperatura, 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 del calefactor (se tomaron registros en nueve posiciones en la pared frontal distribuidas de manera uniforme en la zona superior, media e inferior).

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

Para llevar adelante las medidas térmicas se emplearon termocuplas de tipo K las cuales se encuentran conectadas a 2 adquirentes de datos USB-TEMP (Measurement Computing Corp.) de 8 canales (cada uno). Respecto a 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: $\pm 0.2\%$ en Vol.) y CO (precisión: ± 20 ppm hasta 400 ppm, $\pm 5\%$ del v.m. hasta 1000 ppm y $\pm 10\%$ del v.m. hasta 4000 ppm). Para mantener

la presión del gas alrededor de 16 mbar se utilizó un regulador durante todos los experimentos. A los fines de verificación se miden las presiones aguas arriba y aguas abajo del regulador, esta última se chequea mediante dos dispositivos, un manómetro tipo Bourdon y un manómetro de columna de agua.

RESULTADOS

Las medidas realizadas incluyen: calefactor en su configuración original, conjunto calefactor-recuperador-mezclador y conjunto calefactor-recuperador-mezclador-tiro, todos en posición horizontal en reemplazo de los conductos de entrada y salida de gases.

Serie de ensayos para el calefactor en su configuración original

En los ensayos realizados para el calefactor funcionando en su configuración original (sin recuperador de calor) 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 una distancia de un diámetro de la salida, de acuerdo a la norma Argentina NAG 315. La Tabla 1 muestra los resultados obtenidos, en promedio, para el calefactor funcionando en su configuración original. La potencia reportada se obtiene a partir de medir el consumo de gas natural (volumen) a intervalos de tiempo regulares durante los ensayos y considerar el poder calorífico superior (9538 kcal m^{-3}) informado por la compañía distribuidora de gas de la región de La Plata (Camuzzi Gas Pampeana).

Tabla 1. Ensayos en un calefactor de tiro balanceado Coppens (modelo Peltre potencia 2500 kcal h^{-1}). Conductos independientes de entrada y salida. Combustible: gas natural

Condiciones	Potencia [kW]	Exceso de aire [%]	Temp. de salida de gases [°C]	Temp. frontal promedio [°C]	Composición a la salida			Eficiencia [%]
					O ₂ [%V/V]	CO ₂ [%V/V]	CO [ppm]	
T _{amb} =20°C, p _{GN} =16mbar (regulada)	2.94	45	395	295	7.0	7.9	0	73.0
	2.50	87	366	259	10.2	6.0	0	70.1
	2.26	94	353	248	10.8	5.8	0	70.0
	1.77	168	315	205	13.7	4.2	0	66.1
	1.09	334	238	149	16.6	2.5	0	61.3

De los resultados reportados en la Tabla 1 se desprende que el calefactor opera con un exceso de aire algo elevado por tratarse de un combustible gaseoso para potencia máxima, mientras que, la temperatura de salida resulta significativamente alta. Por otra parte, para la condición de potencia mínima aparece un exceso de aire muy importante y simultáneamente, la temperatura de salida también pueden considerarse alta. La combustión es completa sin presencia CO en cantidades significativas.

Los valores máximos de temperatura medidos sobre la pared frontal de la cámara de combustión del calefactor a potencia máxima resultan cercanos a los 400°C , produciéndose en la región del centro sobre la ubicación de la llama, mientras que el valor promedio de temperatura sobre la pared frontal en las mismas condiciones es ligeramente inferior a 300°C .

Serie de ensayos del calefactor incorporándole el recuperador-mezclador aislados.

Se realizaron una primera serie de ensayos para el conjunto calefactor-recuperador-mezclador en posición horizontal en reemplazo de los conductos 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 mezclador en la posición del centro del conducto. Los resultados del conjunto *recuperador-mezclador* (ambos aislados del

ambiente) se muestran en la Tabla 2. En la misma se observa que el sistema funciona sin inconvenientes hasta una potencia de alrededor de 2.6 kW, punto en el cual se registra una cantidad de CO de entre 70-110 ppm y una composición mínima de O₂ en los gases de salida de la combustión. Por encima de esta potencia el sistema no funciona adecuadamente debido a que el nivel de CO observado resulta superior al máximo admitido por las normas Argentinas. Cabe consignar que el contenido máximo admisible de CO de acuerdo a la normativa vigente (NAG 315 apartados 6.7.1 y 7.7.1) no debe superar el 0.2% en los "productos de combustión secos y exentos de aire". Esta situación ocurre porque el tiro natural generado no es suficiente para vencer la pérdida de presión ocasionada por la incorporación del recuperador-mezclador, conduciendo a que se produzca una combustión de tipo incompleta.

Si se comparan las eficiencias reportadas en las Tablas 1 y 2 para un valor de potencia de aproximadamente 2.3 kW, el cual es ligeramente inferior al límite indicado para el empleo del conjunto calefactor-recuperador-mezclador, se concluye que el recuperador permitió una mejora de alrededor de 17 puntos porcentuales. Si se hace lo propio para el menor valor de potencia ensayado (*i.e.*, llama mínima) de 1 kW, se registra una mejora de más de 23 puntos porcentuales.

Por su parte, la temperatura promedio sobre la pared frontal de la cámara de combustión resulta, para todas las potencias, mayor para el caso calefactor-recuperador-mezclador que para el calefactor funcionando en su configuración original.

Tabla 2 Ensayos en un calefactor de tiro balanceado Coppens (modelo Peltre potencia 2500 kcal h⁻¹) con recuperador-mezclador. Combustible: gas natural

Condiciones	Potencia [kW]	Exceso de aire	Temp. de salida de gases de gases [°C]	Temp. frontal promedio [°C]	Composición a la salida			Eficiencia [%]
					O ₂ [%V/V]	CO ₂ [%V/V]	CO [ppm]	
	2.67	11	156	304.7	2.0	10.7	390-450	---
	2.62(*)	12	146	295	2.4	10.5	70-110	87.0
T _{amb} =20°C, p _{GN} =16mbar (regulada)	2.33	27	143	287	4.9	9.1	0	86.7
	1.63	76	132	228	9.6	6.5	0	85.3
	1.09	196	101	176	14.5	3.7	0	84.7

Serie de ensayos del calefactor incorporándole el recuperador-mezclador-tiro aislados.

En función de los resultados presentados en el apartado 4.2, puede concluirse que el conjunto calefactor-recuperador muestra un nivel de recuperación de entalpía de gases de combustión importante, sin embargo, el sistema no funciona adecuadamente en todo el rango de potencias disponibles del calefactor. Se propone en consecuencia adicionar un conducto vertical de 15 cm a la salida de los gases de combustión del conjunto recuperador-mezclador, con el objeto de mejorar el tiraje del sistema y hacer que el calefactor pueda operar sin inconvenientes. Los resultados obtenidos del conjunto *recuperador-mezclador-tiro* se informan en la Tabla 3. De la misma se advierte que a potencia máxima ya no hay presencia de CO en los gases de salida, conservando un nivel de recuperación entálpica significativo respecto del calefactor funcionando en su configuración original, que se materializa en una mejora de, aproximadamente, 14 y 21 puntos porcentuales a potencias máxima (2.92 kW) y mínima (1 kW), respectivamente.

En línea con lo anterior, la temperatura promedio sobre la pared frontal de la cámara de combustión resulta mayor para el caso calefactor-recuperador-mezclador-tiro que para el calefactor funcionando en su configuración original para todas las potencias ensayadas.

Tabla 3 Ensayos en un calefactor de tiro balanceado Coppens (modelo Peltre potencia 2500 kcal h⁻¹) con recuperador-mezclador-tiro. Combustible: gas natural

Condiciones	Potencia [kW]	Exceso de aire [%]	Temp. de salida de gases [°C]	Temp. frontal promedio [°C]	Composición a la salida			Eficiencia [%]
					O ₂ [%V/V]	CO ₂ [%V/V]	CO [ppm]	
T _{amb} =20°C, p _{GN} =16mbar (regulada)	2.92	25	145.3	317	5.0	9.3	0	86.8
	2.64	37	152.7	300	6.1	8.4	0	85.8
	2.56	41	150	293	6.5	8.2	0	85.7
	1.01	267	100	167	15.6	3.1	0	82.0

En la Figura 2 se muestra una comparación de la performance de los 3 sistemas analizados (calefactor en su configuración original, calefactor-recuperador-mezclador y calefactor-recuperador-mezclador con tiro aumentado 15 cm) conforme se modifica la potencia térmica. En la misma se puede alcanzar una mejor visualización de los resultados obtenidos. Resulta interesante apreciar que no sólo se alcanza una mejora significativa sino que, adicionalmente, se consigue una eficiencia mucho menos dependiente de la potencia, tanto sea agregando el recuperador-mezclador solamente como aumentándole el tiro.

CONCLUSIONES

En este trabajo se analiza la posibilidad de utilizar un recuperador de calor de diseño *ad hoc* para precalentar el aire de ingreso a un calefactor a gas de tiro balanceado con conductos de entrada/salida independientes, empleando los gases de salida producto de la combustión. Como primer resultado significativo de los ensayos se observó que el calefactor funcionando en su configuración original presenta una elevada temperatura de salida de los gases de combustión (aproximadamente 240°C y 400°C a potencias mínima y máxima, respectivamente) con un exceso de aire de entre 45% a potencia máxima y valores superiores al 300% a mínima (significativamente elevados). Estos valores ponen de manifiesto la necesidad de generar propuestas para mejorar la eficiencia en estos dispositivos.

Los resultados de las experiencias realizadas con el conjunto calefactor-recuperador-mezclador en reemplazo de los conductos horizontales de entrada y salida estándar muestran un significativo aumento de la eficiencia con respecto al calefactor en su configuración original y consecuentemente, una disminución de la temperatura de los gases de salida. Además, se advierte que el aumento de la eficiencia resulta más importante cuando el calefactor opera en condiciones de potencia mínima. Por su parte, se detectó que potencia máxima el tiro no resulta suficiente para vencer la pérdida de presión ocasionada por la incorporación del recuperador detectándose cantidades significativas de CO en los gases de combustión, por lo tanto, se reportan datos hasta una potencia de 2.62 kW. Si se comparan las eficiencias reportadas para un valor de potencia algo inferior a este, de aproximadamente 2.3 kW, se concluye que el recuperador permite una mejora de alrededor de 17 puntos porcentuales. En forma similar a una potencia de 1kW (i.e., llama mínima), se registra una mejora de más de 23 puntos.

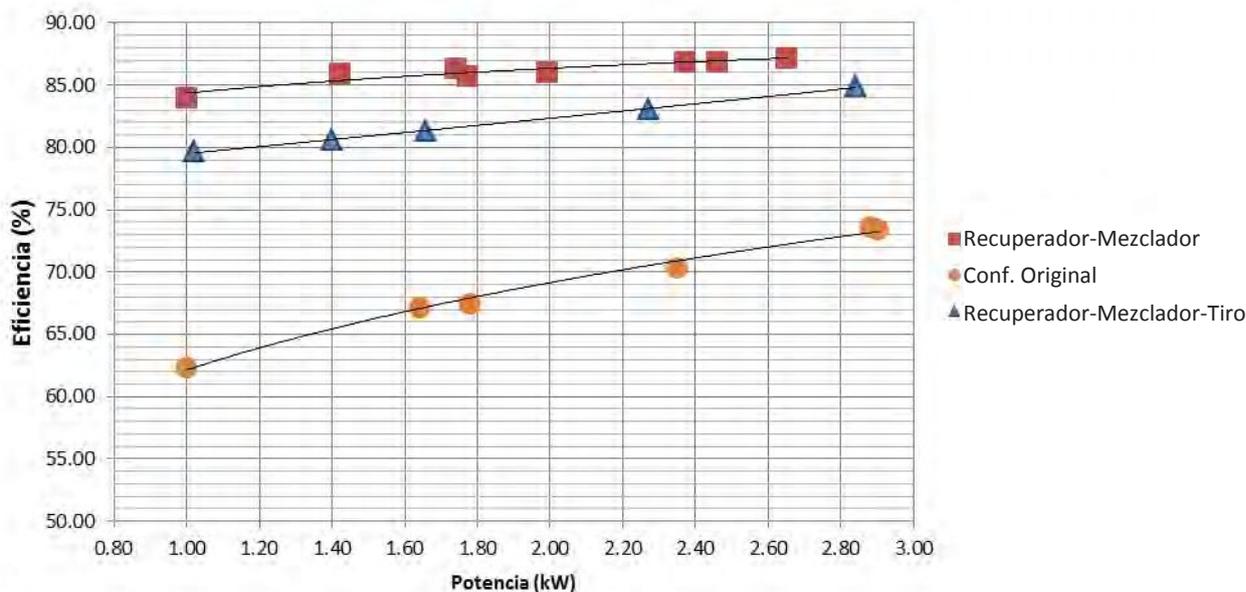


Figura 2. Eficiencia térmica vs potencia medida

Para resolver la limitación encontrada se ensayó el esquema recuperador-mezclador pero incorporándole un conducto vertical de 15 cm que incrementa el tiro. Los datos obtenidos muestran que de esta forma se logra eliminar el CO en los gases de salida en condiciones de potencia máxima, permitiendo que el calefactor pueda funcionar en todo el rango operativo disponible. El aumento en la eficiencia resulta altamente significativo, alcanzado 21 y 14 puntos porcentuales a potencias mínima y máxima, respectivamente.

Se concluye que se ha demostrado la factibilidad del uso de recuperadores de calor para mejorar la eficiencia energética en calefactores a gas de tiro balanceado con conductos de entrada/salida independientes y se ha puesto de manifiesto su impacto significativo sobre la reducción del consumo de gas natural para calefacción.

Agradecimientos

Los autores agradecen el aporte de las siguientes instituciones Argentinas: ANPCyT-MINCYT (PICT'16 - 3546), CONICET (PIP 0018) y UNLP (PID I226). N. J. M. y G. F. B. son investigadores del CONICET.

BIBLIOGRAFÍA

Gastiarena M., Fazzini A., Prieto R., Gil S. Gas vs Electricidad. Uso de la energía en el sector residencial. Petrotecnia, abril, 2017, pp. 50-60.

NAG 315 – ENARGAS – Ente Nacional Regulador del Gas (2015).

Keegan S. D., Pereiras R. F., Mariani N. J., Barreto G. F. Utilización de un recuperador de calor en calefactores a gas de tiro balanceado. Ensayos en modelos comerciales. 3eras Jornadas de Investigación, Transferencia y Extensión. Universidad Nacional de La Plata. E-Book (ISBN 978-950-34-1189-6), pp. 538-543 (2015).