

CPC COM ABSORVEDOR V INVERTIDO E ESTACIONÁRIO OPERANDO EM MODO TERMO-SIFÃO

Chigueru Tiba, Bráulio B. Brandão e Naum Fraidenraich
Departamento de Energia Nuclear da Universidade Federal de Pernambuco
Av. Prof. Luiz Freire, 1000 – CDU, CEP 50.740-540, Recife, Pernambuco, Brasil
Phone: +55 81 3453 6019, Fax: +55 81 2126 8250
Email: tibasol@aol.com ou tiba@ufpe.br

RESUMO. Os coletores concentradores do tipo CPC com absorvedor V invertido completamente iluminado e estacionários ($C < 1,2$) são alternativas viáveis, para suprimento de calor de processo industrial (água aquecida) em sistemas de pequeno porte e operando na faixa de temperatura de 60 – 100 °C. Considerando estes aspectos operacionais, neste trabalho foi calculada a energia térmica gerada anualmente por um coletor CPC estacionário e operando no modo termo-sifão (orientado Norte-Sul). Diferentes configurações do CPC (diferentes ângulos de aceitação e diferentes graus de truncamento) foram analisadas numericamente e concluiu-se que para uma dada concentração do CPC, tanto a relação mínima entre o comprimento da superfície refletora e abertura como o menor número médio de reflexões ocorrem para CPC oriundos dos maiores ângulos de aceitação, no caso 56,4° (concentração nominal igual 1,2). Contudo, quando consideramos adicionalmente a energia térmica gerada anualmente (por exemplo, para Recife, ângulo de inclinação em relação a horizontal igual à latitude e temperatura do fluido igual a 80°C) o intervalo ótimo (máximo muito largo) desloca-se para uma região de ângulos de aceitação entre 60,4° - 72,2° (concentrações nominais entre 1,15-1,05).

Palavras Chaves 1 Coletor tipo CPC 2 Energia Térmica 3 Termo-sifão 4 absorvedor V invertido 5 Coletor estacionário

INTRODUÇÃO

A família dos coletores CPC (Compound Parabolic Concentrator) com absorvedor tipo V invertido completamente iluminado está mostrada na Figura 1. Os pontos F_1 , F_2 e F_3 definem o absorvedor e também são os focos das três seções parabólicas do CPC. O ângulo de aceitação angular da cavidade é representado por θ_a , r é a base (virtual) do triângulo definido pelo absorvedor finalmente γ é o ângulo de vértice do absorvedor. As equações que descrevem a cavidade refletora foram deduzidas utilizando o princípio dos raios extremos e estão descritos em detalhes em Tiba et al. (2005).

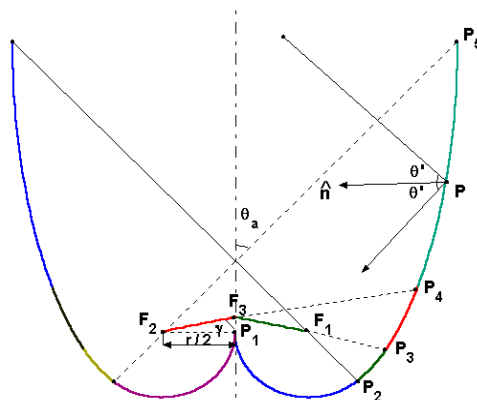


Figura 1 – Coletor concentrador CPC com absorvedor V invertido completamente iluminado, ângulo de vértice do absorvedor γ e ângulo de aceitação θ_a .

A linha definida por F_1 e F_2 (base virtual do absorvedor) gera uma involuta, o arco P_1P_2 que é a primeira parte da superfície refletora. A primeira seção parabólica do refletor (curva $P_2 - P_3$), com foco em F_1 , inicia-se no final da involuta (ponto P_2) e continua até a intersecção com o segmento de reta ($F_3 - F_1$). A segunda seção parabólica do refletor (curva $P_3 - P_4$), com foco

em F_2 , termina quando intercepta o segmento de reta ($F_2 - F_3$). Finalmente, a terceira secção parabólica, com foco em F_3 , termina quando intercepta o raio extremo que passa pelo ponto F_2 .

OTIMIZAÇÃO DA ENERGIA TÉRMICA ANUAL PRODUZIDA

Os efeitos do truncamento do CPC são: diminuição do perímetro do refletor, aumento no ângulo de aceitação angular da irradiação difusa, diminuição do número médio de reflexões e diminuição da concentração. O primeiro efeito tem uma consequência direta no custo do coletor na medida em que reduz a quantidade de material utilizado; o segundo e o terceiro efeito levam a um aumento na eficiência do coletor na medida em que provocam um aumento na quantidade da irradiação solar incidente no absorvedor. Entretanto o quarto efeito segue na direção oposta por que aumenta a quantidade de perdas térmicas do coletor. Pelo que antecede verifica-se que a análise de custo e benefício do truncamento do CPC não é uma tarefa trivial desde que requer uma análise cuidadosa e simultânea dos aspectos óticos e térmicos do coletor.

Otimização ótica e geométrica

Para um coletor CPC com absorvedor V invertido completamente iluminado o ângulo de vértice do absorvedor que minimiza a superfície refletora é igual ao ângulo de aceitação da cavidade Tiba et al. (2005). Nesta circunstância a cavidade refletora geral da Figura 1 simplifica-se e fica constituído de apenas uma involuta e uma secção parabólica, como mostrado na Figura 2.

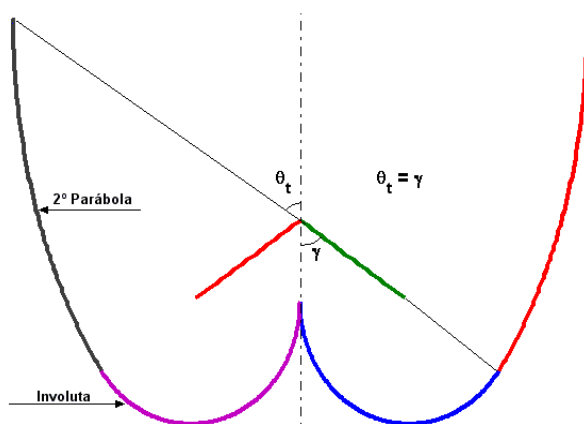


Figura 2 – Configuração da cavidade de um CPC com a escolha ótima do semi-ângulo de vértice do absorvedor $\gamma = \theta_a$

As Figuras 3 e 4 mostram o número médio de reflexões ($\langle n \rangle$) e a relação entre o comprimento da superfície refletora e a abertura (L/A) para CPC com ângulos de aceitação iguais a $56,4^\circ$, $60,4^\circ$, $65,4^\circ$ e $72,2^\circ$ (concentrações nominais iguais a 1,2; 1,15; 1,10 e 1,05) e diferentes graus de truncamento. Observa-se que para um CPC com uma dada concentração, por exemplo, 1,10 as menores relações L/A e $\langle n \rangle$ ocorrem para o CPC originário do menor ângulo de aceitação, no caso igual a $56,4^\circ$.

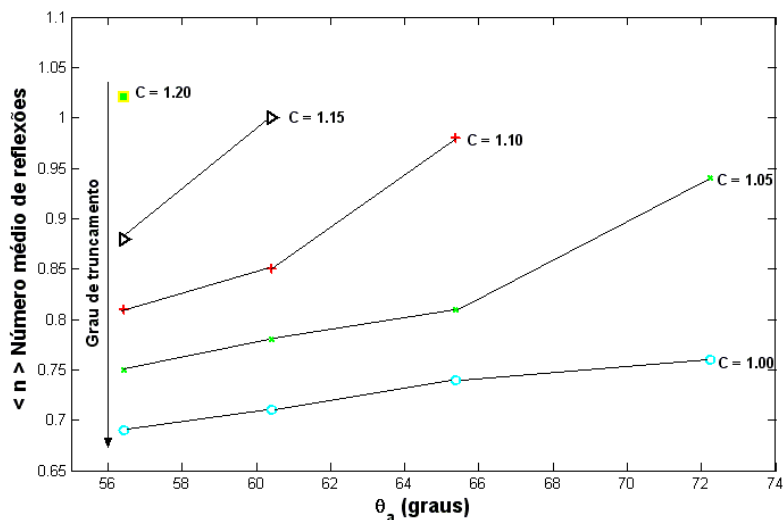


Figura 3 – Número médio de reflexões para CPC com diferentes ângulos de aceitação e diversos graus de truncamento

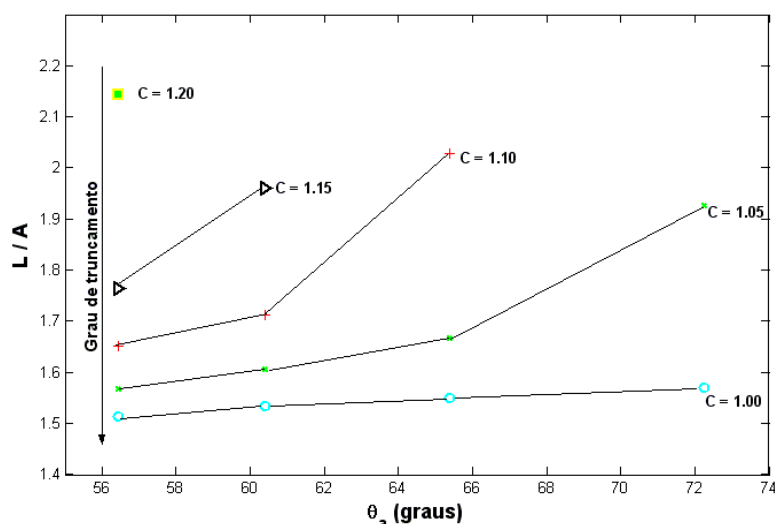


Figura 4 – A relação entre o comprimento da superfície refletora e a abertura para CPC com diferentes ângulos de aceitação e diversos graus de truncamento

Otimização da energia térmica gerada anualmente

As energias térmicas horárias geradas pelos CPC com diferentes ângulos de aceitação e graus de truncamento foram calculadas e posteriormente integradas resultando em energias térmicas geradas em bases anuais. O procedimento detalhado pode ser visto em Brandão et al. (2004). Os parâmetros geográficos, óticos e térmicos utilizados foram:

Local: Recife, PE

$$\gamma = \theta_a$$

$\tau = 0,90$ (transmitância do vidro de cobertura)

$\alpha = 0,95$ (absortância do absorvedor)

$\rho = 0,86$ (refletância da superfície refletora)

$T_{op} = 50^0$ C (temperatura operacional do coletor)

$\beta = -8.05^0$ (inclinação do coletor em relação a horizontal)

F_R (CPC) = 0,90

F_R (plano) = 0,854

U (CPC) = $1,0 + 2,5/C$ (coeficiente de perdas térmicas)

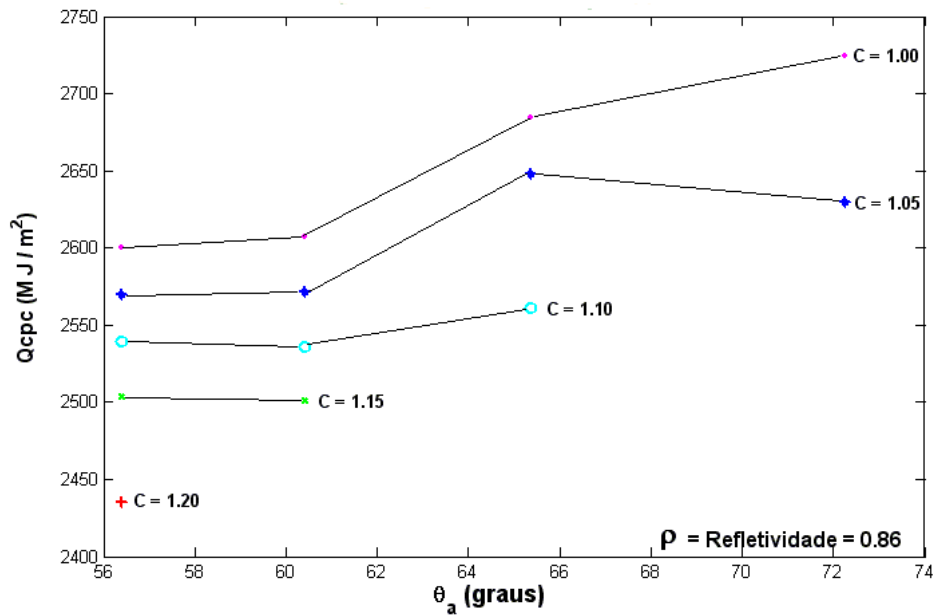
Orientação do coletor: Norte-Sul (faceando o norte)

A eficiência ótica do CPC (para $\rho > 0,75$) pode ser bem aproximada conforme Rabl (1976) por: $\eta = \alpha \tau \rho^{<n>}$ onde ρ é a refletividade da superfície refletora, α é a absortância do absorvedor, τ a transmitância do vidro de cobertura e $<n>$ é o número médio de reflexões sofrida por um raio de luz incidente na abertura até encontrar o absorvedor.

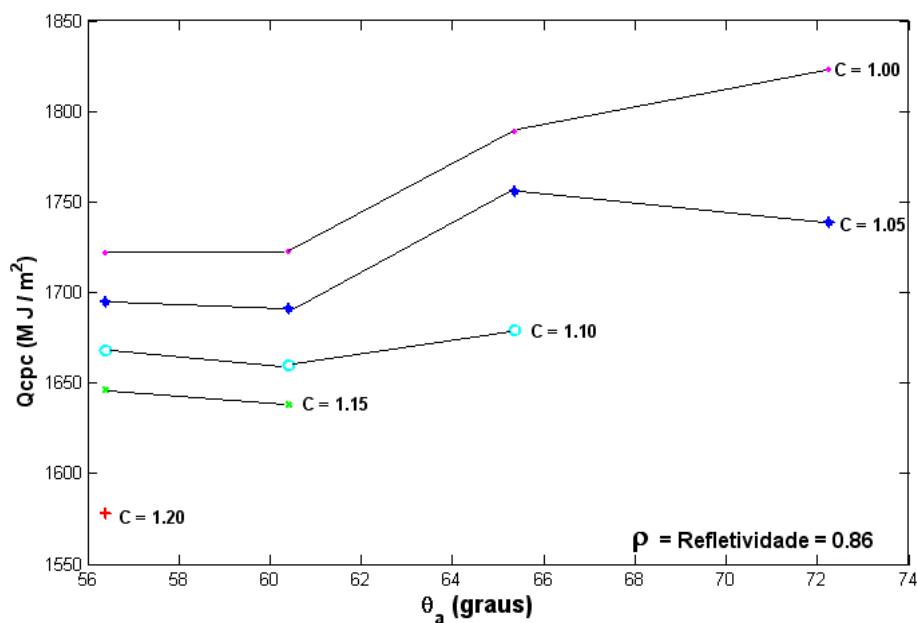
A Figura 5(a) mostra que um CPC com uma dada concentração, por exemplo, 1,05 e operando a uma temperatura igual a 50^0 C (temperatura de entrada do fluido no coletor), a energia térmica anual gerada tem um máximo nas proximidades $2,62$ GJ/ m^2 para cavidade CPC oriunda de ângulo de aceitação igual a $65,4^0$. Similarmente para concentrações 1,10 e 1,0 os máximos deslocam-se para a direita, para cavidades CPC oriundas de ângulos de aceitação $65,4^0$ e $72,2^0$ respectivamente. O mesmo comportamento verifica-se para a temperatura operacional de 80^0 C, Figura 5(b).

Relação entre a energia térmica anual gerada por um CPC e um coletor plano

Para avaliar quanto um coletor CPC com absorvedor V invertido completamente iluminado e estacionário aproxima-se de um coletor plano foi feito um estudo da relação entre as energias térmicas geradas anualmente por cada um dos equipamentos. O coletor plano considerado neste estudo é de boa qualidade, possuindo um coeficiente de perdas térmicas de $6,0$ W/ 0 C. m^2 .



(a)



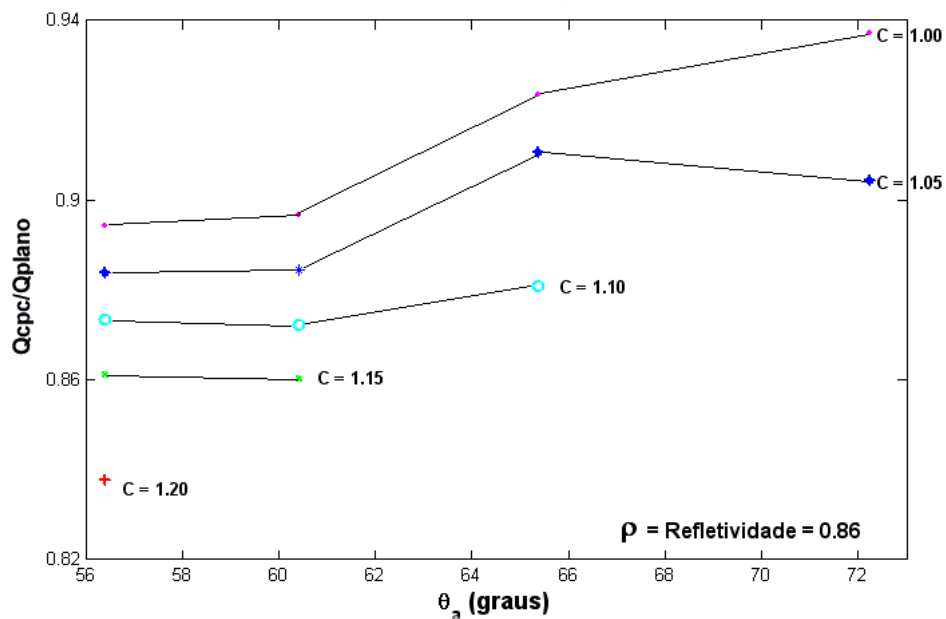
(b)

Figura 5 – Energia térmica anual gerada pelo CPC com diferentes ângulos de aceitação e diversos graus de truncamento: a) temperatura operacional igual a 50° C e b) temperatura operacional igual a 80° C

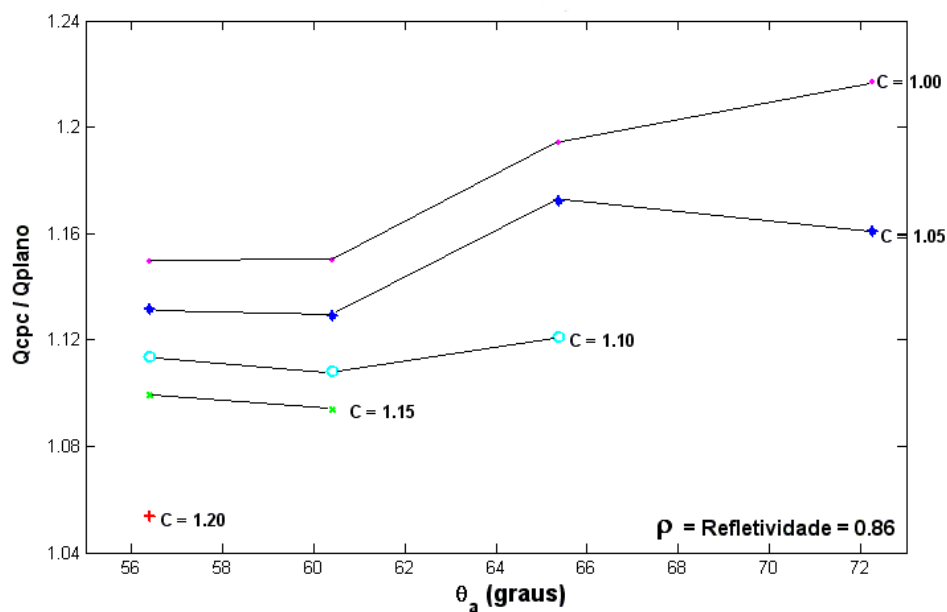
Os outros parâmetros óticos, térmicos e operacionais são os mesmos dos CPC considerados previamente. As Figuras 6 (a) e (b) mostram para duas temperaturas operacionais diferentes a relação entre a energia térmica gerada pelo CPC e o coletor plano para CPC com diferentes ângulos de aceitação e graus de truncamento diferentes. Observa-se, então, que: qualquer que seja a relação de concentração a energia térmica anual gerada pelo CPC aproxima-se mais do coletor plano para maiores graus de truncamento; para temperatura operacional de 50°C o coletor plano sempre vai gerar mais energia térmica do que os CPC por que como era esperado na relação de custo benefício prevalece a maior coleção da irradiação solar pelo coletor plano e finalmente para temperatura operacional de 80 °C ou maior a concentração provoca uma redução significativa das perdas térmicas o que faz com que as gerações térmicas do CPC em bases anuais sejam maiores da ordem de 10 a 20%.

Finalmente na Figura 7 pode ser avaliada a importância da qualidade da superfície refletora no desempenho dos coletores CPC. Para uma temperatura operacional de 80° C, um CPC com concentração igual 1,05 (por exemplo, produzido pelo

truncamento de um CPC com ângulo de aceitação igual $65,4^\circ$) e cuja refletividade da superfície refletora é igual a 0,86, gera cerca de 15% a mais do que o coletor plano. Se a refletividade for melhorada para 0,96 o CPC passará a gerar 35% a mais.



(a)



(b)

Figura 6 – Relação entre a energia térmica anual gerada pelo CPC e um coletor plano em Recife: a) temperatura operacional igual a 50°C e b) temperatura operacional igual a 80°C

CONCLUSÕES

Os resultados da otimização dos coletores CPC com absorvedor V invertido, completamente iluminado, estacionário e orientado na direção Norte-Sul demonstram que os mesmos podem ser alternativas efetivas para suprimento de fluido quente para aplicações industriais ou residenciais no intervalo de temperaturas de $60\text{-}100^\circ\text{C}$. Para uma dada concentração do CPC tanto a relação mínima entre o comprimento da superfície refletora e abertura como o menor número médio de reflexões ocorrem para CPC oriundos dos maiores ângulos de aceitação, no caso $56,4^\circ$ (concentração nominal igual 1,2). Contudo, quando consideramos adicionalmente a energia térmica gerada anualmente (por exemplo, para Recife, ângulo de inclinação

em relação a horizontal igual à latitude e temperatura do fluido igual a 80°C) o intervalo ótimo (máximo muito largo) desloca-se para uma região de ângulos de aceitação entre 60,4° -72,2° (concentrações nominais entre 1,15-1,05).

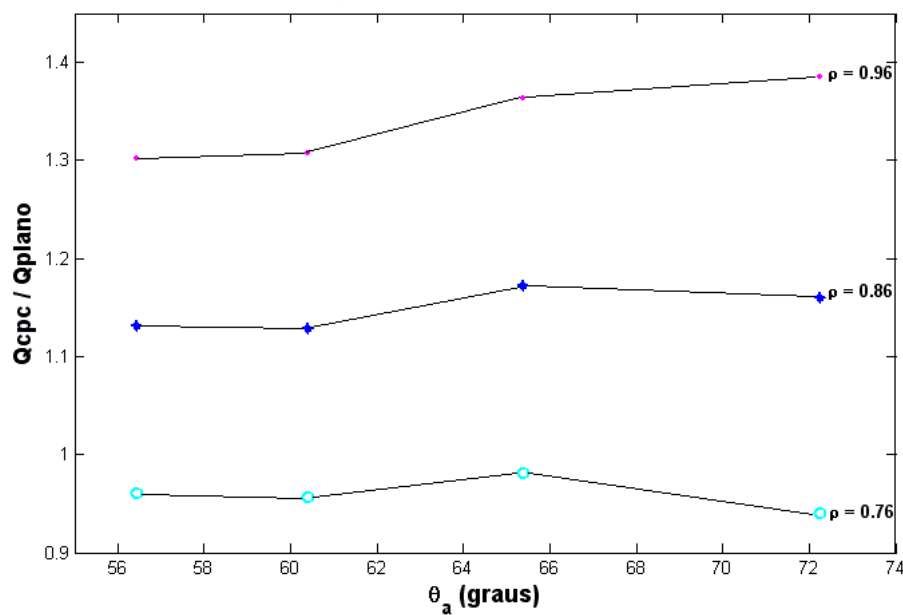


Figura 7 – Efeito da qualidade do material refletor na geração de energia térmica pelo CPC.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho contou com apoio do Conselho Nacional de Pesquisas – CNPq - Brasil

REFERÊNCIAS

- Brandão, B B, Concentrador Parabólico composto com absorvedor V invertido completamente iluminado, Dissertação de Mestrado, PROTEN-DEN-UFPE, Recife, Pernambuco, Brasil, 2004.
- Rabl, A , Optical and thermal properties of Compound Parabolic Concentrators, Solar Energy No. 18, pp. 497-511, 1976.
- Tiba, C, Fraidenraich, N and Brandão B B, Optimal design of stationary nonevacuated CPC solar concentrator with fully illuminated wedge receivers, ISES 2005 Solar World Congress, Florida, USA, 2005.

ABSTRACT

The CPC concentrator collectors with fully illuminated wedge absorbers and stationary ($C < 1.2$) are viable alternatives for providing industrial process heating (heated water) in small size systems that operate at a temperature range of 60 to 100°C. Considering these operational aspects, this work calculated the thermal energy generated annually by a stationary CPC collector operating in a thermosyphon mode (orientated from North-South). Different CPC configurations (different acceptance angles and different degrees of truncation) were analyzed numerically and its was concluded that for a given concentration , the minimum relationship between the length of the reflector surface and aperture and the smaller average number of reflections occur for CPC arising from a larger nominal concentration, in case 56.4° (nominal concentration equal to 1.2). However, when considering, in addition, the thermal energy generated annually (for example, for Recife, tilt equal latitude and the fluid temperature equal 80°C) the optimum interval (very wide maximum) moves to an acceptance angle region between 60.4° to 72.2°(nominal concentration between 1.15 to 1.05).

Keywords 1 CPC concentrator 2 wedge absorber 3 annual thermal energy 4 stationary collector 5 industrial process heating