

CONCENTRADOR PARABOLICO COMPUESTO

SUS PERDIDAS TERMICAS *

A. Fasulo, L. Odicino y D. Perelli

Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales
Universidad Nacional de San Luis
Chacabuco y Pedernera- 5700 San Luis

Resumen: Presentamos un balance energético de un concentrador parabólico compuesto (CPC) de 0,5 metros cuadrados de superficie construido con parábolas de vidrio espejadas en la primera superficie. Determinamos la pérdida térmica del CPC a través de la pérdida de calor de la masa de fluido que hacemos circular por él. El CPC es llevado previamente a un estado térmico cuasi estacionario, para cada una de las temperaturas de trabajo elegidas, entre 60°C y 150°C. En cada una de estas experiencias, medimos las temperaturas en varios puntos sobre las superficies interiores del CPC, con estos datos calculamos la distribución térmica a través de las aislaciones y las pérdidas conductivas, convectivas y radiativas.

Para disponer de un mayor número de datos para el análisis de las pérdidas radiativas y convectivas experimentamos un receptor niquelado, luego uno similar con pintura negro mate y finalmente introducimos este último dentro de un tubo de vidrio. Determinamos el rendimiento bajo radiación solar para los dos últimos dispositivos mencionados, obteniendo para el primero de estos: $\eta = 0,16$, para una temperatura media del fluido en el colector de 126°C y una temperatura ambiente de 11°C.

1 - Introducción

Recordemos brevemente los pasos seguidos en nuestro laboratorio para desarrollar un CPC. En primer término, en función de las propiedades geométricas que lo definen [1], obtuvimos la ecuación del trozo de parábola, con el cual se compone el concentrador, en función de la abertura superior A e inferior B [2].

Para construir nuestro CPC elegimos $A = 103$ mm y $b = 16$ mm con lo cual obtenemos: una concentración $C = 5,72$, un ángulo de aceptación máxima $\theta_{max} = 11^\circ$ y una altura, de las parábolas, de 34 cm.

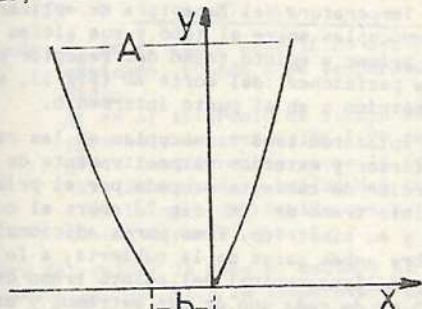


figura 1

* Trabajo parcialmente financiado por la Subsecretaría de Ciencia y Técnica de la Nación.

$$(1) \quad y = \frac{A+b}{b} \left\{ (A^2 - b^2)^{1/2} \left(1 - \frac{x}{A+b} \right) - A \left(1 - \frac{2x}{A+b} \right)^{1/2} \right\}$$

donde x e y son las coordenadas, figura 1.

Inmediatamente vimos la conveniencia de truncar el CPC. El procedimiento seguido [3] nos permitió conservando el 92% de la concentración original, reducir la masa de aire en el interior del CPC. Las parábolas quedan con 18 cm de altura.

Mediante una serie de experiencias determinamos los materiales más convenientes para construir las superficies parabólicas [2]. Empleando la ec (1) construimos superficies de: acero inoxidable pulido, chapa de hierro cromado y vidrio espejado por depósito de aluminio al vacío. Con ellas armamos tres pequeños colectores (10 cm por 40 cm de superficie de entrada para la radiación solar).

Los resultados obtenidos nos mostraron que el CPC construido con vidrio aluminizado posee un mayor rendimiento. También nos sirvió para encontrar que el procedimiento empleado para fijar las superficies parabólicas, consistente en ligarlas con perfiles metálicos o de madera a la caja que contiene las aislaciones, resulta inadecuado. Las deformaciones que sufren estos materiales, con los cambios térmicos diarios a que se encuentran sometidos, se traduce en desenfocamiento del sistema óptico.

Posteriormente, nuestra atención se fijó en mejorar el receptor, se experimentaron varios diseños [3] obteniendo resultados favorables para el reemplazo del receptor de sección circular por uno tipo triangular o por uno de sección elíptica dentro de un tubo de vidrio de sección circular ubicado por encima del plano interfocal del concentrador.

2 - CPC de vidrio

Tomada la decisión de construir las parábolas de vidrio, encargamos a una empresa metalúrgica la construcción de una matriz de acero especial, apto para trabajar a temperaturas de hasta 900°C, de 50 x 18 cm² de base y cara superior convexa trabajada por medio de una cepilladora con pantógrafo que con una precisión de 0,1 mm se ajusta a la ec. (1) en toda sección transversal.

Construimos un horno de 50x25x25 cm³ el cual calefaccionamos mediante tres circuitos eléctricos ubicados en los laterales, fondo y puerta. El control de la distribución de temperaturas, se efectuó, por medio de termocuplas y observando a través de un pequeño orificio practicado en la puerta el comportamiento de la placa de vidrio cuando entra en estado pastoso y cae sobre el molde. Las modificaciones necesarias para lograr un estricto control de este proceso se efectuaron cambiando el número de espiras y ubicación de las resistencias y los ajustes finos variando la tensión de cada circuito. Confeccionamos un programa de los pasos a seguir para el encendido y variación de la tensión de cada uno de los circuitos en función de la evolución térmica del horno.

Así construimos unas sesenta parábolas con vidrio común de 2,2 mm de espesor. Estas fueron espejadas en la primera superficie, por depósito de aluminio evaporado a baja presión por una firma de la Capital Federal.

Como solución a los problemas de inestabilidad óptica observados, experimentamos un CPC constituido por dos pares de concentradores de 10 x 50 cm² ubicados en paralelo. El colector se armó ligando mediante resinas elásticas los bordes superiores de las parábolas a la cubierta de vidrio. Estas quedan fijas en su posición correcta (18 mm de separación en la abertura inferior y eje óptico perpendicular a la cubierta superior) por medio de placas laterales de vidrio ligadas con las resinas mencionadas.

Este dispositivo fué sometido a diversas pruebas que pusieron de manifiesto que es resistente a la acción de la radiación solar y a cambios térmicos que ella genera. Así mismo se verificó que posee muy buena resistencia mecánica, a los manipuleos normales a que se le debe someter.

Siguiendo el mismo procedimiento construimos un CPC de 0,5 m² de superficie, para ello adherimos a una plancha de vidrio de 4,2 mm de espesor 20 placas parabólicas, dispuestas de forma tal que constituyen un conjunto de con-

co CPC, de 1 m de longitud cada uno, adyacentes entre sí, figura 2.

Receptor: teniendo en cuenta los resultados obtenidos en experiencias anteriores [3] construimos el receptor con un tubo de cobre de 7 mm de diámetro exterior, al cual soldamos chapas de bronce de 1 m x 18 mm y 0,5 mm de espesor. Constituyendo un dispositivo de mayor solidez, más liviano, mucho más fácil de construir y que posee iguales cualidades que el receptor de sección transversal tipo triangular experimentado [3]. Estos receptores fueron ligados mediante puntos de resinas elásticas a la base del CPC dejando uno a dos mm de separación entre el vidrio y la placa metálica, figura 2.

El CPC fué introducido en una caja metálica que posee las aislaciones térmicas: 2 cm de poliestireno expandido de baja densidad pegado a la chapa y sobre ésta una capa de 5,5 cm de lana de vidrio en la base y entre 8 cm en el extremo inferior y 4 cm en el superior de los laterales.

3 - Control Térmico del Colector

El control térmico del CPC se efectuó por medio de termocuplas conectadas a un instrumento de 40 canales con impresora de datos y uno de 50 canales intercambiables por medio de teclas y lectura visual de la temperatura correspondiente.

a) Temperatura del fluido: la temperatura del fluido se controló mediante dos juegos de tres termocuplas cada una ubicados en el interior del tubo que conduce el fluido a la entrada y salida del CPC respectivamente.

b) Temperatura sobre las parábolas: sobre una línea transversal al CPC AB (fig 2), ubicada a 25 cm del extremo que contiene la salida del colector, se aplicaron termocuplas sobre las caras exteriores de los pares de parábolas que contienen el primer y quinto tramo del colector, ver fig 2.

c) Temperatura del Receptor: se aplicaron termocuplas sobre el tubo y sus aletas en el primer y quinto tramo del receptor en las posiciones del corte AB (fig 2), su simétrico y en el punto intermedio.

Se aplicaron tres termocuplas en las caras interior y exterior respectivamente de la porción de cubierta ocupada por el primer y quinto tramo de CPC (fig 2) sobre el corte AB y su simétrico. Tres pares adicionales sobre ambas caras de la cubierta, a lo largo de la línea central del quinto tramo de CPC a 5 cm de cada uno de sus extremos y otros 50 cm de ambos. Se efectuó una distribución similar a la anterior cubriendo la cara exterior a lo largo del tercer tramo. Dos más sobre la cara exterior y a lo largo de AB en la segunda y cuarta rama. Esto se indica en la fig 2.

d) Temperatura sobre la caja que contiene las aislaciones: además de la distribución mostrada en el corte AB de la figura

(II) Instalamos a la salida del colector un tubo metálico con una buena cubierta aislante (10 cm de polipiretano de baja densidad) que posee en su interior una resistencia por la cual circula una corriente eléctrica I (Amperes). Se gradúa la tensión V (Volts) aplicada entre los extremos de la resistencia para obtener un aumento de la temperatura del fluido del orden del ΔT producido en el colector, entonces:

$$(4) P(T) = V I - P(T)$$

donde: $P(T)$ es la pérdida del tubo calefactor a la temperatura media del fluido que circula por su interior.

Cada experiencia está constituida por unas diez medidas y el resultado, $P(T)$, es el valor promedio.

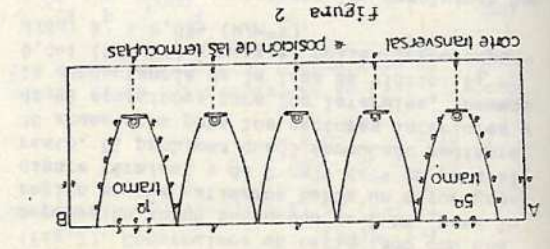
Los resultados obtenidos con (I) y (II) son coincidentes, dentro de los errores experimentales.

En la primera serie colocamos un receptor con una cubierta de níquel mate depositada por electrolisis. En la segunda serie reemplazamos el receptor por uno similar recubierto con pintura negra mate. Este colector es el que luego fue trasladado al banco de pruebas para determinar su rendimiento bajo la radiación solar.

Se armó un segundo CPC de 0,5 m² de superficie. En este se instaló sobre una región interiorcal tubos de vidrio de 25 mm de diámetro. La porción de tubo que queda por debajo de la región interiorcal fue espejada con nitrato de plata depositado sobre su superficie exterior.

El tubo se adhirió mediante resinas flexibles a la base de las parbolas.

Se introdujeron en su interior receptores similares a los empleados en la segunda serie. En este caso las termocuplas destinadas a medir la temperatura del receptor se instalaron sobre la cubierta de vidrio.



se ubicaron pares a lo largo de la quinta ranal del CPC en proyección perpendicular a los aplicados en la cubierta de vidrio. Un par adicional se puso sobre el centro de la cubierta metálica.

(e) Temperatura sobre las caras laterales de vidrio: se aplicaron tres termocuplas sobre la cara externa de uno de los laterales.

4 - Experimentos
A) Determinación de pérdidas: se efectuaron en el laboratorio, sin radiación solar. Con- sistieron en tres series dobles de medidas.

Cada serie está compuesta de siete experiencias tomadas durante la experiencia, la temperatura en el valor programado 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100, 105, 110, 115, 120, 125, 130, 135, 140, 145, 150, 155, 160, 165, 170, 175, 180, 185, 190, 195, 200, 205, 210, 215, 220, 225, 230, 235, 240, 245, 250, 255, 260, 265, 270, 275, 280, 285, 290, 295, 300, 305, 310, 315, 320, 325, 330, 335, 340, 345, 350, 355, 360, 365, 370, 375, 380, 385, 390, 395, 400, 405, 410, 415, 420, 425, 430, 435, 440, 445, 450, 455, 460, 465, 470, 475, 480, 485, 490, 495, 500, 505, 510, 515, 520, 525, 530, 535, 540, 545, 550, 555, 560, 565, 570, 575, 580, 585, 590, 595, 600, 605, 610, 615, 620, 625, 630, 635, 640, 645, 650, 655, 660, 665, 670, 675, 680, 685, 690, 695, 700, 705, 710, 715, 720, 725, 730, 735, 740, 745, 750, 755, 760, 765, 770, 775, 780, 785, 790, 795, 800, 805, 810, 815, 820, 825, 830, 835, 840, 845, 850, 855, 860, 865, 870, 875, 880, 885, 890, 895, 900, 905, 910, 915, 920, 925, 930, 935, 940, 945, 950, 955, 960, 965, 970, 975, 980, 985, 990, 995, 1000.

Cada experiencia mantiene en circulación el fluido (etilenglicol) un cierto tiempo (de 30 min. a 2 horas, según la diferencia entre la temperatura del fluido y la ambiente y del estado anterior del colector) hasta que el CPC alcanza un estado cuasi estacionario. Para determinar las pérdidas seguimos dos procedimientos aplicados simultáneamente:

(I) Mediante la relación

$$(2) P = C_m \Delta T / \Delta t$$

donde: C_m es el calor específico del fluido empleado, tomado a su temperatura promedio. Δt es el intervalo de tiempo empleado para cada determinación (120 seg.). ΔT es la diferencia entre la temperatura de entrada y salida del colector. m es la masa del fluido que pasa por el CPC durante Δt .

Para determinar la masa m , medimos el volumen acumulado en Δt y la temperatura del fluido dentro de la probeta en el momento de efectuar la lectura de V .

Entonces: $\Delta V(T)$ es el aumento de volumen del etilenglicol con la temperatura a partir de 30°C. ρ es su densidad medida a 30°C.

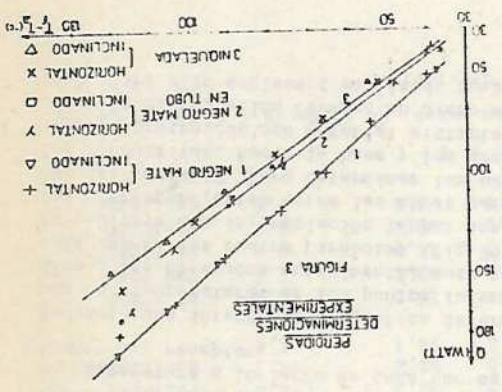


FIGURA 3
PERDIDAS EXPERIMENTALES

1 HORIZONTAL + INCLINADO
2 NEGRO MATE INCLINADO
3 HORIZONTAL + INCLINADO

4 HORIZONTAL + INCLINADO
5 NEGRO MATE EN TUBO INCLINADO
6 HORIZONTAL + INCLINADO

Todas las experiencias mencionadas se efectúan con el colector en posición horizontal y enseguida se repitieron disponiendo el colector con una inclinación de 15° con la horizontal.

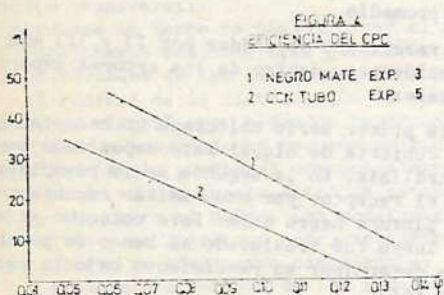
B) Determinación de la eficiencia: Procedimos en la forma descrita anteriormente [2] y [3] La eficiencia está dada por:

$$(5) \quad \eta = \frac{C_e m \Delta T}{S R \Delta t}$$

donde: R es la radiación solar incidente (Watts/m²) y S la superficie del colector (0,5 m²).

$$(6) \quad \varphi = (\bar{T}_f - \bar{T}_a) / R$$

donde: \bar{T}_f es la temperatura media del fluido dentro del colector, \bar{T}_a la temperatura ambiente.



Cada experiencia consta de unas 15 determinaciones. La lectura de las temperaturas sobre las superficies interiores y exteriores del CPC se efectuó entre la 7ª y 9ª determinación de η . En la figura 4 mostramos los datos η promedio en función de φ promedio de cada una de las experiencias efectuadas y las curvas de interpolación correspondientes para las series: receptor recubierto con pintura y receptor con pintura dentro del tubo de vidrio.

5 - Pérdidas conductivas

Mediante una cuidadosa interpolación de los datos obtenidos en las experiencias, determinamos la distribución de temperaturas en las superficies internas del CPC. Así conocemos la temperatura a lo largo de cada uno de los tramos del receptor.

Mediante una interpolación gráfica determinamos las temperaturas de los puntos intermedios a los obtenidos experimentalmente sobre cada uno de las cuatro parábolas (fig.2), luego mediante una interpolación lineal los puntos correspondientes sobre las otras parábolas del corte AE. Para determinar las pérdidas conductivas, hacia la base y los dos laterales protegidos con material aislante, buscamos la distribución térmica en dicho material. Para ello empleamos el método numérico

denominado de relajación [4]. Separamos la base en seis secciones, mediante líneas perpendiculares a la cubierta externa inferior, partiendo del centro de cada placa receptora (fig.2). Construimos un reticulado con una separación entre sus nodos de 2 mm, para la región en que estimamos había un mayor gradiente térmico, y de 2 cm y de 4 cm para el resto. El problema quedó formulado mediante 36 ecuaciones para los sectores interiores y de 41 ecuaciones para los laterales. Tomamos la conductancia de la lana de vidrio: $K_L = 0,041$ (W/m °K) y para el poliestireno expandido: $K_P = 0,034$ (W/m °K).

Los sistemas de ecuaciones los resolvimos por el método de triangulación y sustitución hacia atrás, con la ayuda de técnicas de computación.

Conocida la temperatura de cada nodo, trazamos las líneas isotérmicas. Las fig. 5 y 6 nos muestran como se distribuyen las temperaturas en las aislaciones del CPC, con receptor tratado con pintura negro mate, operando con una temperatura de entrada de 148°C sin radiación solar, en la primera. Con una temperatura de entrada de 135,4°C y radiación solar en la segunda. Elegimos estos dos casos que tienen en la primera rama temperatura similares sobre el receptor, como muestra del efecto absorbente de la radiación solar por la cubierta y las parábolas. Como se puede notar al comparar la posición de las isoterms en ambas figuras.

Conocida la distribución de temperatura en ambas caras de la placa de poliestireno expandido determinamos las pérdidas conductivas mediante la ecuación de Fourier. En la tabla 1 columna 2 presentamos los resultados obtenidos.

6 - Pérdida por los laterales de vidrio

Calculamos estas pérdidas, P_{L_v} , mediante la ley de enfriamiento de Newton:

$$(7) \quad P_{L_v} = h A_{L_v} (\bar{T}_{L_v} - \bar{T}_a)$$

donde: A_{L_v} (m²) es la superficie de la placa lateral de vidrio.

\bar{T}_{L_v} (°C) es la temperatura media de la placa.

\bar{T}_a (°C) es la temperatura media ambiente
h (W/m²°C) el coeficiente de transferencia térmica.

Para determinar h empleamos la teoría de convección natural para espacios abiertos [5].

En la tabla 1, columna 3 mostramos los resultados obtenidos.

7 - Pérdidas convectivas y radiativas

Las calculamos empleando la formulación de Raab [6]:

A) Para las pérdidas convectivas es:

$$(8) \quad P_{CONV} = \frac{B A_r}{r^{1/4}} (\Delta T_r)^{5/4} \left(T_r - \frac{\Delta T_r}{2} \right)^{-0,4}$$

donde: r (m) es el ancho del receptor (longitud característica).

A_r el área del receptor (m^2)
 B es una constante que para flujo laminar toma el valor $14,2 (W m^{-7/4} (°K)^{-0,85})$.

$T_r (°K)$ es la temperatura del receptor

$$\Delta T_r = \frac{T_r - T_v}{1+C^{-0,6}}$$

donde: $T_v (°K)$ es la temperatura de la cubierta de vidrio y C la concentración del CPC.

Para las experiencias con receptores niquelados y con pintura y teniendo en cuenta la longitud transversal efectiva del receptor empleamos $r=0,022 m$ y $C=5$; para aquellas en que el receptor está en el interior del tubo de vidrio tomamos $r=0,025$ y $C=5$ y $A_r=56\%$ del área total del tubo de vidrio.

En la tabla 1 columna 4 presentamos los valores para cada una de las experiencias.

Exp.	T_r	P	$P_{cond.}$		P_{Lv}	P_{conv}	P_{rad}	1-(2+3+4+5)	
			1	2					
1;4	54,9	41,1	10,6	2,7	21	6,1	1	RECEPTOR	
1;5	66,6	56,9	13	4,9	28,3	8,4	2,3	NIQUEL MATE	
1;6	80,5	73,2	15,8	5	38,6	11,8	2	POSICION	
1;7	93,9	90,2	20	6,9	46,5	15	1,9	HORIZONTAL	
1;8	105,9	112,2	23	8,1	55,5	18,5	7,1		
1;9	115,5	123,4	25,6	8,5	62,3	21,5	5,5		
1;10	133,5	156,9	31,5	8,6	76,2	28,1	12,8		
1;11	54,1	39,9	10,5	4	20,8	6,1	0,6	RECEPTOR	
1;12	67,9	55,3	13,8	5,6	29,4	8,8	-0,7	NIQUEL MATE	
1;13	80,7	74,6	16	7	37,9	11,7	3,8	POSICION	
1;14	92	96,4	19,9	9,3	44,9	14,4	10,6	INCLINADA	
1;15	106,5	108,6	23,8	10,5	55,7	18,6	3,1		
1;16	119,5	132,8	27,3	12,8	64,3	22,7	8,8		
1;17	129,7	148,3	31,4	16,2	74,9	26,9	2,8		
2;1	53,6	52,3	10,4	3,6	19,8	19,6	-1,1	RECEPTOR	
2;2	67,3	75,6	13,7	6,7	27,8	28,2	-0,8	PINTURA	
2;3	79,9	99,9	17,3	8,3	35,2	37,1	2	NEGRO MATE	
2;4	92,8	119	20	11,5	42,5	47,2	-2,2	POSICION	
2;5	105,2	141,2	23,2	12,9	50,9	58,9	-4,7	HORIZONTAL	
2;6	117	164,2	26,4	13,6	55,6	68,9	-0,2		
2;7	130,7	189,5	31,1	18,6	68,1	86,9	-15,2		
2;8	52,9	50,3	11	3,1	18,6	18,6	-1	RECEPTOR	
2;9	65,3	71,2	12,7	5,3	25,9	26,4	0,9	PINTURA	
2;10	77,4	100,2	16,1	6,6	36,6	36,9	4,3	NEGRO MATE	
2;11	90,7	122,3	20,6	10	44,1	47,2	0,4	POSICION	
2;12	104,5	144,9	24	10,7	52,5	59,2	-1,5	INCLINADA	
2;13	116,5	166,8	27	12,2	60,6	71,9	-4,9		
2;14	128,5	189,3	30,4	16,5	68,1	85,2	-10,9		
4;1	38,7	38,4	5,3	3,1	14,6	16,5	-0,9	RECEPTOR	
4;2	45,7	56	6	1,8	19,7	22	6,5	CON TUBO	
4;3	62,5	94,8	10,2	2,5	35,2	39,5	7,4	DE VIDRIO	
4;4	73	113,5	12,3	6,9	44,5	51,3	-1,5	POSICION	
4;5	80	137,1	14,6	7,1	57,5	65,2	-7,3	HORIZONTAL	
4;6	87	168,5	18,6	7,6	63,6	74,3	4,4		
4;7	39	40,6	5,6	1,6	14,7	16,5	2,2	RECEPTOR	
4;8	45,4	56	6,6	3,1	21,2	23,5	1,6	CON TUBO	
4;9	63	96,3	10	4,1	39,5	42,9	-0,2	DE VIDRIO	
4;10	70	115,9	12,2	6,8	45,1	10,4	1,4	POSICION	
4;12	87	171,7	16,8	10,1	63,6	74,6	6,9	INCLINADA	

T A B L A 1

Pérdidas experimentales y teóricas del CPC en watts. En la serie 4 el valor puesto en la columna T_r es la temperatura del tubo de vidrio.

B) Para las pérdidas radiativas es:

$$(9) P_{\text{rad}} = \epsilon_{\text{ef}} \sigma A_r (T_r^4 - T_v^4)$$

donde: ϵ_{ef} es la emitancia efectiva

σ la constante de Stefan-Boltzman

Tomamos los valores para r , C y A_s indicados en A) y el ϵ_{ef} de las tablas presentadas por Fahl[6]: para el receptor niquelado $\epsilon_{\text{ef}} = 0,25$ para el cubierto con pintura $\epsilon_{\text{ef}} = 0,88$ y para la cubierta de vidrio $\epsilon_{\text{ef}} = 0,82$. Los resultados se muestran en la tabla 1 columna 5.

8- Balance energético

Para efectuar el balance energético de los CPC, cuando se los lleva a operar bajo la radiación solar, calculamos las pérdidas térmicas a partir de las fórmulas teóricas empleadas anteriormente. Este procedimiento está justificado por la aceptable coincidencia entre los valores teóricos y experimentales como se ve en la columna 6 de la tabla

Por otra parte necesitamos conocer la cantidad de radiación que absorbe el receptor. La cual está definida, para un CPC en el cual la radiación llega a su base mediante una única reflexión en sus parábolas, por [6]:

$$(10) \eta_o = \gamma \tau_v (f_r) \alpha_r$$

donde: η_o se denomina la eficiencia óptica del concentrador.

γ es una constante que depende del estado atmosférico y del ángulo de aceptación del colector, varía entre 0,88 y 0,92, tomamos para todas nuestras experiencias el valor 0,9.

τ_v es la transmitancia de la cubierta de vidrio, en nuestro caso es de 0,82.

α_r es la absorbancia del receptor, tomamos el valor 0,9.

f_r es la reflectancia de las superficies parabólicas, hemos medido para nuestras superficies reflectoras valores comprendidos entre 0,68 y 0,75; tomamos $f_r = 0,71$. Con ello obtenemos un valor para η_o de 0,47.

En la tabla 2, mostramos los resultados obtenidos. En la columna 7, podemos apreciar que las pérdidas totales (P_T) calculadas, exceden las reales para temperaturas del receptor por debajo de 110°C y son, insuficientes para temperaturas del receptor por encima de 110°C.

Exp.	T_r	P_a	R_a	P_{cond}	P_{L_v}	P_{conv}	P_{rad}	P_T	1+7-2
		1	2	3	4	5	6	7	8
3;1	79,9	348,2	389,6	22,8	16,2	26,6	31,1	96	54,6
3;2	93,5	405,5	453,5	25,6	15,2	32,6	40,4	113,8	65,8
3;3	104,2	323,6	434,4	28,3	15,7	39,4	50,2	133,6	22,8
3;4	115	241,8	473,5	35,8	17,6	58,2	69,5	181,1	-50,6
3;5	129,1	155,4	456,4	39,2	18,5	63	82,3	203	-98
3;7	148,3	98,3	462	39,2	17	81,6	111	245,8	-117,9

T A B L A 2

Balance energético del CPC con receptor cubierto con pintura negro mate. Valores de las columnas 1 a 8 en watts. T_r temperatura media del receptor en °C.

Para el CPC con el receptor dentro de un tubo de vidrio, tenemos una situación similar las pérdidas calculadas exceden las reales cuando la temperatura en la parte superior del tubo de vidrio es menor de 90°C y resultan inferiores cuando tenemos temperaturas por encima de 100°C.

En la tabla 3 mostramos los resultados de esta serie de experiencias. En la columna 2 hemos tomado $\eta_o = 0,82$ η_o .

En la figura 4 vemos que el CPC posee para $\psi = 0,11$ un rendimiento $\eta \approx 0,21$ y por extrapolación de la curva estimamos que este es nulo para $\psi \approx 0,15$. Por otra parte los resultados obtenidos en [3] con un receptor de sección transversal tipo triangular encontramos el punto de corte del eje ψ en 0,11.

Esta apreciable diferencia la atribuimos al diseño y materiales que estamos empleando y que informamos en este trabajo.

A la vez de la extrapolación de los resultados obtenidos en [3], con el receptor dentro de un tubo de vidrio, esperabamos lograr un mayor rendimiento que el obtenido sin este

La serie 5 muestra un pobre resultado para este dispositivo; curva inferior de la figura 4. Las causas de ello las encontramos, en parte, en el comportamiento no lineal de este dispositivo, en el tramo de las temperaturas ($T_f - T_a$) próximos a 130°C, como se ve en la figura 3, los puntos correspondientes a las experiencias 4;6 y 4;12 se encuentran muy por encima de la recta que interpola los valores para ($T_f - T_a$) menores que 110°C. Y por otra

Exp.	T_{Tv}	R_a	R_a	P_{cond}	P_{Lv}	P_{conv}	P_{rad}	P_T	1+7-2
		1	2						3
5;1	71,9	284,9	332,7	19,4	15,1	37,2	45,5	117,2	69,4
5;2	83,5	311	374,6	22,9	13	45,5	57,9	139,3	75,7
5;3	86,8	235,4	378	22,8	13,6	52,5	66,9	155,8	13,2
5;6	102,9	50,3	387,9	28	24	79,6	101,3	233,4	-104,2
5;7	113,5	10	384,4	30,3	16	94	120,3	260,6	-113,8

T A B L A 3

Balace energético del CPC con receptor con pintura dentro de un tubo de vidrio. Valores de las columnas 1 a 8 en watts. T_{Tv} temperatura media del tubo de vidrio en °C.

parte, a los problemas de enfoque de la radiación solar sobre el receptor, observados durante las experiencias de la serie 5.

9 - Conclusiones

1) El procedimiento seguido para formular las pérdidas conductivas, convectivas y radiativas da cuenta, con una aproximación razonable, de las pérdidas térmicas del colector, en el intervalo de 50°C a 130°C de temperaturas medias en el receptor, cuando se analiza el proceso de enfriamiento y sin radiación solar.

2) Cuando se efectúa la experiencia con el fluido del colector calentándose por acción de la radiación solar, para temperaturas medias en el receptor entre 80°C y 150°C, la extensión de la formulación teórica para el cálculo de pérdidas empleados en 1) difiere de los valores experimentales.

3) El receptor constituido por un tubo de cobre con aletas aplicado al CPC reemplaza, con apreciables ventajas, al receptor de sección transversal triangular.

4) Se deberá revisar las posibilidades de emplear receptores dentro de tubo de vidrio en este concentrador.

Referencias

- [1] R.Winston "Solar concentrators of a novel design". Solar Energy 16-89 (1974)
- [2] M.Díaz, A.Fasulo, P.Velazco, L.Odicino "Un concentrador tipo Winston". Actas de la 4ª Reunión de Trabajo de Energía Solar La Plata 1978.
- [3] A.Fasulo, M.Díaz, L.Odicino, D.Perelló. "Receptores para el concentrador tipo Winston" Actas de la 6ª Reunión de ASADES Catamarca 1980.
- [4] Williams H. Mc Adams "Heat Transmission" Mc Graw Hill 1954.
- [5] D.R.Pitts, L.E.Sissom "Transferencia de Calor" Mc Graw Hill 1979.
- [6] A.Rabl "Optical and Thermal Properties of Compound Parabolic Concentrators" Solar Energy 18-6 (1976).

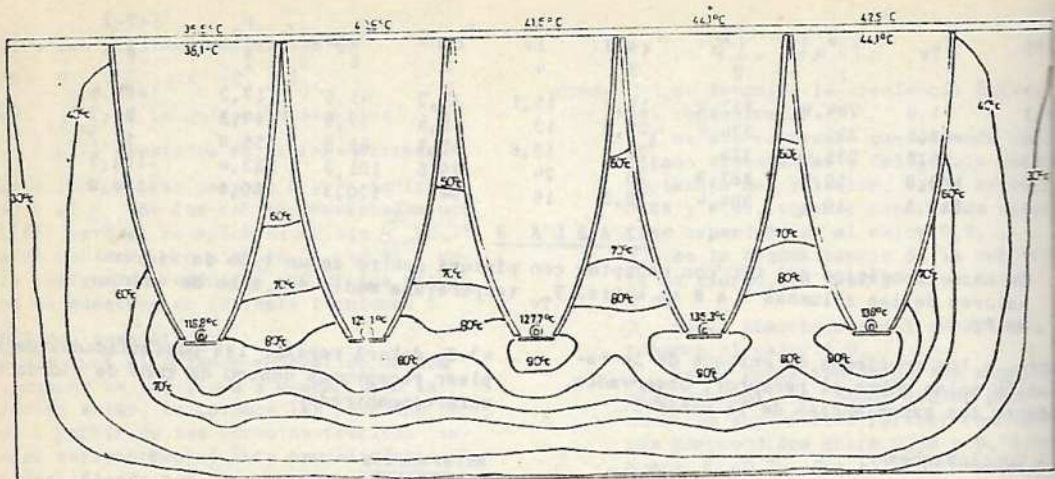


FIGURA 5

ISOTERMAS PARA EL CPC, EXP. 2.4. $T_b=16.2^\circ\text{C}$, $\bar{m}=3119$, $C_e=2.9$, $T_e=148.4^\circ\text{C}$, $T_b=123.3^\circ\text{C}$

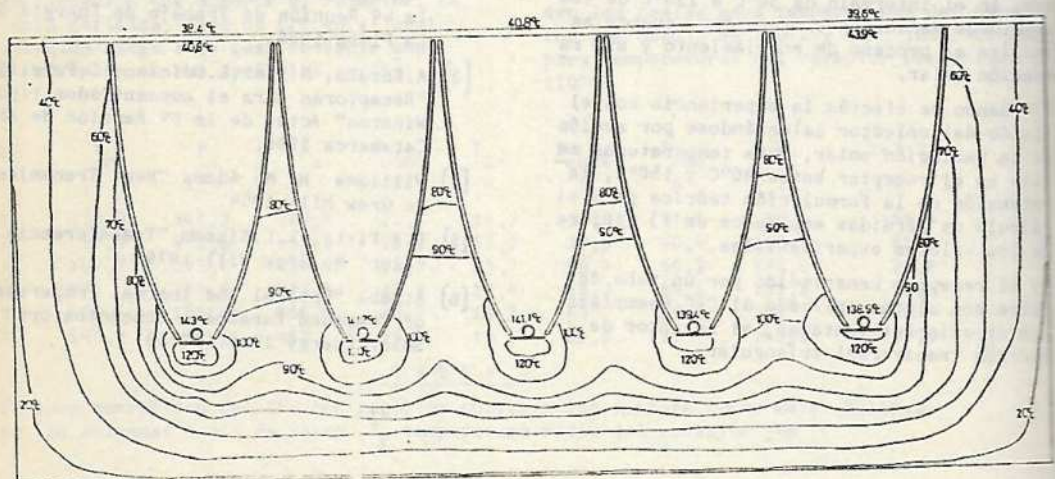


FIGURA 6

ISOTERMAS PARA LAS AISLACIONES DEL CPC, EXP. 3.6. $T_b=14.2^\circ\text{C}$, $\bar{m}=3229$, $T_e=155.4^\circ\text{C}$ y $T_b=44^\circ\text{C}$