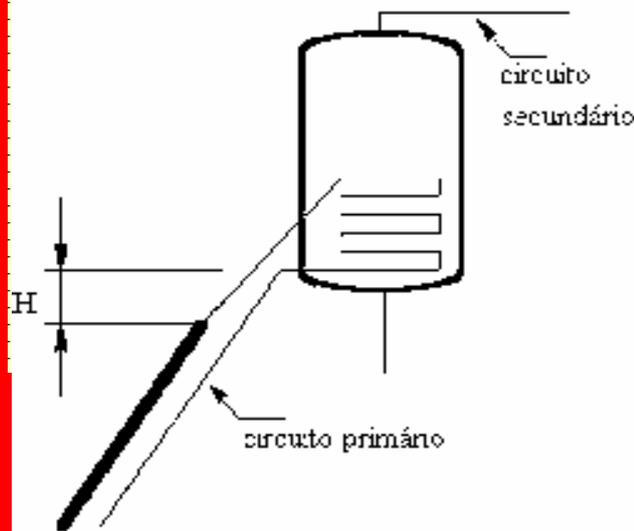
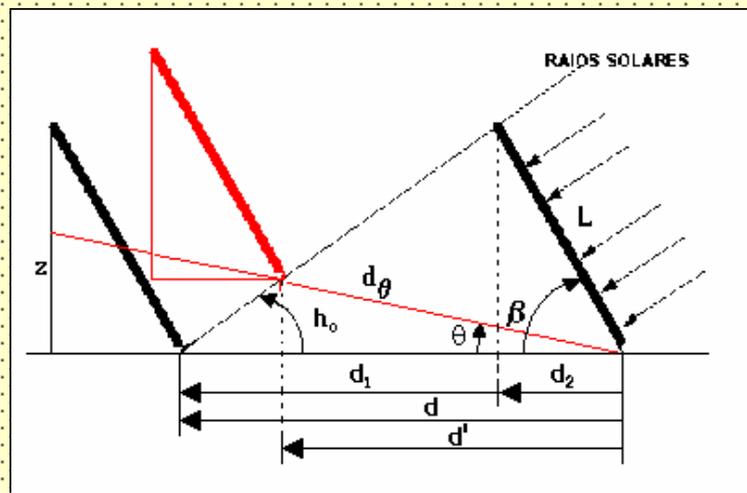


Instalações

Solares Térmicas



JANEIRO 2007



Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia e Inovação, IP



Sociedade Portuguesa de Energia Solar

Departamento de Energias Renováveis
Edifício G – Campus do INETI-DER
Estrada do Paço do Lumiar
1649-038 Lisboa - Portugal
Tel: +351 21 712 7237
Fax: +351 21 712 7195

Sociedade Portuguesa de Energia Solar
Edifício M1 – Campus do INETI-DER
Estrada do Paço do Lumiar
1649-038 Lisboa – Portugal
Tel: + 351 21 716 6903
Fax: + 351 21 715 7269

Curso de Instaladores Solares Térmicos
INETI, Lisboa

JANEIRO de 2007

Este Manual é baseado no Manual editado pela Sociedade Portuguesa de Energia Solar, no âmbito do Contrato Altener nº 4.1030/Z/96-104 – “Acções para a disseminação da Energia Solar Térmica em Portugal”, financiado pelo Programa Altener e Direcção-Geral de Energia.

CURSO DE
INSTALADORES
DE
EQUIPAMENTOS SOLARES TÉRMICOS

CONVERSÃO TÉRMICA
da
ENERGIA SOLAR

Eduardo Perez Lebeña
SPES

Jorge Cruz Costa
DER / INETI

CONVERSÃO TÉRMICA DA ENERGIA SOLAR

ÍNDICE

1.	<u>FÍSICA</u>	8
1.1.	<i>INTRODUÇÃO</i>	8
1.2.	<i>GRANDEZAS</i>	8
1.3.	<i>MECÂNICA</i>	8
1.4.	<i>HIDRÁULICA</i>	8
1.5.	<i>TERMOTECNIA</i>	9
1.6.	<i>ELECTRICIDADE</i>	11
2.	<u>RADIAÇÃO SOLAR</u>	14
3.	<u>MOVIMENTO</u> -TERRA - SOL	15
4.	<u>CONVERSÃO</u> TÉRMICA da ENERGIA SOLAR	16
4.1.	<i>PRINCÍPIOS BÁSICOS PARA O APROVEITAMENTO ÓPTIMO DA ENERGIA SOLAR</i>	17
4.2.	<i>CONVERSÃO TÉRMICA A BAIXA TEMPERATURA</i>	18
	4.2.1. <i>Colectores solares. Efeito estufa</i>	
4.3.	<i>ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DO COLECTOR PLANO</i>	20
	4.3.1. <i>Coberturas transparentes</i>	
	4.3.2. <i>Placa Absorsora</i>	
	4.3.3. <i>Isolamento</i>	
	4.3.4. <i>Caixa</i>	
4.4.	<i>OUTROS TIPOS DE COLECTORES</i>	
	<i><u>Tubos de Vácuo,</u></i>	23
	<i><u>concentradores</u></i>	25
	<i>Colector parabólico composto (<u>CPC</u>)</i>	26
4.5.	<i><u>ESTUDO</u> ENERGÉTICO DO COLECTOR</i>	27
	4.5.1. <i>Curva característica de um colector solar</i>	
4.6.	<i><u>FLUIDO</u> de TRANSFERÊNCIA TÉRMICA</i>	30
4.7.	<i><u>CURVAS</u> DE PENALIZAÇÃO. ORIENTAÇÃO E INCLINAÇÃO DOS COLECTORES</i>	34
4.8.	<i>DETERMINAÇÃO DE <u>SOMBRAS</u> E COORDENADAS DO SOL</i>	37

4.9.	CIRCUITO PRIMÁRIO	
4.9.1.	<i>Distribuição e ligação dos colectores</i>	41
4.10.	<u>DIMENSIONAMENTO</u>: Programa SOLTERM 5.0	47
4.11.	<u>QUEDA DE PRESSÃO NO CAMPO</u> de COLECTORES	48
4.12.	<u>TUBAGENS</u>. MATERIAIS UTILIZADOS	50
4.12.1.	<i>Dimensionamento das tubagens</i>	
4.12.2.	<i>Capacidade interna das tubagens</i>	
4.12.3.	<i>Perdas de carga em tubagens</i>	
4.12.4.	<i>Elementos de ancoragem e de guia.</i>	
	<i>Isolamento das tubagens</i>	
4.13.	ARMAZENAMENTO. <u>ACUMULADORES</u>	55
4.13.1.	<i>Estratificação</i>	
4.13.2.	<i>Distribuição da água quente</i>	
4.13.3.	<i>Dimensionamento de acumuladores de A.Q.S. Critérios</i>	
4.13.4.	<i>Isolamento térmico dos depósitos de acumulação</i>	
4.14.	<u>PERMUTADORES</u> DE CALOR	61
4.15.	Bombas - <u>CIRCULADORAS</u>	63
4.15.1.	<i>Bomba de circulação do circuito primário</i>	
4.15.2.	<i>Bomba de circulação do circuito secundário</i>	
4.15.3.	<i>Bomba de enchimento do circuito primário</i>	
4.15.4.	<i>Circuitos de baixo caudal</i>	
4.16.	<u>TERMOSTATO</u> DIFERENCIAL.	66
	CONTROLO AUTOMÁTICO	
4.17.	<u>VASOS</u> DE EXPANSÃO	68
4.18.	<u>PURGADORES</u> E DESAERADORES	71
4.19.	VÁLVULAS	
4.19.1.	<i>Válvulas de <u>segurança</u></i>	72
4.19.2.	<i>Válvulas anti-<u>retorno</u></i>	73
4.19.3.	<i>Válvulas de <u>passagem</u></i>	73
4.19.4.	<i>Válvulas de <u>três</u> vias</i>	73
4.19.5.	<i>Válvulas <u>pressostáticas</u> do tipo “Watt”</i>	74
4.20.	<u>EXECUÇÃO</u> E MANUTENÇÃO DE UMA INSTALAÇÃO SOLAR	
4.20.1.	<i>Processos prévios à instalação</i>	75
4.20.2.	<i><u>Armazenamento</u>, manipulação</i>	

<i>e montagem dos colectores</i>	75
4.20.3. Processo de montagem da instalação solar	76
4.20.4. <u>Arranque</u> da instalação solar	77
4.20.5. Provas <u>prévias</u> à entrega da instalação solar	79
4.20.6. Isolamento da instalação solar	84
4.20.7. <u>Operações</u> de manutenção que deverão ser efectuadas pelo dono da instalação e por pessoal especializado	80
4.20.8. Localização e <u>reparação</u> das avarias mais frequentes	81
4.21.9 Sistemas em <u>estagnação</u>	82
6 – <u>ANEXOS</u>	87

1. FÍSICA

1.1. INTRODUÇÃO.

No seu significado mais amplo, a Física é o estudo da natureza. Deste modo, estamos interessados pelos fenómenos que possam ser medidos e dos quais possamos tirar partido. Uma ferramenta imprescindível é a Matemática, que permite a compreensão dos fenómenos e das realizações técnicas que o homem cria para melhorar a qualidade de vida.

Assim, a Física está dividida em diversos campos independentes que permitem o seu estudo separadamente, tais como a Mecânica, a Hidráulica, a Termodinâmica, a Electricidade, a Óptica, que estudaremos brevemente para assegurar a compreensão dos capítulos relativos a Física Solar e as suas consequências imediatas.

1.2. GRANDEZAS.

Exemplos das grandezas físicas são o tempo, o espaço, a quantidade de electricidade, a potência, etc. que podem ser medidas e para as quais definimos unidades.

Por convénio, existem seis grandezas fundamentais: o **tempo**, o **espaço**, a **massa**, a **intensidade da corrente eléctrica**, a **temperatura absoluta** e a **intensidade luminosa**. As outras grandezas são o resultado da combinação das anteriores, por exemplo a velocidade é o cociente entre o espaço e o tempo.

Na seguinte tabela especificamos as grandezas habitualmente mais usadas e as unidades:

GRANDEZA	Sist. Unidades	UNIDADE	SIMBOLO
Espaço/comprimento	SI	Metro	m
Tempo	SI	Segundo	s
Massa	SI	Quilograma	Kg
Área	SI	Metro quadrado	m ²
Volume	SI	Metro cúbico	m ³
Força	SI	Newton	N
Trabalho	SI	Joule	J
Energia	SI	Joule	J
Energia	un. prática	kilowatt.hora	kWh
Calor	un. prática	Caloria	Cal
Potência	SI	Watt	W
Pressão	SI	Pascal	Pa
Pressão	un. prática	Metro Coluna Água	mca
Temperatura	SI	Kelvin	K
Carga Eléctrica	SI	Coulomb	C
Potencial Eléctrico	SI	Volt	V
Intensidade Eléctrica	SI	Ampere	A

1.3. MECÂNICA.

A Mecânica é o ramo da Física que estuda o movimento, as suas causas e implicações.

Existe uma relação entre a **força** que actua sobre um corpo e a aceleração que produz:

$$F = m * a.$$

Desta forma, o **peso** de um corpo é definido por:

$$P = m * g.$$

Onde **g** é a aceleração da gravidade, com um valor de 9.8 m/s².

Define-se o **trabalho** como o produto entre a força e o espaço percorrido no sentido do deslocamento do corpo.

$$W = F * e.$$

A **potência** é o trabalho realizado ou a energia transferida por unidade de tempo.

$$P = W / t.$$

1.4. HIDRÁULICA

É a parte da Física que estuda a mecânica dos líquidos.

Definimos:

Volume específico - V_e , é o volume por unidade de massa $V_e = V/m$ [m³/kg]

Massa específica - ρ , é a massa por unidade de volume $\rho = m / V$. [kg/m³]

Peso específico - P_e , é o cociente entre o peso e o volume. $P_e = m * g / V$ [N/m³]

Densidade - **d**, como a relação entre a massa de um corpo e a massa de igual volume de água a 4°C

Os líquidos têm uma **pressão** que é transmitida com a mesma intensidade em todas as direcções e que é suportada pelas paredes e o fundo do recipiente.

$$P = F / S \text{ em N/m}^2 \text{ ou Pascal.}$$

Uma unidade bastante utilizada é a atmosfera, equivalente a 1,013 10⁵ N/m².

O ramo da Física que estuda os líquidos em movimento é a **Hidráulica**.

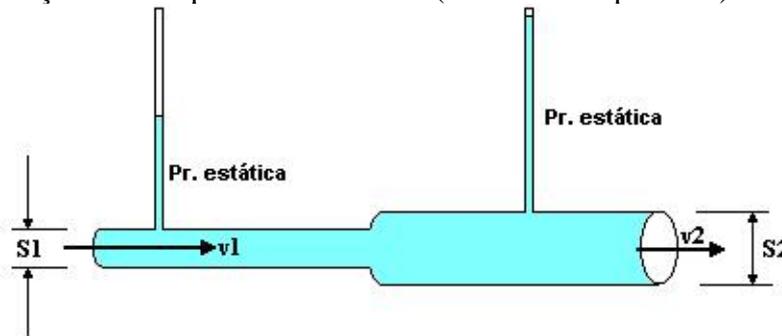
O **caudal** que circula pelo interior de um tubo pode definir-se:

$$M^{\circ} = \rho * v * S, \text{ em kg/s.}$$

Sendo

M° = caudal mássico
 ρ = massa específica
 v = velocidade de circulação do fluido.
 S = secção interna do tubo.

Em regime permanente, o caudal que entra é igual ao que sai, mesmo que haja uma variação de secção. Se o líquido for o mesmo (à mesma temperatura) teremos:



Equação de continuidade do fluxo: $v_1 * S_1 = v_2 * S_2$

Se o líquido estiver em repouso a sua pressão designa-se **Pressão Total** (P_T).

Se o líquido estiver em movimento, a pressão total passa a ter três componentes, a **pressão estática** (P_e), a **pressão dinâmica** (P_d) e a **pressão potencial** (P_z) que é um termo associado à energia potencial de posição.

A pressão estática é perpendicular às paredes do tubo; a pressão dinâmica está relacionada com a massa específica do líquido e a sua velocidade.

Considerando a hipótese simplificativa de não haver atritos, a **Pressão Total** mantém-se constante e é igual à soma das pressões estática e dinâmica e potencial:

$$P_T = P_e + P_d + P_z = P_e + \rho \cdot v^2/2 + Z \cdot \rho \cdot g$$

Sendo a soma constante, se a conduta for horizontal, quanto maior for a pressão dinâmica, menor é a pressão estática e vice-versa.

Na figura acima, quando a secção aumenta de S_1 para S_2 , diminui a velocidade ($v_2 < v_1$), diminui a Pressão dinâmica (P_d) e aumenta a pressão estática (P_e).

1.5. TERMOTECNIA.

A Termotecnia é o ramo da Física que estuda o calor e a sua propagação.

A **temperatura** é um conceito útil para medir e comparar o estado térmico dos corpos. Os elementos utilizados para medir esta temperatura são os termómetros, mas foi necessário definir previamente uma escala de valores. A centígrada, habitualmente usada, considera como zero a temperatura de congelação da água e como valor 100 o ponto de ebulição da água à pressão atmosférica normal (1atm). Nos países anglo-saxónicos ainda usam a escala Fahrenheit em que o 0°F ($-17,8^\circ\text{C}$) corresponde ao “flash point” da acetona.

CONDUÇÃO - requer o contacto físico entre dois corpos sólidos a diferentes temperaturas. O corpo com menor temperatura absorve calor até se atingir a temperatura de equilíbrio. Podemos calcular este valor tendo em conta que o calor cedido pelo corpo quente é o mesmo que o absorvido pelo frio. Os materiais podem ser bons condutores térmicos (p.ex. o cobre) ou isolantes (p.ex. a esferovite).

CONVECÇÃO - implica um movimento do corpo que transporta o calor e é a transferência de calor típica nos fluidos (líquidos ou gasosos) e pode ser natural ou forçada. Dependerá de :

- A velocidade do fluido
- A natureza do fluido (densidade, viscosidade, condutividade térmica e do calor específico).

RADIAÇÃO - é um mecanismo de transmissão de energia entre dois corpos a temperaturas diferentes, baseado em ondas electromagnéticas, que não necessita de um suporte físico. É a forma de transferência de energia entre o Sol e a Terra.

1.6. ELECTRICIDADE

Os corpos dividem-se entre condutores eléctricos e isolantes, segundo a facilidade que apresentem para que a corrente eléctrica circule por eles.

A unidade de **carga eléctrica** é o coulomb, equivalente à carga de $6,25 \cdot 10^{18}$ electrões

Denominamos **intensidade de corrente** (ampere), a carga que circula num corpo condutor na unidade de tempo.

$$I = q / t$$

Definimos a **diferença de potencial** (Volt) entre dois pontos A e B de um condutor como sendo o trabalho W, realizado para deslocar uma carga q desde A até B:

$$V_B - V_A = V_{AB} = W / q$$

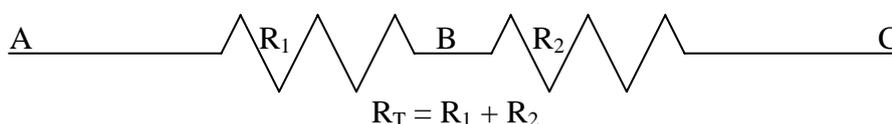
Denominamos **resistência** R (Ohm - Ω) de um condutor à resistência que opõe à circulação da corrente eléctrica, de acordo com: $R = V_{AB} / I$.

A **potência eléctrica** é o produto entre a diferença de potencial e a intensidade:

$$P = V_{AB} * I = R * I^2.$$

Efeito Joule. Quando uma corrente eléctrica passa por um condutor, este aquece de acordo com a expressão anterior de potência. Este aquecimento pode ser aproveitado mediante o uso de resistências de aquecimento destinadas, por exemplo, para o aquecimento de água (termos eléctricos).

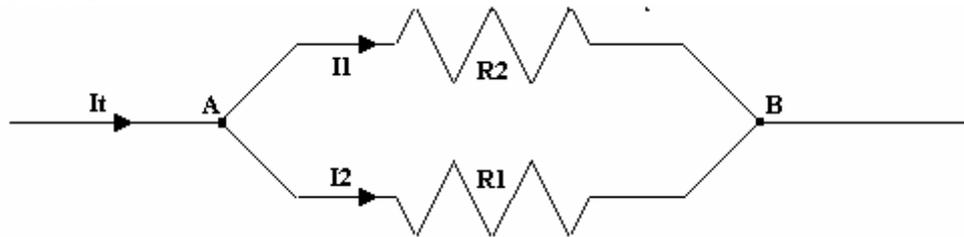
Associação de condutores. Podemos associar resistências em série ou em paralelo.
Em série:



$$V_{\text{TOTAL}} = V_{\text{AB}} + V_{\text{BC}} = V_{\text{AC}}$$

$$I_{\text{TOTAL}} = V_{\text{TOTAL}} / R_{\text{TOTAL}}$$

Em paralelo:



$$1/R_T = 1/R_1 + 1/R_2$$

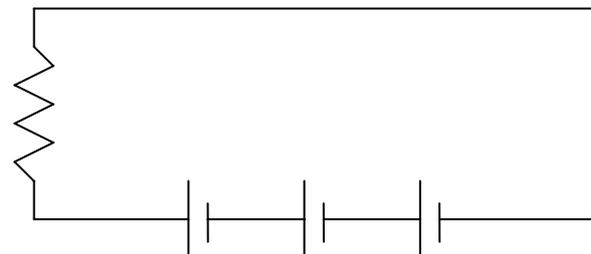
$$V_{\text{TOTAL}} = V_{\text{AB}} = V_{\text{AC}}$$

$$I_{\text{TOTAL}} = I_1 + I_2 = V_{\text{TOTAL}} / R_{\text{TOTAL}}$$

Acumuladores. São sistemas electroquímicos baseados em reacções químicas reversíveis ou não. Exemplos de acumuladores são as baterias e as pilhas. A diferença entre ambas é a possibilidade de recarregar as baterias um número muito elevado de vezes.

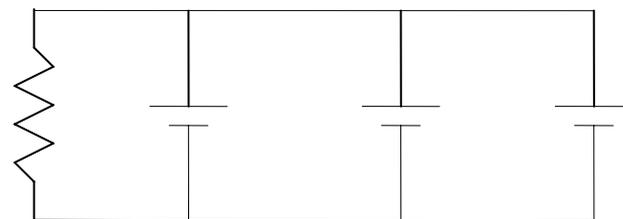
Definimos a **capacidade** de um acumulador como a quantidade de energia que pode armazenar no seu interior. Os acumuladores, tal como as resistências, podem ser associados em série ou em paralelo.

Em série:



$$V_{\text{TOTAL}} = 3V, C_{\text{TOTAL}} = C, I_{\text{TOTAL}} = I$$

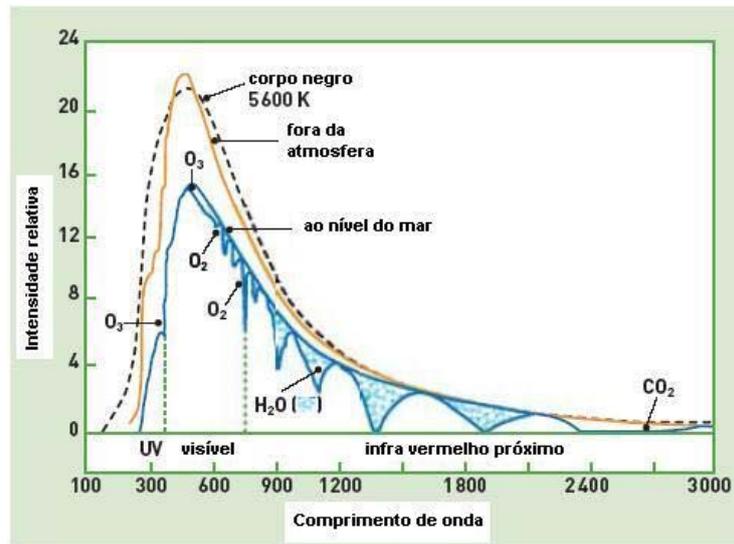
Em paralelo:



$$V_{\text{TOTAL}} = V, C_{\text{TOTAL}} = 3C, I_{\text{TOTAL}} = 3I$$

2. RADIAÇÃO SOLAR

O sol emite radiação electromagnética que se decompõe em **infravermelho** (46%), **visível** (47%) e **ultravioleta** (7%).

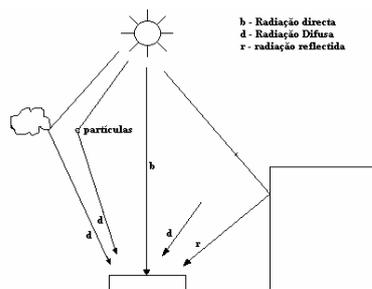


Espectro da radiação solar, que chega à superfície da Terra (nível do mar). Comparação com a radiação fora da atmosfera. (As indicações de O₃, O₂, H₂O e CO₂, indicam a absorção do espectro por esses compostos)

Radiação fora da Atmosfera	96 W/m ²	642 W/m ²	629 W/m ²	1367 W/m ²
	7 %	47 %	46 %	100 %

A radiação solar sobre uma superfície dentro da atmosfera terrestre tem três componentes:

- a *radiação directa*, que vem directamente do sol.
- *radiação difusa*, proveniente de todo o céu excepto do disco solar. A radiação, ao atravessar a atmosfera, é em parte reflectida pelos componentes atmosféricos (as nuvens), outra parte é absorvida (O₃, O₂, H₂O,...) e a restante é difundida (moléculas, gotas de água, pó em suspensão).
- *radiação reflectida*, proveniente da reflexão no chão e em objectos circundantes. A reflectividade do chão designa-se por **albedo** e depende apenas da composição e cor do chão (existência de neve, água, vegetação, etc).



b - Radiação directa
d - Radiação Difusa
r - radiação reflectida



Piranómetros: Radiação global

e Radiação difusa

3. MOVIMENTO TERRA - SOL

A Terra descreve uma órbita elíptica em torno do Sol, que se encontra num dos focos.

O plano que contém esta trajectória (e a de todos os planetas) denomina-se *plano da eclíptica*.

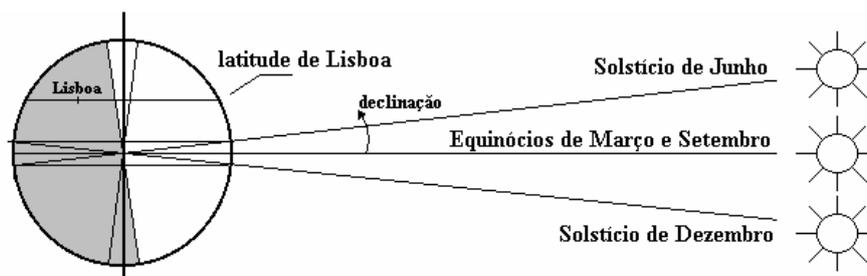
A Terra roda sobre si mesma e completa uma rotação num dia, percorrendo a sua trajectória em 365 d. 5 h. 48 m. 46 s. De 4 em 4 anos acerta-se o calendário com um dia suplementar (29 Fev em anos bissextos). Isto corresponde a um excesso de 11m 14s. No fim de cada século, suprime-se o ano bissexto se não for divisível por 400.

O eixo de rotação, denominado *eixo polar*, é quase perpendicular ao plano da eclíptica, formando um ângulo com a normal ao plano da órbita de valor $23^{\circ} 27'$.

Declinação Solar é o ângulo formado entre a direcção da radiação e o plano do equador e varia entre $+23^{\circ} 27'$ e $-23^{\circ} 27'$.

Durante os *equinócios* da primavera (21 de Março) e do Outono (22 de Setembro), os dias são iguais às noites, porque a declinação solar é nula. Estes são os únicos dias em que está correcta a afirmação: ***O Sol nasce a Este e põe-se a Oeste***

Durante o ***solstício do verão*** (23 de Junho) a declinação solar é de $23^{\circ} 27'$, o período diurno é maior que o período nocturno e o Sol, encontrando-se sobre o Trópico de Câncer, nasce quase a NE e põe-se quase a NW. No ***solstício do Inverno*** (22 de Dezembro), a declinação é igual mas de valor negativo, o Sol encontra-se sobre o Trópico de Capricórnio e a duração do dia é inferior à da noite.



NOTA: O dia e a noite no Solstício de Junho

4. CONVERSÃO TÉRMICA da ENERGIA SOLAR

O aproveitamento da energia solar por conversão em energia térmica a baixa temperatura é interessante com períodos mínimos de utilização do equipamento solar de oito a dez meses por ano.

As aplicações mais frequentes são:

- Produção de **AQS** (Água Quente Sanitária), para uso em vivendas, hospitais, hotéis, etc., com necessidades de consumo regulares ao longo de todo o ano.
- Aquecimento de piscinas.
- Aquecimento ambiente com piso radiante.
- Produção de água a elevadas temperaturas destinada a uso industrial por concentração dos raios solares em colectores parabólicos.

Em geral, os equipamentos solares não garantem a totalidade do consumo energético, sendo por isso necessário o apoio de uma instalação convencional, que assegure as necessidades energéticas não cobertas pelo sistema solar.

Contrariamente ao critério de dimensionamento seguido para os equipamentos convencionais, os sistemas solares não se dimensionam para as condições extremas (Inverno, baixa radiação solar) de certos dias do ano, mas sim para as necessidades energéticas médias anuais. Para este tipo de equipamentos não se considera a ponta máxima previsível de consumo energético, mas o balanço médio anual.

A análise da rentabilidade económica dos equipamentos solares baseia-se na poupança de energia ou combustível obtida num ano médio de funcionamento.

4.1. PRINCÍPIOS BÁSICOS PARA UM APROVEITAMENTO ÓPTIMO DA ENERGIA SOLAR.

Num projecto de uma instalação de energia solar é fundamental respeitar alguns princípios, evitando assim os problemas que muitas vezes se observam.

1- Captação do máximo possível de energia solar.

É preciso instalar o número suficiente de colectores para captar a energia necessária e escolher a orientação correcta, definir, designadamente, a estratégia de interligação com a energia de apoio. Os dispositivos de regulação e controlo são cada vez mais completos, podendo mesmo controlar a energia de apoio e estabelecer as prioridades de fornecimento da energia aos diversos sub-sistemas de utilização (p.ex. AQS, Aq. Central, Aq. de piscina, etc).

Devemos excluir sistemas que disponham somente de um simples termostato (no colector ou no armazenamento) como único parâmetro para determinar o funcionamento das bombas.

2- Prioridade ao Sol!

A energia solar é gratuita e a convencional não. O consumo energético deve realizar-se prioritariamente com a primeira e só recorrer à energia de apoio quando o “sol” não for suficiente. O sistema de armazenamento deve garantir prioritariamente o uso da energia solar face à energia convencional..

Há várias maneiras de assegurar a complementaridade sem por em causa a prioridade ao sol:

Produção instantânea da energia de apoio.

O gerador de apoio fornece a potência necessária em cada instante, variável em função da temperatura do pré-aquecimento solar. Situremos o gerador instantâneo (por exemplo, um esquentador de gás com chama modulante) à saída do acumulador solar (em série com a instalação solar).

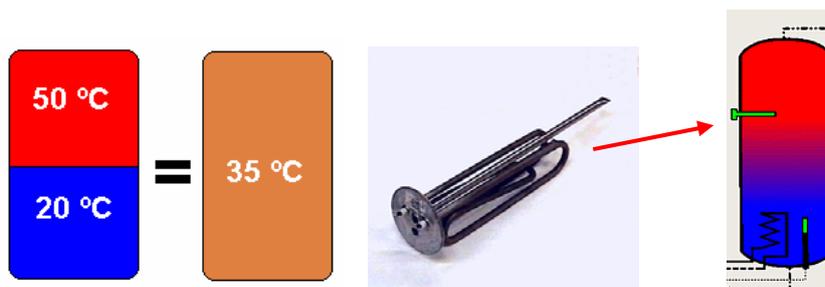
É uma instalação muito prática e recomendável para vivendas unifamiliares com sistemas de aquecimento solar por termossifão.

Energia de apoio num acumulador independente.

Este acumulador situar-se-á entre o acumulador solar e os pontos de consumo. A missão deste acumulador de apoio é receber a água pré-aquecida pelo sistema solar e fornecer a energia que ainda for necessária.

Energias solar e de apoio no mesmo acumulador

Um acumulador único que armazene a energia solar e a de apoio num mesmo reservatório leva a um alto risco de mistura, e para o evitar é necessário tomar certas precauções designadamente quanto à estratificação, havendo casos em que tudo se passa como se tivéssemos dois depósitos sobrepostos, o solar em baixo e o de apoio em cima. O respeito deste terceiro princípio, junto com os dois anteriores, conduzirá a um bom funcionamento da instalação, assegurando um elevado rendimento na conversão solar.



4.2. CONVERSÃO TÉRMICA A BAIXA TEMPERATURA

Qualquer objecto exposto à influência directa do sol recebe calor e aquece.

Uma superfície de 1 m² orientada para o Sol recebe, fora da atmosfera, uma radiação de 1 367 W/ m² que ao atravessar a atmosfera terrestre, é atenuada para um valor aproximado de 1 000 W / m².

4.2.1. Colectores solares. Efeito estufa.

Sabemos que um corpo exposto ao sol recebe um fluxo energético "Q" que o aquece. Simultaneamente, há perdas por radiação, convecção e condução, que aumentarão com a temperatura do corpo.

Chega um momento em que as perdas térmicas, "Qp", se igualam aos ganhos devidos ao fluxo energético incidente, atingindo-se a temperatura de equilíbrio, "tc".

Assim, no equilíbrio tem-se:

$$Q = Q_p$$

Se conseguirmos extrair continuamente uma parte do calor produzido mudaremos as condições do equilíbrio anterior, ficando :

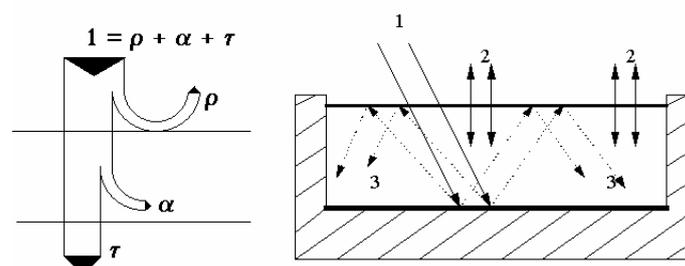
$$Q = Q_p + Q_u$$

$Q_u \Rightarrow$ Fluxo de energia extraída do corpo.

Corpo negro é aquele que absorve toda a radiação incidente mas é também aquele que, a uma dada temperatura consegue emitir mais energia por radiação. Se colocarmos uma superfície plana bem orientada à radiação solar, ela absorverá a energia incidente, aquecendo, até atingir o equilíbrio térmico (perdas = ganhos). Como consequência, absorve energia com um comprimento de onda entre 0,25 e 2,5 μm e emite-a com comprimentos de onda maiores. Por exemplo uma chapa a 100°C emite entre 3,9 e 39 μm .

Assim, a energia luminosa transformou-se em térmica, e será aproveitada se fizermos circular um fluido.

Para captar a energia solar interessa-nos um corpo que absorva como um corpo negro e emita pouco, este é o conceito de *superfície selectiva*.



Corpos transparentes**Efeito de estufa num colector solar.**

- 1-Radiação solar incidente.
- 2-Radiação emitida pela cobertura ao aquecer.
- 3-Radiação reflectida no interior do colector e que não escapa para o exterior.

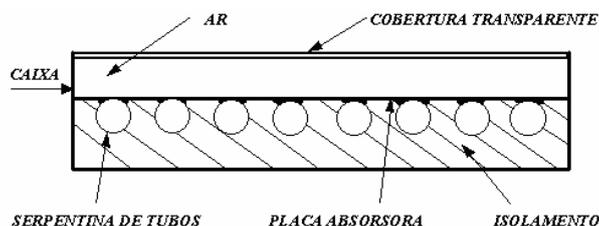
Chamamos **corpo transparente** àquele que deixa passar a radiação electromagnética. A maior parte do espectro da radiação solar está compreendida entre 0.25 e 2.5 μm . A luz atravessa o vidro e chega ao absorvedor. Este aquece e emite radiação com um comprimento de onda maior, para o qual o vidro é opaco, não conseguindo escapar para o exterior, contribuindo assim para aquecer ainda mais a superfície do absorvedor. Este último fenómeno é conhecido como **efeito estufa**. A cobertura transparente reduz consideravelmente as perdas térmicas por convecção entre o absorvedor e o ambiente exterior.

Superfície Selectiva é uma superfície que absorve bem a radiação solar mas a uma dada temperatura emite muito menos que o corpo negro. As primeiras superfícies selectivas eram de óxidos negros de níquel e de cromo, com emitâncias entre 0,1 e 0,2. Actualmente existem superfícies selectivas com emitâncias da ordem de 0,05 (caso das superfícies TINOX de óxido de titânio)

Tubos de vácuo O efeito de estufa pode ser melhorado de forma significativa se entre o absorvedor e o vidro se fizer o vácuo, pois desta forma se anulam as perdas por convecção e condução.

4.3. ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DO COLECTOR PLANO.

De forma simples, um colector plano é formado pela cobertura, a placa absorvedora e uma caixa isolada para evitar as perdas de calor. À placa absorvedora solda-se uma serpentina de tubos pelos quais circula o fluido térmico.



4.3.1. Cobertura transparente.

Destina-se a assegurar o efeito de estufa.

As qualidades fundamentais que devem ter são:

- Ter uma boa transparência (perto de 90%)
- - Provocar o efeito estufa e reduzir as perdas por convecção, melhorando o rendimento do colector.
- - Assegurar a estanquicidade do colector às intempéries (água, ar, poeiras, etc). As coberturas dos colectores devem resistir à pressão do vento, ao peso do gelo, da neve e aos choques térmicos.

Os materiais mais utilizados são o vidro e alguns tipos de acrílicos.

Os tratamentos especiais que podem ser aplicados à cobertura transparente são de dois tipos:

- * Um tratamento anti-reflexo sobre a superfície exterior para diminuir as perdas por reflexão dos raios solares incidentes.
- * Um tratamento na superfície interior, para que reflecta as radiações de elevado comprimento de onda, e não impeça a passagem da radiação de curto comprimento, para diminuir as perdas por radiação.

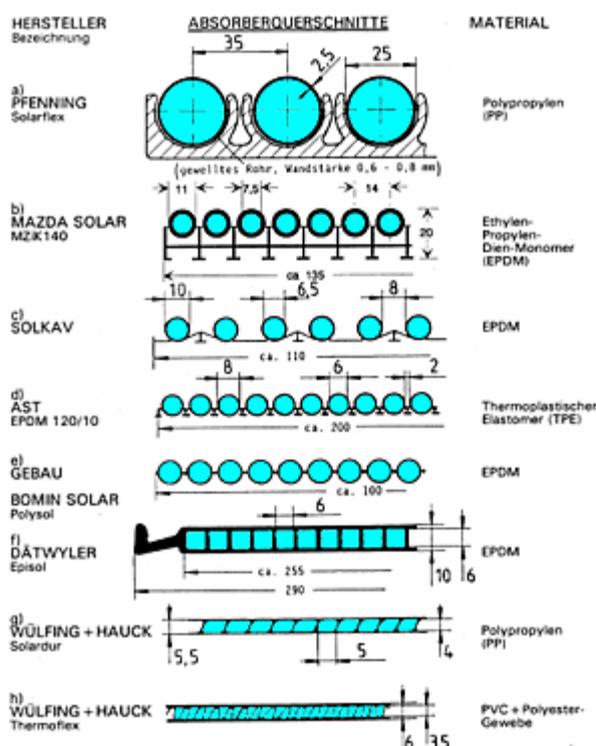
As coberturas de vidro duplo têm a vantagem de aumentar o efeito estufa e a temperatura que pode atingir o fluido no absorvedor. Por outro lado, as perdas ópticas são maiores (a energia recebida é menor). Em geral, pode dizer-se que a cobertura dupla é mais interessante quando a temperatura exterior é mais baixa e o vento é mais forte. Nas nossas latitudes este tipo de cobertura só tem sentido para instalações de alta montanha, nas quais a intensidade de radiação é maior.

4.3.2. Placa absorvora.

O absorvora tem como miss3o receber a energia, transform3-a em calor e transmiti-la ao fluido t3rmico.

Os modelos mais habituais de absorvora s3o:

- Duas placas met3licas separadas alguns mil3metros entre as quais circula o fluido (l3mina de 3gua).
- Tipo denominado *Roll-Bond*. Estes pain3is s3o formados por duas placas de cobre/alum3nio unidas por press3o a quente. O circuito 3 desenhado com resina e nesse s3tio as placas n3o soldam. O l3quido circula nesse circuito "impresso".
- Placa met3lica absorvora, sobre a qual est3o soldados os tubos.
- Absorvora de pl3stico (polipropileno), usados quase exclusivamente em aquecimento de piscinas.



Exemplos de absorvora (extra3do do CD ROM MULTISOL)

Já vimos que o absorvedor tem de ter uma absorptância elevada (>0.9) e que para o rendimento ser elevado podemos recorrer a **superfícies selectivas** que absorvem tão bem como o **corpo negro** mas perdem menos por radiação (0.05 a 0.15 ou 5 a 15%).

4.3.3. Isolamento

Situa-se entre a caixa e o absorvedor para reduzir as perdas de calor por condução.

O isolamento utilizado pode ser de qualquer dos tipos existentes no mercado (lã de vidro ou de rocha, poliuretano, aglomerado de cortiça, etc.), que possuam uma elevada resistência térmica, adequada às temperaturas que o colectador pode atingir.

A precaução mais importante é o seu comportamento com a temperatura, já que no verão e com a instalação parada, pode ultrapassar os 150° C. O envelhecimento e a humidade são dois factores a ter em conta, pois desta maneira perdem-se grande parte das características isolantes.

4.3.4. Caixa.

A missão da caixa é proteger do vento, da chuva, da poeira, suportar os diversos elementos do colectador e actuar de união com a estrutura através dos elementos de fixação necessários.

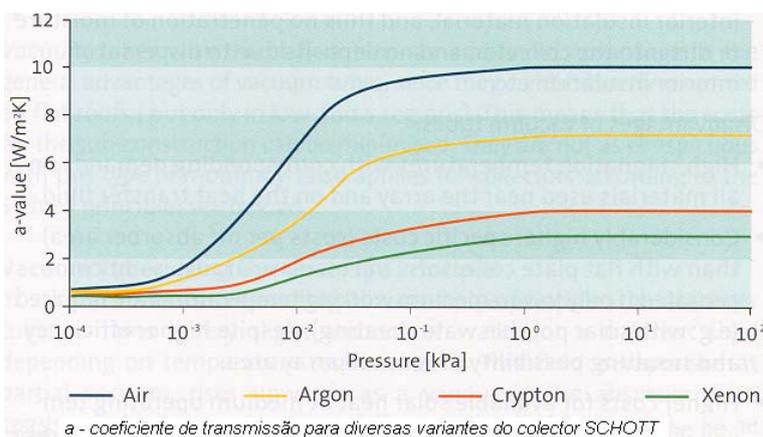
Não é aceitável ter de trocar um colectador, ou a caixa, antes do tempo de vida normal desta, que deve ser pelo menos de 10 anos.

A caixa deve ser estanque às entradas de ar e água e resistente à corrosão. Deverão selar-se todas as possíveis juntas, mas terá de haver um sistema de compensação de pressão interior que não permita a entrada de água.

4.4. OUTROS TIPOS de COLECTORES

Tubos de Vácuo

O efeito de estufa pode ser muito melhorado se entre o absorvedor e o vidro se fizer o vácuo, pois desta forma se anulam as perdas por convecção e condução. O vácuo pode ser parcial, mas nesse caso o ar é substituído por gases (nobres). Neste caso as perdas por condução e convecção não são anuladas mas são fortemente reduzidas.



Quanto à manutenção do vácuo há dois tipos de tubos:

- A solução do tipo “termo” de vidro em que toda a câmara de vácuo é em vidro, não havendo partes metálicas (tipo Sidney).
- Soluções com vedação entre o vidro e o metal (soldadura, vedantes)

Quanto à extracção da energia existem duas soluções:

- Circulação forçada (ligação húmida)
- Circulação “tubo de calor” (ligação seca) (heat pipe ou díodo térmico). Esta tecnologia permite definir uma temperatura de segurança (corte).

Os tubos de vácuo poderão ter, ou não, dispositivos para reforço de radiação (concentradores cilíndricos, CPCs, etc).

VANTAGENS	DESVANTAGENS
<p>Elevada temperatura de funcionamento, interessante para processos que necessitem de temperaturas elevadas, arrefecimento solar, processos industriais;</p> <p>Reduzidas perdas térmicas;</p> <p>Construção compacta, sem problemas de humidades, impurezas, etc;</p> <p>Maior flexibilidade de integração arquitectónica (fachadas verticais).</p>	<p>Elevada temperatura de estagnação (podendo ultrapassar os 300 °C), o que requer particular atenção com os materiais e acessórios utilizados no circuito primário;</p> <p>Investimento inicial elevado (custo por m² de área de absorção);</p> <p>O elevado investimento dificilmente se justifica para temperaturas baixas (ex. AQS);</p>

Eis alguns exemplos



Circulação forçada



Tubo de calor



(Imagens do software didáctico MULTISOL – colectores Viessmann)

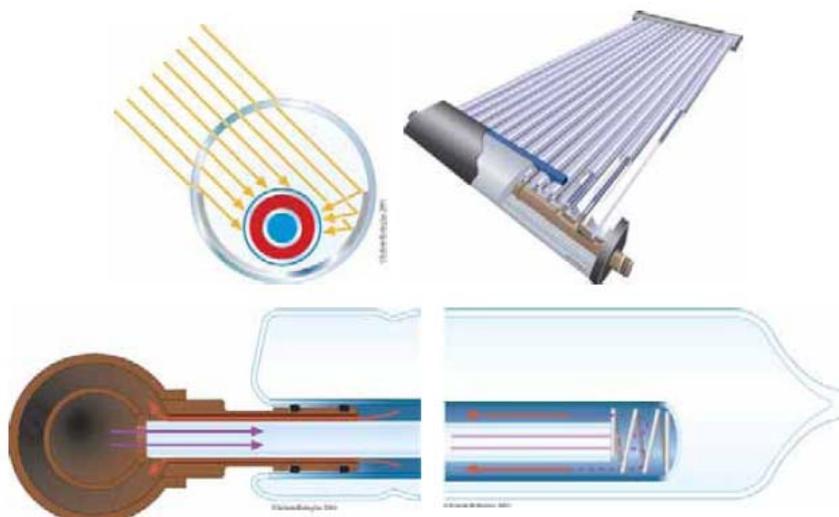


Figura 3.16 - Tubo colector Schott

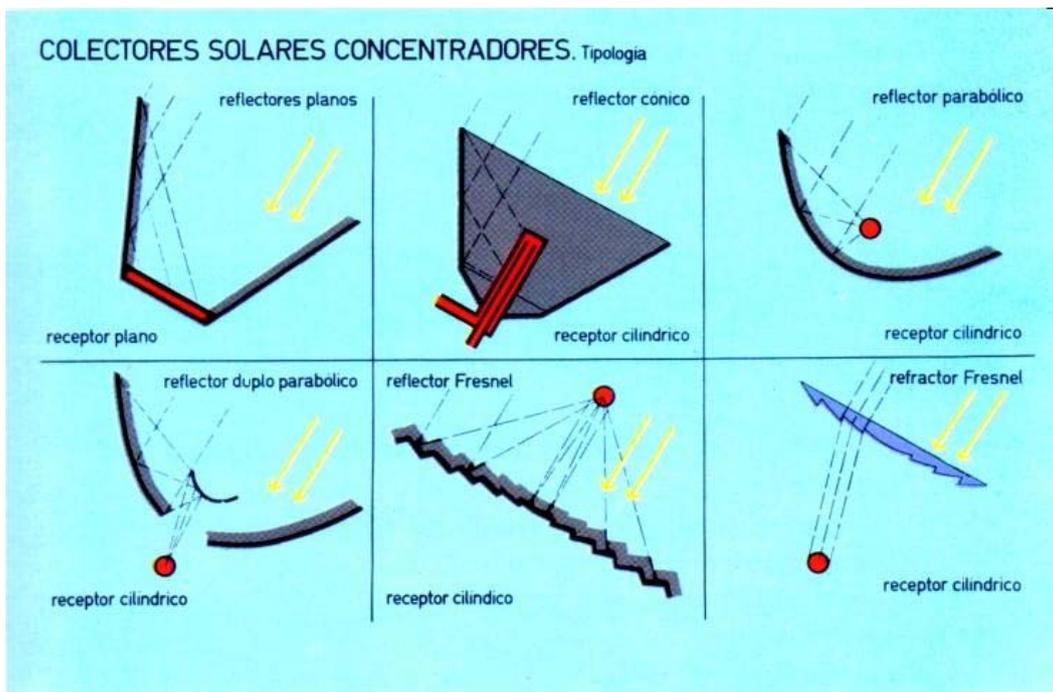
Tubos colectores de calor

In “Manual de Energia Solar Térmica – IST”

Colectores concentradores

Podemos melhorar o rendimento dos colectores se aumentarmos a radiação incidente. Isto pode ser conseguido por meio de espelhos ou de lentes.

Os sistema de concentração pode formar uma imagem do sol, mas nesse caso necessita de estar sempre apontado para o sol.



Concentradores catóptricos e dióptricos



Pseudo parabolóides (pirelióforo do Pe Himalaia e outros)



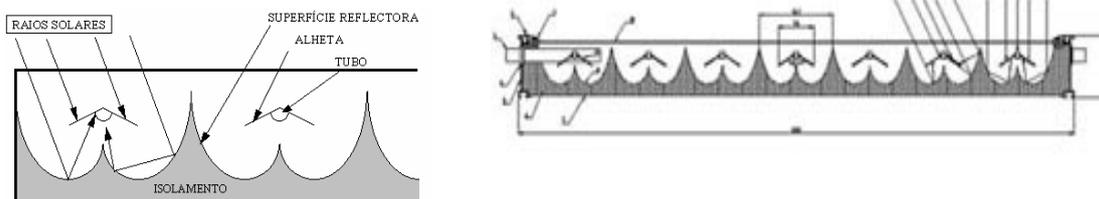
Forno solar de Odeillo e 2 centrais de torres

Colector parabólico composto (CPC).

É possível concentrar sem formar imagem com os chamados colectores parabólicos compostos. A concentração é mais baixa e estes colectores são normalmente estacionários (semelhantes aos colectores planos).

No caso dos **CPCs** a área absorvedora é constituída por duas alhetas unidas a um tubo e colocadas em cima de uma superfície reflectora. Como consequência, a captação solar realiza-se nas duas faces das alhetas e as perdas térmicas são inferiores.

Nas figuras seguintes vemos o efeito dos raios solares sobre a superfície.



O Sol incide na parte superior das alhetas e na superfície parabólica reflectora. Os raios são reflectidos e acabam por incidir na parte inferior das alhetas ou directamente no tubo, contribuindo para aquecer ainda mais o fluido térmico.

As perdas de calor são inferiores porque a área de absorção é inferior, por ser constituída só pela superfície das alhetas. A diminuição das perdas implica uma melhoria do rendimento térmico. Por outro lado, a inércia térmica do colector é inferior e a temperatura nominal de funcionamento é atingida mais rapidamente.

A zona situada entre a superfície reflectora e a caixa é preenchida com isolamento, para minimizar as perdas de calor.

4.5. ESTUDO ENERGÉTICO DO COLECTOR. BALANÇO TÉRMICO

O colector solar é uma máquina térmica submetida a condições de trabalho muito diversas, já que a radiação solar oscila ao longo do dia e de um dia para o outro, em função da nebulosidade e da época do ano.

Para poder efectuar um estudo simples do comportamento do colector é necessário supor condições estacionárias, isto é, valores constantes para todos os parâmetros que intervêm.

Consideremos um colector imóvel, recebendo a radiação solar uniformemente repartida e de forma constante, pelo qual circula o fluido térmico com um caudal determinado.

O balanço energético de um colector: $P_i = P_u + P_p$

$P_i \Rightarrow$ Potência incidente total.

$P_u \Rightarrow$ Potência útil recolhida pelo fluido térmico.

$P_p \Rightarrow$ Potência perdida por dissipação para o exterior.

Temos : $P_u = P_i - P_p$

Sendo $P_i = A \times I_g \times \tau \times \alpha$

$P_p = A \times U_L \times (t_c - t_a)$

Logo $P_u = A \times [I_g \times \tau \times \alpha - U_L \times (t_c - t_a)]$

$A \Rightarrow$ Superfície do colector - corresponde à área de abertura transparente (m^2).

$I_g \Rightarrow$ Radiação Global incidente sobre o colector por unidade de área.

$\tau \Rightarrow$ Transmitância da cobertura transparente.

$\alpha \Rightarrow$ Absortância do absorvedor.

$U \Rightarrow$ Coeficiente global de perdas.

$t_c \Rightarrow$ Temperatura média da placa absorvedora ($^{\circ}C$).

$t_f \Rightarrow$ Temperatura média do fluido ($^{\circ}C$).

$t_a \Rightarrow$ Temperatura ambiente ($^{\circ}C$).

A temperatura média da placa absorvedora t_c não pode calcular-se de forma simples, mas pode conhecer-se com suficiente exactidão a temperatura t_f do fluido térmico no colector. Uma forma simples de obter esta temperatura é calcular a média entre a temperatura do fluido à entrada t_e e à saída t_s do colector.

$$T_f = \frac{(T_e + T_s)}{2}$$

Se substituirmos a temperatura da placa absorvedora T_c , em princípio desconhecida, pela temperatura do fluido T_f temos que introduzir um factor de correcção F' chamado **factor de irrigação**, sempre inferior à unidade e que faz diminuir a potência disponível. Este factor depende do caudal do fluido e das características da placa.

A equação anterior transforma-se em :

$$P_u = F' \times A \times [I_g \times \tau \times \alpha - U_L \times (t_f - t_a)] \quad (\text{Eq de Bliss})$$

4.5.1. Curva característica de um colector solar. Rendimento instantâneo.

Os colectores ensaiam-se geralmente fazendo-os funcionar num banco de ensaio sob condições estáveis de radiação solar, velocidade do vento, temperatura do fluido à entrada e temperatura ambiente.

Os resultados obtidos nos ensaios, de acordo com a Norma EN 12975, em laboratórios acreditados, dão-nos o rendimento do colector, η , definido pela relação entre a potência captada e a recebida: $\eta = P_u / (A \times I_g)$

Substituindo P pelo seu valor na equação de Bliss:

$$\eta = F' (\tau \alpha) - (F' \times U_L) \times [(t_f - t_a) / I_g]$$

Para um caudal determinado e com $(\tau\alpha)$ e U_L constantes, a equação desta curva característica do colector pode assemelhar-se com bastante exactidão a uma recta.

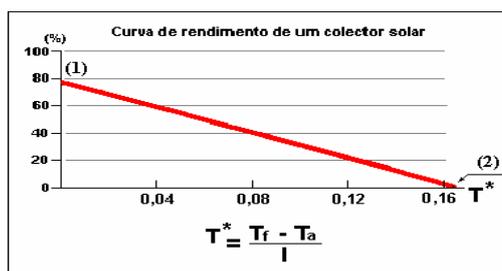
Eis alguns valores típicos:

Tipo de Colector	CARACTERÍSTICAS (relativas à área de abertura)	
	$F' (\tau \alpha)$	$F' \times U_L (W/(m^2 \cdot ^\circ C))$
NÃO SELECTIVO s/vidro	0.8 - 0.9	20
NÃO SELECTIVO	0.7 - 0.8	8 - 9
SELECTIVO	0.7 - 0.8	3 - 6
C.P.C.	0,7 - 0,75	3,7 / 4,2 ⁽¹⁾
TUBOS DE VÁCUO	0,7 - 0,8	1,8 - 3

(1) Os dois valores de $F' \times U_L$ para o colector C.P.C. correspondem a orientações NS e EW respectivamente do comprimento L

(2) Os coeficientes devem ser obtidos a partir do certificado (ver sites www.aguaquentesolar.com e www.solarkeymark.com)

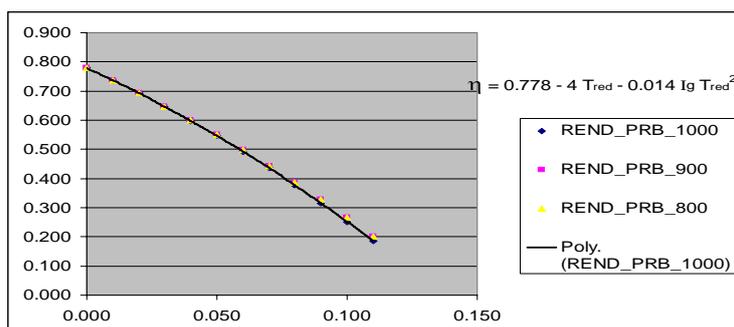
Para os colectores que não atingem temperaturas muito elevadas ou se a gama de temperaturas de utilização for até cerca de 90°C, a aproximação linear é suficiente:



Quando T^* é nulo (a temp. média do fluido é igual à temp. ambiente) temos o **rendimento óptico (1)**. Quando a temperatura de saída é igual à temperatura de entrada, ou o caudal for nulo, o rendimento é nulo e o colector atinge a **temperatura de estagnação (2)** (temperatura máxima que o colector pode atingir).

No caso de colectores muito selectivos, de tubos de vácuo e de colectores concentradores, o modelo mais adequado é do 2º grau, pois U_L não é constante:

$$U_L = U_{L0} + U_L \times (t_f - t_a) \quad \eta = F' (\tau \alpha) - (F' U_{L0}) T_{red} - (F' U_{L0}) I_g T_{red}^2$$



O colector deve ser escolhido em função da temperatura de utilização, devendo o seu rendimento ser superior a 40 % :

TIPO DE INSTALAÇÃO	TEMPERATURA de UTILIZAÇÃO	TIPO DE COLECTOR
Piscinas / Estufas	< 30 °C	plano sem cobertura plano (preto baço) plano (selectivo)
Águas Sanitárias e pré-aquecimento Industrial	< 60 °C	plano (preto baço) plano (selectivo) CPC (baixa concentração)
pré-aquecimento Industrial	> 60 °C	CPC (baixa concentração) CPC (alta concentração) Tubos de Vácuo Outros Concentradores

4.6. FLUIDO de TRANSFERÊNCIA TÉRMICA

É aquele que circula dentro do absorvedor e que transfere à outra parte do sistema a energia térmica absorvida. Utiliza-se como fluido térmico, água ou uma mistura de água com anti-congelante (não tóxico), solução mais usada para proteger os colectores do perigo de congelação. É preciso ter em conta as diferenças das propriedades físicas entre a água e os líquidos anti-congelantes. A viscosidade pode ser bastante elevada, sobretudo em frio, aumentando as perdas de carga no circuito e modificando as condições de funcionamento da bomba.

Se a diferença de altura entre os colectores e o ponto mais baixo do circuito primário for importante, pode produzir-se uma certa decantação do anti-congelante, diminuindo a sua concentração na parte superior do circuito, deixando desprotegidos os colectores.

A percentagem de propileno glicol depende das temp. mínimas históricas da zona:

Tabela para Neutragel Sanit

% VOLUME ANTI-GEL	DENSIDADE SOLUÇÃO	TEMPERATURA CONGELAÇÃO	TEMPERATURA EBULIÇÃO	CONTRAÇÃO EM VOLUME
5	1.004	-1° C		0.998
10	1.008	-3° C		0.996
15	1.012	-5° C		0.994
20	1.016	-8° C	101° C	0.992
30	1.025	-15° C	102° C	0.990
40	1.034	-25° C	103° C	0.987

50	1.042	-35° C	105° C	0.984
----	-------	--------	--------	-------



Bild 1 Refraktometer R20



O teor em anti congelante pode ser determinado a partir do índice de refração (refractómetro) ou pela densidade (densímetro)

A temp. de ebulição de um líquido depende da pressão absoluta. Para a água temos:

Temp		Pressão	Massa Específica
K	°C	bar	kg/m ³
372.8	99.6	1	958.6
393.4	120.2	2	942.9
406.7	133.5	3	931.8
416.8	143.6	4	922.9
425.0	151.8	5	915.3
432.0	158.8	6	908.6
438.1	164.9	7	902.6
443.6	170.4	8	897.0
448.5	175.3	9	891.9
453.0	179.9	10	887.1
457.2	184.1	11	882.6
461.1	188.0	12	878.4
464.8	191.6	13	874.3
468.2	195.0	14	870.4
471.4	198.3	15	866.7
474.5	201.4	16	863.1
477.5	204.3	17	859.6
480.3	207.1	18	856.2
483.0	209.8	19	853.0
485.5	212.4	20	849.8

**Relação entre a pressão de saturação
(tensão de vapor) e a Temp. de ebulição**

O Calor específico C_p (J / (kg °C)) depende da temperatura e da percentagem de anti-congelante na mistura.

T °C \ % Vol.	0%	10%	20%	30%	50%
20° C	4 186	4 105	4 030	3 913	3 566
40° C		4 108	4 039	3 934	3 633

60° C		4 126	4 072	3 976	3 704
-------	--	-------	-------	-------	-------

NOTA: Neutragel – Sanit. Ver pasta Tabelas e Ábacos

Caudal de fluido térmico.

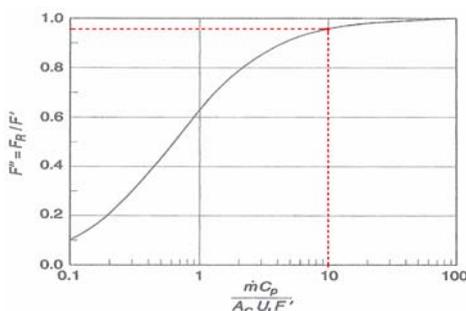
A mistura com anti-gel provoca uma diminuição do calor específico do fluido, tal como se observa na tabela anterior.

O aumento do caudal aumenta a transferência de calor, mas também a potência consumida pela bomba. A partir de um certo valor, não vale a pena aumentá-lo porque o ganho térmico deixa de ser significativo. O valor aconselhado depende do colector e das características do fluido.

Na figura seguinte representámos em ordenadas um quociente que representa o ganho térmico, em função do caudal, do calor específico e das características térmicas do colector, agrupadas numa única variável.

Pela forma da curva podemos constatar que a partir de um certo valor de caudal o ganho térmico pouco mais aumenta.

Considerando como aceitável o valor de $F_R/F' = 0,95$ a variável tem o valor de 10, pelo que o caudal será então: **caudal = $10 F' U_L / C_p$**



Considerando um colector com $F' U_L = 3,7$ (caso de um CPC) e um fluido térmico com 20% de anti-gel funcionando a 60° C ($C_p = 4072$ J/(kg°C)).

$$\text{caudal} = 10 F' U_L / C_p = 10 \times 3,7 / 4072 = 0,0091 \text{ kg/(s m}^2\text{)} \leftarrow \rightarrow 32,7 \text{ kg / (h m}^2\text{)}$$

A título exemplificativo apresentamos uma tabela com os valores recomendados de caudal (l / (h m²)) para diferentes colectores e para dois fluidos:

$$C_p = 4185 \text{ J/(kg°C)} \text{ (0\% anti-gel)}$$

$$C_p = 4072 \text{ J/(kg°C)} \text{ (20\% anti-gel)}$$

Caudal recomendado [kg/(h.m²)] em função do colector e do fluido

	0% anti-gel	20% anti-gel
Sem cobertura (F'UL =20)	172	177
Não selectivo (F'UL =8)	69	71
Selectivo (F'UL =5)	43	44
CPC (EW) (F'UL =4)	34	35
TUBO VÁCUO(F'UL =2)	17	18

Existe uma relação entre o Caudal e a elevação de temperatura num colector.

Consideremos 1 colector selectivo c/ $F'(\tau \alpha)$ de 0.8 e os $F'UL =5$ teremos:

		CAUDAL	TEMPERATURAS DE SAÍDA					
			TEMPERATURAS DE ENTRADA					
		kg/(h.m ²)	10	20	30	50	60	180.0
F'ta=	0.8							
F'UL=	5							
Tamb=	20 °C	10	70.2	76.6	83.1	96.0	102.5	180.0
Cp =	4186 J/kg/K	20	43.0	51.1	59.1	75.2	83.3	180.0
Rad.=	1000 W/m ²	30	32.7	41.4	50.1	67.4	76.0	180.0
Acol=	2 m ²	40	27.3	36.3	45.3	63.3	72.2	180.0
Num. colectores=	1	50	24.0	33.2	42.4	60.7	69.9	180.0
Mrecom.=	43.0 kg/h/m ²	60	21.8	31.1	40.4	59.0	68.3	180.0
	0.012 kg/s	70	20.1	29.5	38.9	57.7	67.2	180.0
Caudal TOTAL =	86.0 kg/h	80	18.9	28.4	37.9	56.8	66.3	180.0
	0.024 kg/s	90	17.9	27.5	37.0	56.1	65.6	180.0
Temp Estagn	180.0 °C	43.0	26.2	35.2	44.3	62.4	71.4	180.0

Como podemos observar, quanto maior for o caudal, menor é o Delta T (diferença entre a temperatura de saída e a temperatura de entrada no colector).

Equilíbrio hidráulico/térmico

Conhecido o caudal ideal é possível calcular a temperatura de saída de uma bateria.

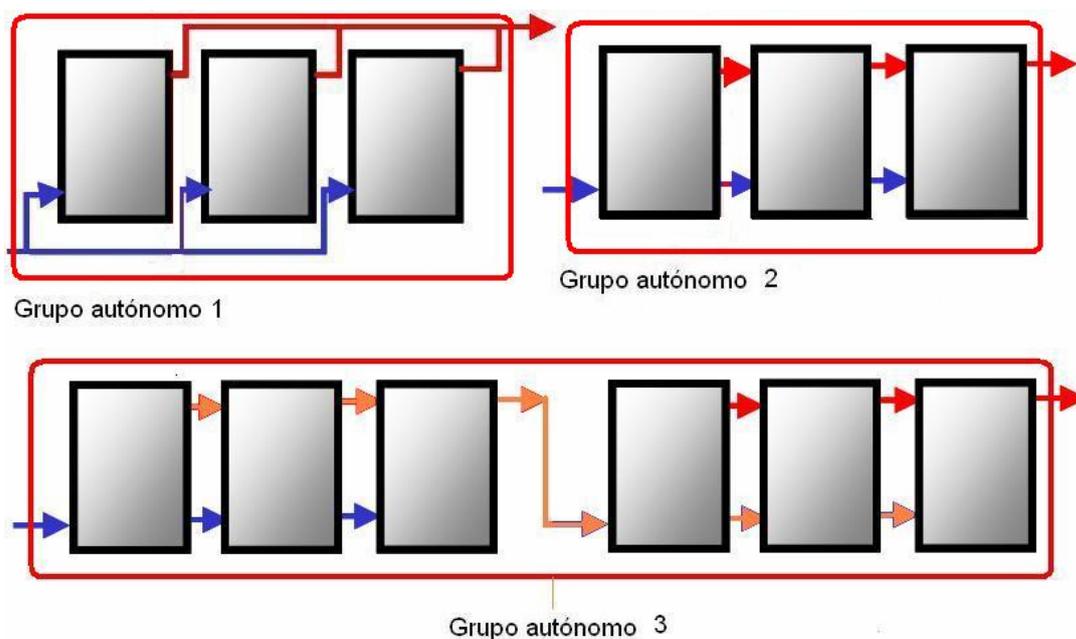
	CAUDAL RECOMENDADO. kg/(h.m ²)	Temp. de Entrada [°C]			
		10	20	45	65
corpo negro	172	15	24	47	65
cn + ef. estufa	69	20	30	52	70
c.sel. + ef estufa	43	25	34	57	75
CPC	34	28	37	59	77
Tubo de vácuo	17	47	56	78	96

Temperaturas de saída para diversos colectores em função da temp. de entrada

No caso de haver baterias diferentes ligadas em paralelo, o **equilíbrio hidráulico/térmico** consiste em restringir as baterias com menor perda de carga ou menos colectores, até igualar as temperaturas de saída. Quando as temperaturas de saída forem iguais, as baterias estão a ser banhadas pelo mesmo caudal específico, [por unidade de área - kg/(h.m²)].

Grupos autónomos de colectores

São grupos que recebem água directamente do permutador/armazenamento e devolvem água directamente ao permutador/armazenamento. Em qualquer grupo autónomo deverá passar o caudal específico.



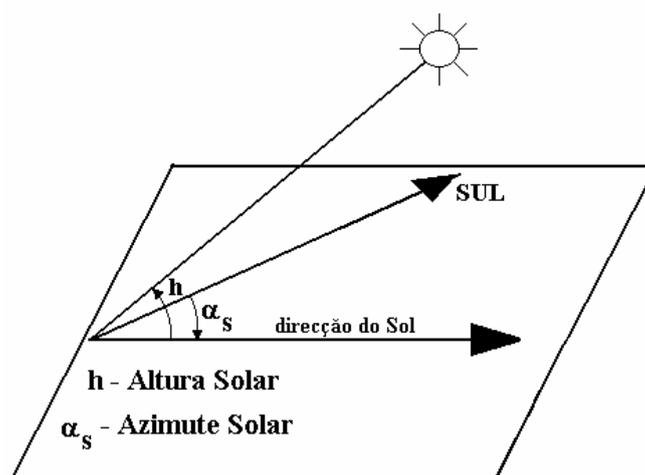
NOTA: Nos grupos 1 e 2 passa o caudal de 3 colectores e no grupo 3 passa o dobro.

4.7. CURVAS DE PENALIZAÇÃO. ORIENTAÇÃO E INCLINAÇÃO DOS COLECTORES

Os colectores devem situar-se de tal forma que ao longo do período anual de utilização aproveitem a máxima radiação solar incidente. Orientam-se ao Sul geográfico, não coincidente com o Sul magnético definido pela bússola, já que o **Sul geográfico está cerca de 4° para a direita do Sul magnético** (Ver ANEXO s/ a declinação magnética).

Para ter menos erro na colocação dos colectores, é preferível marcar a direcção Este-Oeste.

O Sul geográfico pode também determinar-se pela direcção da sombra projectada por uma vara às 12 horas solares (meio-dia solar).



Na tabela seguinte são apresentados (para uma latitude de 39°) os valores da decalagem entre hora legal e hora solar, declinação (ângulo entre a direcção da radiação e o plano do equador), altura do sol ao meio-dia solar e duração do período diurno para os 12 meses do ano.

LATITUDE = 38.71 ° (0.67562 radianos) LONGITUDE = 9.13 ° (long. W são >0 / e E são <0) CONST. SOLAR= 1367 W/m2 PI 3.1416											
DATA	DIA /1 JAN	r a d	COR. D T-SOL	T H	.Legal -TSV Min	DECLIN	ALT 12 TSV	Ws rad	PERIOD DIURNO Hora	CONST SOLAR W/m2	
JAN	1	1	0.017	1.0342	0	39.79	-23.06	28.23	0.341	9.34	1414
	17	17	0.292	1.0331	0	46.29	-20.88	30.41	0.306	9.63	1412
FEV	1	32	0.550	1.0297	0	50.06	-17.31	33.98	0.250	10.07	1408
	15	46	0.791	1.0247	0	50.93	-12.93	38.36	0.184	10.59	1401
MAR	1	60	1.032	1.0181	0	49.34	-7.86	43.43	0.111	11.15	1392
	16	75	1.290	1.0100	1	45.58	-2.01	49.28	0.028	11.78	1381
ABR	1	91	1.565	1.0007	1	40.58	4.29	55.58	-0.060	12.46	1368
	15	105	1.806	0.9928	1	36.57	9.54	60.83	-0.135	13.03	1357
MAI	1	121	2.081	0.9844	1	33.56	14.89	66.18	-0.213	13.64	1346
	15	135	2.322	0.9781	1	32.83	18.73	70.02	-0.272	14.10	1337
JUN	1	152	2.615	0.9721	1	34.25	21.98	73.27	-0.324	14.52	1329
	11	162	2.787	0.9696	1	35.95	23.06	74.35	-0.341	14.66	1325
JUL	1	182	3.131	0.9672	1	39.93	23.16	74.45	-0.343	14.67	1322
	17	198	3.406	0.9678	1	42.26	21.30	72.59	-0.312	14.43	1323
AGO	1	213	3.664	0.9706	1	42.68	18.15	69.44	-0.263	14.03	1327
	16	228	3.922	0.9752	1	40.93	13.89	65.18	-0.198	13.52	1333
SET	1	244	4.197	0.9821	1	36.81	8.44	59.73	-0.119	12.91	1342
	16	259	4.455	0.9898	1	31.58	2.80	54.09	-0.039	12.30	1353
OUT	1	274	4.713	0.9982	1	26.20	-3.05	48.24	0.043	11.67	1365
	16	289	4.972	1.0068	1	22.00	-8.77	42.52	0.124	11.05	1376
NOV	1	305	5.247	1.0155	0	20.12	-14.34	36.95	0.205	10.42	1388
	15	319	5.488	1.0223	0	21.28	-18.42	32.87	0.267	9.94	1398
DEZ	1	335	5.763	1.0285	0	25.73	-21.76	29.53	0.320	9.51	1406
	11	345	5.935	1.0314	0	29.82	-22.97	28.32	0.340	9.35	1410

(Folha de cálculo ASTRON15)

Como colocar os colectores numa aba de telhado mal orientada?

Imaginemos uma aba de telhado mal orientada. Quais as opções possíveis para o instalador?

- A. – Arranjar uma estrutura (INESTÉTICA) para orientar correctamente, ou
- B. – Colocar os colectores paralelamente ao telhado, penalizando as suas performances

A solução será explicar ao cliente, que existem estas 2 opções e quantificar-lhe a penalização que pode haver se escolher a solução mais estética. O cliente pode então fazer uma opção de forma esclarecida.

De uma forma sintética, podemos dizer que desvios até 20° relativos à orientação Sul não afectam gravemente o rendimento e a energia térmica fornecida pelo equipamento solar.

Com um desvio para Leste o período diário de captação adiantar-se-á uma hora por cada 15° de desvio relativamente a um equipamento orientado ao Sul geográfico. Se o desvio é para o Oeste, o período de captação retardar-se-á na mesma proporção, mas

com um ligeiro acréscimo no rendimento pelo facto de funcionar mais tempo durante as horas em que a temperatura ambiente é mais elevada.

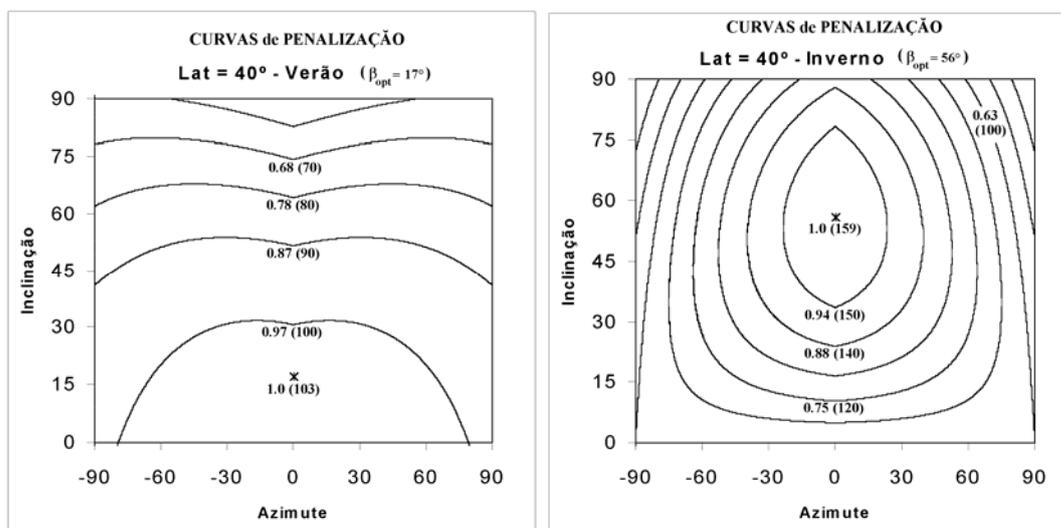
As inclinações que habitualmente se dão aos colectores, segundo a época do ano e uso, são:

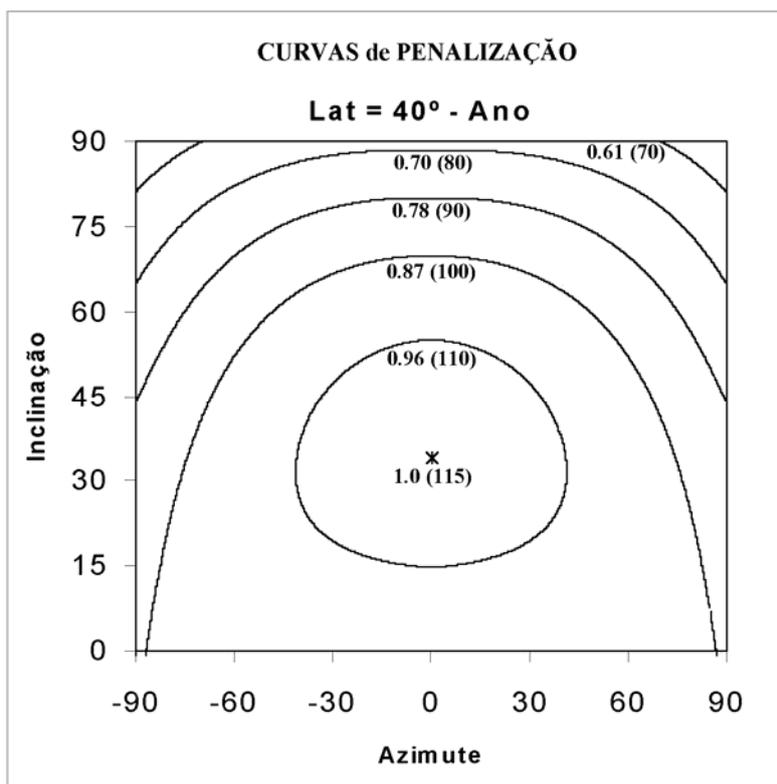
<u>UTILIZAÇÃO</u>	<u>ÂNGULO</u>
Todo o ano (A.Q.S.)	Latitude do lugar.- 5°
Inverno (aquecimento)	Latitude do lugar + 15°.
Verão (piscinas descobertas/hotéis temporada)	Latitude do lugar - 15°.

Podemos calcular de forma mais rigorosa, o efeito da orientação, utilizando os gráficos seguintes em que se apresentam as penalizações correspondentes à colocação dos painéis com diferentes inclinações e azimutes.

As curvas representam a energia produzida pelo sistema a dividir pela energia produzida na orientação óptima para o período considerado (ano / semestre do verão / semestre do Inverno).

Entre parênteses está a energia recebida por uma superfície com a orientação indicada (azimute e inclinação), dividida pela energia recebida no plano horizontal (expresso em percentagem).





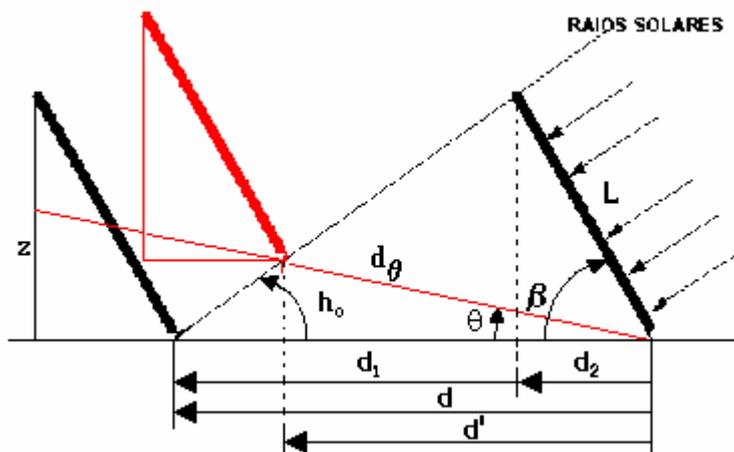
NOTA: Para uma latitude de 37°, mude a escala da inclinação subtraindo 3°
Para uma latitude de 42° adicione 2°

4.8. DETERMINAÇÃO DE SOMBRAS E COORDENADAS DO SOL

Frequentemente é necessário colocar painéis solares em zonas não totalmente isentas de sombras. Em todo caso é conveniente conhecer as sombras de uma fila de colectores sobre a fila seguinte para evitar estas situações. Se representarmos a altura solar em função do seu azimute, obtemos os denominados **mapas de trajectória solar**, como é o caso das projecções estereográficas, ferramenta muito útil para conhecer as sombras projectadas pelos obstáculos a qualquer hora do dia.

NOTA 1: no dia mais desfavorável do período de utilização o equipamento não deve ter mais do 30% da superfície útil de captação coberta por sombras, durante mais de 1 hora.

NOTA 2: é muito importante que o colector escolhido, para a colocação da sonda “quente” do controlador, seja representativo do campo de colectores, porque o controlador só arranca quando esse colector estiver ao sol. Para a paragem a situação é menos grave!



A determinação de sombras projectadas sobre colectores por parte de obstáculos próximos efectua-se na prática observando ao redor desde o ponto médio da aresta inferior do colector, tomando como referência a linha Norte - Sul.

A separação entre linhas de colectores estabelece-se de tal forma que às 12,00 horas solares do dia mais desfavorável (altura solar mínima no solstício de Dezembro) a sombra da aresta superior duma fila tem que projectar-se, no máximo, sobre a aresta inferior da fila seguinte. Em equipamentos que se utilizem todo o ano (A.Q.S.), o dia mais desfavorável corresponde a 21 de Dezembro. Neste dia, a altura mínima do sol às 12,00 h solares tem o seguinte valor:

$$h_0 = (90^\circ - \text{Latitude do lugar}) - 23.5^\circ$$

Na figura vemos que a distância mínima d entre filas de colectores é:

$$d = d_1 + d_2 = z / \tan h_0 + z / \tan \beta = L * (\sin \beta / \tan h_0 + \cos \beta)$$

Em Dezembro e na primeira metade de Janeiro, mesmo respeitando esta distância podem produzir-se sombras das filas de colectores sobre as posteriores, no início e no fim do dia, o que não é grave.

No caso de não existir problema de espaço, é recomendável aumentar em 25% a distância obtida na fórmula anterior.

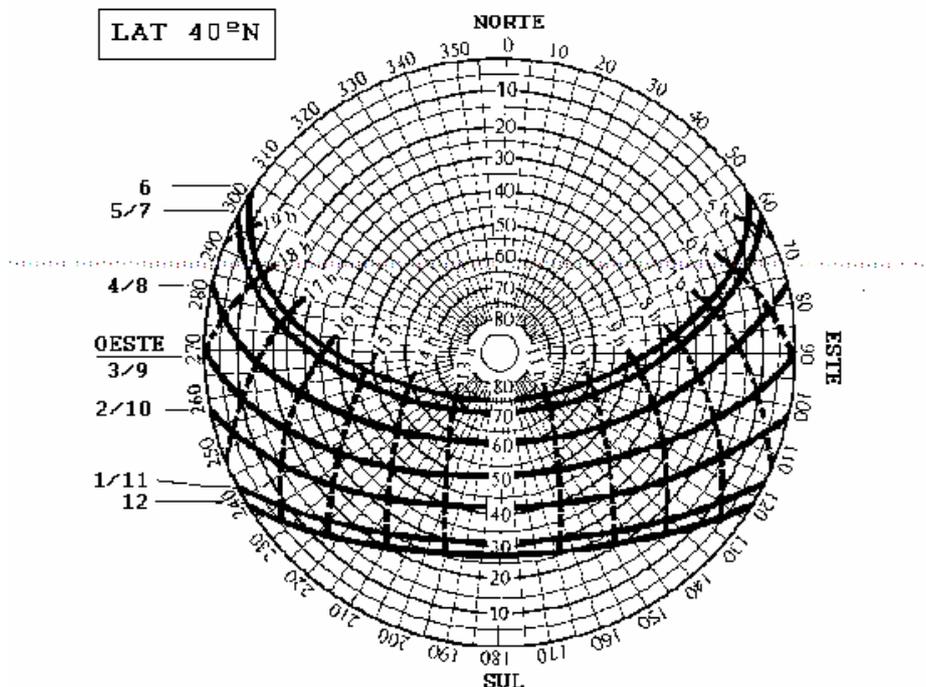
Se as filas de colectores se dispuserem sobre uma superfície não horizontal, mas sim inclinada de um ângulo θ , a distância medida sobre o telhado será d_θ :

$$d' = L * [\sin(\beta - \theta) / \tan(h_0 + \theta) + \cos(\beta - \theta)]$$

$$d_\theta = d' / \cos \theta$$

Como regra geral, e para instalações em terraço, é necessário que a distância, para colectores com um comprimento $L= 2$ metros, nunca seja inferior a **4,5 metros**.

PROJECCÃO ESTEREOGRÁFICA



As circunferências concêntricas representam a altura do Sol ou de um obstáculo (°).

Linha do Horizonte: Se quisermos representar o horizonte, basta para cada azimute marcar a altura do horizonte/obstáculo (em graus).

Trajectória Solar: No gráfico, para além das linhas já referidas, existem 7 curvas que representam a projecção da trajectória solar em:

Junho	Fevereiro / Outubro
Maió / Julho	Janeiro / Novembro
Abril / Agosto -	Dezembro
Março / Setembro	

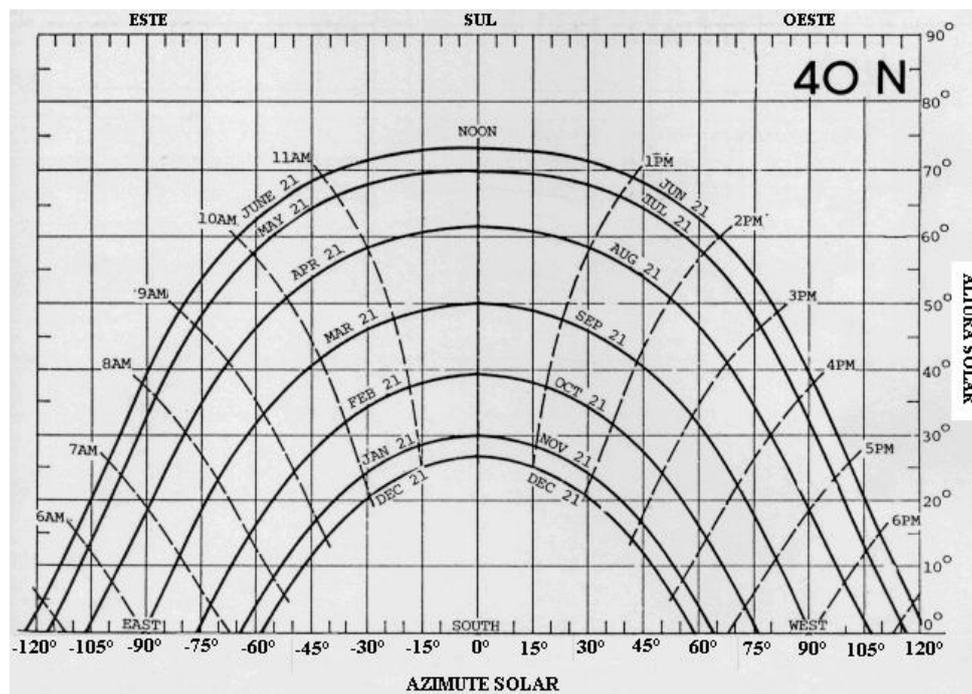
Estas curvas são intersectadas por curvas que representam o **TSV (Tempo Solar Verdadeiro)**.

EXEMPLO: Quais as coordenadas do Sol às 10 h de um dia central de Fevereiro?

h = 35°

Azim = 142.5° (Norte como origem) ou então Azim = -37.5° (Sul como origem)

Existe outra forma de representação que se apresenta de seguida:



NOTA: Para uma latitude de 37° , mude a escala da inclinação somando 3°

Para uma latitude de 42° subtraia 2°

Atenção pois aqui a correcção é diferente da utilizada nas curvas de penalização.

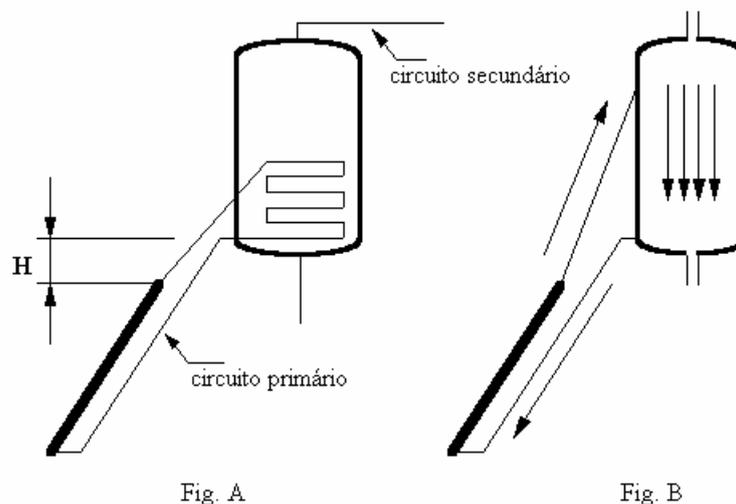
4.9. CIRCUITO PRIMÁRIO.

A transferência do calor captado pelos colectores para o fluido térmico pode realizar-se de duas formas:

- Por **circulação forçada** com uma bomba.
- Por **circulação natural** (termossifão).

A escolha entre um sistema ou outro dependerá da carga energética a cobrir e da possibilidade de colocar o depósito acumulador acima da bateria de colectores. Em definitivo, o termossifão é aconselhável para pequenas instalações e a circulação forçada é indicada para instalações médias ou grandes.

A circulação por termossifão é um sistema auto-regulado e isento de partes mecânicas ou controlos electrónicos; pelo que a instalação é mais barata e não está sujeita a avarias mecânicas.



Como vemos na Figura B, a circulação faz-se por convecção natural, a água quente tem uma densidade inferior e sobe do colector para o depósito.

A água mais fria desce e entra novamente no colector. Este processo é contínuo desde que haja radiação solar e é auto-regulado:

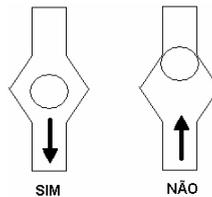
Quanto mais radiação houver, maior é o caudal e se não houver radiação ou a temperatura no colector não for superior à do depósito, a circulação pára.

Nos sistemas em termossifão, comparativamente com os de circulação forçada, o caudal é menor e por isso a elevação de temperatura nos colectores é maior.

Durante as horas da noite a circulação pode inverter-se, arrefecendo a água do depósito. Para o evitar, convém que haja um desnível da ordem dos 30 cm (dimensão H) para que o termossifão funcione bem, sem que haja a possibilidade de **circulação invertida durante a noite** (o colector funcionaria como dissipador de energia!).

Outro processo será instalar uma válvula anti-retorno que impeça esta inversão.

No entanto esta válvula **tem de ser especial**, pois tem de impedir a inversão sem prejudicar o termossifão directo.



Quando a circulação por termossifão não é possível, recorre-se à circulação forçada por uma bomba que faz o transporte do fluido entre os colectores e o depósito.

A permuta de calor entre o circuito primário e o secundário pode realizar-se por transferência **directa ou indirecta**. No primeiro caso a água aquecida nos colectores é enviada directamente para consumo.

É a solução mais simples e com melhor rendimento térmico no início, embora apresente vários inconvenientes que a tornam desaconselhável na maior parte dos casos:

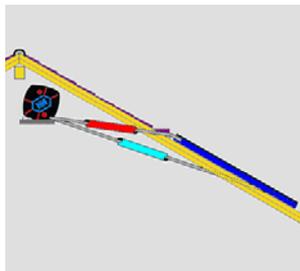
- - Os materiais utilizados nos colectores e em todo o circuito não devem poluir a água, se esta for para consumo humano.
- - Os colectores trabalham à mesma pressão da rede. Se esta for elevada, ter-se-á de instalar uma válvula redutora de pressão.
- - O sistema é desaconselhado para zonas com temperaturas mínimas negativas, já que não tem nenhuma protecção contra a congelação.
- - Os riscos de corrosão do circuito primário são maiores, devido ao conteúdo de ar na água de rede.
- - Perigo de incrustações de calcário pela dureza e qualidade da água.

Na transferência indirecta é utilizado um permutador de calor que permite separar a água de consumo do fluido térmico de transferência. Deve ser usado quando a dureza

da água possa criar obstruções nas tubagens e sempre que exista perigo de congelação da bateria dos colectores.

Embora no início o rendimento de um sistema aberto seja superior, constata-se que a pouco e pouco vai baixando principalmente por incrustações calcárias pelo que a pouco e pouco se generalizou o circuito fechado.

Eis alguns exemplos:



Nota: É necessário respeitar o declive mínimo das canalizações. O depósito é montado na posição correspondente à inclinação mínima permitida para o “KIT” e por baixo deverá ser colocado um recipiente para o caso de haver uma fuga.



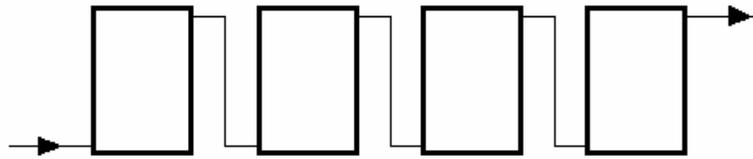
(Imagens do software didáctico MULTISOL)

4.9.1. Distribuição e ligação dos colectores

Como regra geral, para uma distribuição uniforme do caudal é conveniente que todas as filas de colectores tenham o mesmo número de colectores para assegurar perdas de carga iguais em todas elas, sem aumentar os custos com acessórios, o que nem sempre é possível.

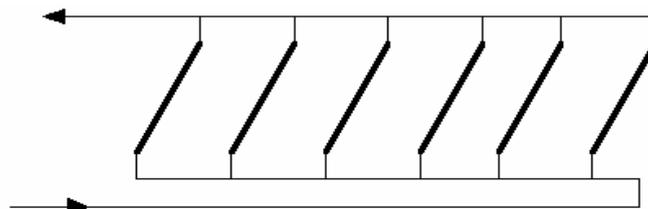
Existem três tipos de ligação para os colectores:

- **Ligação em série.** Neste caso o caudal de circulação é igual em todos os colectores e proporcional ao número de colectores.

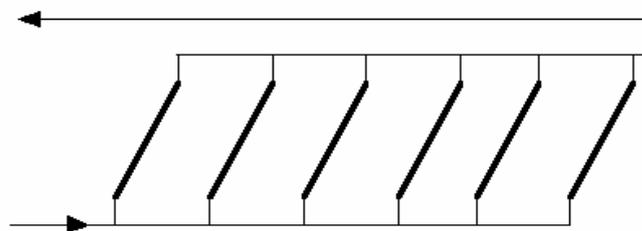


A ligação de entrada a cada fila realizar-se-á pelo tubo de ligação inferior do primeiro colector e a saída pelo tubo de ligação superior do último colector da linha. Para determinar o número máximo de colectores que podem ser ligados em série é preciso ter em consideração que a temperatura nos últimos pode ser elevada e provocar danos nos materiais ou a formação de vapor no circuito. Por outra parte, há uma acentuada queda do rendimento nos últimos colectores da série.

- **Ligação em paralelo.** Devemos dispor as ligações de forma a realizar a denominada *alimentação com retorno invertido*, para que o circuito resulte **hidraulicamente equilibrado**.



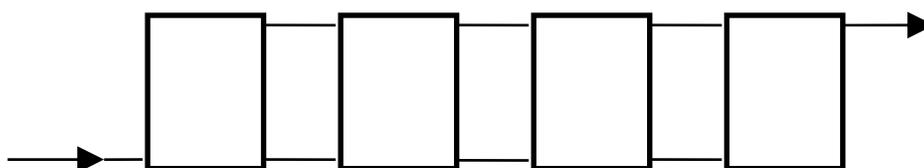
Ligação em paralelo com alimentação invertida.



Ligação em paralelo com retorno invertido.

O traçado realizar-se-á de modo que o tubo geral de retorno, pelo qual circula o fluido aquecido, tenha o percurso mais curto possível. **Assim, é mais conveniente a alimentação invertida.**

- **Ligação em paralelo de canais.**



Uma variante da ligação em paralelo é o paralelo de canais, com a vantagem de necessitar um menor comprimento das tubagens. O número máximo de colectores ligados em paralelo de canais será de quatro, a não ser que o fabricante justifique a possibilidade de ligar um maior número.

Do ponto de vista funcional, devemos ter em conta para o traçado da bateria de colectores os seguintes factores:

a) A instalação dos colectores deve assegurar que o percurso hidráulico seja o mesmo para todos, de forma a obter perdas de carga e caudais similares em todos eles. Se assim não for, os saltos térmicos nos colectores, que dependem directamente do caudal, serão diferentes uns dos outros, reduzindo-se o rendimento global da instalação.

b) O caudal específico nos colectores, em litros/(m² min), deve ser o caudal recomendado (ver determinação do [caudal](#)). Desta forma asseguramos um bom coeficiente de transmissão de calor entre o absorvedor e o fluido. O valor recomendado depende das características do colector e do fluido de transferência (ver 4.6).

c) O comprimento das tubagens deve ser o mais curto possível, para minimizar as perdas de carga e de calor. As perdas de calor em tubagens e acessórios devem reduzir-se ao mínimo, evitando zonas mal isoladas e pontes térmicas.

e) O desenho da bateria deve evitar a formação de bolsas de vapor ou de ar e permitir a montagem e desmontagem simples dos colectores.

Em instalações de A.Q.S. a ligação em série apresenta vantagens e inconvenientes relativamente à ligação em paralelo.

No capítulo das perdas de cargas será possível compreender melhor a influência das ligações entre colectores, no entanto podemos dizer que uma bateria de colectores só funciona em condições idênticas às do ensaio de caracterização de um colector isolado, se estiver irrigada pelo mesmo caudal em kg/(h.m²).

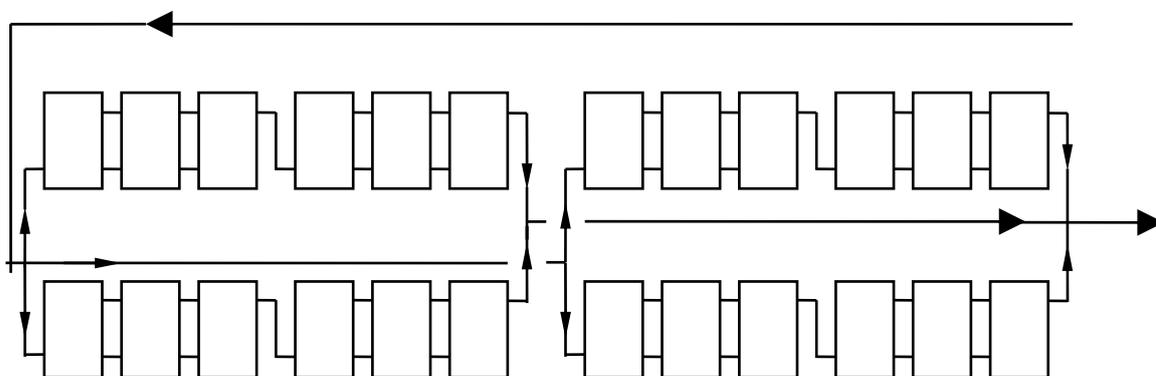
Caudais menores penalizam o rendimento pois obrigam o segundo colector e seguintes, a funcionar com temperaturas mais elevadas.

Como veremos adiante, nos colectores em série, manter o caudal por unidade de área implica o aumento significativo de perda de carga.

Nas montagens de duas linhas de colectores ligadas em série, a entrada à segunda linha será realizada directamente, sem nenhuma válvula de corte intermédia, instalando-se uma válvula de drenagem de tipo esfera para esvaziá-lo em caso de avaria do grupo. A saída de linha de colectores irá munida de um sistema de purga de ar manual e de uma válvula de fecho de tipo esfera, que permita o corte e isolamento das linhas para poder intervir em caso de avaria.

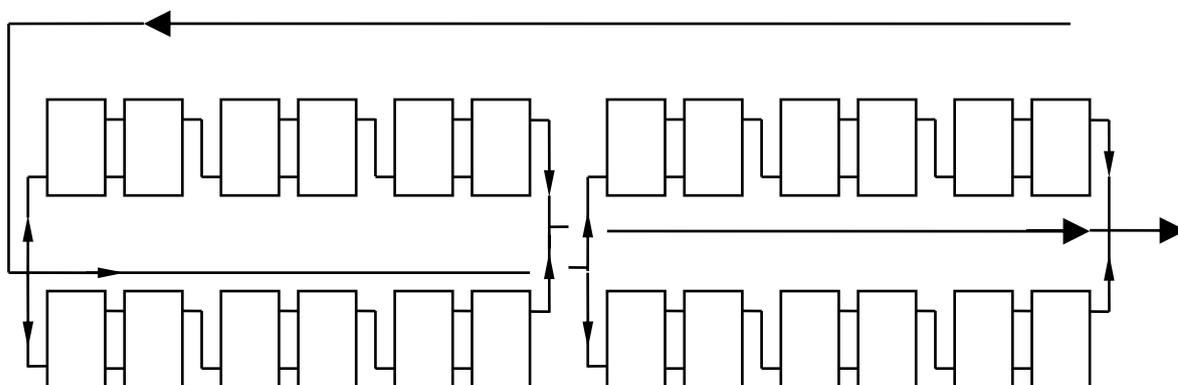
Na instalação deve incorporar-se no ponto mais alto de cada uma das linhas de colectores, um purgador de ar automático ou manual, de acordo com as especificações do projecto.

A instalação da sonda de temperatura far-se-á na saída da linha de colectores seleccionada, cuidando que o sensor penetre o máximo possível para detectar a temperatura real do fluido no interior da placa absorvente do colector.



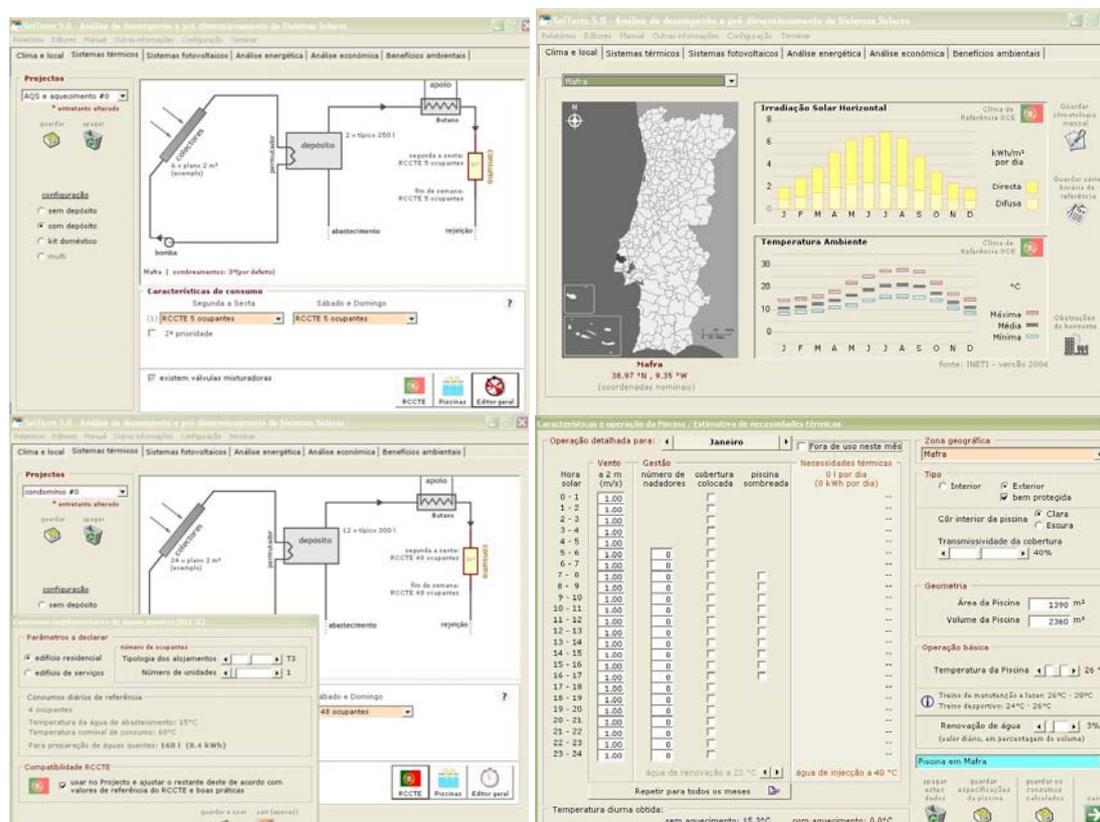
Exemplo de uma instalação de 24 colectores associados em quatro linhas. Na saída de cada grupo de três colectores deve instalar-se um purgador. A instalação cumpre o princípio da alimentação invertida para minimizar as perdas de calor e garantir o equilíbrio hidráulico.

Outra disposição alternativa poderia ser a seguinte:



4.10. DIMENSIONAMENTO DE INSTALAÇÕES

Existem programas de cálculo que permitem o dimensionamento de instalações, como F-Chart, o SOLTERM (INETI), o T-SOL (Valentim Software), o RETSCREEN, etc



Com estes programas é possível obter a previsão das performances num ano médio.

Para a escolha da área a instalar temos de ter em conta três critérios:

1. **Área disponível** (espaço disponível sem sombras)
2. **Área “energética”** - escolhe-se a máxima área que não origina desperdícios
3. **Área “económica”** – determina-se a área que maximiza o VAL.

Deve escolher-se a menor destas 3 áreas, isto é:

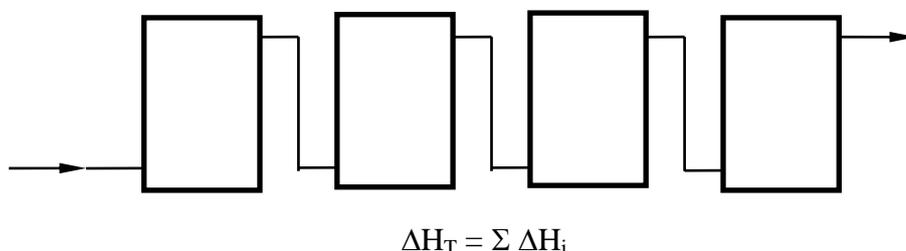
- A. Se a área do óptimo económico originar desperdícios, devemos ficar pelo óptimo energético.
- B. Se a área do óptimo energético for superior ao óptimo económico, devemos escolher o óptimo económico, mas deixando tudo preparado para uma possível expansão (o cenário económico pode alterar-se)

4.11. QUEDA DE PRESSÃO NO CAMPO DE COLECTORES.

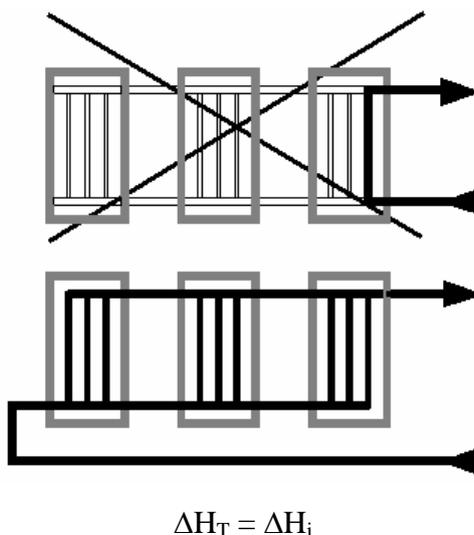
A queda de pressão no interior dos colectores, em função do caudal, deve ser um dado fornecido pelo fabricante.

A perda de carga total no campo de colectores dependerá de:

- Geometria do campo de colectores. Se a ligação for em série, a perda de carga total é a soma das perdas de carga parciais de cada colector.



Se a ligação for em paralelo a perda de carga total é a mesma que a perda de carga de cada colector. A ligação em paralelo de canais é semelhante à ligação em paralelo mas não deve ter mais de 4 colectores. Nas ligações em paralelo e paralelo de canais deve fazer-se a alimentação invertida:



- A quantidade de anti-congelante do fluido de transporte. Se a mistura for 70% de água-30% anti-gel o acréscimo de perda de carga é de 70%-90%, relativamente à água.

Analogia electricidade - hidráulica.

(Cálculo das perdas de carga em baterias de colectores).

Um método simples e rápido para entender o que se passa numa bateria de colectores é usarmos a analogia da hidráulica com a electricidade. No quadro seguinte vemos a equivalência entre as diferentes grandezas :

ELECTRICIDADE		HIDRÁULICA	
ΔV (Diferença de potencial)	$\Delta V = R_e I$	ΔP (Perda de carga)	$\Delta P = R_h Q$
I (Intensidade)	$I = \Delta V / R_e$	Q (Caudal)	$Q = \Delta P / R_h$
R_e (Resistência eléctrica)	$R_e = \Delta V / I$	R_h (Resistência hidráulica)	$R_h = \Delta P / Q$
P (Potência eléctrica)	$P = R_e I^2$	P (Potência hidráulica)	$P = R_h Q^2$

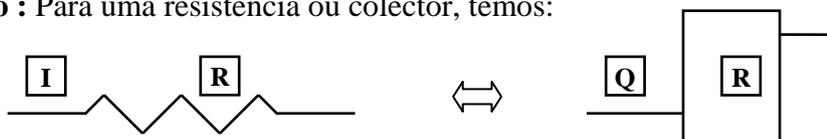
Na associação de resistências em série a resistência total é a soma das parciais:

$$R_T = \Sigma R_i$$

sendo em paralelo

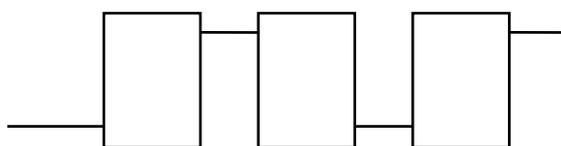
$$1/R_T = \Sigma 1/R_i$$

Exemplo : Para uma resistência ou colector, temos:



A potência dissipada pela bomba será: $P = R Q^2$

Em série, mantendo o caudal de um colector a potência será: $P = 3 R Q^2$

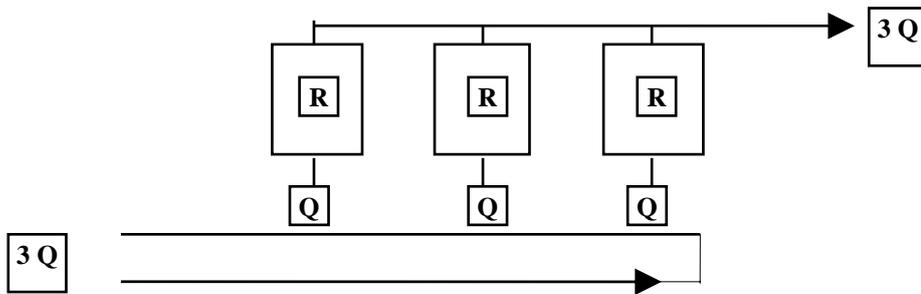


mas teremos uma penalização dos rendimentos do segundo e terceiro colectores que trabalharão a temperaturas mais elevadas. Se quisermos evitar este problema teremos que utilizar um caudal de $3Q$ e a potência dissipada será:

$$P = (3 R) \times (3 Q)^2 = 27 R Q^2.$$

Isto significa que a bomba vai consumir uma potência $27 \times$ superior à de 1 colector.

Se a disposição for em paralelo, teremos:



A resistência total será :

$$1/R_T = 1/R + 1/R + 1/R.$$

$$R_T = R/3$$

A potência consumida pela bomba será :

$$P = R/3 \times (3 Q)^2$$

$$P = 3 R Q^2$$

4.12. TUBAGENS. MATERIAIS UTILIZADOS

Os materiais mais frequentemente utilizados são o aço inox, o cobre, o aço galvanizado, o aço negro e os materiais plásticos (p.ex. PEX).

Aço Inox.

Utilização crescente nos últimos anos, boa resistência à corrosão, fácil de cortar e gama completa de acessórios para montagem rápida (bicone).

Muito usado em canalizações exteriores.

Para igual diâmetro, a perda de carga em linha é baixa (tubo liso), permitindo o uso de diâmetros inferiores. Não é aconselhável fazer curvas por dobragem.

Cobre.

É um material amplamente utilizado em todo o tipo de instalações por ser tecnicamente adequado e economicamente competitivo.

O cobre resiste à corrosão, tanto dos líquidos que circulam pelo seu interior como dos agentes exteriores, ar, humidade ou outros elementos que entrem em contacto com ele.

A sua maleabilidade e ductilidade permitem uma cómoda manipulação e uma grande facilidade para realizar traçados complicados.

Em relação ao inox tem a vantagem de poder ser curvado evitando utilizar acessórios e as correspondentes perdas de carga singulares.

Aço galvanizado.

Ainda muito utilizado em instalações antigas, em canalizações para A.Q.S. a temperaturas inferiores a 50°C. Não pode ser usado no circuito primário já que com temperaturas superiores a 65° C o zinco sofre corrosões. A sua utilização tem vindo a diminuir, pois com o aumento do custo da mão-de-obra deixa de ser competitivo.

Aço negro.

Não deve ser utilizado para transporte de água no circuito secundário pelo facto de sofrer oxidações que deterioram a potabilidade da água.

Pode ser utilizado no circuito primário, mas só é aconselhado para grandes caudais.

A sua manipulação e montagem é mais complicada que no caso do cobre e necessita ser pintado na parte externa para o proteger da corrosão.

Outras tecnologias, de tubagem e de acessórios de ligação:

PEX, multicamadas, VIEGA, etc

Existem 3 zonas num sistema solar, que requerem tecnologias diferentes para as tubagens:

Circuito primário	(T _{máx} = Temp. estagnação) <i>cobre soldado por brasagem forte</i>
Do depósito à misturadora termostática	<i>T_{máx} = 110°C solicitar ao fornecedor, temperatura e pressão máximas de funcionamento)</i>
Da misturadora em diante	<i>instalação normal de distribuição</i>

4.12.1. Dimensionamento das tubagens. (Ver Folha de cálculo COLSER19)

Uma vez calculado o caudal do líquido circulante pela instalação, dimensionamos o diâmetro das tubagens tendo em conta que no circuito primário a velocidade máxima recomendada é de 1,5 m/s e que no circuito secundário é de 2,0 m/s, de acordo com:

$$Q = \pi \times (d^2 / 4) \times v.$$

$$Q \Rightarrow \text{Caudal circulante em m}^3/\text{s}. \quad (1 \text{ m}^3/\text{h} = 0,000277 \text{ m}^3/\text{s}).$$

$d \Rightarrow$ Diâmetro interior do tubo em m. (1 mm. = 0,001 m).

$v \Rightarrow$ Velocidade de passagem em m/s.

A perda de carga, como regra geral, não deve ultrapassar os 40 mm de coluna de água por metro linear de tubo.

4.12.2. Capacidade interna das tubagens.

Se a instalação solar for de grande tamanho, o volume de fluido contido nas tubagens pode ser considerável. Deveremos calcular este volume para saber a quantidade de fluido térmico necessário e poder dimensionar o seu depósito de expansão quando for o caso.

No próximo capítulo, do Cálculo de Perdas de Carga, existe uma tabela com a capacidade das tubagens por metro linear de tubo e o caudal para diversas velocidades do líquido.

4.12.3. Perdas de carga em tubagens (cálculo aproximado)

Existem duas razões que levam a reduzir ao mínimo a secção das canalizações:

- O seu custo
- O desperdício de água desde que se abre uma torneira e até que chegue a água quente.

A secção é no entanto condicionada por:

- A velocidade não deve ser superior a 1,5 m/s em tubagens exteriores e 2 m/s em tubagem dentro de paredes, designadamente devido ao ruído.
- Recomenda-se um velocidade de 1.0 m/s.

Como vimos, as canalizações e os acessórios representam uma resistência hidráulica. Verifica-se que esta resistência hidráulica aumenta aproximadamente com o quadrado da velocidade.

A perda de carga num tubo depende do líquido, da sua temperatura, da velocidade e da rugosidade do tubo.

A título de exemplo a figura seguinte representa a perda de carga em função da velocidade para um tubo de 20 mm com água a 40 °C:

A tabela seguinte indica o conteúdo em litros por metro de comprimento e o caudal em função da velocidade de escoamento, para diversos tubos:

$$\begin{array}{ll} \text{Cap} = \pi d^2/4000 & \text{com } d \text{ [mm]} \quad \text{Cap [l/m]} \\ \text{Caudal} = (\pi d^2/4000) * V * 3600 & \text{com } d \text{ [mm]} V \text{ [m/s]} \quad \text{Caudal [l/h]} \end{array}$$

			CAUDAL [kg/h]		
DIAMETRO		Capacidade	veloc [m/s]		
Exterior	Interior	l/m	1	1.5	2
12	10	0.079	283	424	565
15	13	0.133	478	717	956
18	16	0.201	724	1086	1448
22	20	0.314	1131	1696	2262
28	26	0.531	1911	2867	3823
35	33	0.855	3079	4619	6158
42	38	1.134	4083	6124	8166
54	50	1.963	7069	10603	14137
63	59	2.734	9842	14763	19685
80	76	4.536	16331	24497	32663
100	96	7.238	26058	39086	52115
OUTRO	24.7	0.478	1720	2580	3440

No quadro e gráfico seguinte, considerámos tubos lisos (inox e cobre) e uma velocidade de 1 m/s, 1,5 m/s e 2,0 m/s:

Temp. Fluido (20; 40 ou 60°C)		20			
DIAMETRO		Capacidade	Perda de carga (H2O) [Pa/m] p/ T= 20		
Exterior	Interior	l/m	veloc [m/s]		
			1	1.5	2
12	10	0.079	1523	3045	5330
15	13	0.133	1101	2202	3853
18	16	0.201	851	1703	2980
22	20	0.314	646	1292	2261
28	26	0.531	467	934	1635
35	33	0.855	348	696	1217
42	38	1.134	292	584	1022
54	50	1.963	208	416	728
63	59	2.734	169	339	593
80	76	4.536	124	248	434
100	96	7.238	93	186	325

Perda de carga = f (diâmetro, temperatura, V = 1 m/s)

EXEMPLO: Consideremos um tubo de 100 m com um diâmetro (interior) de 33 mm onde circula água com uma velocidade de 1 m/s a 20 °C,

a perda de carga será de $\Delta P = 348 \text{ Pa/m}$

Se a velocidade for de 1.5 m/s multiplicar por 2
 Se a velocidade for de 2.0 m/s multiplicar por 3.5

Suponhamos que além dos 100 m de tubagem temos 10 “cotovelos de raio médio”. Na tabela da página seguinte tiramos que o *comprimento equivalente* de 1 acessório será 1.37, pelo que o total será equivalente a $10 \times 1.37 = 13,7 \text{ m}$

- comprimento total equivalente será $100 + 13,7 = 113,7 \text{ m}$ e a Perda de carga total será:

$$\Delta P = 113,7 \times 348 = 39\,568 \text{ Pa}$$

CUADRO 10. Equivalencia de accesorios de tuberías en metros de longitud

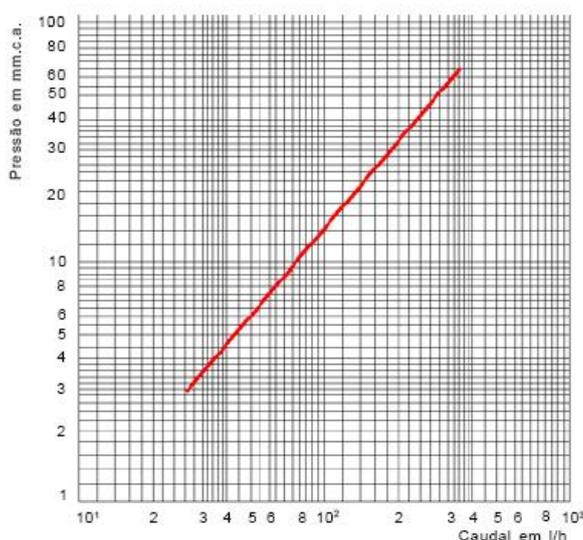
Diámetro interior tubería m/m	Curva gran radio	Curva radio medio	Curva brusca	Curva forma U	Escuadra T	Válvula tipo normal	Válvula paso recto (hus. incli.)	Retención normal	Retención paso recto
10	0,41	0,52	0,84	1,25	1,66	2,00	0,4	2,50	0,50
20	0,57	0,73	1,17	1,75	2,33	2,80	0,51	3,50	0,70
25	0,77	0,98	1,57	2,34	3,11	3,75	0,75	4,68	0,94
32	1,07	1,37	2,19	3,27	4,35	5,20	1,04	6,54	1,29
40	1,29	1,64	2,63	3,92	5,21	5,30	1,26	7,64	1,57
50	1,74	2,23	3,65	5,30	7,05	8,50	1,70	10,60	2,12
60	1,95	2,49	3,97	5,93	7,88	9,50	1,90	11,86	2,37
70	2,16	2,75	4,39	6,56	8,71	10,5	2,10	13,12	2,62
80	2,61	3,59	5,72	8,54	11,40	13,65	2,73	17,03	3,42
100	3,90	4,97	7,94	11,81	15,75	19,00	3,90	23,68	4,74
125	5,11	6,52	10,40	15,51	20,60	24,80	4,95	31,02	6,20
150	6,35	8,09	10,90	19,27	25,60	30,80	6,15	38,54	7,70
200	8,65	11,20	17,90	25,80	38,60	42,80	8,57	53,60	10,70
250	11,54	14,70	23,40	35,00	46,60	56,00	11,20	70,00	14,00
300	14,40	18,35	29,30	43,70	53,10	70,00	14,00	87,40	17,50

Existen también ábacos que nos dan esta equivalencia.

A rugosidade tem muita influência nas perdas de carga. Os materiais utilizados actualmente são considerados tubos lisos.

Na figura seguinte apresenta-se a curva de perda de carga para um colector:

Perda de carga



4.12.4. Elementos de fixação e de guia. Isolamento das tubagens.

Os elementos de fixação e de guia das tubagens serão ignífugos e robustos. Os suportes deverão permitir o movimento da dilatação térmica das tubagens, e deverão ser isolados com o objectivo de evitar pontes térmicas.

Para a fixação de tubagens ao tecto deve ser previsto um número suficiente de apoios de tal maneira que, uma vez isoladas as tubagens, não se produzam flechas superiores ao 0,2%. A fixação deve fazer-se com preferência nos pontos fixos e partes centrais dos tubos. Nos percursos verticais dispõe-se um número de fixações suficiente para

manter vertical a tubagem e evitar o seu desvio, ao mesmo tempo que se permite o movimento na direcção do seu eixo.

Nas tubagens pelas quais circula fluido quente aplicar-se-á isolamento térmico, cuja espessura será determinada de acordo com as hipóteses seguintes:

- # Temperatura do fluido em circulação: 60°C
- # Temperatura ambiente exterior de: 10° C
- # Queda máxima de temperatura do fluido circulante ao longo de toda a tubagem inferior a 0,5° C.

A espessura do isolamento mínimo recomendado nas tubagens para um material com um coeficiente de condutividade térmica $K = 0,04 \text{ W / (m}^2 \text{ °C)}$, será o apresentado na tabela seguinte:

<u>DIÂMETRO DO TUBO / ESPESSURA DO ISOLAMENTO</u>			
<i>NOMINAL DE AÇO</i>	<i>INTERIOR DE EDIFÍCIOS</i>	<i>EXTERIOR DE COBRE</i>	<i>INTERIOR DE EDIFÍCIOS</i>
D < 1/4"	30 mm.	D < 35 mm	20 mm.
1 1/4" < D < 2"	30 mm.	36 < D < 50	20 mm.
2" < D < 3"	40 mm.	51 < D < 80	30 mm.
3" < D < 5"	40 mm.	81 < D < 125	30 mm.
5" < D	50 mm.	126 < D	40 mm.

4.13. ARMAZENAMENTO. ACUMULADORES.

Ao sistema de armazenamento devemos exigir-lhe as seguintes condições: alta capacidade calorífica, volume reduzido, temperatura de utilização de acordo com a necessidade energética, rápida resposta ao consumo, boa integração no edifício, baixo custo, segurança e longa duração.

Os depósitos acumuladores dispor-se-ão preferencialmente em posição vertical, para favorecer a estratificação da água; como consequência e no caso de haver mais que um acumulador, da parte superior do primeiro depósito extrai-se a água para o segundo acumulador. Com esta disposição asseguramos que a água mais quente se

encontra na parte superior do acumulador, que é precisamente donde se extrai para o consumo sanitário.

A verticalidade dos depósitos de armazenamento tem vantagens relativas ao custo, menor espaço ocupado e maior eficácia do isolamento térmico, sendo mais reduzidas as superfícies de apoio no chão.

Para a escolha do material do depósito acumulador teremos em conta os seguintes factores:

- **Corrosão:** O tratamento de potabilidade das águas produz por vezes um importante acréscimo da sua agressividade.
- **Pressão:** A pressão dentro dos mesmos pode chegar a 8 kg/cm^2 e cada utilização traduz-se numa baixa de pressão no seu interior, provocando contracções.
- **Temperatura:** A temperatura da água acumulada pode variar entre 10° C e 90° C , produzindo esforços de dilatações e contracções constantes.

O aço é o mais utilizado dado o seu custo, mas necessita de protecção interior contra a corrosão, seja mediante a pintura tipo "epoxi", ou esmaltagem. Haverá necessariamente um "ânodo de sacrifício" de magnésio para minimizar a corrosão. A galvanização só é aceitável se a temperatura for inferior a 65° C .

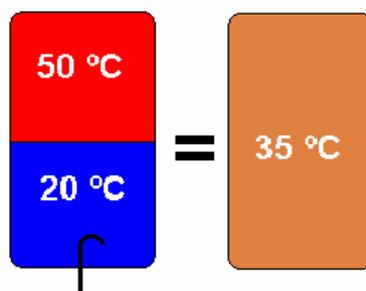
O aço inoxidável é uma boa opção, já que tem todas as vantagens, apresentando como principal inconveniente o seu elevado preço, mas atenção pois há bons e maus aços inox!

Exteriormente o depósito protege-se com uma pintura anti-corrosiva para protegê-lo e ampliar a sua vida útil.

4.13.1. Estratificação.

A estratificação é muito importante para as performances do sistema solar, pois o rendimento dos colectores é tanto maior quanto mais baixa for a temperatura de entrada baixar. Para além disso aumenta a satisfação do utilizador.

Senão, vejamos o seguinte exemplo:

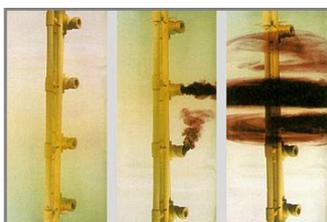


Ainda que energia contida nos 2 depósitos seja a mesma, o dono da 1ª instalação fica satisfeito pois tomará vários banhos quentes e o dono da 2ª instalação fica descontente pois terá de utilizar o apoio convencional.

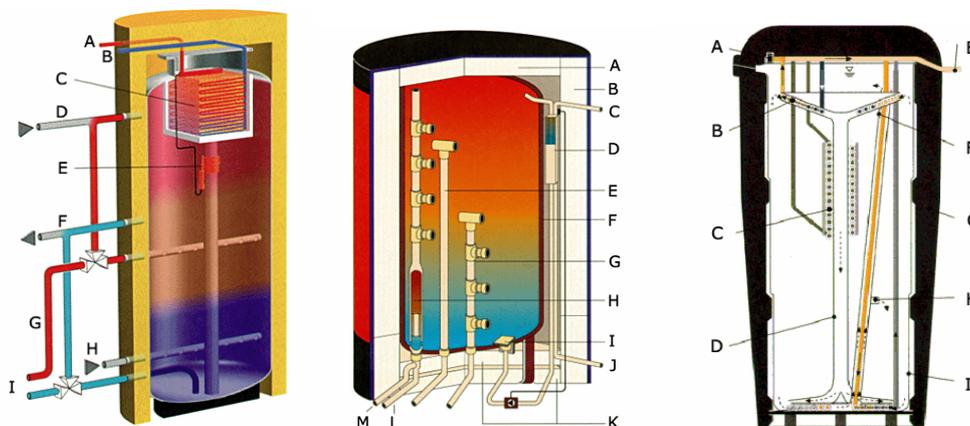
A estratificação deve ser fomentada e protegida. Terão influência a posição e material do depósito, a turbulência gerada pela entrada de água da rede, que é minimizada pela existência de dispositivos silenciadores (p.ex. bengalas) e pela utilização de válvulas misturadoras termostáticas, que reduzem o caudal de água quente.

A existência da bengala faz com que a água fria que entra, funcione como um êmbolo que empurra a água quente, sem se misturar.

A estratificação é importante pelo que os sistemas de aquecimento devem promovê-la e a extracção não deve destruí-la.



Eis alguns exemplos:



(Imagens extraídas do software didático “Multisol”)

Num bom depósito, ao extrairmos o correspondente à sua capacidade, conseguimos extrair mais de 90% da energia nele contida (há pouca mistura).

A posição do depósito e a condutibilidade do material em que é feito podem prejudicar a estratificação. Os depósitos ao alto e os materiais maus condutores (caso dos plásticos) favorecem a estratificação.

4.13.2. Distribuição da água quente.

Na distribuição de água quente é importante que o local de preparação da água quente esteja tão próximo quanto possível do “centro de gravidade” das utilizações.

Quando as distâncias forem grandes é necessário considerar soluções que minimizem o desperdício de energia e de água.

Quando se abre uma torneira de água quente, para todos os efeitos estamos a deitar fora, água e energia.

A. Anéis de água quente

O anel deve estar **bem isolado termicamente** e deve ter um termostato e um relógio programável para minimizar o tempo de funcionamento da bomba.

IMPORTANTE: Evitar os anéis de água quente a funcionar sobre o depósito solar, pois podem por em causa a **prioridade ao sol!**

B. Distribuição Radial.

Os novos materiais utilizados nas redes de águas (quentes e frias) viabilizam a distribuição radial. A partir de um colector são lançados “raios”, de pequena secção, que alimentam poucos dispositivos.

O tempo de espera e o desperdício de água e de energia são minimizados, evitando os anéis de água quente

4.13.3. Dimensionamento de acumuladores de A.Q.S. Critérios.

O objectivo é que a água acumulada tenha energia calorífica suficiente para satisfazer as necessidades do utilizador durante períodos de ausência ou escassez de radiação solar. O dimensionamento do acumulador energético depende de três factores:

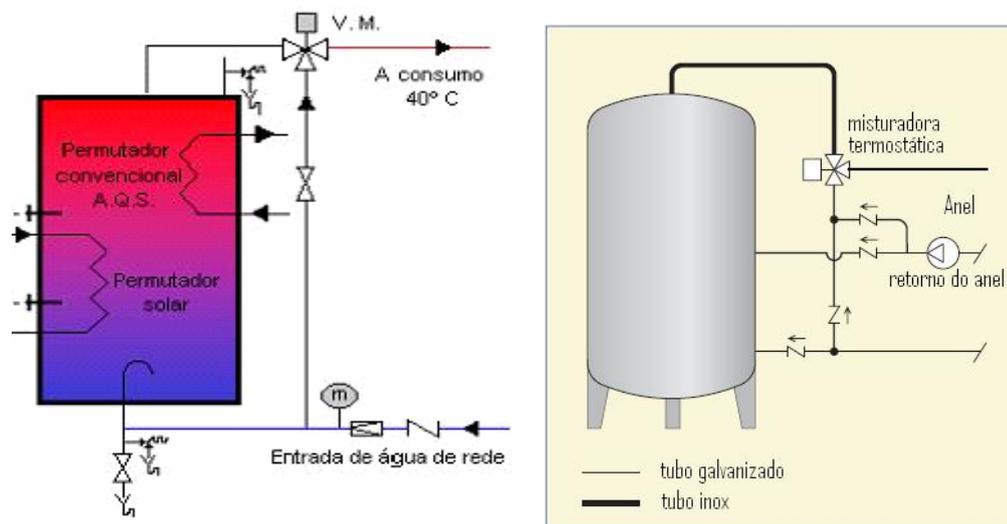
1 - Superfície de colectores instalada

O volume óptimo de acumulação depende do tipo de colectores e do local e das características do consumo. De uma maneira geral o volume de armazenamento é idêntico ao consumo diário. Valores superiores não originam maiores economias. Se o volume acumulado é menor conseguem-se maiores temperaturas de acumulação mas com um menor rendimento.

2 - Temperatura de utilização.

A temperatura tem de ser adequada à utilização mas interessa que seja o mais baixo possível. Por exemplo se se pretender água para banhos (temperatura entre 36 e 38°C) é conveniente que o sistema seja dimensionado para ser 45 a 50°C.

É recomendável a utilização de uma misturadora termostática que permita fornecer água a uma temperatura tão próxima quanto possível da de utilização! Poupa-se água e energia e podem evitar-se queimaduras graves!



3 - Desfasamento entre captação, armazenamento e consumo.

Também influem no armazenamento os factores de serviço, que podem ser:

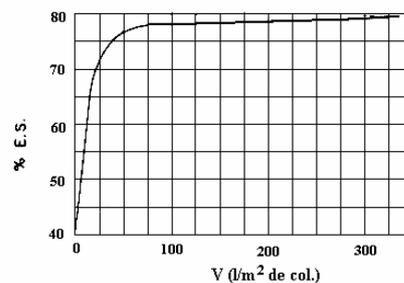
a) Coincidência entre período de captação e de consumo, caso do pré-aquecimento de água para reposição numa caldeira incluída num processo industrial contínuo. O volume do acumulador será de 35 a 50 l/m² de colector.

b) Diferenças entre captação e consumo não superiores a 24 horas, caso de aquecimento de água sanitária em vivendas, hotéis e residências,...

O volume do acumulador será de 60 a 90 l/m² de colector.

c) Diferenças entre captação e consumo, habituais ou periódicas, estimadas como superiores a 24 horas e inferiores a 72, caso de aquecimento de água em processos industriais. Portanto, o volume de acumulador será de 75 a 150 l/m² de colector.

Como podemos observar na figura seguinte, a partir de 60 litros por m² de colector, a energia útil pouco mais aumenta:



4.13.4. Isolamento térmico dos depósitos de acumulação.

Temos que dedicar especial atenção ao isolamento térmico dos acumuladores para que as perdas de calor sejam minimizadas. Determinar-se-á de acordo com as seguintes hipóteses:

Temperatura da água quente sanitária: 60°C.

Temperatura ambiente exterior ao depósito acumulador: 10°C.

O nível de isolamento térmico requerido pode-se conseguir utilizando espessuras de 50 mm. de poliuretano, (lã de rocha, etc.). Porém e dada a mínima influência no custo total, é frequente aparecerem espessuras entre 80 e 150 mm. Quanto maior for o depósito, menor será a relação entre superfície externa do depósito e o seu volume e

menor será por isso a perda relativa de energia. Com a mesma espessura de isolamento um depósito grande está mais bem protegido do que um pequeno.

O isolamento deve ser revestido com uma protecção mecânica.

Certos revestimentos são higroscópicos e podem ter tendência a compactar com as vibrações.

4.14. PERMUTADORES DE CALOR.

Introduz-se um permutador de calor numa instalação solar quando queremos ter dois circuitos independentes. É usual a sua utilização em:

- Instalações de A.Q.S. se não quisermos que a água de utilização passe pelos colectores.
- Instalações combinadas de A.Q.S. e aquecimento de piso radiante, tendo em conta que o **consumo preferencial é para AQS**.
- Instalações bi-fásicas que incluem captação, com colectores de água e aquecimento de ar forçado com sistema “fan-coil”.

O uso de circuito fechado (com permutador) está hoje generalizado; apesar de ser mais caro e representar uma penalização térmica, pois a menor corrosão e o desaparecimento dos depósitos de calcário compensam rapidamente essa penalização.

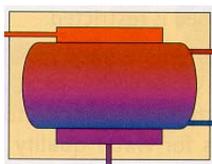
Rendimento de um permutador é a relação entre a energia fornecida e a energia recebida. Com o permutador bem isolado as perdas são da ordem dos 5%.

Eficácia de um permutador é a relação entre a energia permutada e a máxima que teoricamente poderia permutar, se a área de permuta fosse muito grande. Depende da área de permuta, da forma e geometria da mesma e do material, pois a condutibilidade influi na permuta.

Para cada tipo de permutador existe uma eficácia recomendada.

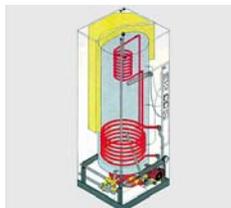
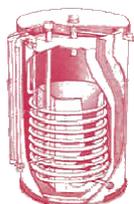
Quanto **menor** for a eficácia, maior será a temperatura com que o fluido volta aos colectores, diminuindo o rendimento destes e da instalação.

Quanto **maior** for a eficácia maior é o custo e por isso não compensa ir além do valor recomendado. As eficácias típicas são:



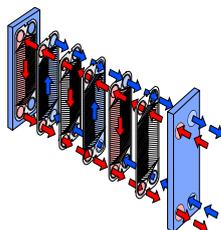
Permutador de camisa

Eficácia = 0,35



Permutadores de serpentina

Eficácia = 0,55



Permutadores de placas Eficácia = 0,75

Para instalações com acumulações a partir dos 3.000 litros, recomenda-se a utilização de permutadores exteriores, normalmente de placas.

Este tipo de permutadores são os mais utilizados e tem as seguintes vantagens:

- Alta qualidade do material, que garante a duração e a rentabilidade.
- São moduláveis, permitindo uma fácil aumento do número de placas
- Fácil manutenção; são desmontáveis e de fácil limpeza.
- Têm uma excelente eficácia, devido ao seu funcionamento em contracorrente, permitindo uma grande potência de permuta mesmo com um pequeno tamanho.

Recomenda-se uma potência de permuta de 750 W/m^2 de superfície colectora.

Quadro com um exemplo das condições de funcionamento de um permutador

TE1 = 60,1 °C	→	TS1 = 46,0 °C
TS2 = 53,8 °C	<	TE2 = 35,0 °C
Eficácia Permutador	= 0,75	(contracorrente)
Área de Captação	= 32 m ²	
Caudal Primário	= 0,4 kg/s	
Caudal Secundário	= 0,3 kg/s	
Temperatura Ambiente	= 20,0 °C	
Radiação Solar	= 1000 W/m ²	
Temperatura reduzida	= 0,033 m ² K/W	
Rendimento	= 0,575	
Pot. Transferida	= 18 394 W	

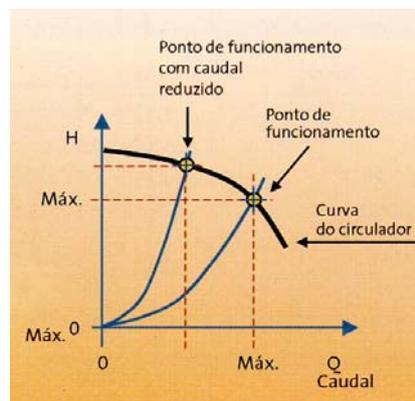
Caudal no circuito secundário

O caudal do circuito primário é dado pela expressão **caudal = $10 F'U_L / C_p$** (Ver 4.6)

O caudal do secundário deve ser 75% deste caudal, para não perturbar a estratificação.

4.15. BOMBAS CIRCULADORAS.

A movimentação do fluido térmico no circuito primário e da A.Q.S. no secundário realiza-se com a ajuda de bombas circuladoras (grupos de pressão accionados por um motor eléctrico), que fornecem ao fluido a energia necessária para poder transportá-lo a uma determinada pressão. Esta energia tem de vencer a resistência à passagem do fluido pelo tubo.



Cada bomba tem uma curva característica de ΔP em função do caudal.

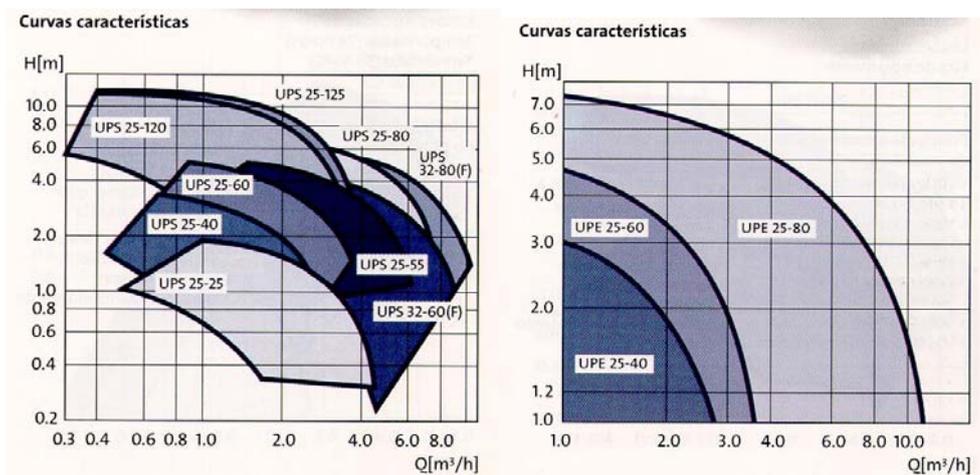
O ponto de funcionamento corresponde à intersecção entre a curva da instalação e a característica da bomba. A bomba deve ser escolhida de forma a que o ponto de funcionamento se situe na zona central da sua curva característica.

Existem bombas com um selector de velocidade que permite escolher a curva da bomba. Neste caso, é conveniente escolher uma bomba que funcione nas velocidades

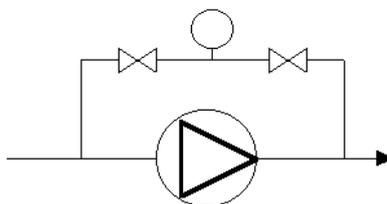
intermédias e não nas extremas, pois desta forma ficamos com possibilidade de “manobra”.

Existem bombas com regulação electrónica da velocidade, que se adaptam às necessidades do circuito (por exemplo muito utilizadas em circuitos de aquecimento ambiente).

As bombas circuladoras utilizados nas instalações de energia solar são centrífugas, silenciosas e de baixa manutenção. Montam-se em linha, directamente no tubo.



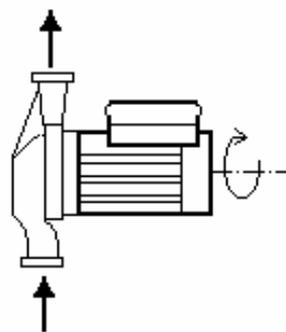
Se em paralelo com a bomba montarmos um manómetro, teremos uma indicação da perda de carga no circuito.



As bombas podem instalar-se horizontal ou verticalmente, mas sempre com o eixo do motor na posição horizontal.

Desta forma asseguramos que os rolamentos do motor trabalham adequadamente aumentando a longevidade da bomba

A caixa de contactos eléctricos deve ficar em cima, se necessário, desmonta-se



4.15.1. Bomba de circulação do circuito primário.

A bomba de circulação colocar-se-á no tubo de ida para os colectores e na parte mais baixa da instalação, para trabalhar com a altura manométrica adequada. A pressão do circuito primário deve ser de modo a que na aspiração da bomba a pressão nunca seja inferior à pressão atmosférica. A montagem será do tipo "in line" já que o tubo faz de

suporte da bomba. Entre a aspiração e a impulsão instala-se em paralelo à bomba um manómetro com duas válvulas de fecho, para medir a perda de pressão do circuito. Esta será a diferença de pressões observadas no manómetro ao abrir e fechar alternadamente as válvulas. Levando esta diferença de pressão observada à curva característica do electro-circulador determinamos o caudal.

Dado que estes modelos possuem normalmente várias curvas características, é possível otimizar as condições de funcionamento seleccionando a curva adequada.

É necessário ter cuidado pois as bombas circuladoras não podem suportar mais de 110°C e além disso, para evitar cavitação é necessária uma pressão mínima na aspiração que depende da temperatura e varia de bomba para bomba:

Temperatura do Líquido [°C]	Pr. mínima na aspiração (relativa) [m.c.a.]
75°C	0,5
90	2.8
110	11,0

4.15.2. Bomba de circulação do circuito secundário

No caso do permutador ser exterior, é necessário uma 2ª bomba que será accionada pelo Comando diferencial, simultaneamente com a bomba do primário. Coloca-se no tubo de retorno e na parte mais baixa da instalação. Tal como no circuito primário, a colocação de um manómetro em paralelo com a bomba permite determinar a perda de carga e pela característica da bomba pode saber-se o caudal.

4.15.3. Bomba de enchimento do circuito primário.

Por vezes existe uma bomba cuja única finalidade é introduzir o fluido térmico no circuito primário quando diminui a pressão inicialmente devido a fugas.

4.15.4. Circuitos de baixo caudal

Em circuitos primários com permutador de camisa, utilizam-se por vezes reguladores de caudal que têm a dupla função de regular e indicar o caudal que está a passar:



Regulador “série” Regulador “paralelo”

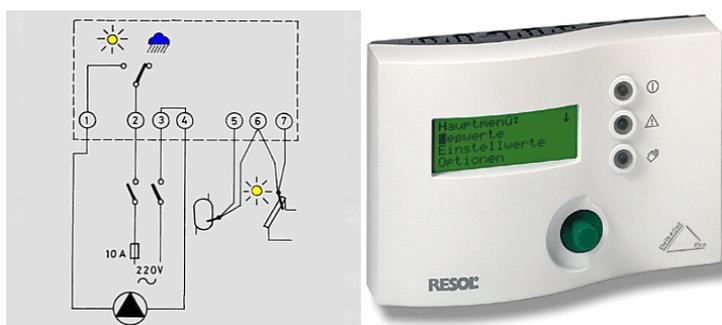
4.16. TERMOSTATO DIFERENCIAL. CONTROLO AUTOMÁTICO.

Os electro-circuladores devem funcionar só quando os colectores puderem ter um ganho útil e parar quando o rendimento for negativo, i.e. . quando a temperatura à saída do colector for inferior à temperatura no depósito, porque a radiação é baixa ou o depósito já está quente. Doutra forma a temperatura à saída do colector seria inferior à de entrada e o colector funcionaria como “dissipador” de energia.

Isto consegue-se com o **termostato diferencial** e as **sondas de temperatura** de que está munido.

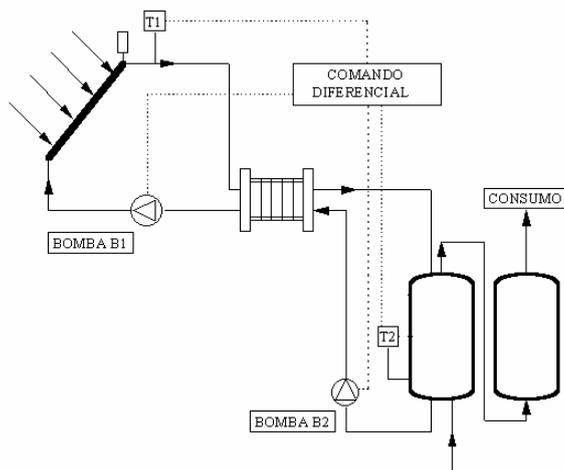
Uma das sondas coloca-se na parte superior dos colectores e a outra na parte inferior do acumulador. A última ligação realiza-se entre o termostato e as bombas de circulação. É muito importante que as ligações não tenham uniões, e estas se realizem com soldaduras de estanho para que o contacto eléctrico seja perfeito.

O termostato diferencial compara as temperaturas da sonda 1 (situada na parte superior dos colectores) e da sonda 2 (na parte inferior do primeiro acumulador de A.Q.S.) e põe o circulador em funcionamento quando valer a pena (a água está mais quente nos colectores do que no depósito).



No seguinte quadro especifica-se o funcionamento automático do grupo de controlo:

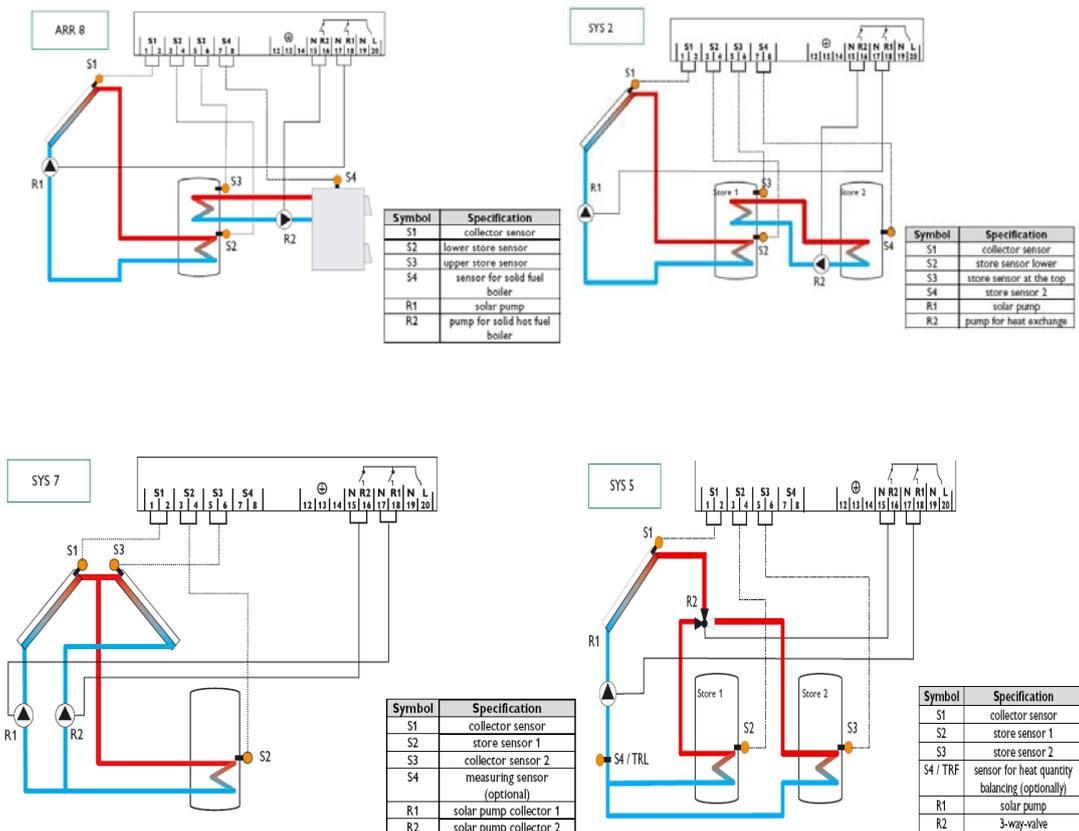
BOMBA	FUNCIONAMENTO	PARADA
B - 1	$T_1 - T_2 > 6^\circ \text{C}$	$T_1 - T_2 < 2^\circ \text{C}$
B - 2	B - 1 funcionamento	B - 1 parada



Os dispositivos de controlo das bombas circuladoras têm evoluído e em vez dos simples sistemas “termostáticos (*tudo ou nada*), estão a aparecer sistemas com microprocessadores capazes de assegurar a interligação do sistema solar com outras fontes de energia e de estabelecer estratégias de funcionamento para várias utilizações.

Para além disto alguns controladores podem impor diferentes velocidades de funcionamento das bombas (diferentes caudais), otimizando as condições de funcionamento. Outros há em que é possível indicar o caudal do circuito permitindo que um integrador dê informações sobre a energia fornecida.

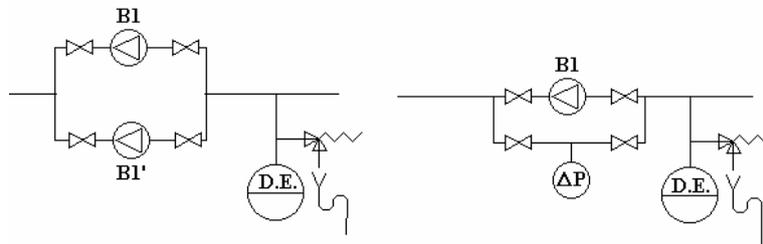
Existem controladores mais complexos, com mais sensores, em que é possível escolher o modo de funcionamento, sendo possível controlar várias fontes de energia e vários circuitos de utilização, etc.



(Modos de funcionamento do controlador DeltaSOL BS Plus)

Grupos de Bombas B1 e B2

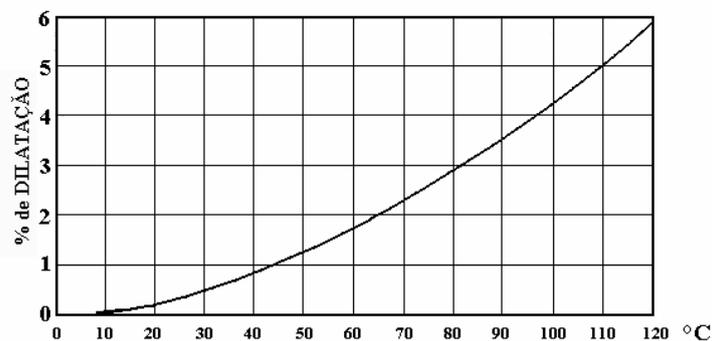
Em instalações de uma certa dimensão e em que se pretenda uma maior fiabilidade são por vezes instaladas bombas geminadas, em que o arranque é normalmente alternado:



4.17. VASOS DE EXPANSÃO

Vasos de expansão fechados

Ao aquecer a água, esta dilata e algum componente no circuito tem de “encaixar” esta dilatação. Esta função é assegurada pelos vasos de expansão que podem ser abertos ou fechados.



Dilatação da água em função da temperatura (Referência volume a 4°C)

4.17.1 – Cálculo do Volume útil (se o líquido do primário não puder vaporizar)

[Pressão Primário (abs) > à Tensão de vapor para a temperatura de estagnação]

$$V_E = \frac{(0.07 * t - 2.5)}{100} * V_T$$

NOTA: Com 20 % de anti-gel considerar 30% mais de volume (coef. Passa de 0.07 para 0.09)

4.17.2 – Cálculo do Volume útil (se o líquido do primário pode vaporizar)

[Pressão Primário (abs) < à Tensão de vapor para a temp. de estagnação]

$$V_E = \left[\frac{(0.09 * t - 2.5)}{100} * V_T \right] + V_{col}$$

4.17.3 – Cálculo do Volume nominal

O rendimento de utilização será:

$$\eta = \frac{(P_{MÁX} + 1) - (P_{CF} + 1)}{(P_{MÁX} + 1)}$$

e o volume nominal será: $V_{N0} = \frac{V_E}{\eta}$

4.17.4 – Correção do volume para ter reserva de água

- (Existindo depósito de esvaziamento, é dispensável a reserva de água.)

Para utilizar uma parte do volume como reserva de água, a pressão de taragem da câmara-de-ar tem de ser inferior à pressão do circuito em frio no ponto de ligação:

$$(P_{VE} + 1) = (P_{CF} + 1) * \left(1 - \frac{V_R}{V_{NC}}\right)$$

$$V_{NC} = V_{N0} \frac{(P_{CF} + 1)}{(P_{VE} + 1)}$$

- V_E – **Volume útil** do vaso de expansão
- V_{N0} – **Volume nominal** do vaso de expansão
- V_R – **Volume de reserva de água**
- V_{NC} – **Volume nominal corrigido** do vaso de expansão
- V_T – Capacidade total do circuito primário, incluindo os colectores
- V_{COL} – Capacidade total dos colectores
- P_{CF0} – Pressão relativa no circuito em frio, no ponto de ligação (bomba parada)
- P_{CF} – Pressão relativa no circuito em frio, no ponto de ligação com a bomba ligada
- P_{VE} – Pressão relativa inicial no vaso de expansão (pré-carga)
- $P_{MÁX}$ – Pressão relativa máxima no sistema ($P_{MÁX}$ = Pressão da válvula de segurança)
- t – Temperatura máxima possível do líquido nos colectores, tendo em conta o desnível entre os colectores e posição da válvula de segurança

*NOTA 1: O purgador automático exige uma pressão mínima para funcionar: 1 bar
Se quisermos impedir a vaporização podemos ter de aumentar a pressão de enchimento do circuito. $P_{CF0} = Pr.$ nos colectores em frio + $\Delta P_{DESNÍVEL}$*

*NOTA 2: Vaso de expansão antes da bomba: $P_{CF} = P_{CF0}$
Vaso de expansão depois da bomba: $P_{CF} = P_{CF0} + \Delta P$*

NOTA 3: Será equipado com válvula de segurança, purgador de ar automático em sistemas sem vaporização e manual em sistemas com vaporização.

NOTA 4: Se a temperatura de estagnação for p.ex. 140°C e quisermos impedir a vaporização, com uma certa margem de segurança, escolheremos uma válvula de

segurança de 6 bar e considerando um desnível de 10m, a pressão máxima nos colectores é de 5 bar (6 bar de pr. Abs.) e a temperatura a considerar é de 158,8°C.

Pr. absoluta(bar)	1,01	2	3	4	5	6	8	10
Temp. ebul. (° C)	100	120,2	133,5	143,6	151,8	158,8	170,4	179,9

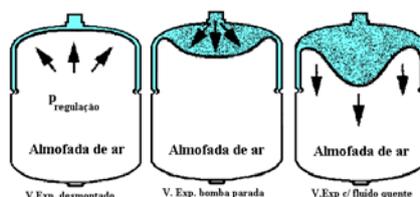
Pressão no circuito:

A. Escolher a pressão absoluta pretendida nos colectores. (por exemplo, superior à tensão de vapor correspondente à temperatura máxima de estagnação para

$$I_g=1000 \text{ W/m}^2 \text{ e } T_a= 20^\circ\text{C}$$

B. A pressão na zona do vaso de expansão será igual a esta pressão acrescida do valor correspondente à altura manométrica do desnível.

C. A pressão absoluta no vaso de expansão ($P_{VE} + 1$) depende da reserva de água pretendida (ver 4.17.4).

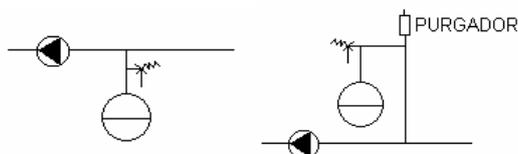


NOTA 1: Se a pressão (de compra) for menor pode acontecer que o vaso fique cheio de água e sem capacidade para absorver a dilatação

NOTA 2: Se a pressão for superior, o vaso só começa a funcionar mais tarde. Se a pressão for superior à pressão da válvula de segurança, o vaso também não serve para nada pois a válvula de segurança dispara antes.

Montagens correctas do vaso de expansão.

O vaso de expansão deverá ser montado necessariamente na aspiração da bomba no circuito de ida para os colectores (figura da esquerda) e se o espaço impedir a colocação da forma anterior, podemos instalar como mostra a figura da direita. Neste caso é absolutamente necessário instalar um purgador automático antes do vaso de expansão para poder facilitar a evacuação de gases:



Vantagens dos vasos de expansão fechados relativamente aos abertos:

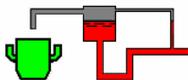
- Fácil montagem.

- Não é necessário isolá-los.
- Não absorvem oxigénio do ambiente (prejudicial para a instalação).
- Não tem perdas de fluido térmico por evaporação.

Vasos de expansão abertos (não aconselháveis com os colectores solares).

Se o nível de pressão no circuito for baixo, poder-se-á utilizar um vaso de expansão aberto. O dimensionamento é idêntico mas o volume de expansão calculado, tem de ser igual ao volume entre o nível do líquido com o sistema frio e nível do dreno de descarga. O rendimento de utilização do Vaso de expansão aberto é de 100%.

O nível “em frio” poderia ser automaticamente mantido com uma válvula de bóia, mas tal não é aconselhável, pois se houver uma fuga, estaremos a compensar o circuito, e ao fim de algum tempo, já não haverá anti-congelante, estaremos sempre a introduzir ar dissolvido (problemas de corrosão) e calcário.



Vaso de expansão aberto

NOTA IMPORTANTE: Não deve haver nenhuma válvula fechada entre os vasos de expansão e os circuitos a proteger pois nesse caso os vasos ficam inoperacionais.

4.18. PURGADORES E DESAERADORES



O purgador é o elemento encarregue de evacuar os gases, geralmente ar, contidos no fluido térmico. A presença de gases no circuito pode dar lugar à formação de bolsas que impeçam a correcta circulação do fluido térmico e provocar corrosões nos tubos dos colectores.

Para que o ar dissolvido na água seja evacuado pelo purgador, utilizam-se por vezes desaeradores como o que se mostra na figura acima.

4.19. VÁLVULAS

4.19.1. Válvulas de segurança.

Tabela 6.5 - Válvulas de segurança para tanques de armazenamento de regulação

Conteúdo nominal de volume de água (l)	Capacidade máxima de aquecimento (kW)	Capacidade máxima correspondente ao tamanho do campo colector (m ²)*	Diâmetro de ligação da Válvula de Segurança, min
até 200	75	125	DN 15
200-1000	150	250	DN 20
1000-5000	250	417	DN 25
acima de 5000			1 ¼"

* capacidade máxima do colector de 600 W/m²

Fonte: Solar Thermal Systems – JAMES & JAMES

A actual legislação exige a colocação de válvulas de segurança em todos os circuitos submetidos a pressão e a variações de temperatura. As válvulas de segurança actuam como elementos limitadores da pressão dos circuitos e são imprescindíveis para proteger os elementos da instalação.

A pressão de regulação da válvula, quer dizer, a pressão à qual a válvula actua deixando escapar o fluido, deve ser inferior à pressão que possa suportar o elemento mais delicado da instalação, habitualmente o depósito de expansão fechado ou o próprio colector.

Para circuitos primários os tamanhos habituais são de 1/2", 3/4" e 1". Para circuitos secundários, com uma capacidade superior, a evacuação em caso de sobre-pressão deve ser mais rápida e, portanto, as válvulas devem ser maiores.



ATENÇÃO: No caso de haver vários depósitos é obrigatório:

- Que não exista nenhuma válvula que possa impedir a descarga do depósito para a válvula de segurança (retenção, seccionamento, etc...)
- Que cada depósito tenha a sua válvula de segurança
- Que haja manutenção da válvula de segurança, pois ela só é fiável se periodicamente se fizerem descargas para evitar que fique bloqueada.

4.19.2. Válvulas anti-retorno.

Uma válvula anti-retorno só deixa passar o fluido num sentido:



Válvulas de retenção

Válvula de retenção e de fecho

No caso dos colectores em termossifão, durante a noite pode haver inversão da circulação. O facto de haver um desnível entre o topo dos colectores e o depósito minimiza este risco. No entanto é possível e recomendável utilizar um tipo de válvula anti-retorno especial com uma perda de carga muito baixa e que impede a inversão sem dificultar demasiado o termossifão.

4.19.3. Válvulas de passagem

Servem para interromper total o parcialmente a passagem do fluido pelas tubagens. As válvulas de fecho total usam-se para separar uma parte da instalação ou isolá-la do serviço, as de fecho parcial servem para produzir uma perda de carga adicional no circuito, com o objectivo de regular o caudal ou de equilibrar a instalação. As válvulas têm de ser adequadas às temperaturas admissíveis no circuito.



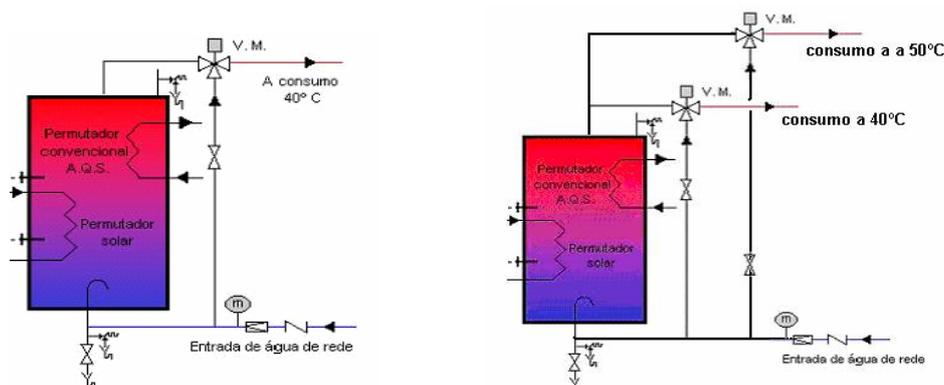
4.19.4. Válvulas de três vias .

No projecto de uma instalação pode fazer necessária a circulação por vias alternativas. Para conseguir isto de forma automática utilizam-se as chamadas válvulas de três vias que podem ser em derivação ou em mistura.

Nas instalações solares, este tipo de válvulas são normalmente automatizadas, ou com um servomotor eléctrico ou com um sistema baseado na expansão de um gás dentro de um fole:

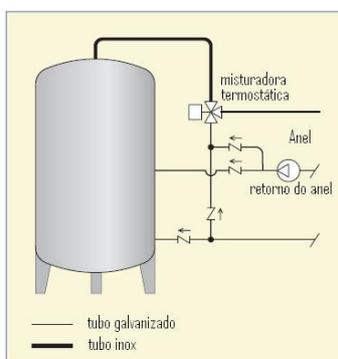


As válvulas misturadoras termostáticas permitem a utilização racional de água e de energia e nas as instalações solares estas válvulas têm uma função suplementar de **evitar que alguém se queime.**



Em instalações domésticas poderá ser necessário ter 2 válvulas, uma regulada a 40°C (para os banhos) e outra regulada a 50°C (cozinha).

Se existir um anel de água quente a válvula misturadora tem de ser montada de acordo com o seguinte esquema:



4.19.5. Válvulas pressostáticas tipo Watt.

Há válvulas que disparam por pressão (p.ex 10 bar) e/ou por temperatura (p.ex. 99°C)



4.20. EXECUÇÃO E MANUTENÇÃO DE UMA INSTALAÇÃO SOLAR.

4.20.1. Processos prévios à instalação.

Descreveremos os passos típicos a seguir na pré-montagem da instalação solar e que em muitos casos são comuns a outro tipo de instalações na construção civil:

- Obter a aprovação do cliente e fixar uma data para o início das obras e outra aproximada para o seu final.

- Planificar o processo de montagem, prevendo as necessidades de material e de pessoal para executar adequadamente a obra.

- Conhecer convenientemente as exigências do projecto e as características próprias deste tipo de instalações, assim como dos materiais que nelas intervêm.

- Visitar a construção na qual será feita a instalação. No caso de existirem problemas imprevistos, é preciso contactar o projectista para modificar os planos.

Efectuar as medidas necessárias e comprovar o espaço disponível tendo em conta a distância mínima entre filas assim como a possibilidade de orientar os colectores ao sul geográfico.

É preferível assumir um pequeno desvio relativo ao sul (ate 20°) e a inclinação do telhado do que realizar um complicado sistema na estrutura de fixação.

(Ver cap 4.7 “[aba](#) de telhado mal orientada”)

4.20.2. Armazenamento, manipulação e montagem dos colectores.

Antes da instalação os colectores armazenar-se-ão em espaços cobertos sobre um chão plano. No caso de armazenamento no exterior, deverão estar protegidos da chuva.

Se os colectores, uma vez desembalados e antes da sua montagem, tiverem que ser depositados no exterior, colocar-se-ão com um ângulo mínimo de 20° e máximo de 70°, com a cobertura de cristal orientada para cima. Devrãoevitar-se-ão as posições horizontal e vertical. Se os colectores tiverem que ficar inclinados num ângulo de 20° ou 30° não se devem apoiar uns sobre os outros. Se colocarem inclinados 40° / 70° poderão ser apoiados, um sobre outro, até um máximo de seis colectores.

Para evitar excessivas dilatações é muito conveniente cobrir os colectores, uma vez colocados, até ao enchimento da instalação com o fluido térmico.

No caso da superfície ser por exemplo terra, a fixação da estrutura de suporte dos colectores deverá ser feita com sapatas de betão semi-enterradas.

As estruturas e os colectores devem cumprir o [RSAEEP](#) pelo que o projectista deverá projectar a estrutura para as sobrecargas previstas no regulamento.

4.20.3. *Processo de montagem da instalação solar.*

O passos típicos a realizar na instalação solar podem ser resumidos em:

- Estrutura de montagem dos colectores e impermeabilização do telhado para evitar infiltrações. Uma parte importante da estrutura poderá ser feita na oficina, mas a relativa às fixações realizar-se-á directamente na obra. É essencial ter em conta que os orifícios das fixações não devem enfraquecer a estrutura do telhado.



(Imagens do software didáctico “MULTISOL”)

- Montagem das tubagens, dos diferentes elementos (válvulas, depósito de expansão, bombas, etc.) e a instalação e ligação do depósito acumulador. Não é conveniente nesta fase proceder ao isolamento destes elementos, já que é necessário fazer

posteriormente as provas de estanquicidade do circuito para detectar possíveis fugas.

- Recomenda-se como última operação a montagem dos colectores na estrutura. É responsabilidade do instalador a correcta orientação e inclinação, assim como a devida separação entre as fileiras de colectores.

4.20.4. Arranque da instalação solar.

Proceder-se-á inicialmente a um enchimento e esvaziamento da instalação, para limpá-la internamente de possíveis sujidades e poder detectar e corrigir fugas.

Este enchimento será feito lentamente da parte inferior para a superior, de forma a evitar a formação de bolsas de ar, abrindo os purgadores até que circule por eles o fluido. Posteriormente estes fechar-se-ão e o fluido circulará vários minutos para arrastar sujidades e depósitos internos, procedendo ao esvaziamento.

Uma vez realizada esta operação, procederemos ao enchimento e purga finais da instalação solar, podendo apresentar-se os seguintes casos :

Enchimento e purga do circuito primário numa instalação com depósito de expansão fechado. Os passos a realizar serão :

- Se o circuito primário estiver ligado directamente à rede, a pressão desta é por vezes superior à máxima tolerada pelos colectores, portanto é preciso colocar uma válvula redutora de pressão que assegure que esta tenha um valor mínimo no ponto mais alto da instalação. Imediatamente antes da válvula redutora instalar-se-á uma outra de fecho, e que será convenientemente fechada para regular a pressão da primeira.

- As válvulas de segurança, colocadas na entrada do campo de colectores e no depósito de expansão, terão uma pressão nominal idêntica à do componente mais fraco (normalmente os colectores).

- O elemento de purga da bomba de circulação abrir-se-á antes de a pôr em funcionamento.

- O depósito de expansão instalar-se-á antes da aspiração da bomba circuladora.

- Comprovar-se-á que todas as válvulas de fecho estão na sua posição correcta de abertura ou fecho.
- Realizar-se-á o enchimento e pressurização definitivos do circuito primário com os colectores cobertos para evitar a formação de bolsas de vapor que impeçam a correcta circulação do fluido.
- Finalmente fechar-se-ão todos os elementos purgadores e comprovar-se-á a inexistência de fugas.

Enchimento e purga do circuito primário em sistemas com depósito de expansão aberto.

- Neste caso o enchimento será feito directamente a partir do depósito de expansão aberto, situado por cima da parte mais alta da instalação mas ligado por um tubo à aspiração da bomba circuladora. Se a instalação for de muitos colectores, o processo de enchimento pode ser demorado e dar origem à formação de bolsas de ar; portanto seria conveniente dispor de um tubo de enchimento na parte inferior da instalação e deixar que o depósito cumpra a missão de preenchimento.

Enchimento e purga do circuito secundário.

- O circuito secundário tem a mesma pressão que a rede de alimentação de água. Se esta for superior à máxima aconselhada para os depósitos acumuladores, instalar-se-á uma válvula redutora de pressão.
- Deverá ir munido de um purgador na parte mais elevada da instalação e que ficará aberto até a evacuação total de gases. Será fechado quando a água comece a circular por ele.
- Instalar-se-á uma válvula de segurança tarada à mesma pressão que a máxima admissível pelo depósito acumulador de A.Q.S. Entre este e a válvula de segurança nunca deverá instalar-se uma válvula de fecho, já que por erro ou desconhecimento pode ficar na posição fechada, impedindo actuar adequadamente à primeira.

4.20.5. Provas prévias à entrega da instalação solar.

É necessário verificar uma série de provas antes de entregar a instalação ao cliente, e que serão:

Prova de estanquicidade e perfeito funcionamento dos elementos.

Os circuitos devem ser testados a uma pressão 1.5 vezes superior à pressão normal de trabalho para verificar a inexistência de fugas. A válvula de segurança, que tem uma pressão nominal inferior, só pode ser montada depois do teste de pressão.

Prova de aquecimento da instalação solar.

Verificar-se-á num dia claro e sem consumo de água, arrancando e deixando funcionar o sistema durante várias horas. A temperatura de acumulação deve ser superior, como mínimo, em 20° C à temperatura da água de rede.

4.20.6. Isolamento térmico da instalação solar.

Após finalizar todas as provas de estanquicidade, funcionamento dos diversos elementos que compõem a instalação e aquecimento, proceder-se-á ao isolamento de tubagens, válvulas e depósitos acumuladores. Deveremos cumprir uma série de regras a fim de assegurar um perfeito isolamento dos componentes anteriores:

- Limpar as superfícies a isolar de restos de óleo, humidades, incrustações ou daqueles elementos que dificultem o isolamento.
- O adesivo utilizado deve estar em perfeitas condições de aplicação e corresponder as especificações do isolador usado.
- Aplicar sempre medidas exactas.
- Proteger os isoladores armazenados à intempérie da água de chuva, pó,...
- Os isoladores colocados em tubagens à intempérie serão protegidos imediatamente com chapa de alumínio, P.V.C. ou outro material adequado. O conjunto deve ficar impermeável à humidade e à água de chuva.
- Depois de fazer o isolamento, a instalação deverá ficar parada quando menos um dia e meio para assegurar a colagem e endurecimento do adesivo.

4.20.7. Operações de manutenção que deverão ser efectuadas pelo dono da instalação e por pessoal especializado.

O instalador deverá entregar ao cliente um manual de instruções, em que deverão constar um esquema para identificar cada elemento, bem como informações sobre o uso da instalação e as operações de segurança, conservação e manutenção.

É conveniente informar também sobre os limites aconselhados de calcário da água de alimentação.

O dono, além de efectuar habitualmente o arranque e paragem da instalação, deverá:

- **Comprovar periodicamente a pressão do circuito, de preferência com o sistema frio; se a pressão for baixa, deve contactar o instalador.**
- **Manobrar a válvula de segurança para evitar que fique colada, pelo menos trimestralmente.**

O responsável pela manutenção, além das operações de rotina atribuídas ao dono, deverá também:

- **Verificar se o sistema tem ar, assegurando o seu enchimento e a pressurização nominal.**
- **Comprovar-se-á também se as válvulas da instalação funcionam correctamente.**
- **Comprovar se as sondas de temperatura funcionam correctamente e que o controlo diferencial arranca e de o ΔT de arranque e de paragem são os pretendidos.**
- **Inspecções visuais para verificação de:**
 - ◇ Isolamentos situados à intempérie,
 - ◇ Estado do campo de colectores (estanquicidade à chuva, vidros partidos de deformação das caixas dos colectores, corrosões, fugas de fluido, etc.).

4.20.8. Localização e reparação das avarias mais frequentes.

As avarias mais correntes nas instalações solares são no circuito primário (rendimento baixo ou mesmo nulo da instalação, fugas do fluido no circuito, ruídos anormais no funcionamento das bombas), por ser a parte mais delicada da instalação.

Descreveremos a continuação os sintomas e as consequências deles para serem reparados facilmente:

O rendimento da instalação é baixo e o aquecimento não é o esperado.

Pode ser devido aos seguintes problemas:

- As bombas não funcionam.

Deveremos comprovar se o fornecimento da rede é o correcto; se há alguma válvula indevidamente fechada; o funcionamento dos fusíveis, contactos e quadro eléctrico; assim como verificar se a bomba está entupida. Se depois de realizar estas comprovações a bomba continua sem trabalhar, deverá ser substituída.

Se a bomba arranca em sistema manual dando pressão ao circuito, o controlo diferencial não funciona correctamente. Verificaremos a colocação das sondas de temperatura, os fusíveis e a calibração do sistema de controlo.

- O circuito tem baixa pressão em frio e parado.

A causa mais frequente é a falta de fluido no seu interior originada por fugas, procedendo ao arranjo delas e ao preenchimento do circuito. Se o depósito de expansão é aberto, o tubo de ligação à bomba pode estar entupido ou o nível de fluido no seu interior ser baixo. Finalmente purgaremos o circuito tal como indicado anteriormente.

- A bomba funciona mas o caudal e a pressão fornecidas são insuficientes.

Se o sistema em frio e parado tem uma pressão normal, a bomba arranca, mas o aquecimento da água e a pressão e caudal do circuito são insuficientes, o problema está na bomba. Verificar-se-á se a posição do selector de velocidades é a correcta e se está devidamente purgada. Em caso contrario devemos substituir a bomba.

- A bomba funciona mas o caudal é insuficiente e a pressão elevada.

Neste caso o sistema não aquece suficientemente, com o circuito em frio e parado a pressão é normal, a bomba arranca normalmente mas em funcionamento a pressão fornecida é mais alta da prevista e o caudal baixo. Determinaremos o ponto de funcionamento da bomba para conhecer o caudal circulante. A causa mais habitual é a existência de uma obstrução no circuito que impede a normal circulação, procedendo à sua abertura e limpeza.

4.20.9. Sistemas em estagnação

No caso de instalações que possam ficar em estagnação, é frequente desaparecer o fluido do circuito primário devido à ebulição.

Períodos sem extracção de energia do campo dos colectores (avarias e longos períodos de ausência de consumos) podem conduzir a temperaturas de estagnação elevadíssimas:

- colectores selectivos 180 a 220 °C
- tubos de vácuo 220 a 300 °C

No caso de sistemas de circulação forçada, para proteger o depósito e outros componentes, inibe-se o funcionamento da bomba acima de uma dada temperatura, podendo provocar a ebulição do fluido do primário.

A exposição dos componentes do sistema solar a temperaturas elevadas, incluindo alguns componentes do sistema de armazenamento, pode provocar:

- * Funcionamento **defeituoso** dos acessórios e perda de fluido térmico
- * **Activação da válvula de segurança** mesmo que esteja bem seleccionada;
- * **Choques térmicos** na rede de distribuição de fluido térmico

Várias são as soluções possíveis, mas algumas não são fáceis de por em prática:

- A.** Dimensionar o sistema para ter uma pressão na zona dos colectores, superior à tensão de vapor correspondente à temperatura de estagnação (**possível com colectores com temperaturas de estagnação não muito elevadas**).
- B.** Alteração da posição do vaso de expansão e sobredimensionamento para receber o líquido expulso dos colectores pelo vapor. De realçar que as soluções construtivas, do colector e a ligação entre colectores, são determinantes para o bom funcionamento desta solução.
- C.** Controlo da circulação:

- Circulação forçada: o controlador deve parar a bomba.
- Termossifão: deve ter também um dos dispositivos da alínea D)

D. Limitar a temperatura de funcionamento

- Descargas de água quente (válvula [pressostáticas](#) do tipo “Watt”)
- Tubos de calor que dissipem a energia do depósito acima de uma temperatura de segurança.
- By-passes termostáticos de segurança térmica
- Eliminação do isolamento da tubagem de alimentação dos colectores (solução que acarreta algumas perdas)
- Com temperaturas de estagnação muito elevadas não é possível utilizar purgadores automáticos e recomenda-se o sobre dimensionamento do vaso de expansão. (Ver capítulo sobre [vasos](#) de expansão).

E. Esvaziar o circuito primário

- Automaticamente quando a bomba pára (Sistema “drain back”)
- Manualmente para prevenir danos durante o período sem utilização.

Neste caso, para o re-arranque, será necessário encher o circuito primário

F. Cobrir os colectores, de preferência com uma rede sombreadora a 50% (pouco prático).

LOCALIZAÇÃO DAS AVARIAS MAIS FREQUENTES.

As avarias mais correntes nas instalações solares localizam-se no circuito primário.

Se o rendimento da instalação é baixo e o aquecimento não é o esperado:

AVARIA	VERIFICAR
As bombas não funcionam.	<ul style="list-style-type: none"> - Fusíveis, contactos e quadro eléctrico. - Fornecimento de pressão da rede. - Existência de válvulas indevidamente fechadas.
Mau funcionamento do comando diferencial.	<ul style="list-style-type: none"> - Colocação das sondas de temperatura, fundamentalmente a sonda quente. - Calibração do comando diferencial (sistema de controlo).
O circuito tem baixa pressão em frio e parado.	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de fluido no seu interior. - Existência de fugas.
A bomba funciona com caudal e pressão insuficientes.	<ul style="list-style-type: none"> - Posição do selector de velocidades da bomba. - Se está devidamente purgado o circuito.
A bomba funciona, o caudal é insuficiente ou nulo e pressão é elevada.	<ul style="list-style-type: none"> - Determinar ponto de funcionamento da bomba. - Existência de uma obstrução no circuito. - Verificar se a válvula de retenção está bem montada e não está colada.

REFERÊNCIAS

- SOFTWARE

Dimensionamento de Instalações solares:

Programa SOLTERM 4.5 e SOLTERM 5.0

M.J. Carvalho, R. Aguiar, DER / INETI, 1996

METFI9

J.Cruz Costa, DER/INETI, 1995

Perdas de carga:

MCA-FC10, J.Cruz Costa, DER/INETI, 1995

- FOLHAS de CÁLCULO

ASTRON 15

J.Cruz Costa, DER/INETI, 2006

COLSER 19

J.Cruz Costa, DER/INETI, 2006

- CD-ROM “MULTISOL, VVS Branchen, DK”

- CD-ROM “MULTISOL, Deutschland”

- BIBLIOGRAFIA

* **Normas Portuguesas.**

* **Transmissão de calor.** *Chapman. Editorial Bellisco.*

* **A Energia Solar na edificação.**

Chauliaguet. Edit. Técnicos Associados.

* **Manual da Utilização de En. Solar em Portugal,**

J.F. Mendes, J. Cruz Costa, et all, LNETI, 1981, LEM/DGC,

* **Caracterização e Model. de Colectores de Baixa Concentração**

Cruz Costa, Un Paris VII, 1987.

* **Energia Solar Incidente numa superfície, Inclinação óptima.**

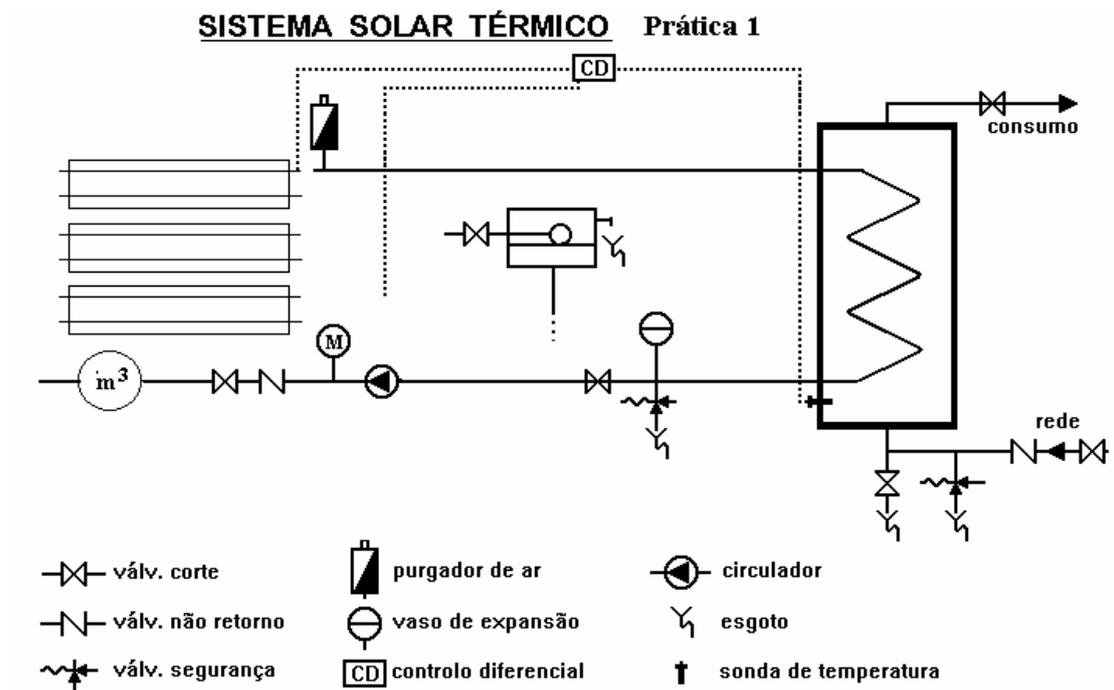
Rev. Energia Solar, Nº 11, SPES M.J. Carvalho et all, INETI, 1996

- * **Energia Solar. Bases e Aplicações.**
Cobarg. Ed. Paraninfo.
- * **Energia Solar. Cálculo e dimensionamento de instalações.**
ETSII Madrid.
- * **Introdução às instalações de aquecimento.**
ROCA
- * **Curso de Energia Solar. Censolar. Editorial Progenisa.**
- * **Energia Solar. Manual de instalações térmicas.**
Minguella y Torrens. Editorial CO-PRESS.
- * **Utilização da Energia Solar a baixa temperatura p/col. planos.**
ROCA.
- * **Heliotermodotecnia. Técnicas de captação e utilização da En. Solar**
UNISOLAR ESPAÑA,
- * **Solar Thermal Systems,**
JAMES & JAMES
- * **Heliotermodotecnia. Técnicas de captação e utilização da En. Solar**
UNISOLAR ESPAÑA,

ANEXOS

LOCAL	lat	long	dec magn (W)
bragança	41.81	6.76	3.4
viana do castelo	41.68	8.83	4.1
vila real	41.30	7.74	3.7
porto	41.14	8.63	4.0
visou	40.66	8.00	3.7
aveiro	40.63	8.66	3.9
braga	40.55	8.42	3.8
guarda	40.54	7.27	3.4
coimbra	40.21	8.43	3.8
castelo branco	39.82	7.49	3.5
leiria	39.75	8.82	3.9
portalegre	39.29	7.43	3.4
santarém	39.24	8.68	3.8
lisboa	38.71	9.13	4.0
evora	38.57	7.91	3.5
setúbal	38.53	8.89	3.9
beja	38.02	7.86	3.5
ponta delgada	37.75	25.66	10.1
Faro	37.02	7.93	3.4
lunchal	32.63	16.90	6.6

PRÁTICA 1

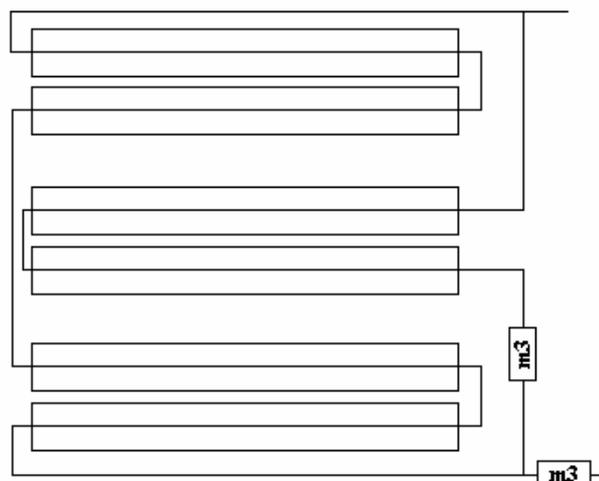


DESCRIÇÃO

Sistema com colectores marca Giordano e depósito marca Fogãosol, para realizar:

Enchimento e purga do sistema com vaso de expansão fechado.

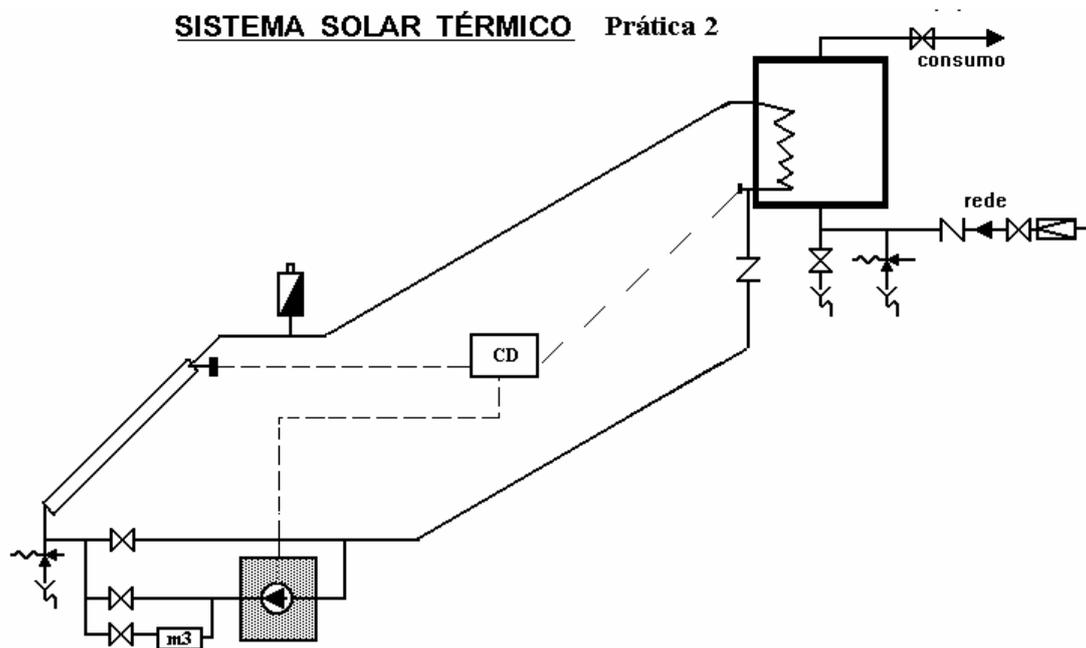
Equilíbrio hidráulico da instalação para diferentes ligações dos colectores:
paralelo, série e série-paralelo.



Regular o caudal para que o ΔT seja o mesmo nos 2 ramos

Medir o ΔP e o ΔT nas diferentes situações

PRÁTICA 2



DESCRIÇÃO

1^a Sistema “Split”, com colector e depósito marca Ao Sol, com a possibilidade de funcionar em:

- Termossifão
- Circulação forçada
- Normal
- Baixo caudal

Enchimento e purga do sistema e verificação dos 3 modos de funcionamento.

Tomar nota dos caudais e dos ΔT s

PRÁTICA 3

Apresentação de equipamentos:

- Técnicas de montagem
- Fixação da estrutura ao telhado / terraço
- Atravessamentos e impermeabilizações
- Enchimento
- Teste de fugas

- Pressurização final
- Entrega de catálogos e outra informação sobre os equipamentos

A apresentação será em simultâneo para todos os grupos, em horário pré-fixado.

PRÁTICA 4

TERMOSTATO DIFERENCIAL E SONDAS (PT 100)

DESCRIÇÃO

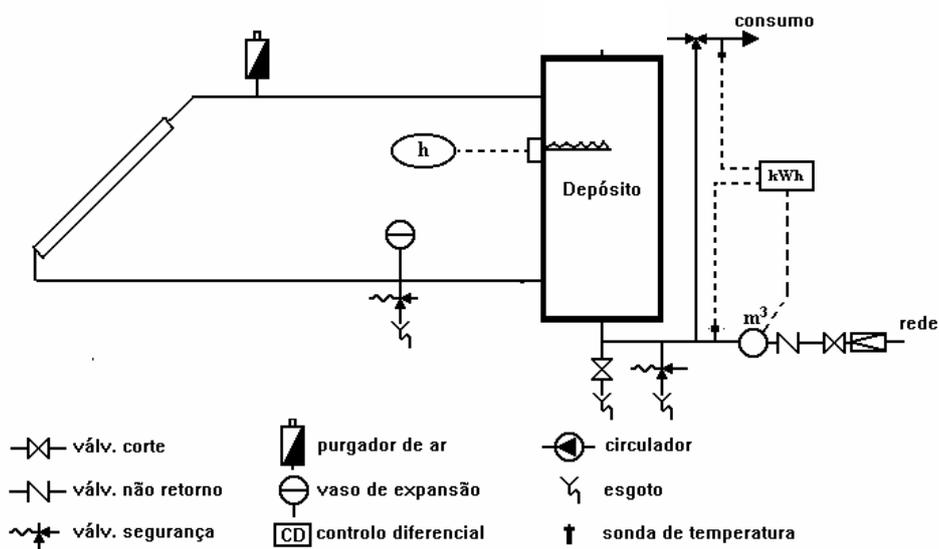
Tomar contacto com o termostato diferencial, simulando o funcionamento da bomba com uma lâmpada.

Regulação dos ΔT s de arranque e paragem.

Tipos de sondas e sua calibração.

PRÁTICA 5

SISTEMA SOLAR TÉRMICO



Descrição:

Sistema com válvula misturadora termostática de 3 vias.

Balço térmico obtido com extracção de água do depósito. Comparar a estimativa da energia extraída utilizando o volume medido e admitindo que a temperatura é constante:

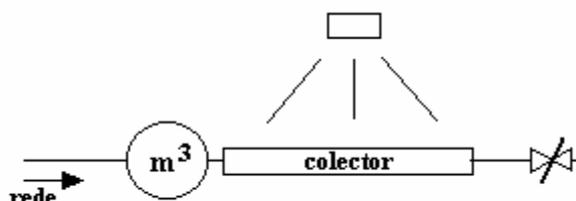
$$Q = m C_p (T_{saída} - T_{entrada}) \quad Q = m \cdot 4185 (T_{saída} - T_{entrada}) \text{ [Joule]}$$

Comparar este valor com a medição do contador de calorías

No final da prática será feita uma extracção completa da água do depósito e far-se-á o cálculo da energia extraída.

PRÁTICA 6

ΔT EM FUNÇÃO DO CAUDAL MINI - DER



DESCRIÇÃO

- Medir a temperatura ambiente.
- Pôr o sistema a funcionar em termossifão, deixar estabilizar e medir a temperatura de entrada e de saída.
- Fechar o termostato e pôr o sistema a funcionar em circulação forçada
- Medir o ΔT para diversos caudais escolhendo pelo menos um caudal que implique um ΔT superior ou igual ao do termossifão.
- Medir o caudal cronometrando o enchimento de um recipiente de capacidade conhecida.
- Medir a temperatura de entrada e de saída.
- Traçar uma curva de ΔT em função do caudal.
- Estimar o caudal do termossifão a partir do gráfico.

PROBLEMAS

PROBLEMA 1

- Temos uma piscina rectangular com uma profundidade de água de 1,75 m. e uma área de 50 m².

A temperatura da água é de 20° C. Sobre a piscina incide uma radiação solar de 800 W/m² durante 6 horas. Na hipótese de não haver perdas ou ganhos térmicos por convecção com o ar (Temperatura do ar da ordem de 20 °C) e admitindo que 90% da radiação é absorvida, calcular a temperatura final da água.

$$\begin{aligned} \text{Área da piscina} & S = 10 * 5 = 50 \text{ m}^2 \\ \text{Volume da piscina será:} & V = 50 * 1,75 = 87,5 \text{ m}^3 \\ \text{Massa de água} & m = V * \rho = 87.5 * 1000 = 87\,500 \text{ kg} \end{aligned}$$

A energia total recebida pela piscina será:

$$E_{\text{SOLAR}} = I * S * t = 800 * 50 * 6 * 3\,600 = 864\,000\,000 \text{ Joule}$$

$$(E = 864\,000\,000 / 4,185 = 206\,700\,000 \text{ cal} = 206\,700 \text{ kcal})$$

$$\text{A energia útil será: } E_{\text{ÚTIL}} = 0,9 * E_{\text{SOLAR}} = 777\,600\,000 \text{ Joule}$$

Aplicando a fórmula do calor: (Água Cp = 4185 J/(kg °C))

$$Q = m * Cp * \Delta T = 87\,500 * 4185 * \Delta T = E_{\text{ÚTIL}}$$

$$\Delta T = 777\,600\,000 / (87\,500 * 4185)$$

$$\Delta T = 2,1 \text{ °C}$$

$$T_{\text{F}} = T_{\text{INICIAL}} + 2,1 = 20 + 2,1$$

$$T_{\text{F}} = 22,1 \text{ °C}$$

PROBLEMA 2

- Comparar a energia produzida por uma central termoelétrica de 230 MW com a energia solar incidente em 1 km² (na horizontal).

Na central termoelétrica se a disponibilidade for de 100 %:

$$E = P * h_{\text{funcionamento}} = 230 * 365 * 24 = 2\,014\,800 \text{ MWh}$$

A energia recebida por m², p.ex. em ALVALADE (Alentejo) é de 1 720 kWh/(m² ano)

$$1 \text{ Km}^2 = 1000 \text{ m} * 1000 \text{ m} = 10^6 \text{ m}^2.$$

$$E_{\text{RECEBIDA}} = 1\,720\,000\,000 \text{ kWh/ano} = 1\,720\,000 \text{ MWh/ano}$$

Se tivéssemos uma central fotovoltaica (painéis com inclinação óptima recebem 15% mais de energia do que o plano horizontal. Admitindo um rendimento de 10 %, e uma superfície total de 10 km², teríamos uma produção anual de:

$$E_{\text{PRODUZIDA}} = 1,15 * 0,1 * 10 * 1\,720\,000 \text{ MWh} = 1\,978\,000 \text{ MWh}$$

que é a ordem de grandeza da energia produzida pela central termoelétrica.

PROBLEMA 3

Uma família de quatro pessoas tem um consumo diário de 300 l. de água a 45° C. Se o aquecimento for feito:

- a/ Esquentador de gás, com um rendimento de 75%.
 b/ Termoacumulador eléctrico com uma resistência interna de 1.500 W.

calcular o dinheiro total gasto neste aquecimento por ano.

O calor necessário para aquecer a água de 15° C (temperatura da rede) até os 45° C, será:

$$\begin{aligned} Q &= m * C_p * \Delta T. \\ Q &= 300 \text{ kg} * 4.185 \text{ J/(kg}^\circ\text{C)} * (45-15)^\circ\text{C}. \\ Q &= 37,7 \text{ MJ por dia.} \\ Q &= 13748 \text{ MJ por ano.} \end{aligned}$$

a/ Esquentador de gás:

Poder Calorífico do butano: 13 400 Kcal/kg = 13 400*4 185 J/kg = 56,08 MJ/kg
 Conteúdo de uma botija de gás: 13 kg.
 Preço de uma botija: 1 850 \$00.

$$\text{Poder Calorífico de uma botija} = 729 \text{ MJ}$$

Dado que o rendimento do esquentador de gás é de 75%, térmicamente serão aproveitados por botija:

$$729 * 0,75 = 546,8 \text{ MJ}$$

Portanto o consumo anual será de

$$13\,748 \text{ (MJ/ano)} / 546,8 \text{ (MJ/botija)} = \underline{\underline{25 \text{ botijas /ano.}}} \Rightarrow \underline{\underline{46\,250\$00}}$$

b/ No caso do termoacumulador eléctrico:

$$\begin{array}{lll} 3,6 \text{ MJ} & \Rightarrow & 1 \text{ kWh} \\ 13748 \text{ MJ por ano.} & \Rightarrow & X \end{array}$$

$$X = 13748 \text{ MJ por ano} / 3,6 \text{ (MJ/kWh)} * 18\$20 = \underline{\underline{69\ 503\$00/\text{ano}}}$$

PROBLEMA 4

- Escolher o tipo de colector para as seguintes três aplicações:

A/ Piscinas:

Colector sem cobertura, já que o ΔT requerido é baixo.

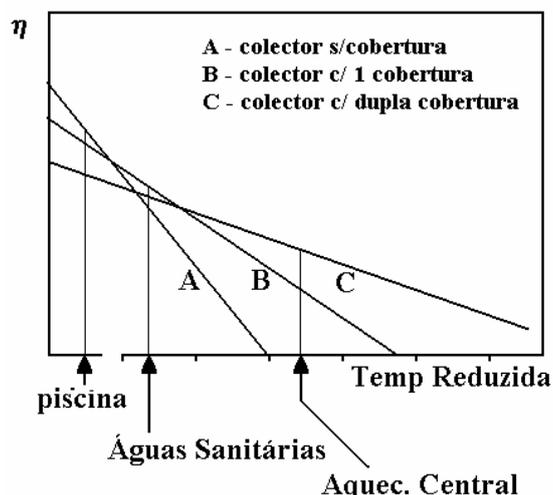
B/ A.Q.S. a 55° C.

Colector com cobertura do tipo não selectivo ou selectivo.

C/ Aquecimento central com água a 80° C.

Colector com dupla cobertura ou C.P.C., colector de tubos de vácuo

Qual destes dois colectores é o mais indicado para este fim?



Ainda que o rendimento seja melhor no colector A, para a produção de água sanitária (55°C) é mais interessante o colector B o seu rendimento é superior para essa temperatura.

PROBLEMA 5

- Dos seguintes tipos de tintas selectivas, qual seria mais eficaz para o absorvedor de um colector?

TINTA	ABSORTÂNCIA α	EMITÂNCIA ε	SELECTIVIDADE α/ε
<i>Oxido de Cobre</i>	0,81	0,17	4,8
Negro de níquel	0,89	0,12	7,4
Crómio negro	0,95	0,12	7,9
Sulfureto de Pb	0,89	0,20	4,5

Interessa o crómio negro já que tem a absorptância mais elevada e a emitância mais baixa.

Por vezes há quem quantifique a selectividade como sendo o quociente entre α e ε , (a selectividade do crómio negro é de 7.9).

PROBLEMA 6

- Calcular a distância entre filas de colectores ($L= 2\text{m}$, com inclinação de 45°) para :
 - uso durante todo o ano.
 - uso durante o inverno.
 - uso durante a temporada de verão.

nas seguintes localizações:

- Braga. Latitude = 43°
- Lisboa. Latitude = 39°
- Faro. Latitude = 36°

Se a instalação for usada durante todo o ano ou só durante o inverno, a altura solar mínima corresponde ao dia 23 de Dezembro. Neste dia, a altura solar a considerar será:

$$h_o = (90^\circ - \text{Latitude do lugar}) - 23.5^\circ$$

Se a instalação for utilizada durante o semestre de Março a Setembro (temporada de verão), a altura solar a considerar será a dos equinócios:

$$h_o = (90^\circ - \text{Latitude do lugar}).$$

A separação entre fileiras de colectores é dada pela fórmula:

$$d = L * (\text{sen } \beta / \tan h_o + \cos \beta)$$

L \Rightarrow Comprimento dos colectores.

β \Rightarrow Inclinação dos colectores.

h_o \Rightarrow Altura solar mínima (ao meio dia solar do dia mais desfavorável)

LOCALIZAÇÃO	Altura Solar Mínima h_o		Distância mínima entre fileiras D (m.)	
	INVERNO	VERÃO	INVERNO/ANO	VERÃO
BRAGA	$23,5^\circ$	47°	4,66	2,73
LISBOA	$27,5^\circ$	51°	4,13	2,55
FARO	$30,5^\circ$	54°	3,81	2,44

Se as instalações forem utilizadas durante o período invernal é aconselhável aumentar esta distância mínima de 25%, pelo que teríamos:

LOCALIZAÇÃO	Distância mínima entre fileiras D (m.)
BRAGA	5,85
LISBOA	5.20
FARO	4.80

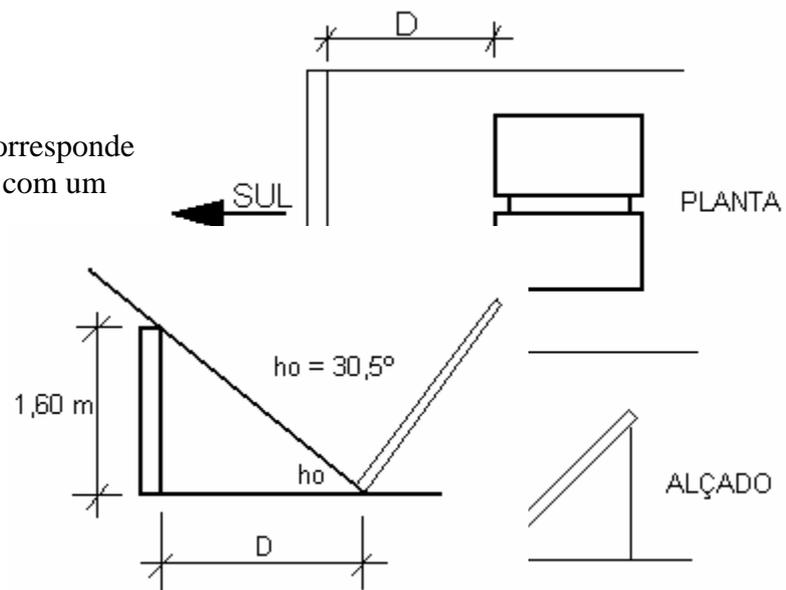
PROBLEMA 7

- Num terraço em Faro e orientado ao sul, temos um muro de 1,60 m de altura. A que distância do muro devemos colocar a primeira fileira de colectores para que estes não estejam sombreados durante o inverno?

A altura solar mínima corresponde ao dia 23 de Dezembro, com um ângulo de $30,5^\circ$.
Portanto, temos um triângulo da seguinte forma:

$$\tan h_o = 1,60 / D$$

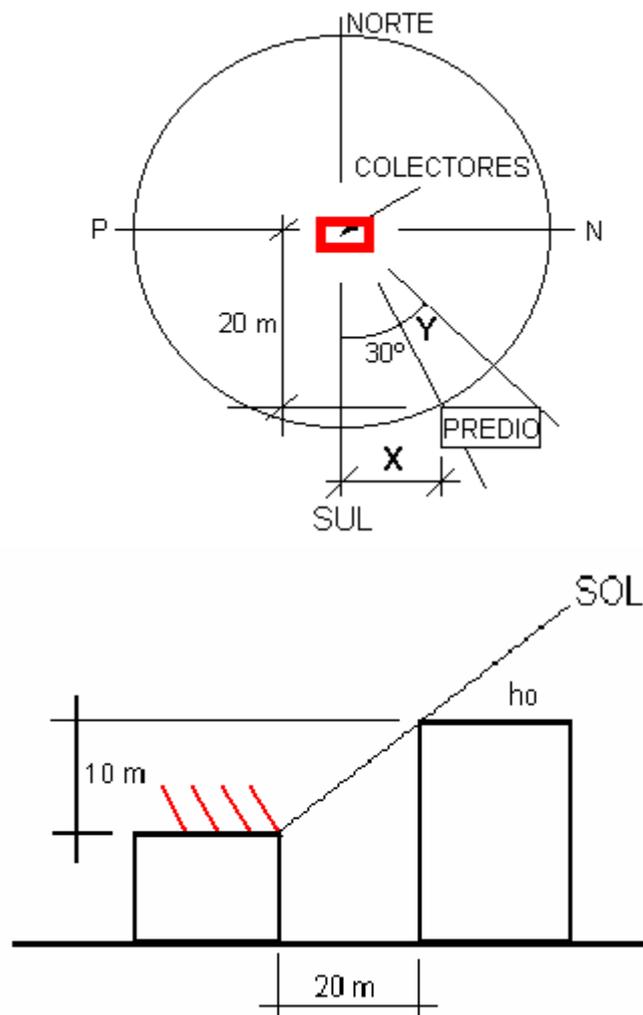
$$D = 1,60 / \tan 30,5$$



$$\underline{\underline{D = 2,72 \text{ m}}}$$

PROBLEMA 8

- Instalamos em Lisboa (40° latitude) um campo de colectores num terraço orientado ao sul. Existe um prédio orientado 30° a Nascente e afastado 20 m da primeira fileira de colectores, com 10 m de altura por cima do terraço. O comprimento do edifício é de 10 m.



Com a ajuda da projecção estereográfica, calcular a sombra projectada pelo prédio.

O primeiro que devemos determinar é a distância **X** da imagem superior:

$$\tan 30^\circ = X / 20. \quad X = 20 * \tan 30^\circ \quad \underline{\underline{X = 11,5 \text{ m}}}$$

Agora determinaremos o ângulo **Y** :

$$\tan Y = (11,5 + 10)/20 \quad Y = \text{ATan } 1,075 \quad \underline{\underline{Y = 47^\circ}}$$

O ângulo **ho** será:

$$\tan ho = 10/20 \quad \underline{\underline{ho = 26^\circ}}$$

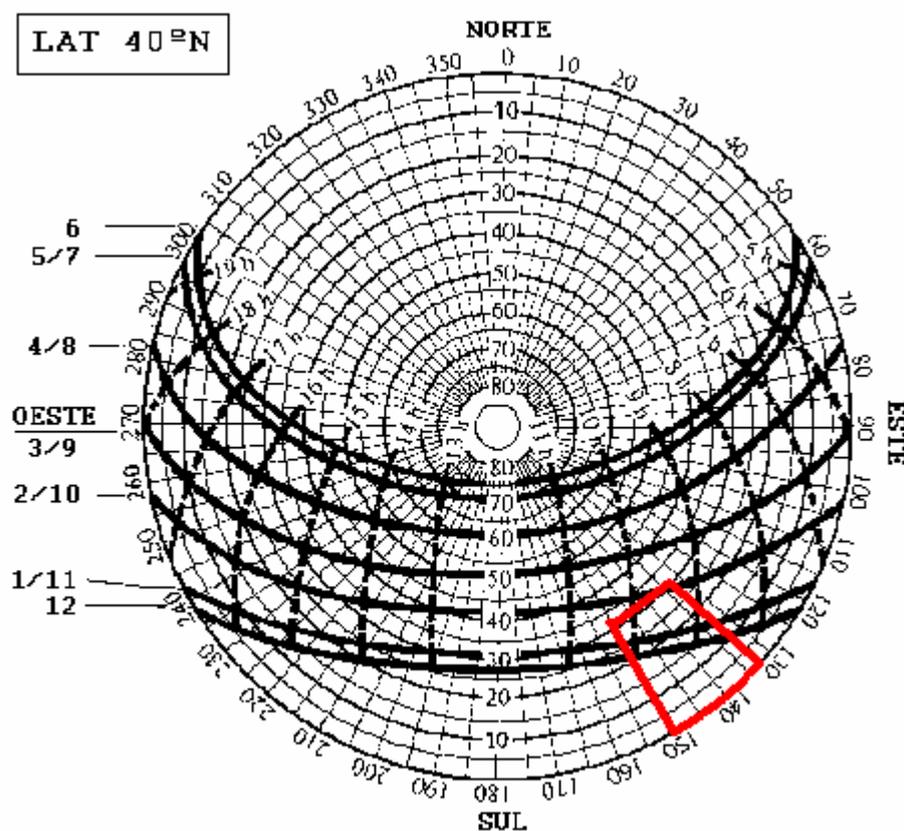
Conclusões:

O prédio projecta sombra sobre os colectores entre o azimute -47° e o azimute de 30° .

Esta sombra afectará os colectores sempre que a altura solar seja inferior a 26° .

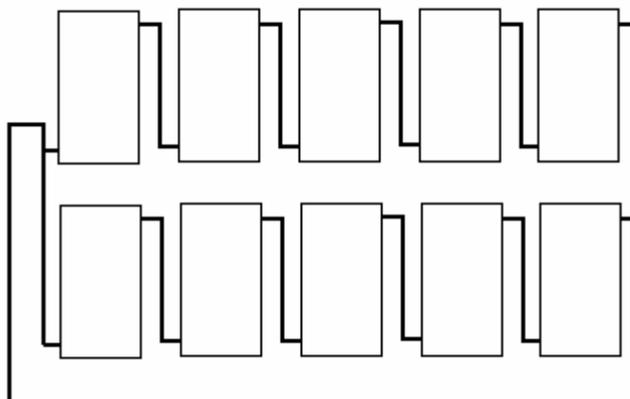
Logo desde o azimute -47° e -30° haverá sombra na direcção dos colectores.

Quando a altura solar for inferior a 26° a sombra alcançará as fileiras de colectores. Como podemos ver na área encerrada em vermelho, teremos sombra nos colectores



durante os meses de Dezembro, Janeiro e Novembro desde as 08,30 h. solares até as 11,00 horas. Durante os meses de Fevereiro e Outubro a sombra praticamente não atinge as fileiras de colectores.

GRUPO 1



	GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3	GRUPO 4
LOCAL	SINTRA	BRAGANÇA	VILA REAL	SANTARÉM
CONS. A 45 °C	1000	1500	1500	2000
Tipo de Colector	PRETO BAÇO	SELECTIVO	SELECTIVO	CPC
F'τ_α	0,75	0,75	0,75	0,75
F'U_L	8,5	5,3	5,3	3,7
Incl β	25°	25°	25°	25°
Azim Col. α	- 20°	- 20°	- 20°	- 20°
Tipo utilização	ANUAL	ANUAL	ANUAL	ANUAL
Perdas de Carga	10 m	15 m	20 m	15 m

Calcular:

1/

A superfície colectora necessária para a inclinação e orientação óptimas.
Calcular as penalizações para a inclinação e orientação indicadas.
Como ter em conta as penalizações?

2/

Cálculo do caudal recomendado com base em $10 F'U_L / C_p$ (ver capítulo anterior)
Dimensionar as tubagens em função da configuração para cada grupo.

3/

Escolher a bomba circuladora em função das perdas de carga e do caudal total necessário.

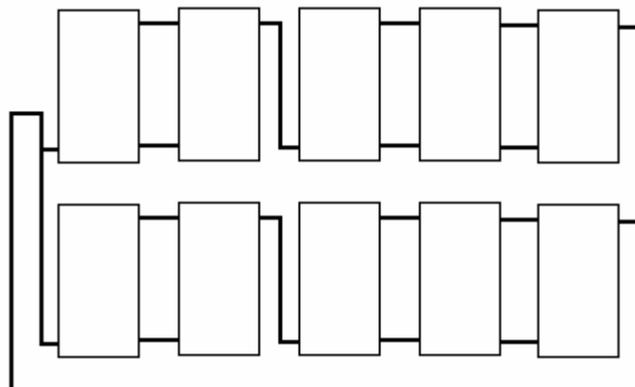
4/

Traçar o unifilar da instalação colocando
(bateria de colectores, depósito, purgadores, vasos de expansão, válvulas de segurança, etc)

5/

Dimensionar: depósito acumulador, vaso de expansão e dar uma ideia da potência que deve ter o permutador de placas.

GRUPO 2



	GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3	GRUPO 4
LOCAL	SINTRA	BRAGANÇA	VILA REAL	SANTARÉM
CONS. A 45 °C	1000	1500	1500	2000
Tipo de Colector	PRETO BAÇO	SELECTIVO	SELECTIVO	CPC
F'τ_α	0,75	0,75	0,75	0,75
F'U_L	8,5	5,3	5,3	3,7
Incl β	25°	25°	25°	25°
Azim Col. α	- 20°	- 20°	- 20°	- 20°
Tipo utilização	ANUAL	ANUAL	ANUAL	ANUAL
Perdas de Carga	10 m	15 m	20 m	15 m

Calcular:

1/

A superfície colectora necessária para a inclinação e orientação óptimas.

Calcular as penalizações para a inclinação e orientação indicadas.

Como ter em conta as penalizações?

2/

Cálculo do caudal recomendado com base em $10 F'U_L / C_p$ (ver capítulo anterior)

Dimensionar as tubagens em função da configuração para cada grupo.

3/

Escolher a bomba circuladora em função das perdas de carga e do caudal total necessário.

4/

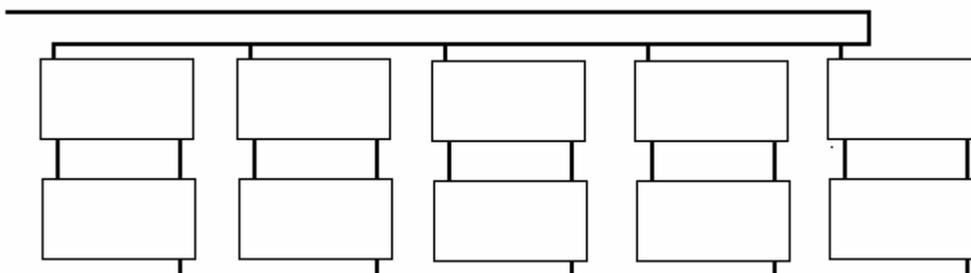
Traçar o unifilar da instalação colocando

(bateria de colectores, depósito, purgadores, vasos de expansão, válvulas de segurança, etc)

5/

Dimensionar: depósito acumulador, vaso de expansão e dar uma ideia da potência que deve ter o permutador de placas.

GRUPO 3



	GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3	GRUPO 4
LOCAL	SINTRA	BRAGANÇA	VILA REAL	SANTARÉM
CONS. A 45 °C	1000	1500	1500	2000
Tipo de Colector	PRETO BAÇO	SELECTIVO	SELECTIVO	CPC
F'τ_α	0,75	0,75	0,75	0,75
F'U_L	8,5	5,3	5,3	3,7
Incl β	25°	25°	25°	25°
Azim Col. α	- 20°	- 20°	- 20°	- 20°
Tipo utilização	ANUAL	ANUAL	ANUAL	ANUAL
Perdas de Carga	10 m	15 m	20 m	15 m

Calcular:

1/

A superfície colectora necessária para a inclinação e orientação óptimas.
Calcular as penalizações para a inclinação e orientação indicadas.
Como ter em conta as penalizações?

2/

Cálculo do caudal recomendado com base em $10 F'U_L / C_p$ (ver capítulo anterior)
Dimensionar as tubagens em função da configuração para cada grupo.

3/

Escolher a bomba circuladora em função das perdas de carga e do caudal total necessário.

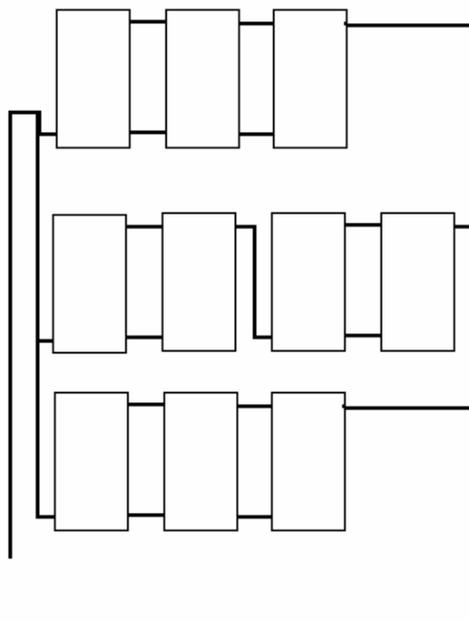
4/

Traçar o unifilar da instalação colocando
(bateria de colectores, depósito, purgadores, vasos de expansão, válvulas de segurança, etc)

5/

Dimensionar: depósito acumulador, vaso de expansão e dar uma ideia da potência que deve ter o permutador de placas.

GRUPO 4



	GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3	GRUPO 4
LOCAL	SINTRA	BRAGANÇA	VILA REAL	SANTARÉM
CONS. A 45 °C	1000	1500	1500	2000
Tipo de Colector	PRETO BAÇO	SELECTIVO	SELECTIVO	CPC
F'τ_α	0,75	0,75	0,75	0,75
F'U_L	8,5	5,3	5,3	3,7
Incl β	25°	25°	25°	25°
Azim Col. α	- 20°	- 20°	- 20°	- 20°
Tipo utilização	ANUAL	ANUAL	ANUAL	ANUAL
Perdas de Carga	10 m	15 m	20 m	15 m

Calcular:

1/

A superfície colectora necessária para a inclinação e orientação óptimas.

Calcular as penalizações para a inclinação e orientação indicadas.

Como ter em conta as penalizações?

2/

Cálculo do caudal recomendado com base em $10 F'U_L / C_p$ (ver capítulo anterior)

Dimensionar as tubagens em função da configuração para cada grupo.

3/

Escolher a bomba circuladora em função das perdas de carga e do caudal total necessário.

4/

Traçar o unifilar da instalação colocando

(bateria de colectores, depósito, purgadores, vasos de expansão, válvulas de segurança, etc)

5/

Dimensionar: depósito acumulador, vaso de expansão e dar uma ideia da potência que deve ter o permutador de placas.