

HACIA EL DISEÑO TÉRMICAMENTE ÓPTIMO DE UN CALEFACTOR A GAS DE TIRO BALANCEADO DE APLICACIÓN RESIDENCIAL EN ARGENTINA

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

¹Dpto. 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

La climatización residencial significa una parte importante del consumo energético de los países (Jimenez Mori y Yépez-García, 2020). Específicamente en referencia al rubro calefacción puede afirmarse que, en nuestro país, son los calefactores a gas de tiro balanceado uno de los dispositivos mayoritariamente escogidos, en virtud de la seguridad que ofrecen, del ambiente confortable que generan (no consumen aire del ambiente interior ni descargan los gases de combustión en el mismo) y de su precio de compra relativamente accesible. Sin embargo, como desventaja debe señalarse que, en general, las unidades comercializadas presentan una eficiencia térmica (i.e., relación entre la energía entregada al ambiente a calefaccionar frente a la energía consumida) que puede considerarse relativamente baja. En un esfuerzo por generar un incentivo a las empresas para que mitiguen esta deficiencia y brindar información a los consumidores, la norma NAG 315 (Enargas, 2015) vigente en la Argentina establece en su Anexo AC que los calefactores deben incluir un etiquetado según una eficiencia térmica ponderada conforme a un protocolo de consumo que establece un tiempo de uso a potencia máxima, mínima y piloto durante un día del periodo invernal. Así, la letra A corresponde al dispositivo más eficiente (eficiencia ponderada mayor que 71%) y la E al menos eficiente (valor inferior a 59%).

En particular, medidas realizadas en nuestro laboratorio (Mariani y col., 2021) para un calefactor de tiro balanceado a gas natural de marca Coppens (modelo Peltre Acero C25AC de potencia nominal 3 kW) arrojaron valores de eficiencia de aproximadamente de 73% para potencia máxima (2.9 kW) mientras que para potencia mínima (1 kW) los mismos se reducen hasta alrededor de 61%, resultando la eficiencia ponderada del orden de 69%. Simultáneamente, los valores de temperatura medidos en los gases de combustión a la salida del calefactor resultan relativamente elevados, de aproximadamente 390°C y 230°C para la potencia máxima y mínima, respectivamente.

De lo expuesto previamente se desprende que resulta de interés desarrollar e implementar alternativas que permitan mejorar la eficiencia de los calefactores de tiro balanceado actualmente comercializados.

En nuestro grupo de trabajo se viene trabajando en esta dirección a partir de la premisa básica de aprovechar el calor residual de los gases de combustión “calientes” que abandonan el calefactor para precalentar el aire que ingresa al mismo utilizando un intercambiador de calor externo (recuperador) de tamaño compatible con el del calefactor. En los últimos trabajos sobre este tema (e.g., Mariani y col., 2021) se presentaron resultados de valía por cuanto se ha demostrado que pueden incrementarse significativamente los niveles de eficiencia (14 puntos porcentuales a potencia máxima y de 21 a potencia mínima). No obstante, se detectó que a valores de potencia cercanos a la máxima (aprox. 2.6 kW) el precalentamiento del aire dificulta su acceso al quemador y la correcta mezcla y, simultáneamente, se produce una disminución en el tiro ocasionada por una disminución en la diferencia de densidades y por la pérdida de presión que introduce la incorporación del recuperador, fenómenos que conjugados hacen que aparezcan cantidades de CO en los gases de combustión, superiores a lo establecido en la normativa nacional.

Por esta razón en este trabajo se propone complementar el uso del recuperador de calor con el rediseño de la cámara de admisión del aire al calefactor, dotándola de aletas interiores y exteriores, de modo de permitir la máxima transferencia posible del calor recuperado al ambiente a calefaccionar y, simultáneamente, mantener el funcionamiento del conjunto en condiciones de circulación natural y seguras (sin generación de CO e inquemados). Se presentan los avances conseguidos y los resultados de los ensayos funcionamiento en distintas condiciones de operación, los cuales han resultado muy satisfactorios.

Equipamiento experimental y medidas

Los ensayos se llevaron a cabo sobre el calefactor de tiro balanceado a gas natural marca Coppens (modelo Peltre Acero C25AC de potencia nominal 3 kW) esquematizado en la Fig. 1A, el cual está equipado con conductos de entrada y salida de gases independientes. En todos los casos se realizaron ensayos a potencias mínima, intermedia y máxima, con un mínimo de 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 del calefactor (sin el gabinete exterior) en nueve posiciones distribuidas en la pared frontal (mostradas en la Fig. 1B), de modo de obtener un valor representativo del promedio de la misma. Para llevar adelante las medidas de temperatura se emplearon termocuplas de tipo K (las ubicadas sobre la pared frontal cuentan con acople magnético) conectadas a 2 adquirentes de datos USB-TEMP (Measurement Computing Corp.) de 8 canales (cada uno).

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

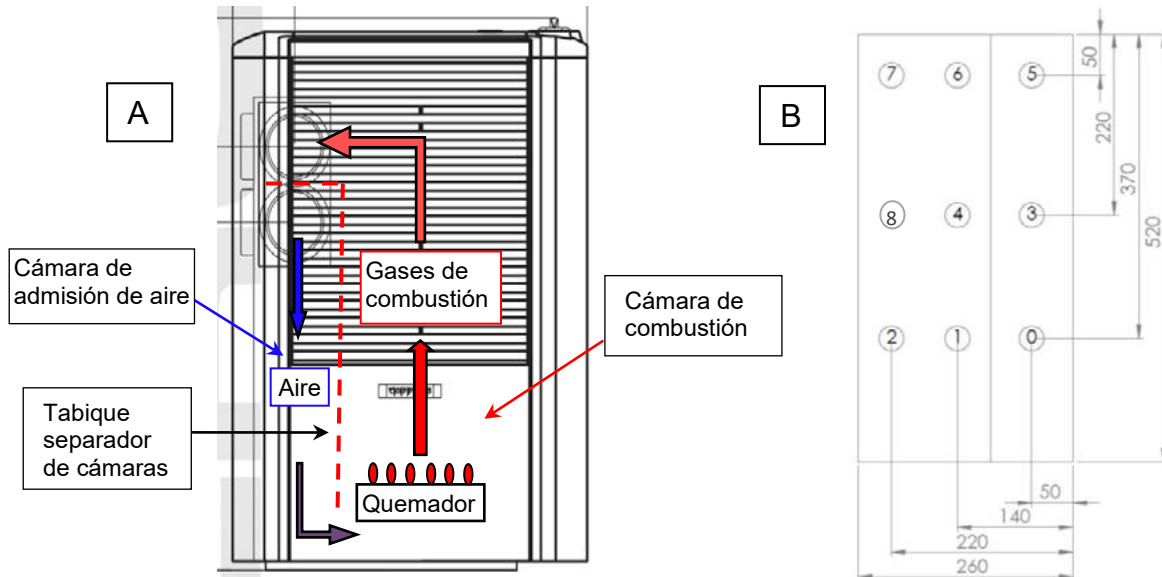


Figura 1: (A) Vista frontal del calefactor Coppens modelo Peltre Acero C25AC (cámaras de admisión y combustión y esquema de circulación de fluidos)
(B) Posición de las termocuplas (en mm) en la pared frontal (calefactor sin gabinete exterior).

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 natural alimentado al calefactor se utilizó un regulador Tonka RT 031 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.

Rediseño de la cámara de admisión de aire al calefactor

Los quemadores de tipo atmosférico, usualmente empleados en los calefactores a gas como el aquí estudiado, se consideran de tipo mixto, es decir, el aire utilizado en la combustión proviene de dos fuentes: una primaria o de pre-mezcla y una secundaria o de difusión. Namkhat y Jugjai (2010) realizaron una serie de experiencias para analizar la variación en la aireación primaria en un quemador atmosférico de un artefacto a gas para diferentes temperaturas de ingreso del aire al mismo (entre 50°C y 300°C) y encontraron que a 300°C la cantidad de aire primaria disminuye un 33% respecto a la obtenida sin precalentamiento. Por otra parte, el precalentamiento del aire también disminuye la fuerza impulsora para la circulación natural en el calefactor, dado que la diferencia entre las densidades promedio del aire y de los gases de combustión disminuye y, por lo tanto, también disminuye la aireación secundaria. Por lo expuesto, es claro que resulta necesario mantener acotada la temperatura del aire de ingreso al quemador porque de lo contrario disminuirá la aireación y se correrán riesgos de generación de inquemados, como se ha probado que sucede. Simultáneamente, el enfoque planteado en este y en trabajos previos del grupo (e.g., Mariani y col., 2021) se basa en la premisa de aumentar la eficiencia del calefactor a través del precalentamiento del aire de ingreso al mismo con los gases de combustión, en consecuencia, para conjugar ambas necesidades resulta indispensable rediseñar la cámara de admisión de aire al calefactor. En una primera etapa, es necesario desacoplarla térmicamente de la cámara de combustión (observar en la Fig. 1A que comparten la pared frontal -también la posterior- y que existe también un contacto térmico indirecto a través del tabique las separa) y, en una segunda, dotarla de la máxima capacidad de transferencia de calor al ambiente a calefaccionar. El escenario óptimo sería que el máximo calor recuperado por el aire de los gases de combustión en el intercambiador externo (recuperador) pueda ser transferido al ambiente a calefaccionar en la cámara de admisión rediseñada previo al ingreso del aire al quemador.

El rediseño se llevó adelante siguiendo las dos etapas indicadas, es decir, primero se separó la cámara de admisión y, luego, se le incorporaron 32 aletas internas y 32 externas de chapa galvanizada de 10.5 cm de longitud, 3.8 cm de altura promedio y 0.8 mm de espesor, conforme se muestra en la Fig. 2 A y B-C, respectivamente.

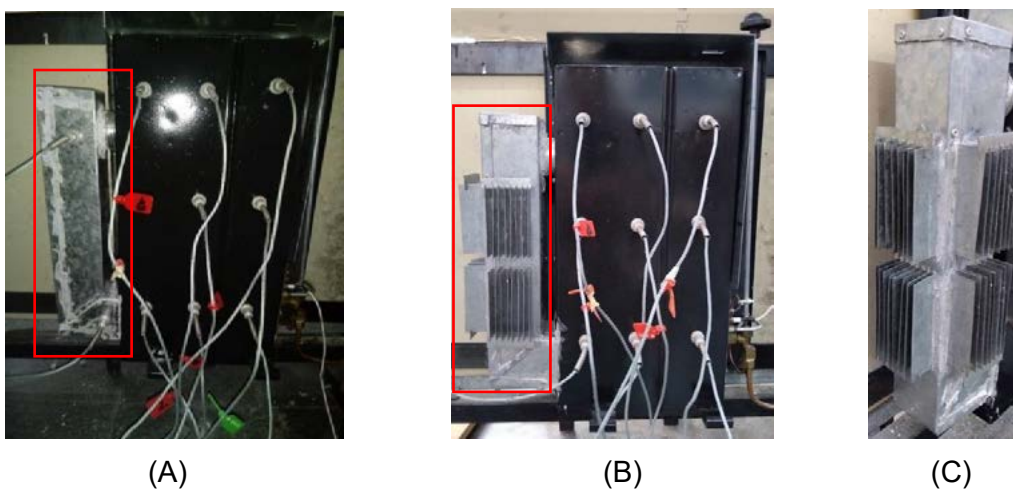


Figura 2: (A) Fotografía vista frontal del calefactor Coppens sin gabinete exterior con la cámara de admisión de aire modificada (rediseñada).
 (B) Idem, cámara de admisión de aire modificada con aletas incorporadas y (C) detalle del aletado

Resultados de los ensayos de funcionamiento

Tal como se discutió en el apartado 3 se plantea analizar el impacto en el funcionamiento y la eficiencia del calefactor, del rediseño de la cámara de admisión con el propósito de incrementar el tiro y evitar la formación de CO a potencia máxima al momento de incorporar el recuperador de calor. En primer término, se analiza el efecto de la modificación de la admisión para el calefactor operando sin el recuperador y, luego, para el conjunto calefactor-recuperador de calor. En cada caso, se hacen comparaciones con la configuración análoga, pero sin la modificación de la admisión.

Serie de ensayos para el calefactor en su configuración original y con la admisión modificada

En los ensayos realizados 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 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). Simultáneamente, el valor informado para la temperatura sobre la pared frontal en todas las Tablas es el promedio aritmético de todas medidas tomadas.

En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos en los ensayos de funcionamiento para el calefactor Coppens modelo Peltre Acero C25AC con la admisión modificada (Fig. 2A). Con el objetivo de extraer conclusiones de utilidad, se contrastan los mismos con los obtenidos en un trabajo anterior (Mariani y col., 2021) para el mismo calefactor funcionando en su configuración original, es decir, sin la modificación en la admisión, los cuales se reproducen en la Tabla 2.

Tabla 1. Ensayos de funcionamiento del calefactor de tiro balanceado Coppens modelo Peltre Acero 3 kW con admisión modificada (sin aletas).

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} =21°C, p _{GN} =16mbar (regulada)	2.72	72	383	244	9.4	6.5	0	70.6
	2.14	112	342	211	11.	5.3	0	69.1
	1.87	146	318	194	13.	4.5	5	67.7
	1.79	191	299	173	14.	3.8	68	65.5
	1.50	208	290	168	14.	3.6	8	64.9
	1.03	437	200	115	17.	2.0	31	61.7

Tabla 2. Ensayos de funcionamiento del calefactor de tiro balanceado Coppens modelo Peltre Acero de 3 kW en su configuración original (Mariani y col., 2021).

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°	2.94	45	395	295	7.0	7.9	0	73.0
C,	2.50	87	366	259	10.2	6.0	0	70.1
p _{GN} =16m	2.26	94	353	248	10.8	5.8	0	70.0
bar	1.77	168	315	205	13.7	4.2	0	66.1
(regulada)	1.09	334	238	149	16.6	2.5	0	61.3

De la comparación entre las Tablas 1 y 2 puede afirmarse que las temperaturas de salida de los gases de combustión para el calefactor con la admisión modificada resultan algo inferiores, en particular, a las potencias más bajas, mientras que simultáneamente el exceso de aire es algo mayor. Por su parte, en línea con los hallazgos anteriores, puede afirmarse que los valores de eficiencia registrados en las Tablas 1 y 2 resultan similares, muy ligeramente inferiores para el caso de admisión modificada.

Adicionalmente, se observa en la Tabla 1 la aparición de una mínima cantidad de CO a potencias bajas (hasta aprox. 2 kW) para el calefactor con la admisión modificada. No obstante, este valor se encuentra apreciablemente por debajo del máximo permitido (200 ppm) de acuerdo a la norma NAG 315 (apartados 6.7.1 y 7.7.1), a la vez que, a potencias superiores a 2 kW no se detectó CO.

Por último, se evidencia que la temperatura promedio en la pared frontal para las diferentes potencias ensayadas potencias es menor (entre aprox. 30°C y 50°C para potencia mínima y máxima, respectivamente) para el calefactor con la admisión modificada. Esto se explica por el hecho de haber agregado área al dispositivo a los fines de la transferencia de calor hacia el ambiente a calefaccionar.

Puede concluirse que la modificación de la admisión no altera significativamente el funcionamiento del calefactor.

Serie de ensayos para el conjunto calefactor-recuperador y para el conjunto calefactor con la admisión modificada incluyendo aletas-recuperador

En la Tabla 3 se presentan los resultados alcanzados en los ensayos de funcionamiento para el conjunto calefactor Coppens modelo Peltre Acero C25AC con la admisión modificada incluyendo aletas y el recuperador de calor y, paralelamente, en la Tabla 4 se reproducen a fines comparativos los valores obtenidos para el conjunto calefactor (sin modificaciones)-recuperador (Mariani y col., 2021).

Tabla 3. Resultados de los ensayos de funcionamiento del conjunto calefactor de tiro balanceado Coppens modelo Peltre Acero 3 kW con admisión modificada aletada-recuperador de calor

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} =21°C, p _{GN} =16mbar (regulada)	2.68	22	171	253	4.1	9.6	0	85.5
	2.54	29	169	249	5.1	9.0	0	85.4
	2.30	39	156	238	6.4	8.3	0	85.5
	1.83	74	144	215	9.5	6.5	0	84.8
	1.37	125	131	181	12.2	5.0	0	83.9
	1.09	189	116	164	14.2	3.8	9	83.2

Tabla 4. Resultados de los ensayos de funcionamiento del conjunto calefactor de tiro balanceado Coppens modelo Peltre Acero 3 kW-recuperador de calor (Mariani y col., 2021).

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)	2.67	11	156	305	2.0	10.7	390-450	-
	2.62	12	146	295	2.4	10.5	70-110	87.0
	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

De la comparación entre los valores informados en las Tablas 3 y 4 se desprende que la modificación de la cámara de admisión con el agregado de aletas asegura el correcto funcionamiento del conjunto sin la aparición de CO ni inquemados, con un exceso de aire apreciablemente mayor para los valores de potencia máximos (i.e., mayores que 2.3 kW). Por otro lado, puede advertirse que las eficiencias son similares en ambos casos (levemente inferiores para el conjunto con la admisión modificada). Este resultado se traduce en que respecto al calefactor funcionando en su configuración original “de fábrica” (Tabla 2) se ha conseguido una mejora de 22 puntos porcentuales para la potencia mínima (aprox. 1.1 kW) y de 15 para un valor de potencia cercano a la máxima (aprox. 2.5 kW).

Conclusiones

El este trabajo se presentan los avances recientes en el desarrollo de la propuesta de mejorar la eficiencia de los calefactores a gas de tiro balanceado a través de la incorporación de un recuperador de calor externo que permite aprovechar la entalpía de los gases de combustión para precalentar el aire de ingreso.

En trabajos previos (e.g., Mariani y col. 2021) se puntualizaron y discutieron las limitaciones a la recuperación de energía asociadas a la aparición de CO en los gases de salida (en cantidades superiores al máximo establecido por la normativa), cuando se opera un calefactor de tiro balanceado (Coppens Peltre Acero de 3kW) equipado con un recuperador de calor a potencias cercanas al máximo. Tales limitaciones se vinculan, por un lado, a la restringida capacidad del quemador para funcionar apropiadamente si se alimenta aire precalentado y, por otro, a la simultánea disminución de la fuerza impulsora para la circulación natural por el precalentamiento y a la pérdida de presión adicional asociada a la incorporación del recuperador.

En este contexto, se plantea como solución a esta limitación el rediseño de la cámara de admisión de aire del calefactor, con el doble objetivo de: minimizar el contacto térmico (indirecto) entre la corriente de aire de entrada y la de gases de combustión de salida y maximizar velocidad de transferencia de calor desde la misma al ambiente a calefaccionar.

En primer término, se diseñó una modificación de la cámara de admisión independizándola de la de combustión, que se dispone a uno de los lados del calefactor. Se comprobó que con esta modificación el calefactor funciona correctamente en todo el rango de potencias y, de manera similar a la configuración “de fábrica”. En segundo término, se le incorporaron aletas al conducto de admisión modificado que permiten aumentar el área (lisa) del mismo en aproximadamente 4 veces a los fines de incrementar la velocidad de transferencia de calor al ambiente. Se realizaron una serie de ensayos para el conjunto calefactor con la cámara de admisión modificada con aletas-recuperador, los cuales mostraron que se presenta un funcionamiento correcto del sistema, no registrándose la presencia de CO a potencia máxima y manteniendo en valores similares el nivel de mejora en la eficiencia en comparación con el conjunto calefactor (sin modificación alguna)-recuperador. Además, se registró un incremento en el exceso de aire para el conjunto calefactor con la cámara de admisión modificada con aletas-recuperador, lo que abre una ventana para seguir

mejorando los dispositivos de intercambio con el objetivo de realizar un aprovechamiento aún mayor de la entalpía de los gases de salida del calefactor y de mejorar más la eficiencia.

Agradecimientos

Los autores agradecen el aporte de las siguientes instituciones Argentinas: CONICET (PIP 2005) y UNLP (PID I226). N. J. M. y G. F. B. son investigadores del CONICET.

Bibliografía

Jimenez Mori R., Yépez-García A. ¿Cómo consumen energía los hogares? Evidencia de América Latina y el Caribe. Banco Interamericano de Desarrollo (2020). <http://doi.org/10.18235/0002874>

Mariani N. J., Keegan S. D., Barreto G. F. Improving the thermal efficiency of balanced flue gas space heaters currently marketed in Argentina. *Energy for Sustainable Development* 64 (2021) 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2021.06.006>

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

Namkhat A., Jugjai S. Primary air entrainment characteristics for a self-aspirating burner. Model and experiments. *Energy* 35 (4) (2010) 1701–1708. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.12.020>