

Energías Limpias en Progreso

*Libro de Actas
del*

*VII Congreso Ibérico de Energía Solar
30 de Mayo - 1 de Junio, 1994
Vigo-España*

Editado por

**MANUEL VÁZQUEZ VÁZQUEZ
JORGE CARLOS MORÁN GONZÁLEZ**

Area de Máquinas y Motores Térmicos
Universidad de Vigo

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Minas
Lagoas-Marcosende s/n
36200 Vigo- España

Volumen 1



Se fijaba el caudal para cada colector, se esperaban 5 minutos para estabilizarse el régimen y luego se procedía a medir las temperaturas de las termocuplas de la entrada y salida del colector. Para una determinada inclinación respecto al plano horizontal, la radiación solar total se registraba por el piranómetro. Se anotaba la hora inicial y final del intervalo de mediciones que normalmente eran las 8:00am y las 4:00pm respectivamente. Los valores de la radiación solar medidos fueron comparados con los valores calculados mediante un modelo matemático elaborado para tal fin (Zarea, 1989). Además se notaba si los vidrios estaban sucios o limpios para apreciar la influencia de la presencia de polvo sobre las cubiertas (Gorg, H.P. 1974). También se hizo la diferencia entre los ensayos con los vidrios intactos (1984, 1987-1992) y rotos, reparados con silicona (Herrera, B. et al 1987), Fig. 3.

Interpretación de Resultados.

Para los CSP nuevos se nota que la curva de eficiencia pone en evidencia un buen aprovechamiento de la radiación solar. Las pequeñas diferencias entre las pendientes de las curvas reflejan las pérdidas de calor ligeramente diferentes en los tres colectores considerados. En las condiciones con los vidrios rotos reparados con silicona la eficiencia es afectada notablemente. Los colectores reparados conservan una eficiencia satisfactoria si se asegura la hermeticidad de la caja y el aislamiento adecuado. Los resultados fueron prácticamente los mismos en los dos módulos. El ángulo de incidencia para la latitud de Caracas fue de cero grados (CSP en posición horizontal). Los demás resultados se muestran en la Fig. 4.

Conclusiones.

La investigación experimental realizada permite formular las siguientes conclusiones: a) El banco de pruebas ambiental construido después de ser mejorado permitió llevar a cabo los ensayos de larga duración de los colectores solares modelo Musella variando los parámetros en los límites necesarios. b) Los CSP modelo Musella requieren de ligeras modificaciones constructivas para trabajar confiablemente en condiciones tropicales. c) Las modificaciones implementadas aseguran una operación con buena eficiencia.

BIBLIOGRAFIA

- ASHRAE Standard 93-77(1977). Methods of testing to determine the thermal performance of solar collectors. Atlanta.
- Briceno, J.C. and L. Abalo. (1984). Estudio experimental de colectores solares planos modelo Musella. Tesis de grado. Tutor: Prof. S. Zarea. Univ. S. Bolívar, Caracas.
- Duffie, J.H. and W.H. Beckman. (1980). Solar Engineering of Thermal Processes. Wiley - Interscience, N York.
- Gorg, H.P. (1974). Effect of dirt on transparent covers in flat plate solar energy collectors. *Solar Energy*, Vol 15, pp. 299.
- Herrera, B.R. and F.F. Vásquez. (1987). Estudio experimental de un grupo eclíptico solar. Tesis de grado. Tutor: Prof. S. Zarea. Univ. Central de Venezuela, Caracas.
- Hill, S. (1971). A method of testing for rating solar collectors on thermal performance. *Solar Energy*, vol. 18, pp. 421-427.
- Liu, B. and R. Jordan. (1963). The long term average performance of flat plate solar energy collectors. *Solar Energy*, vol. 7, No 2, pp. 53-74.
- Proctor, D. (1984). A generalized method for testing all classes of solar collectors. Part II-Evaluation of collector thermal constants. *Solar Energy*, vol. 32, No 3.
- Proctor, D. and J.I. Czarniecki. (1985). The effect of aging on 22-year-old solar water heaters. *Solar Energy*, vol. 35, No 2, pp. 175-180.
- Rollerstein, J. (1985). Improved test method for solar collectors. *Sumworld*, No 1, pp. 8-9.
- Ward, Y.C. and Lof, G.O.G. (1978). Long Term (18 Years) performance of a residential heating system. *Solar Energy*, Vol. 18, pp. 301.
- Zarea, S. (1989/92). Diseño de sistemas termosolares. Apuntes curso de postgrado, Maestría en Ing. Mecánica. Univ. Simón Bolívar, Caracas.

Destilador com evaporação por "spray" para a Dessalinização de água do mar.

Joyce, A.*, D. Loureiro*, M. Collares Pereira*,
M. Moreira**

* INETI-DER-Azinbaga dos Lameiros à Estrada do Paço do Lumiar, 1699 LISBOA CODEX- PORTUGAL
Telefone 01/7162712 FAX 01/7160901.

** IPS-Escola Superior de Tecnologia- Rua Vale de Chaves, Estefanilha, 2900 SETUBAL- PORTUGAL
Telefone - 065/761621 FAX - 065/721869.

RESUMO

O presente trabalho descreve um destilador para dessalinização de água do mar, em que a evaporação é efectuada através de um "spray", com a finalidade de aumentar a produção diária de água. É apresentado o princípio de funcionamento do sistema, descrito o protótipo construído e apresentados e discutidos os resultados já obtidos durante os ensaios em laboratório.

A produção aumenta com a temperatura, de uma forma quadrática, e com a diminuição quer do caudal de entrada quer do diâmetro das gotas produzidas pelos pulverizadores. A câmara pode ser associada a um sistema de Colectores Solares Planos ou Colectores CPC, sendo no entanto preferível um sistema que permita o seu funcionamento em continuo como por exemplo os Lagos Solares, podendo, nestas condições, obter-se produções de cerca de 40 kg/dia.

ABSTRACT

The present paper describes a spray evaporation solar still for sea water desalination and drinking water production. The design of the system is presented and the results obtained with the tested prototype are discussed.

Fresh water production increases quadratically with temperature and with decreasing input flow rate and drop diameter.

The prototype will be connected with a high performance Flat Plate or CPC Solar Collector. It can also be connected to a Solar Pond to have continuous functioning and in that case the production should reach about 40 kg/day.

KEYWORDS

Solar, Still, Spray, Evaporation, Testing.

INTRODUÇÃO

Nos destiladores de efeito simples a produção é da ordem dos 5 kg/m² dia em condições óptimas de radiação incidente devendo-se este valor baixo, entre outros motivos, à não recuperação do calor latente de condensação.

No sentido de melhorar a produção de água destilada em destiladores solares, diferentes soluções têm sido propostas as quais passam, em geral, por sistemas de evaporação em andares com recuperação do calor latente de condensação (Saravia et al, 1992).

No entanto em todos estes sistemas a evaporação faz-se a partir de um filme de água, que em geral coincide ou com a área de captação (sistemas de efeito simples) ou com um múltiplo desta igual ao número de câmaras do sistema (sistemas multi-efeito).

A ideia base por trás do destilador descrito neste trabalho é a de aumentar a área de transferência de massa fazendo a introdução da solução salina numa câmara de evaporação através de pequenas gotas, continuando a fazer a recuperação do calor latente da condensação.

DESCRIÇÃO DO PROTÓTIPO

O protótipo construído consiste em duas câmaras cilíndricas concêntricas. Na câmara interior, que funciona como câmara de evaporação, a água salgada, previamente aquecida é introduzida por um pulverizador, sob a forma de pequenas gotas. Estas ao evaporarem humidificam o ar interior, o qual circula entre as câmaras por convecção natural. Ao passar à câmara exterior o ar húmido condensa em torno de um tubo helicoidal e a água destilada assim obtida é recolhida no fundo desta câmara. Na Figura 1 mostra-se o esquema do princípio de funcionamento do destilador.

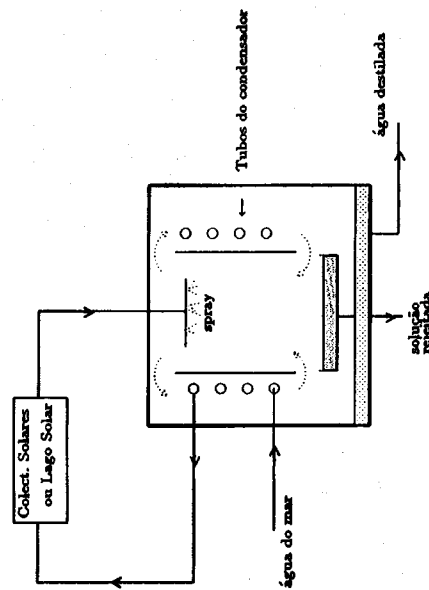


Fig.1 - Esquema da câmara de destilação.

O destilador é constituído exteriormente por um depósito em fibrocimento com a capacidade de 1000 l sendo as duas câmaras interiores formadas a partir de um divisora cilíndrica que é uma sanduiche de espuma de poliamida com 5 cm de espessura, entre duas lâminas de polipropileno de 1 mm de espessura. Esta parede divisoria é sustentada por quatro chapas de PVC de 1 cm de espessura, as quais têm também a função de sustentar o tubo do condensador. Desta forma todo o conjunto interior ao depósito de fibrocimento, incluindo o tubo condensador, pode ser removido para manutenção. O tubo do condensador usado nos ensaios efectuados é de polipropileno e alhetado com 20 mm de diâmetro médio interior e uma parede fina.

A água a tratar, previamente aquecida, é introduzida na câmara interior através de um

tubo de polipropileno que atravessa a tampa do destilador e termina num pulverizador que produz o spray de gotas. Foram usados pulverizadores LECHLER, com diferentes características geométricas dando origem a diferentes diâmetros das gotas. Os resultados que se apresentam são referentes a um pulverizador de entrada axial, com cone preenchido e 120° de abertura.

A água destilada produzida é recolhida directamente no fundo do depósito de fibrocimento, na zona do condensador, saindo para o exterior por um orifício. A solução rejeitada, é recolhida num recipiente circular colocado no fundo do depósito e centrado com a câmara de evaporação, saindo para o exterior por um orifício lateral provido de uma mangueira.

Foram efectuados ensaios em laboratório com duas temperaturas de entrada, 55 °C e 65 °C, e com quatro caudais distintos 10 g/s, 12 g/s, 16 g/s e 18 g/s. A produção em regime estacionário para cada um dos ensaios pode ser representada em termos da Taxa de Conversão definida como o quociente entre o caudal mássico de destilado produzido e o caudal mássico total de solução injectada.

$$\tau_c = \frac{\dot{m}_d}{\dot{m}_i} = \frac{\dot{m}_d}{\dot{m}_d + \dot{m}_s} \quad (1)$$

RESULTADOS OBTIDOS.

Na Figura 2 apresentam-se os resultados obtidos em termos da taxa de conversão função do diferencial de temperatura entre a fonte quente (entrada no pulverizador) e a fonte fria (entrada no condensador).

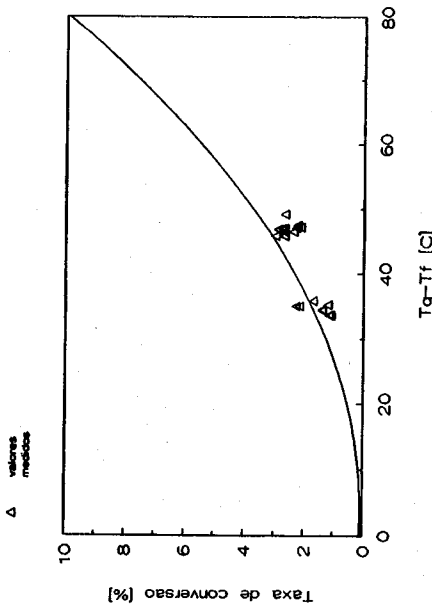


Fig. 2 - Taxas de conversão obtidas nos ensaios efectuados.

Podem concluir-se que:

- As taxas de conversão, para o pulverizador ensaiado e para as características dimensionais do protótipo e às temperaturas ensaiadas são pequenas, inferiores a 3 %.
- A taxa de conversão tem um aumento significativo com a temperatura.
- A taxa de conversão aumenta com a diminuição do caudal de injeção e do diâmetro das gotas.

De notar que apesar das taxas de conversão serem baixas as produções de água destilada para os caudais testados são significativas tendo em conta que as temperaturas de entrada não são muito elevadas. Na Figura 3 representam-se os valores obtidos em função do diferencial de temperatura entre a fonte quente e a fonte fria.

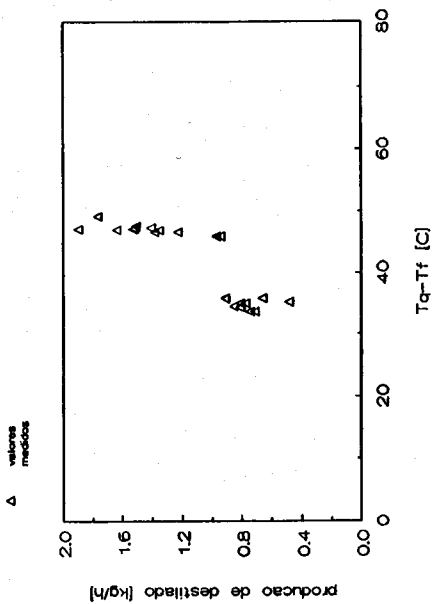


Fig. 3 - Produção de água destilada em função de Tq-Tf.

Como termo de comparação pode referir-se que a água produzida por um sistema multiefeito ensaiado anteriormente (Joyce et al., 1993) à temperatura de cerca de 65 °C foi de 555 g/h com um consumo específico de 6320 kJ/kg enquanto que o sistema por spray, mesmo sem estar otimizado, produziu 1640 g/h à temperatura de 65 °C com um caudal de entrada de 57.6 kg/h e com um consumo específico da câmara de 4760 kJ/kg incluindo o consumo da bomba para a produção do spray. De notar, no entanto, que os ensaios obtidos foram efectuados sem isolamento exterior da câmara e com uma área de permuta no condensador relativamente pequena pelo que será de esperar uma maior produção em ensaios futuros.

SIMULAÇÃO DA PRODUÇÃO DIÁRIA.

A interligação entre este tipo de câmara destiladora e uma área de colectores solares pode ser efectuada pelo processo de "uma só passagem" de acordo com a Figura 4.

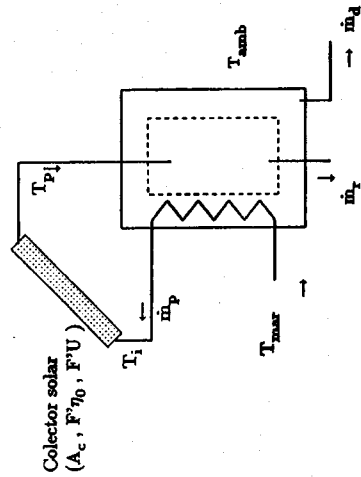


Fig. 4 - Destilador alimentado por coletor solar.

A produção diária previsível para um sistema deste tipo pode ser obtida através de um modelo simples em que a câmara é representada pela curva de taxa de conversão em função do diferencial de temperatura entre a fonte quente e a fonte fria e o colector é representado pela equação da energia fornecida em cada instante. Assim e recorrendo à Figura 4 que representa o esquema da instalação pode escrever-se para o colector:

$$\dot{m}_p C_p (T_p - T_i) = A_c I_{col} F_R \eta_0 - A_c F_R U (T_i - T_{amb}) \quad (2)$$

e para a câmara destiladora a curva do 2º grau, com a₀, a₁ e a₂ determinados experimentalmente:

$$\tau_c = a_0 + a_1 (T_p - T_{max}) + a_2 (T_p - T_{max})^2 \quad (3)$$

Se se admitir que existe uma conversão total do calor latente de condensação em aquecimento do fluido que circula no condensador obtém-se:

$$\dot{m}_p C_p (T_i - T_{max}) = \dot{m}_d \lambda \quad (4)$$

em que λ é o calor latente de evaporação. Assim e atendendo à definição de Taxa de Conversão (1) tem-se de (4):

$$\tau_c = \frac{\dot{m}_d}{\dot{m}_p} = \frac{C_p (T_i - T_{max})}{\lambda} \quad (5)$$

A equação (5) permite de uma forma simplificada obter a taxa de conversão do sistema a partir da medida do diferencial de temperatura no condensador (T_i - T_{max}). Os ensaios efectuados permitiram concluir que a taxa de conversão obtida através da equação (5) não se afasta muito dos valores efectivamente medidos.

O sistema de equações (2), (3) e (5) pode ser resolvido em ordem a T_p uma vez conhecidas as características do colector solar, da câmara destiladora e a radiação incidente, que se pode obter através de um modelo de céu limpo (Aguar et al., 1989). Os resultados obtidos mostram-se na Figura 5 onde se representa a evolução das temperaturas de entrada e saída do colector e a produção de água destilada, em função do tempo solar verdadeiro, no melhor dia do ano (solestício de Verão) para Lisboa e utilizando uma área colectora de 5 m², constituída por colectores do tipo CPC de concentração baixa igual a 1.2 inclinados a 20° e cujas características obtidas em ensaio são F*η₀ = 0.75 e F*U = 3.5 W/m²K. O caudal na câmara e nos colectores, ṁ_p, é de 10 g/s e o diâmetro das gotas de 400 μm.

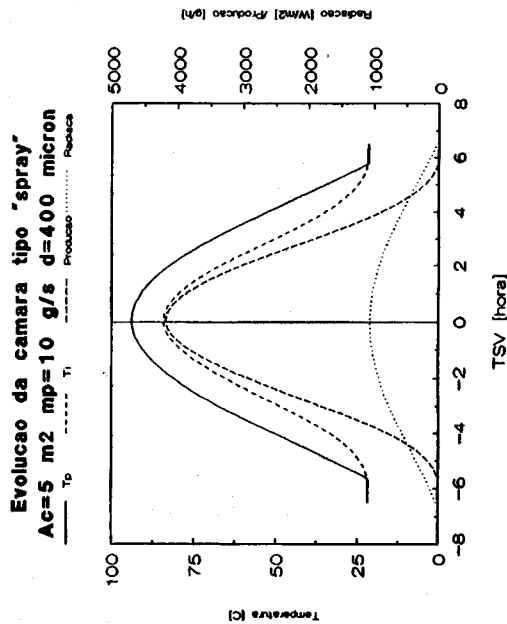


Fig. 5 - Resultados da simulação para 5 m².

Desta Figura pode concluir-se que o sistema tem um nível crítico de radiação a partir do qual começa a funcionar.

A produção diária de água é de 23.6 kg ou seja cerca de 4.72 kg/m² e o consumo específico diário é de 7203 kJ/kg. Se a área de coletor aumentasse para cerca de 10 m² a temperatura subiria rapidamente podendo obter-se uma produção diária de água de 39 kg ou seja cerca de 3.9 kg/m² de área colectora e um consumo específico de 8718 kJ/kg.

Pode concluir-se que nestas condições a produção por unidade de área será baixa e que consequentemente os consumos específicos são elevados. Este facto poderá ser atribuído quer à falta de isolamento da câmara, anteriormente referida, quer à não optimização das suas dimensões e características. Num modelo computacional do funcionamento da câmara (Moreira et al. 1994) são analisados os parâmetros que permitem obter aquela optimização.

Por outro lado tendo-se considerado colectores solares para o aquecimento, a temperatura obtida é baixa durante grande parte do dia. Este facto permite concluir que este tipo de dispositivo terá um melhor desempenho se for acoplado a um processo de aquecimento em que a temperatura se mantenha aproximadamente constante ao longo do dia como por exemplo um Lago Solar.

CONCLUSÕES.

Foi construída uma câmara de dessalinização com evaporação por spray que permitiu obter produções de água destilada de 1640 g/hr a uma temperatura de 65 °C. Verificou-se que a produção aumenta com a temperatura e com a diminuição do diâmetro das gotas.

A pressão que é necessária para produzir o spray poderá ser um aspecto limitador da utilização deste dispositivo em locais remotos, a menos que se possam instalar módulos fotovoltaicos para a alimentação da bomba.

As baixas taxas de conversão obtidas poderão também ser uma desvantagem destes sistemas. No entanto é de notar que a câmara ensaiada não estava isolada exteriormente nem optimizada quer do ponto de vista das dimensões, quer do pulverizador a utilizar, quer ainda do caudal a utilizar. Uma câmara de maior altura poderá ser mais interessante do ponto de vista da evaporação uma vez que aumenta o percurso das gotas no ar e este será um dos tópicos de desenvolvimento futuro, conjuntamente com o estudo de qual caudal mínimo que é possível utilizar na câmara.

O sistema pode ser acoplado a colectores solares, se bem que a produção por unidade de área de coletor que se obtive por simulação não seja elevada. O desempenho poderá ser superior quando o sistema estiver acoplado a uma fonte com temperatura aproximadamente constante como por exemplo um Lago solar.

Em última análise é o custo final da água produzida o critério a ter em conta na decisão final de qual o melhor sistema a utilizar para a dessalinização de água e no caso concreto do destilador em estudo este custo vai depender fundamentalmente do sistema de aquecimento a utilizar, uma vez que o custo da câmara construída é baixo, cerca de 600 USD, podendo produzir até cerca de 40 kg/dia.

REFERÊNCIAS.

- Saravia, L., J.Franco (1992). Multistage solar still. *Universidad Nacional de Salta, Franco, Argentina.*
- Joyce, A., D. Loureiro, M. Collares Pereira (1993). Destilador multi-efeito com iluminação por CPC assimétrico. Resultados dos ensaios com iluminação natural. *Revista grupo CATED-D em San Carlos de Bariloche - Argentina.*
- Aguiar, R., M. Collares Pereira (1989). The modeling of daily sequences of hourly radiation through autoregressive methods. *Proc. Solar World Congress ISES Kobe (Japão)*
- Moreira, M., A. Joyce, H. Pina (1994). Modelação computacional dum destilador com evaporação por "spray" para dessalinização de água do mar. *Séptimo Congresso Itérico de Energia Solar Vigo (Espanha).*

MODELAÇÃO COMPUTACIONAL DUM DESTILADOR COM EVAPORAÇÃO POR "SPRAY" PARA DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA DO MAR

Moreira, M., A. Joyce**, H. Pina***

**IPS-Escola Superior de Tecnologia-Rua Vale de Chaves, Estacafamilha, 2900 Setúbal, Portugal

Telefone - 065 76 16 21 Telex - 065 72 18 69

***INETI-Azinhaga dos Lameiros à Estrada do Paço do Lumiar, 1699 Lisboa Codex, Portugal

****IST-Instituto Superior Técnico - Lisboa, Portugal

RESUMO

O desenvolvimento dum evaporador com evaporação por "Spray" motivou a elaboração dum set modelo computacional. A comparação dos resultados da simulação com resultados experimentais revelou um idêntico comportamento qualitativo e erros relativos de 20%. Simulações computacionais posteriores evidenciam a possibilidade de atingir desempenhos energeticamente atractivos.

ABSTRACT

A computational model was developed to study a desalting system based on the process of spray evaporation. The simulation agreed qualitatively and quantitatively (with relative errors of 20%) with experiment. Posterior simulations show that it is possible to improve the system performance toward an energetic attractive level.

KEYWORDS

Desalination, Evaporation, Spray, Distillation, Simulation