

<b>1.- DADOS INICIAIS.....</b>	<b>2</b>
<b>1.1.- Descrição do edifício.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2.- Condições climáticas.....</b>	<b>2</b>
<b>1.3.- Condições de utilização.....</b>	<b>2</b>
<b>2.- CÁLCULO E DIMENSIONAMENTO.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1.- Desenho do sistema de captação.....</b>	<b>4</b>
2.1.1.- Colectores. Curvas de rendimento.....	4
2.1.2.- Conjuntos de captação.....	4
2.1.3.- Determinação da radiação.....	4
2.1.4.- Dimensionamento da superfície de captação.....	4
2.1.5.- Cálculo da cobertura solar.....	5
<b>2.2.- Desenho de sistema permutador-acumulador.....</b>	<b>5</b>
<b>2.3.- Desenho de circuito hidráulico.....</b>	<b>5</b>
2.3.1.- Cálculo do diâmetro das tubagens.....	5
2.3.2.- Cálculo das perdas de carga da instalação.....	5
2.3.3.- Bomba de circulação.....	6
2.3.4.- Vaso de expansão.....	7
2.3.5.- Fluido térmico.....	8



## 1.- DADOS INICIAIS

### 1.1.- Descrição do edifício

Edifício situado em Fundação.

Coordenadas geográficas:

Latitude	40° 8' 24" N
Longitude	7° 30' 36" O

A habitação é composta por 3 dormitórios e tem atribuída uma ocupação de 4 pessoas.

Os colectores serão dispostos sobre o seu correspondente suporte orientados a S(180°).

### 1.2.- Condições climáticas

Mês	Radiação global (MJ/m <sup>2</sup> )	Temperatura ambiente diária (°C)	Temperatura da rede (°C)
Janeiro	7.10	8	15
Fevereiro	9.90	9	15
Março	13.60	10	15
Abril	18.50	13	15
Maio	22.40	16	15
Junho	25.00	20	15
Julho	27.00	23	15
Agosto	24.40	23	15
Setembro	17.40	20	15
Outubro	12.30	15	15
Novembro	8.30	11	15
Dezembro	6.50	8	15

### 1.3.- Condições de utilização

Tendo em conta o nível de ocupação, obtém-se um valor médio de 28.0 l por pessoa e dia, com uma temperatura de consumo de referência de 60 °C. Como a temperatura de utilização considera-se de 45 °C, diferente de 60 °C, deve corrigir-se este consumo médio de tal forma que a necessidade energética final do sistema, para cada mês, seja equivalente à obtida com o consumo definido à temperatura de referência.

Para a correcção foi utilizada a seguinte expressão:

$$C_i(T) = C_i(60^\circ C) \times \left( \frac{60 - T_i}{T - T_i} \right)$$

onde:

C(T): Consumo de água quente para o mês i à temperatura T seleccionada;

C(60 °C): Consumo de água quente para o mês i à temperatura de 60 °C;

T: Temperatura do acumulador final;

T<sub>i</sub>: Temperatura média da água fria no mês i;

Ao tratar-se de uma habitação unifamiliar, assume-se um coeficiente de simultaneidade igual a 1.

Número de quartos	3
Ocupação (Nº pessoas)	4
Débito de referência litros/dia	112



A partir dos dados anteriores pode-se calcular a necessidade energética para cada mês. Os valores obtidos mostram-se na seguinte tabela:

Mês	Ocupação (%)	Débito (m <sup>3</sup> )	Temperatura da rede (°C)	Salto térmico (°C)	Necessidade (MJ)
Janeiro	100	5.2	15	30	647.73
Fevereiro	100	4.7	15	30	585.05
Março	100	5.2	15	30	647.73
Abril	100	5.0	15	30	626.84
Maio	100	5.2	15	30	647.73
Junho	100	5.0	15	30	626.84
Julho	100	5.2	15	30	647.73
Agosto	100	5.2	15	30	647.73
Setembro	100	5.0	15	30	626.84
Outubro	100	5.2	15	30	647.73
Novembro	100	5.0	15	30	626.84
Dezembro	100	5.2	15	30	647.73

A descrição dos valores referidos, para cada coluna, é a seguinte:

- Ocupação: Estimativa da percentagem mensal de ocupação.
- Débito: Calcula-se mediante a seguinte fórmula:

$$Q_{acs} = \frac{\%Ocup}{100} \cdot N_{mes} (dias) \cdot Q_{acs} (m^3 / dia)$$

- Temperatura da rede: Temperatura de fornecimento da água (valor mensal em °C).
- Necessidade térmica: Expressa a necessidade energética para cobrir o consumo necessário de água quente. Calcula-se mediante a seguinte fórmula:

$$Q_{acs} = \rho \cdot C \cdot C_p \cdot \Delta T$$

onde:

- $Q_{aqs}$ : Necessidade de água quente (MJ).
- $\rho$ : Densidade volumétrica de água (Kg/m<sup>3</sup>).
- $C$ : Débito (m<sup>3</sup>).
- $C_p$ : Calor específico da água (MJ/kg°C).
- $\Delta T$ : Salto térmico (°C).



## 2.- CÁLCULO E DIMENSIONAMENTO

### 2.1.- Desenho do sistema de captação

#### 2.1.1.- Colectores. Curvas de rendimento

O sistema de captação estará formado por elementos do tipo F1/200/FKT-2 ("JUNKERS"), cuja curva de rendimento INTA é:

$$\eta = \eta_0 - a_1 \left( \frac{t^e - t^a}{I} \right)$$

onde:

$\eta_0$ : Factor óptico (0.79).

$a_1$ : Coeficiente de perda (3.86).

$t^e$ : Temperatura média (°C).

$t^a$ : Temperatura ambiente (°C).

I: Irradiação solar (W/m<sup>2</sup>).

O tipo e disposição dos colectores que foram seleccionados descrevem-se a seguir:

Marca	Modelo	Disposição	Número total de colectores	Número total de baterias
"JUNKERS"	F1/200/FKT-2	Em paralelo	1	1 de 1 unidades

#### 2.1.2.- Conjuntos de captação

Na seguinte tabela podem consultar-se os volumes de acumulação e áreas de intercâmbio totais para cada conjunto de captação:

Conj. captação	Vol. acumulação (l)	Sup. captação (m <sup>2</sup> )
1	192	2.43

#### 2.1.3.- Determinação da radiação

Para obter a radiação solar efectiva que incide sobre os colectores foram tidos em conta os seguintes parâmetros:

Orientação	S(180°)
Inclinação	35°

Não se prevê sombras projectadas sobre os colectores.

#### 2.1.4.- Dimensionamento da superfície de captação

O dimensionamento da superfície de captação foi realizado mediante o método das curvas 'f' (F-Chart), que permite realizar o cálculo da cobertura solar e do rendimento médio para períodos de cálculo mensais e anuais.

Assume-se um volume de acumulação equivalente, de forma aproximada, à carga de consumo diário médio. A superfície de captação dimensiona-se para conseguir uma fracção solar anual superior a 50%.

O valor resultante para a superfície de captação é de 2.43 m<sup>2</sup>, e para o volume de captação de 192 l.

Os resultados obtidos resumem-se na seguinte tabela:



Mês	Radiação global (MJ/m <sup>2</sup> )	Temperatura ambiente diária (°C)	Necessidade (MJ)	Energia auxiliar (MJ)	Fracção solar (%)
Janeiro	7.10	8	647.73	344.47	47
Fevereiro	9.90	9	585.05	218.55	63
Março	13.60	10	647.73	142.41	78
Abril	18.50	13	626.84	45.37	93
Maio	22.40	16	647.73	0.00	102
Junho	25.00	20	626.84	0.00	108
Julho	27.00	23	647.73	0.00	116
Agosto	24.40	23	647.73	0.00	115
Setembro	17.40	20	626.84	0.00	101
Outubro	12.30	15	647.73	103.61	84
Novembro	8.30	11	626.84	242.43	61
Dezembro	6.50	8	647.73	354.75	45

## 2.1.5.- Cálculo da cobertura solar

A cobertura solar anual conseguida mediante o sistema é igual a 81%.

## 2.2.- Desenho de sistema permutador-acumulador

A instalação consta de um circuito primário fechado (circulação forçada) dotado de um sistema de captação (com uma superfície total de captação de 2 m<sup>2</sup>) e com um permutador, incluído no acumulador da habitação. Foi prevista, além disso, a instalação de um sistema de energia auxiliar.

O volume de acumulação foi seleccionado cumprindo com:

$$50 < (V/A) < 180$$

Onde:

A Soma das áreas dos colectores.

V Volume de acumulação expresso em litros.

Unidade de ocupação	Modelo	Caudal l/h:	Perda de carga Pa:	Sup. de permuta m <sup>2</sup> :	Diâmetro mm:	Altura (mm)	Vol. acumulação (l)
	F1/200/FKT-2	1080	0.0	0.60	510	1465	192
Total				0.60			192

A relação entre a superfície útil de contacto do permutador incorporado e a superfície total de captação é superior a 0.15 e inferior ou igual a 1.

## 2.3.- Desenho de circuito hidráulico

### 2.3.1.- Cálculo do diâmetro das tubagens

Tanto para o circuito primário da instalação, como para o secundário, vão-se utilizar tubagens de cobre.

O diâmetro das tubagens selecciona-se de forma que a velocidade de circulação do fluido seja inferior a 2 m/s. O dimensionamento das tubagens realizar-se-á de forma que a perda de carga unitária nas mesmas nunca seja superior a 40.00 mm.c.a/m.

### 2.3.2.- Cálculo das perdas de carga da instalação

Devem determinar-se as perdas de carga nos seguintes componentes da instalação:

- Colectores
- Tubagens (colunas e derivações às baterias de colectores do circuito primário).
- Permutador

FÓRMULAS UTILIZADAS



Para o cálculo da perda de carga,  $\Delta P$ , nas tubagens, utilizaremos a formulação de Darcy-Weisbach que se descreve de seguida:

$$\Delta P = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot 9,81}$$

onde:

$\Delta P$ : Perda de carga (m.c.a).

$\lambda$ : Coeficiente de atrito

L: Comprimento da tubagem (m).

D: Diâmetro da tubagem (m).

v: Velocidade do fluido (m/s).

Para calcular as perdas de carga, soma-se ao comprimento real da tubagem o comprimento equivalente correspondente às singularidades do circuito (curvas, tês, válvulas, etc.). Este comprimento equivalente corresponde ao comprimento de tubagem que provocaria uma perda de carga igual à produzida pelas ditas singularidades.

De forma aproximada, o comprimento equivalente calcula-se como uma percentagem do comprimento real da tubagem. Neste caso, assumiu-se uma percentagem igual a 15%.

O coeficiente de atrito,  $\lambda$ , depende do número de Reynolds.

Cálculo do número de Reynolds: ( $R_e$ )

$$R_e = \frac{(\rho \cdot v \cdot D)}{\mu}$$

onde:

$R_e$ : Valor do número de Reynolds (adimensional).

$\rho$ : 1000 Kg/m<sup>3</sup>

v: Velocidade do fluido (m/s).

D: Diâmetro da tubagem (m).

$\mu$ : Viscosidade da água (0.001 Poises a 20°C).

Cálculo do coeficiente de atrito ( $\lambda$ ) para um valor de  $R_e$  compreendido entre 3000 e 10<sup>5</sup> (este é o caso mais frequente para instalações de captação solares):

$$\lambda = \frac{0,32}{R_e^{0,25}}$$

Como os cálculos foram realizados supondo que o fluido circulante é água a uma temperatura de 45°C e com uma viscosidade de 2.990000 mPa·s, os valores da perda de carga multiplicam-se pelo seguinte factor de correcção:

$$factor = \sqrt[4]{\frac{\mu_{FC}}{\mu_{agua}}}$$

### 2.3.3.- Bomba de circulação

Caudal (l/h)	Pressão (Pa)
150.0	2452.5

Os materiais constituintes da bomba no circuito primário são compatíveis com a mistura anticongelante.



A bomba de circulação necessária no circuito primário deve-se dimensionar para uma pressão disponível igual às perdas totais do circuito (tubagens, colectores e permutadores). O caudal de circulação possui um valor de 150.00 l/h.

A perda de pressão no conjunto de captação calcula-se mediante a seguinte fórmula:

$$\Delta P_T = \frac{\Delta P \cdot N \cdot (N+1)}{4}$$

onde:

$\Delta P_T$ : Perda de pressão no conjunto de captação.

$\Delta P$ : Perda de pressão para um colector

N: Número total de colectores

A perda de pressão no permutador tem um valor de 0.0 Pa.

Portanto, a perda de pressão total no circuito primário apresenta um valor de 2478 KPa.

A potência da bomba de circulação terá um valor de 0.07 kW. Este valor foi calculado mediante a seguinte fórmula:

$$P = C \cdot \Delta p$$

onde:

P: Potência eléctrica (kW)

C: Caudal (l/s)

$\Delta p$ : Perda total de pressão da instalação (Pa).

### 3.4.- Vaso de expansão

O valor teórico do coeficiente de expansão térmica, calculado segundo a norma UNE 100.155, é de 0.085.

O vaso de expansão seleccionado possui uma capacidade de 5 l.

Para calcular o volume necessário foi utilizada a seguinte fórmula:

$$V_t = V \cdot C_e \cdot C_p$$

onde:

$V_t$ : Volume útil necessário (l).

V: Volume total de fluido de trabalho no circuito (l).

$C_e$ : Coeficiente de expansão do fluido.

$C_p$ : Coeficiente de pressão

O volume total de fluido contido no circuito primário obtém-se somando o conteúdo nas tubagens (1.85 l), nos elementos de captação (0.86 l) e no permutador (7.30 l). Neste caso, o volume total é de 10.01 l.

Com os valores da temperatura mínima (-10°C) e máxima (140°C), e o valor da percentagem de glicol etilénico na água (30%) obtém-se um valor de 'Ce' igual a 0.085. Para calcular este parâmetro utilizaram-se as seguintes expressões:

$$C_e = fc \cdot (-95 + 1.2 \cdot t) \cdot 10^{-3}$$



onde:

fc: Factor de correlação devido à percentagem de glicol etilénico.

t: Temperatura máxima no circuito.

O factor 'fc' calcula-se mediante a seguinte expressão:

$$fc = a \cdot (1.8 \cdot t + 32)^b$$

onde:

$$a = -0.0134 \cdot (G^2 - 143.8 \cdot G + 1918.2) = 20.04$$

$$b = 0.00035 \cdot (G^2 - 94.57 \cdot G + 500.) = -0.50$$

G: Percentagem de glicol etilénico na água (30%).

O coeficiente de pressão (Cp) calcula-se mediante a seguinte expressão:

$$C_p = \frac{P_{\max}}{P_{\max} - P_{\min}}$$

onde:

P<sub>max</sub>: Pressão máxima no vaso de expansão.

P<sub>min</sub>: Pressão mínima no vaso de expansão.

O ponto de mínima pressão da instalação corresponde aos colectores solares, já que se encontram à cota máxima. Para evitar a entrada de ar, considera-se uma pressão mínima aceitável de 1.5 bar.

A pressão mínima do vaso deve ser ligeiramente inferior à pressão de tara da válvula de segurança (aproximadamente 0.9 vezes). Por outro lado, o componente crítico respeitante à pressão é o colector solar, cuja pressão máxima é de 10 bar (sem incorporar o kit de fixação especial).

A partir das pressões máxima e mínima, calcula-se o coeficiente de pressão (Cp). Neste caso, o valor obtido é de 1.2.

### 2.3.5.- Fluido térmico

Para evitar riscos de congelação no circuito primário, o fluido térmico incorporará anticongelante.

Neste caso, escolheu-se como fluido térmico uma mistura comercial de água e propilenglicol ao 30%, com o que se garante a protecção dos colectores contra ruptura por congelação até uma temperatura de -15°C, assim como contra corrosões e incrustações, já que esta mistura não se degrada a altas temperaturas. Em caso de fuga no circuito primário, conta com uma composição não tóxica e aditivos estabilizantes.

As principais características deste fluido térmico são as seguintes:

- Densidade: 1050.00 Kg/m<sup>3</sup>.
- Calor específico: 3.642 KJ/kgK.
- Viscosidade (45°C): 2.99 mPa·s.

A temperatura histórica na zona é de -10°C. A instalação deve estar preparada para suportar sem congelação uma temperatura de -15°C (5º menos que a temperatura mínima histórica). Para isso, a percentagem em peso de anticongelante será de 30% com um calor específico de 3.642 KJ/kgK e uma viscosidade de 2.990000 mPa·s a uma temperatura de 45°C.