

## FICHA 7:

### ***CLIMATIZAÇÃO GEOTÉRMICA***

#### **1. DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO CONSTRUTIVA.**

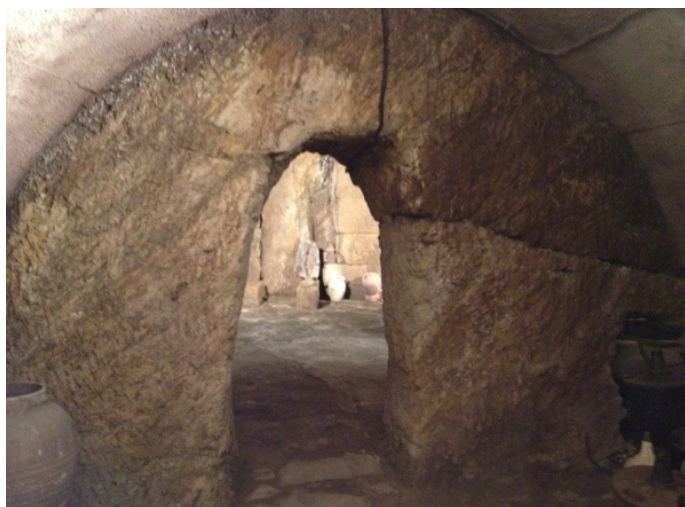
A circulação do ar de ventilação de um edifício através de **elementos subterrâneos** (tubulações ou adegas) permite a têmpera do mesmo antes de entrar no edifício. Assim, uma poupança de energia    conseguida no inverno (por aquecimento do ar) como no verão (por arrefecimento). O uso alternativo nos dois períodos do mesmo trocador de calor pode ajudar    regenera  o térmica do solo em grandes profundidades.

O ar forçado através de dutos (mais conhecido pelos nomes de poço canadiano, poço provençal, ou poço mediterr  neo)    muito mais eficiente que a climatiza  o por circula  o natural através de adegas, uma vez que as altas velocidades do ar favorecem grandemente a troca de calor. Em qualquer caso, as velocidades de ar de mais de 3-5 m/s, não são recomendadas.

Em geotérmica, a quantidade máxima de calor que pode ser obtida    limitada principalmente pelo calor existente em torno do trocador e a capacidade de transferência de calor. A capacidade de troca de um sistema de energia geotérmica    geralmente muito elevada nos primeiros dias de opera  o, e diminui com o tempo. Dependendo da velocidade de extrac  o, os períodos de funcionamento mais elevados estão geralmente entre 1800 e 2400 horas em cada esta  o (inverno ou verão).

#### **2. EXEMPLOS REAIS DE APLICA  O.**

##### **a) Na   rea de estudo:**



Bodega El Pulij  n, Famoselle

## **b) No mundo:**



Edificio Lucía, Valladolid



Denver (USA)

## **3. RESTRIÇÕES IMPOSTAS AO CÁLCULO DA SOLUÇÃO.**

As expressões matemáticas empiricamente desenvolvidas para estimar as poupanças de energia de uma climatização geotérmica aplicada a um edifício de habitação estão sujeitas às seguintes considerações:

1. O sistema é capaz de regenerar o calor durante o período de um ano. As condições de partida do sistema, no início do ciclo anual, são idênticas às do ciclo anterior.
2. A distância entre as diferentes tubulações geotérmicas é suficiente para haver uma mínima interferência térmica entre elas durante um ciclo completo de funcionamento. O programa de cálculo não considera a interferência térmica entre os dutos.
3. O máximo fluxo de ventilação no inverno coincide com as necessidades da renovação do ar do edifício. No verão é permitida uma maior quantidade de ar de renovação. Neste caso, o fluxo máximo é limitado pela velocidade de ar máxima indicada em as condições de conforto do edifício.
4. O edifício é capaz de suportar e tirar proveito do total de energia térmica de aquecimento ou de arrefecimento fornecida pelo sistema: a operação do sistema coincide sempre com os períodos de demanda térmica do edifício e o fornecimento nunca excede a demanda do edifício.
5. O solo tem características homogêneas de condutibilidade, densidade e calor específico.
6. As tubulações são assumidas retilíneas e de seção circular.
7. As características climáticas correspondem à cidade de Zamora (zona climática D2 em Espanha).

#### 4. PARÂMETROS CARACTERÍSTICOS DA SOLUÇÃO.

A seguir estão os **parâmetros característicos** estudados de um sistema de climatização geotérmica. São destacados em **negrito** aqueles que têm um efeito significativo sobre o desempenho energético da solução.

Parâmetro:	Unidade:	Limites:	Nom:
<b>Condutibilidade térmica do solo</b>	<b>W/mK</b>	<b>0.2 a 3</b>	<b>CT</b>
Calor específico do solo ( $\rho \cdot C_p$ )	MJ/m <sup>3</sup> K	1 a 3	CE
Rugosidade da tubulação	mm	0.0001 a 10	RC
<b>Raio interior do tubo</b>	<b>m</b>	<b>0.05 a 2</b>	<b>Ri</b>
<b>Comprimento do tubo</b>	<b>m</b>	<b>1 a 200</b>	<b>L</b>
<b>Profundidade média da tubulação</b>	<b>m</b>	<b>0.5 a 20</b>	<b>P</b>
<b>Total de horas de operação</b>	<b>h</b>	<b>1 a 3600</b>	<b>HF</b>
<b>Velocidade do ar no tubo</b>	<b>m/s</b>	<b>0.01 a 10</b>	<b>V</b>

#### 5. EXPRESSÕES PARA O CÁLCULO DAS POUPANÇAS DE ENERGIA.

No caso da climatização geotérmica não foi determinada uma expressão para o cálculo das poupanças de energia. En el caso de la climatización geotérmica no existe una expresión para el cálculo del ahorro energético. A economia de energia é obtida através da aplicação de uma planilha do EXCEL.

#### 6. VALORES TÍPICOS DOS PARÂMETROS E DOS SEUS EFEITOS.

A fim de dar uma idéia do efeito dos parâmetros na poupança de energia, a seguir é mostrado um exemplo com os parâmetros típicos, analisando as variações no consumo de energia quando cada uma das variáveis assume os seus valores extremos.

Valores a considerar:

Variável:	V. típico:	Extr. Inf.:	Extr. Sup.:	C. ótima*:
Condutibilidade térmica do solo	<b>1.5</b>	0.2	3	
Calor específico do solo ( $\rho \cdot C_p$ )	<b>2</b>	1	3	
Rugosidade da tubulação	<b>0.0015</b>	0.0001	10	
Raio interior do tubo	<b>0.1</b>	0.05	2	
Comprimento do tubo	<b>30</b>	1	200	
Profundidade média tubulação	<b>5</b>	0.5	20	
Total dias de operação	<b>100</b>	1	150	
Horas de operação por dia*	<b>10</b>	1	24	
Velocidade do ar no tubo	<b>3</b>	0.01	10	

\* - A energia fornecida também depende do tempo do dia em que o sistema está a funcionar. No arrefecimento, o período assumido é sempre o período de máxima demanda (das 14:00 h às 24:00 h, no caso de um período de 10 horas), que está sempre próximo ao período de máximo desempenho. No caso do aquecimento, dois cenários têm sido estudados: período de máxima demanda (das 14:00 h às 24:00 h, no caso de um período de 10 horas) y período de máximo desempenho (das 24:00 h às 10:00 h, no caso de um período de 10 horas).

Poupança de energia para os **valores típicos** supostos:

Abaixo estão o total de energia fornecida pelo sistema (em kWh) e a eficiência da transferência (em W por metro de tubo) nos três cenários típicos que têm sido assumidos:

	Energia fornecida total: (kWh)	Eficiência da troca: (W/m)
Arrefecimento	1315	48.7
Aquecimento máxima demanda	562	20.8
Aquecimento máx. desempenho	1256	41.9

### Efeitos dos parâmetros:

A seguir é mostrada uma tabela comparativa com os valores de poupança de energia fornecidos pela climatização geotérmica nas extremidades superior e inferior de cada uma das variáveis (com os restantes parâmetros no valor típico anteriormente definido).

ENERGIA FORNECIDA (Kwh)	ARREFECIMENTO			AQUEC. MÁX DEM.			AQUEC. MÁX DESEMP.		
Variável:	V. típico:	Extr. Inf:	Extr. Sup:	V. típico:	Extr. Inf:	Extr. Sup:	V. típico:	Extr. Inf:	Extr. Sup:
Condutibilidade térmica do solo	1315	506	<b>1383</b>	562	216	<b>591</b>	1256	485	<b>1329</b>
Calor específico do solo ( $\rho \cdot C_p$ )	1315	1313	1316	562	562	563	1256	1254	1258
Rugosidade da tubulação	1315	1315	1315	562	562	562	1256	1256	1256
Raio interior do tubo	1315	736	<b>13375</b>	562	313	<b>5685</b>	1256	700	<b>12025</b>
Comprimento do tubo	1315	75	<b>7805</b>	562	32	<b>3316</b>	1256	71	<b>7360</b>
Profundidade média tubulação	1315	131	<b>1315</b>	562	56	<b>562</b>	1256	126	<b>1256</b>
Total dias de operação	1315	20	<b>1969</b>	562	12	<b>753</b>	1256	15	<b>1786</b>
Horas de operação por dia	1315	213	<b>1676</b>	562	35	<b>1533</b>	1256	148	<b>1533</b>
Velocidade do ar no tubo	1315	19	<b>2554</b>	562	8	<b>1093</b>	1256	18	<b>2412</b>

EFICIÊNCIA DA TROCA (w/m)	ARREFECIMENTO			AQUEC. MÁX DEM.			AQUEC. MÁX DESEMP.		
Variável:	V. típico:	Extr. Inf.:	Extr. Sup.:	V. típico:	Extr. Inf.:	Extr. Sup.:	V. típico:	Extr. Inf.:	Extr. Sup.:
Condutibilidade térmica do solo	48.7	18.7	<b>51.2</b>	20.8	8	<b>21.9</b>	41.9	16.2	<b>44.3</b>
Calor específico do solo ( $\rho \cdot C_p$ )	48.7	48.6	48.7	20.8	20.8	20.8	41.9	41.8	41.9
Rugosidade da tubulação	48.7	48.7	48.7	20.8	20.8	20.8	41.9	41.9	41.9
Raio interior do tubo	48.7	27.3	<b>495.4</b>	20.8	11.6	<b>210.6</b>	41.9	23.3	<b>400.8</b>
Comprimento do tubo	48.7	<b>83.8</b>	43.4	20.8	<b>35.6</b>	18.4	41.9	<b>71.2</b>	36.8
Profundidade média tubulação	48.7	4.8	<b>48.7</b>	20.8	2.1	<b>20.8</b>	41.9	4.2	<b>41.9</b>
Total dias de operação	48.7	<b>75.3</b>	48.6	20.8	<b>43.5</b>	18.6	41.9	<b>51.4</b>	39.7
Horas de operação por dia	48.7	<b>71</b>	24.3	20.8	11.5	22.2	41.9	<b>49.4</b>	22.2
Velocidade do ar no tubo	48.7	0.7	<b>94.6</b>	20.8	0.3	<b>40.5</b>	41.9	0.6	<b>80.4</b>

**Em negrito** foram realçados os parâmetros com efeito mais pronunciado sobre a poupança de energia a partir do caso típico considerado.

Alguns deles têm um impacto positivo sobre ambos: Condutibilidade do solo, diâmetro do tubo, profundidade média da troca (embora tenha sido considerado como um efeito constante a partir de 5 m) e velocidade do ar no tubo. Sempre é conveniente ter a velocidade mais rápida possível no duto, mas estará limitada pela queda de pressão ou o aparecimento de ruído.

Outros parâmetros têm um caráter oposto e precisarão de uma solução de compromisso:

Quanto mais dias e horas de funcionamento, mais energia é obtida a partir do sistema, mas a eficiência energética é inferior. Com a diminuição da eficiência, pode chegar um momento em que a energia fornecida não compense o consumo de electricidade dos ventiladores para circular o ar.

Algo semelhante acontece com o comprimento das condutas: a mais longas, maior é a quantidade de energia fornecida, mas a sua eficiência diminui. É necessário um compromisso entre poupança de energia e investimento empregue.

Neste caso, pode-se dizer que há uma combinação ótima para máxima poupança de energia total é uma combinação ótima diferente para a máxima eficiência da troca. Entre as duas estaria a combinação ótima do ponto de vista económico, dependendo de outros factores tais como o tamanho do edifício, o consumo de energia do sistema de ventilação ou a geração de ruído.