



Exemplo de aplicação do ACBT: Produção de 50 m³/dia de água a 40° C durante todo o ano com fracção solar de 100%

resumo

Este trabalho é uma aplicação prática do processo de acumulação de calor em grande escala que foi descrita a pp. 313-316 da «Electricidade» n.º 226. Simula-se para um determinado local o aquecimento a 40° C de 50 m³ de água por dia durante todo o ano à custa de 500 colectores solares mod. AC-2.0 da Pretec.

1 — Introdução

A produção de água quente através da energia solar sem recurso ao aquecimento complementar por via eléctrica, por caldeira a gás ou a gasóleo, ou mesmo através de fornalhas a lenha, com garantia de uma determinada quantidade de água quente em cada um dos 365 dias do ano, em climas de insolação irregular como é a do nosso país, tem sido um objectivo que, a conseguir-se, tornaria qualquer empreendimento apenas dependente da sua capacidade de amortização do investimento. Na verdade, tal instalação seria absolutamente independente dos preços da energia convencional.

Ultimamente temos trabalhado no desenvolvimento de acumuladores de calor e grande escala, a baixa temperatura, a que atribuímos a sigla ACBT⁽¹⁾, cuja construção poderá vir a ser economicamente viável em determinadas condições, para instalações com capacidade da ordem de 50 m³/dia em água a 40° C, durante todo o ano. O ACBT consiste em um volume de lama ou terra saturada em humidade, convenientemente isolada sob o aspecto térmico, impermeabilizado e soterrado e dispendo de um mecanismo de introdução e

abstract

This paper is a practical example of the process of heat accumulation at low temperature which has been presented on pp. 313-316 at «Electricidade» 226. The heating at 40° C of 50 m³ of water each day during all the year provided by 500 solar collectors mod. AC-2.0 from Pretec, is simulated for one concrete place.

extracção de calor. A dimensão do ACBT mede-se pelo seu volume em m³. A sua capacidade calorífica depende da natureza do terreno e o custo depende fundamentalmente da configuração topográfica do local. Explicamos a seguir, com um exemplo, o dimensionamento de uma instalação.

2 — Problema a solucionar

Pretende-se dimensionar uma instalação para aquecer 50 000 litros diários de água a 40° C com uma fracção solar de 100%, isto é, não só se compensa a ausência de Sol nos dias encobertos, como se compensa a falta de capacidade solar nos meses de Novembro a Fevereiro.

(*) Jorge Neves da Silva, Eng. Mecânico (I.S.T.), Prof. Cat. (F.C.T./U.N.L.).

(1) ACBT — Acumulação de Calor em Grande Escala. Ver o artigo de J. Neves da Silva, *Novo Processo de Acumulação de Calor em Grande Escala*, ELECTRICIDADE n.º 226, Ag./Set. 1986, p. 313-316.

Este dimensionamento não considera as perdas térmicas no permutor de calor do ACBT, para tornar a sua compreensão mais fácil. Os colectores solares considerados, são o modelo AC-2.0 da marca PRETEC com a área útil de 2m² cada um e a seguinte expressão para o rendimento instantâneo:

$$\eta = 0,78 - 6,86 (T_m - T_a) / I$$

e o ACBT tem o volume de 5 000 m³ e a capacidade calorífica de cerca de 131 MWh na banda utilizável de 40° C a 70° C.

O local suposto é a região do Carregado. No Quadro I estimam-se as médias mensais de temperatura, sendo de 16,1° C a temperatura média anual. Estes e os valores da insolação são médias dos dados de 30 anos entre 1931 e 1960. Admite-se que a temperatura da água da rede é igual à temperatura média ambiente, o que é discutível mas globalmente não afecta a validade do dimensionamento.

3 — Dimensionamento preliminar

Admitimos que a temperatura média disponível no ACBT é de 55° C. A equação das perdas pelas paredes do acumulador de calor exprime-se por

$$Q_l = K n_i (T_i - \bar{T}_{a_i}) \text{ kW/mês} \quad (1)$$

em que n_i é o número de dias de cada mês, \bar{T}_i a temperatura média no seio do ACBT em cada mês e \bar{T}_{a_i} a respectiva temperatura média ambiente, em °C. O coeficiente K resulta dos valores das espessuras do isolamento, da sua natureza, da configuração do ACBT, e da unidade de tempo (dia). Para 0,1 m de espessura de aglomerado negro de cortiça e admitindo o isolamento proporcionado pelo terreno, fixámos $K = 9,6 \text{ kW/°C dia}$.

A expressão da capacidade calorífica do ACBT escreve-se:

$$Q_{ACBT} = C (\bar{T}_i - 40) \text{ kWh} \quad (2)$$

em que C é a capacidade calorífica do ACBT em kWh/°C e depende da natureza do solo e percentagem de humidade que este poderá absorver. Para um volume global de 5 000 m³ com terra húmida de calor específico médio 0,75 kcal/dm³, a capacidade calorífica é

$$C = 5000 \text{ 000} \times 0,75 / 860 = 4360 \text{ kWh/°C}$$

Então a expressão (2) escreve-se:

$$Q_{ACBT} = 4360 (\bar{T}_i - 40) \text{ kWh}$$

em que 40° C é a temperatura de referência para a capacidade nula do ACBT.

As perdas médias em um ano serão calculadas aproximadamente a partir do valor considerado para $K (= 9,6 \text{ kW/°C dia})$, para a temperatura média do ACBT de $T_M = 55^\circ\text{C}$, e para a temperatura média ambiente anual $\bar{T}_a = 16,1^\circ\text{C}$:

$$Q_{perd} = \sum_{i=1}^{12} 9,6 n_i (\bar{T}_i - \bar{T}_{a_i})$$

ou

$$Q_{perd} \simeq 9,6 (T_M - \bar{T}_a) \sum_{i=1}^{12} n_i$$

donde

$$Q_{perd} = 9,6 (55 - 16,1) 365$$

ou seja

$$Q_{perd} = 136 \text{ 300 kWh/ano}$$

Na terceira coluna do Quadro I determina-se o total anual de kWh consumidos para aquecer, todos os dias, 50 m³ de água, desde a temperatura ambiente até 40° C (admitindo que o calor específico médio da água é 1 kcal/dm³ °C):

$$Q_{abs} = \sum_{i=1}^{12} n_i 50000 (40 - \bar{T}_{a_i})$$

isto é

$$Q_{abs} = 436 \text{ 157 600 kcal/ano}$$

ou

$$Q_{abs} = 507 \text{ 160 kWh/ano}$$

o que, adicionado ao resultado anterior, origina:

$$136 \text{ 300} + 507 \text{ 160} = 643 \text{ 460 kWh/ano}$$

correspondente à produção anual de 500,75 colectores solares modelo AC-2.0⁽²⁾ montados com inclinação a 45 graus e voltados para Sul.

Fixaremos então 500 colectores solares de 2 m² para aquecer os 50 m³/dia de água, para proporcionar o total anual de 642 490 kWh.

4 — Comportamento do ACBT

Pelo quadro verifica-se que a temperatura reinante no seio do ACBT, que foi estimada em 55° C no mês de Janeiro, decaiu até um mínimo de 42,25° C em Abril, e atingiu o máximo de 68,85° C em Outubro.

(2) Modelo de colectores solares fabricados pela firma PRETEC.

QUADRO I

Exemplo de cálculo

MÊS	Temp. ambiente \bar{T}_a [°C]	ΔQ_{abs} Calor absorvido p/ aquecer 50m ³ /dia a 40°C [kWh/mês] (2)	Q_{500} Calor gerado em 500 col. sol. [kWh/mês] (1)	ΔQ_{entr} (1)-(2)=(a) [kWh/mês]	\bar{T}_i [°C]	Q_{ACBT} =4360 ($\bar{T}_i - 40$) [kWh]	ΔQ_{perd} =9,6 n _i ($\bar{T}_i - \bar{T}_a$) [kWh/mês] (b)	$\Delta T =$ (a)+(b) = $\frac{4360}{4360}$ [°C]
JAN.	10,0	54 070	35 520	- 18 550	55,00	65 400	- 13 390	-7,33
FEV.	10,2	48 510	42 160	- 6 350	47,67	33 440	- 10 070	-3,77
MAR.	13,0	48 660	50 650	+ 1 990	43,90	17 000	- 9 200	-1,65
ABR.	15,2	43 260	56 500	+ 13 240	42,25	9 810	- 7 790	+1,25
MAI.	17,4	40 730	58 070	+ 17 340	43,50	15 260	- 7 770	+2,20
JUN.	19,8	35 230	58 180	+ 22 950	45,70	24 850	- 7 460	+3,55
JUL.	22,2	32 080	69 300	+ 37 220	49,25	40 330	- 8 050	+6,69
AGO.	22,3	31 900	72 900	+ 41 000	55,94	69 500	- 10 010	+7,11
SET.	21,0	33 140	65 010	+ 31 870	63,05	100 500	- 12 110	+4,53
OUT.	17,8	40 010	58 660	+ 18 650	67,58	120 250	- 14 810	+0,88
NOV.	13,5	46 220	41 480	- 4 740	68,46	124 090	- 15 830	-4,72
DEZ.	10,4	53 550	34 060	- 19 290	63,74	103 510	- 15 870	-8,06
ANO	16,1	507 160 [kWh/ano]	642 490 [kWh/ano]	+135 330 [kWh/ano]	$\epsilon \Delta T = +0,68^\circ\text{C}$		-132 360 [kWh/ano]	$\epsilon = +0,68^\circ\text{C}$

$$T_{i+j} = T_i + \Delta T$$

$$\Delta T = \frac{Q_{500\text{cs}} - \Delta Q_{abs} + \Delta Q_{perd}}{4360} = \frac{(1) - (2) + (b)}{4360} = \frac{(a) + (b)}{4360}$$

$$\epsilon_{\Delta T} = T_{12+1} - T_1 = 55,68 - 55,00 = +0,68^\circ\text{C}$$

$$135\,330 - 132\,360 = +2970 \text{ kWh}$$

$$\epsilon = \frac{2970}{4360} = 0,68^\circ\text{C}$$

terminando o ano com um saldo positivo de cerca de 1°C em relação à previsão inicial.

O total de energia suprida pelo ACBT para compensar a falta de capacidade de resposta dos painéis solares é de 48 930 kWh/ano durante os quatro meses em que o balanço é altamente desfavorável para o aquecimento solar, isto é, desde Novembro até Fevereiro. Acresce que não estão identificadas todas as falhas de sol durante os restantes dias cinzentos, que ocorrem mesmo nos meses de verão. Portanto, o ACBT garante não apenas a transferência ocasional

de calor solar para os dias nublados, mas também a cobertura dos meses frios em que a radiação solar é insuficiente.

5 — Inconvenientes do ACBT

Na penúltima coluna do Quadro I verifica-se que as verdadeiras perdas térmicas anuais do ACBT são 133 100 kWh e representam

$$133\,100 / 642\,490 = 0,207$$

ou seja, cerca de 21% da energia gerada nos colectores solares. É certo que os sistemas clássicos de acumulação de energia solar para a distribuir em 24 horas tem perdas de energia. Neste caso concreto, um depósito solar com 50 m³ de água, isolado normalmente e acumulando calor ao longo de 6 horas úteis do dia, perde cerca de 3% em 24 horas.

Também não foram consideradas as perdas de calor no permutador água-água que injecta ou extrai calor no ACBT. No quadro nota-se que a temperatura mínima é atingida entre Março e Abril (42,25°C) o que representa efectivamente uma margem insuficiente para o funcionamento do permutador do ACBT. É certo que no fim do balanço anual aparece um excedente de cerca de 0,68°C (55,68°C no final de Dezembro contra a previsão de 55°C no início de Janeiro). Este excedente faria estabilizar aquela temperatura à volta de 57°C (à medida que aumenta a temperatura, maiores são as perdas do ACBT) se as condições climáticas se repetissem rigorosamente em cada ano e fossem iguais às da média dos 30 anos de referência, o que é muito provável que não aconteça, razão porque o incremento de 0,68°C não tem significado prático.

Outro inconveniente é o custo do ACBT pois nem a transferência dos 48 930 kWh para os meses de Novembro a Fevereiro nem a respectiva cobertura dos dias cinzentos intercalados, em que, doutro modo se

gastaria combustível pago, amortizam o investimento com a desejada brevidade.

6 — Vantagens do ACBT

Em regra, o ACBT pode ser construído para receber o calor excedentário de outras fontes de energia em processos industriais.

Por outro lado, o ACBT poderá concentrar os consumos de energia em determinados dias, por exemplo, para aquecimento de ambiente, tornando o ritmo de consumo praticamente independente do ritmo de produção. Parece-nos que será de grande vantagem em regiões ou países de inverno rigoroso apesar de serem grandemente beneficiados pelo Sol durante o verão (caso dos países escandinavos).

7 — Conclusões

Este trabalho não tem apenas interesse meramente académico mas abre caminho para a resolução do grande problema que enfrentam os projectistas de instalações para o aproveitamento de energia solar: a irregularidade do aparecimento do astro-rei ao longo de cada dia de cada ano. Seria interessante que encontrasse eco junto das Entidades que, em conjunto, pudessem dar execução a um projecto real de características semelhantes.