

UTILIZACION DE UN RECUPERADOR DE CALOR EN CALEFACTORES A GAS DE TIRO BALANCEADO. ENSAYOS EN MODELOS COMERCIALES

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

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

²CINDECA, CCT La Plata, CONICET

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

Palabras Clave: calefactores de tiro balanceado, eficiencia térmica, recuperación de calor.

1. Introducción

En general, el consumo residencial representa una parte significativa de los requerimientos energéticos de los países siendo el rubro calefacción uno de los más importantes. En Argentina el sistema de calefacción domiciliaria mayoritariamente utilizado son los calefactores de tiro balanceado. De acuerdo a información consignada en las estadísticas de productos industriales elaborada mensualmente por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [1], la producción promedio anual de calefactores a gas en la Argentina entre los años 2003 y 2012 es de 358,000 unidades. Considerando que aproximadamente el 60% de las mismas son de tiro balanceado resultan 215,000 unidades anuales [2].

Los calefactores de tiro balanceado son elegidos fundamentalmente por razones de confort y seguridad, ya que no consumen aire del ambiente ni descargan los gases de combustión en el mismo. Su principio de funcionamiento se basa en la circulación natural de los fluidos por diferencia de densidades: los gases de combustión calientes abandonan el calefactor mientras que el aire frío proveniente del exterior de la vivienda (más denso) ingresa a la misma. Sin embargo, la eficiencia térmica (definida como energía entregada al ambiente a calefaccionar frente a la energía consumida) de las unidades comercializadas en la actualidad dista considerablemente de ser óptima. La norma vigente en la Argentina [3] prevé una eficiencia no inferior a 65% (calefactores cuya potencia sea inferior a 5000 kcal h⁻¹) ó 70% (calefactores cuya potencia sea superior a 5000 kcal h⁻¹) para operación a caudal térmico nominal (i.e., llama o potencia máxima), presión normal de ensayo y conductos de entrada de aire y salida de gases de combustión en un ambiente calmo, mientras que para operación a llama mínima, el valor no debe ser inferior a 50%. No obstante, en general, los fabricantes no informan valores de eficiencia.

A pesar de su uso extendido y su madurez como producto en el mercado (se comercializan en la Argentina hace más de 50 años), la información disponible en la literatura abierta referida a la evaluación del funcionamiento térmico y fluidodinámico de estos artefactos resulta llamativamente escasa; sólo pueden contabilizarse una serie de trabajos relativamente recientes [4, 5]. En el trabajo de Juanicó [4] se reportan medidas de eficiencia térmica realizadas para una marca de calefactor en particular que para el sistema de evacuación de gases más frecuente (tubos concéntricos horizontales), se encuentran alrededor del 60%. Estos valores, ya sean los establecidos por la norma o los medidos, resultan particularmente bajos si se lo compara con otros sistemas de calefacción domiciliarios que utilizan gas como combustible, como las calderas de agua caliente que pueden alcanzar rendimientos de hasta 90% [6]; como contrapartida, los costos de adquisición e instalación de estos últimos resultan varias veces superiores para calefaccionar una habitación del mismo volumen. Otro aspecto a considerar respecto al funcionamiento de los calefactores de tiro balanceado es que en condiciones de operación a potencia máxima, las temperaturas de salida de los gases de combustión pueden resultar considerablemente elevadas (valores cercanos o superiores a los 400°C [4, 5]).

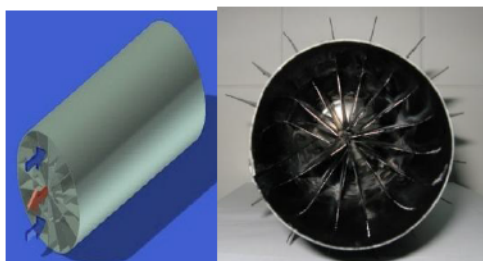
Se evidencia claramente el impacto francamente negativo que presenta el empleo de calefactores de tiro balanceado comercializados en la actualidad desde dos puntos de vista. Uno de ellos está referido a la utilización racional de los recursos naturales. El otro aspecto resentido se relaciona a las altas temperaturas de descarga de los gases producto de la combustión mencionadas anteriormente, las cuales configuran ciertamente una fuente de contaminación de tipo térmica.

De lo expuesto se concluye que resulta de máximo interés el análisis de alternativas que mejoren la eficiencia de los calefactores de tiro balanceado. En este trabajo se explora la posibilidad de emplear distintos prototipos de recuperador de calor que permiten aprovechar la entalpía de los gases de combustión calientes que abandonan el calefactor para precalentar el aire que ingresa a la misma. Se

presentan los detalles de los recuperadores de calor diseñados y los resultados alcanzados experimentalmente a partir de su implementación en un calefactor de tiro balanceado.

2. Diseño del recuperador de calor

Como se mencionara en la sección anterior se diseñaron y construyeron distintas alternativas de recuperadores de calor con microcanales rectilíneos. En todos los casos, se estableció como premisa el funcionamiento por circulación natural del conjunto calefactor-recuperador y que el tamaño del recuperador resulte acorde al del calefactor. En las Figuras 1, 2 3 se presentan fotos y detalles de los mismos.



Prototipo 1

Diámetro del tubo interno: 7.5 cm

Diámetro del tubo externo: 15 cm

16 aletas longitudinales (chapa galvanizada) internas y externas de 3.65 cm de altura, 22 cm de largo y 0.05 cm de espesor.

Figura 1. Esquema y fotografía del Prototipo 1.



Prototipo 2

Diámetro tubo externo: 15 cm

Diámetro tubo interno: 12 cm

26 aletas longitudinales (chapa acero AISI 1010 –espesor 2 mm) internas de 6 cm de altura y externas de 1.5 cm de altura, ambas de 30 cm de largo.

Figura 2. Fotografía del Prototipo 2



Prototipo 3

Diámetro tubo externo: 15 cm

Diámetro tubo interno: 12 cm

3 conjuntos de 31 aletas longitudinales (chapa galvanizada –espesor 0.5 mm) internas de 6 cm de altura y externas de 1.5 cm (externas) todas de 8.7 cm de largo.

Figura 3. Fotografía del recuperador de calor Prototipo 3

3. Equipamiento experimental y medidas

Las experiencias para evaluar el funcionamiento de los calefactores a gas de tiro balanceado se realizaron sobre el modelo Emege Patagonia 9030 GN que tiene una potencia de 3000 kcal h^{-1} (3,5 kW). Los ensayos experimentales fueron realizados a potencias mínima y máxima, con (al menos) 5 repeticiones en cada caso. Para cada ensayo se siguió un protocolo experimental permitiendo primeramente que el sistema alcance el estado estacionario para luego realizar las medidas, repitiéndolas durante el tiempo de duración del ensayo. Las variables medidas fueron: temperatura y humedad del aire ambiente, 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. 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) con conexión USB a una computadora personal. Cabe aclarar que la medida de temperatura sobre la pared frontal de la cámara de combustión (en realidad, se pretende el campo) resultó, en cierta forma, dificultosa por presentar la chapa que constituye la pared frontal poca rigidez, ocasionando que el contacto mecánico con la punta de la termocupla no resulte adecuado, en particular, cuando se emplean termocuplas convencionales para superficies. Se optó por utilizar sondas de tipo magnético marca Testo con una fuerza de adhesión de 20N que permiten un excelente contacto con la superficie a medir. Se corroboró que empleando estas sondas las temperaturas registradas resultaban notablemente más elevadas que con las termocuplas convencionales para la misma ubicación. La temperatura y humedad del ambiente donde se encuentra el equipo experimental se midieron con un termo-higrómetro digital. 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). Paralelamente, se empleó un analizador de gases de marca GasCheck equipado con sensores para medir hidrocarburos no quemados, NO_x y CO_2 , además de CO y O_2 . Se observó una muy buena concordancia entre las medidas realizadas con ambos equipos para CO y O_2 . En los ensayos realizados no se detectaron cantidades significativas de hidrocarburos no quemados y al NO_x .

4. Resultados

Las medidas realizadas incluyen: calefactor en su configuración original, conjunto calefactor-recuperador de calor en posición horizontal en reemplazo de los conductos de entrada y salida de gases estándar y, finalmente, conjunto calefactor-recuperador de calor en posición vertical elevando el tiraje en 45 cm.

4.1 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) se empleó el sistema de conductos horizontales concéntricos para la entrada de aire y la 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 en el centro del conducto interno (salida de los gases de combustión) a un diámetro (del conducto interno) de la salida, de acuerdo a la norma europea EN 613 y a la versión revisada de norma Argentina NAG 315 (que se encuentra para su aprobación).

En las primera medidas realizadas se detectó que cuando la presión de la línea de gas natural superaba los 18 mbar (presión estándar de funcionamiento acuerdo a la normativa Argentina) en más de un 15-20% comenzaba a aparecer CO a la salida en cantidades significativas. Por esta razón se decidió incorporar un regulador de presión para el gas natural al ingreso al calefactor. Cabe aclarar que otros modelos de calefactor comercializados cuentan con este dispositivo como accesorio de fábrica.

La Tabla 1 muestra los resultados obtenidos, en promedio, para el calefactor funcionando con el regulador de presión incorporado. La potencia reportada es la que surge de medir el consumo de gas natural (volumen) a intervalos regulares durante los ensayos y considerar el poder calorífico superior (9538 kcal m^{-3}) informado a por la compañía distribuidora de gas (Camuzzi Gas Pampeana).

La incorporación del regulador de presión hace que la presión de alimentación disminuya ligeramente (hasta 16 mbar) respecto de la presión normal de operación que es 18 mbar; esta circunstancia conduce a que la potencia máxima "efectiva" desarrollada por el calefactor resulte algo inferior (3,0-3,2 kW) a la especificada por el fabricante (3,5 kW). Respecto a la operación a potencia mínima se aclara que el rango de potencias, y por ende del resto de los valores, reportado en la Tabla 1 no implica incertidumbre sino que se refiere a los valores extremos máximo y mínimo medidos para esta condición. De los resultados reportados en la Tabla 1 se desprende que el calefactor opera con un exceso de aire razonable (ligeramente 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 de hidrocarburos no quemados ni CO en cantidades significativas.

Los valores máximos de temperatura medidos sobre la pared frontal del calefactor resultan $420-430^\circ\text{C}$, produciéndose en la región del centro de la pared frontal de la cámara de combustión sobre la llama.

Resulta importante aclarar que se detectó experimentalmente una fuerte asimetría en la distribución de los flujos en la sección transversal de los conductos de entrada y salida, los gases de combustión tienden a circular por la parte superior de conducto interno mientras que el aire lo hace básicamente por la parte inferior del ánulo. En la sección transversal del tubo interno se registraron diferencias de temperatura de consideración, no obstante, se verificó que el valor medido en el centro del tubo, conforme lo establece la versión revisada de la norma NAG 315, puede considerarse representativo de la temperatura media de salida de los gases de combustión. A los fines de obtener la eficiencia térmica del calefactor se empleó este valor medido de la temperatura de salida de los gases, resultando la misma ligeramente superior al 70% y del orden de aproximadamente 60% a potencias máxima y mínima, respectivamente.

Tabla 1. Ensayos en un calefactor de tiro balanceado Emegé – mod. 9030 TB Patagonia de 3,5 kW. Conductos concéntricos de entrada y salida. Combustible: gas natural

Condiciones	Potencia [kW]	Exceso de aire	Temp. de salida de gases [°C]	Composición a la salida		
				O ₂ [%V/V]	CO ₂ [%V/V]	CO [ppm]
T _{amb} =20°C, p _{GN} =16mbar (regulada)	3,0-3,2	17-32%	380-405	3,4-5,5	8,5-10,0	1
	1,1-1,8	230-380%	220-295	14,0-17,0	2,2-3,9	5

4.2 Serie de ensayos del calefactor incorporándole los recuperadores de calor

Se realizaron una primera serie de ensayos para el conjunto calefactor-recuperador de calor (usando el Prototipo 1) en posición horizontal en reemplazo de los conductos de entrada de aire y salida de gases de combustión estándar. La sonda de toma de muestras de gases de combustión y medida de la temperatura de los mismos, se ubicó a la salida del recuperador de calor.

Para operación a potencia máxima se registró una cantidad significativa de CO (superior a 0,4%) y de hidrocarburos no quemados y prácticamente nula cantidad de O₂ en los gases de combustión. Resulta claro que estos hallazgos tienen relación directa con el hecho de que el tiro natural generado no es suficiente para vencer la pérdida de presión ocasionada por la incorporación del recuperador, conduciendo a que el sistema calefactor-recuperador horizontal responda disminuyendo el caudal de aire que ingresa, respecto al calefactor funcionando sin el recuperador, hasta el punto en que el mismo queda en defecto. Adicionalmente, si bien al generarse el intercambio térmico entre ambas corrientes con el recuperador de tubos aletados se produce una uniformización tanto del flujo como de la temperatura en la sección transversal del recuperador, la misma resulta insuficiente para corregir la fuerte no uniformidad inherente a la posición horizontal, conduciendo a un desaprovechamiento del área disponible para la transferencia de calor y de las secciones transversales para la circulación de los fluidos.

4.2.a.- Recuperador en posición vertical. Prototipo 1

El hecho de que el calefactor original no tenga un tiraje apropiado, sumado a la distribución asimétrica del flujo, motivaron la implementación de la alternativa de ubicar el recuperador en posición vertical elevando el tiraje del sistema en 45 cm. Los resultados presentados en la Tabla 2 muestran que para esta alternativa no se detecta la presencia, en cantidades significativas, de CO ni de hidrocarburos no quemados. Simultáneamente, puede apreciarse que para la condición de potencia máxima ha podido disminuirse la temperatura de salida de los gases de combustión en, aproximadamente, 200°C respecto al calefactor funcionando sin recuperador (Tabla 1), lo cual implica un nivel de recuperación entálpica elevado (alrededor de 50%), aún considerando que el exceso de aire es ligeramente superior para la alternativa calefactor-recuperador vertical dado que se ha incrementado el tiraje en 45 cm.

Tabla 2. Ensayos para el conjunto calefactor de tiro balanceado Emegé – mod. 9030 TB Patagonia de 3,5 kW y Prototipo 1 de recuperador de calor en posición vertical (tiraje total del sistema 82 cm).

Condiciones	Potencia [kW]	Exceso de aire	Temp. de salida de gases [°C]	Composición a la salida		
				O ₂ [%V/V]	CO ₂ [%V/V]	CO [ppm]
T _{amb} =15°C, p _{GN} =16mbar (regulada)	3,0	36%	194	6,0	8,5	1
	1,4	250%	144	15,5	3,15	1

Este comportamiento tiene su correlato en un incremento de entre 10 y 15°C en los valores de temperatura de la pared frontal de la cámara de combustión. Por su parte, los ensayos a potencia mínima mostraron un nivel de recuperación entálpica similar, el cual puede considerarse aceptable. Cabe aclarar que en esta disposición, el conducto externo de entrada de aire debe estar aislado para evitar las pérdidas de calor al aire ambiente.

4.2.b.- Recuperador en posición vertical. Prototipo 2

En función de los resultados obtenidos con el Prototipo 1 se estudió la posibilidad de utilizar un recuperador de similar diseño pero con un área de intercambio significativamente mayor (mayor número de aletas del intercambiador) y simultáneamente una mayor sección de flujo para los gases de combustión, de modo de disminuir la pérdida de carga. Los resultados se muestran en la Tabla 3 donde se observa que la temperatura de salida de los gases de combustión presenta un valor ligeramente superior al obtenido con el Prototipo 1 en condiciones de potencia máxima. Por el contrario, para potencia mínima la temperatura de salida resulta apreciablemente menor; lo cual puede responder, en parte a una mayor transferencia de calor y, en parte, al mayor exceso de aire. El Prototipo 2 se construyó con aletas de tipo continuo, y a su vez, con chapa de un espesor relativamente grande, en estas condiciones, cobra relevancia la conducción térmica axial en las aletas que tiende uniformizar la temperatura y, por ende, a disminuir la fuerza impulsora efectiva para transferencia de calor. Esta es una de las razones por las que el aumento de área de intercambio no resulta en una mayor recuperación de calor.

Tabla 3. Ensayos en un calefactor de tiro balanceado Emegé – mod. 9030 TB Patagonia de 3,5 kW. Prototipo 2 en posición vertical (tiraje total del sistema 82 cm).

Condiciones	Potencia [kW]	Exceso de aire	Temp. de salida de gases [°C]	Composición a la salida		
				O ₂ [%V/V]	CO ₂ [%V/V]	CO [ppm]
T _{amb} =25°C, p _{GN} =16mbar (regulada)	3,0	36%	200	6,0	8,6	25
	1,4-1,5	330%	100	16,5	2,5	8

4.2.c.- Recuperador en posición vertical. Prototipo 3

En función de corregir la limitación del Prototipo 2 señalada en la sección 4.2.b se propuso el Prototipo 3, el cual se construyó empleando un espesor significativamente menor y seccionando las aletas en tres partes, de esa forma, se minimiza la transferencia por conducción en el sentido axial. Asimismo, y con la idea de mantener la misma área de intercambio que para el Prototipo 2, se incrementó ligeramente el número de aletas. Los resultados de los ensayos empleando el Prototipo 3 se presentan en la Tabla 4, de la cual se desprenden las siguientes observaciones. Las temperaturas de salida se incrementaron significativamente, tanto a potencia máxima como potencia mínima, respecto del Prototipo 2. Lo cual representa un resultado contrario al esperado porque significa una menor eficiencia de intercambio. Este resultado es en cierta forma sorprendente; no obstante, el mismo puede tener lugar en el caso de que la etapa limitante para incrementar la recuperación de energía no sea el intercambio de calor en el recuperador, sino la transferencia desde el calefactor hacia el ambiente. Para verificar si cabía tal posibilidad se realizaron una nueva serie de ensayos con el mismo Prototipo 3 pero con el calefactor y, por ende, la cámara de admisión de aire (precalentado) ubicada en la parte posterior del calefactor, separado 5 cm de la pared de soporte, de forma tal de permitir la transferencia de calor al medio a través de la misma. Los resultados presentados en la Tabla 5 muestran una significativa disminución de las temperaturas de salida de los gases de combustión respecto de las mostradas en la Tabla 4. Se concluye, entonces, que si bien el Prototipo 3 permite mejorar el intercambio térmico entre ambas corrientes, incrementando la temperatura del aire, el calefactor no logra transferir esta energía al medio ambiente.

5. Conclusiones

Como 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 (superiores a 250°C y 400°C a potencias mínima y máxima, respectivamente) con un exceso de aire de entre 20-30% a

potencia máxima (razonable) y valores superiores al 200% a mínima (significativamente elevados). Estas medidas muestran la necesidad de generar propuestas para mejorar la eficiencia en estos dispositivos.

Primeramente en los ensayos con el conjunto calefactor-Prototipo 1 se comprobó que la alternativa de reemplazar los conductos horizontales de entrada y salida estándar con el recuperador no resulta viable por cuanto, a potencia máxima el tiro no es suficiente para vencer la pérdida de presión ocasionada por la incorporación del recuperador (se detectan cantidades significativas de CO en los gases de combustión). Sin embargo, si se ubica el recuperador aislado en posición vertical elevando el tiraje del sistema (alrededor de 45 cm) se logra disminuir la temperatura de salida de los gases de combustión en 200°C para operación a potencia máxima, lo cual implica una recuperación de entre un 40-50% de la entalpía de los mismos. En términos de eficiencia la mejora es de 7-8 puntos porcentuales.

Los Prototipos 2 y 3 presentan un área disponible para la transferencia de calor considerablemente mayor que el Prototipo 1 (i.e., muchas más aletas); la diferencia entre el 2 y el 3 estriba en el distinto espesor de la chapa (considerablemente mayor en el 2) y en que el Prototipo 2 presenta aletas de tipo continuo frente a las del 3 que son seccionadas (véase las Figs. 2 y 3). Al ensayar los Prototipos 2 y 3, aislados, en posición vertical y con un tiraje total similar al usado en el caso del Prototipo 1, se observaron para ambos, temperaturas de salida algo superiores a las obtenidas usando el 1. El comportamiento esperado hubiera sido obtener temperaturas de salida inferiores, debido a las mayores áreas disponibles para la transferencia de calor de los Prototipos 2 y 3. Sin embargo, esta situación (temperaturas de salida mayores) sí puede presentarse en el caso de que la etapa limitante para incrementar la recuperación de energía no sea el intercambio de calor en el recuperador, sino la transferencia desde el calefactor hacia el ambiente. Para corroborar esta hipótesis se realizaron una serie de ensayos adicionales con el recuperador 3 pero apartando el calefactor 5 cm de la pared con el objetivo de aumentar la transferencia por convección desde la cámara de admisión (por la que ingresa el aire que se ha precalentado) hacia el ambiente. Se consiguió una disminución significativa, aprox. 30°C, en la temperatura de salida de los gases de combustión lo cual indica que si se pretende incrementar más el nivel de aprovechamiento energético debe trabajarse re-diseñando el calefactor (e.g., incorporándole superficies extendidas) para alcanzar una mejora en la velocidad de transferencia de calor desde el calefactor al ambiente; en realidad, debería re-diseñarse el conjunto calefactor-recuperador.

Tabla 4. Ensayos en un calefactor de tiro balanceado Emegé – mod. 9030 TB Patagonia de 3,5 kW. Recuperador de calor Prototipo 3 en posición vertical (tiraje total del sistema 82 cm).

Condiciones	Potencia [kW]	Exceso de aire	Temp. de salida de gases [°C]	Composición a la salida		
				O ₂ [%V/V]	CO ₂ [%V/V]	CO [ppm]
T _{amb} =25°C, p _{GN} =16mbar (regulada)	3,0	50%	230	7,5	8,0	100
	1,4-1,5	380%	110	17	2,4	10

Tabla 5. Ensayos en un calefactor de tiro balanceado Emegé – mod. 9030 TB Patagonia de 3,5 kW. Prototipo 3 en posición vertical (tiraje total del sistema 82 cm). Calefactor separado 5 cm de la pared

Condiciones	Potencia [kW]	Exceso de aire	Temp. de salida de gases [°C]	Composición a la salida		
				O ₂ [%V/V]	CO ₂ [%V/V]	CO [ppm]
T _{amb} =25°C, p _{GN} =16mbar (regulada)	3,0	55%	195	8,0	7,0	40
	1,4-1,5	880%	102	19,0	1,4	0

Agradecimientos

Los autores agradecen el aporte de las siguientes instituciones Argentinas: ANPCyT-ENARGAS (PICTO 191), CONICET (PIP 0304) y UNLP (Proyecto 2013-2017).

Bibliografía

- [1] INDEC – Instituto Nacional de Estadísticas y Censo. Estadísticas de Productos Industriales, 2013.
- [2] CAFAGAS – Cámara Argentina de Fabricantes de Artefactos de Gas. Comunicación personal (7/2012)
- [3] ENARGAS – Ente Nacional Regulador del Gas. NAG 315, 1995.
- [4] L. Juanicó, Interciencia 32-12, 854-856 (2007).
- [5] N. Mariani, R. F. Pereiras, S. D. Keegan, G. F. Barreto. Actas del CIIM (ISSN 2344 7311), 2013.