

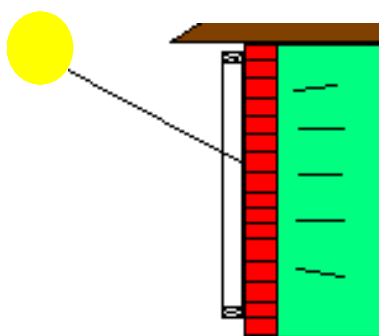
## FICHA 1:

### ***PAREDE DE TROMBE SEM VENTILAÇÃO***

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

Com o nome de "parede de Trombe" são conhecidas as soluções bioclimáticas que incorporam uma parede vertical, com uma espessura e transmitância variáveis, na sua face interior e um elemento de vidro, único ou múltiplo, na sua face exterior. O espaço entre a parede e o vidro é relativamente pequeno ( $<0,8$  m).

O vidro é altamente transparente a radiação visível, mas é opaco à radiação infravermelha, com um comprimento de onda maior, que emite a parede quente para o exterior. Assim, uma grande parte da radiação solar passa para dentro do edifício:



Uma parede de trombe é conhecida como “sem ventilação” quando o interespaco não tem comunicação com o ambiente exterior nem com o interior do edifício.

A parede de trombe não ventilada pode ter dispositivos de sombreamento, como beirais, palas, toldos, persianas ou estores que promovem a economia de energia, reduzindo a quantidade de radiação solar direta na parede no verão. O efeito destes elementos não é considerado nos cálculos.

Só foi considerada uma variante conhecida como “parede de trombe com controlo de radiação solar”: Esta é uma parede de trombe especial que tem um estore ou semelhante fazendo como uma tela isolante y reflexiva. O dispositivo é aberto apenas no periodo de aquecimento e apenas enquanto a parede de Trombe recebe a luz solar directa, e manteve-se fechado o resto do tempo. Isso vai ficar mais isolamento das paredes e uma redução significativa das perdas de calor para fora no inverno e os ganhos de calor do lado de fora no verão.

Pela definição, a parede permanece completamente fechada durante o período de arrefecimento, o que pressupõe que as perdas de energia são nulas.

Dentro da ficha para a parede de trombe não ventilada estão incluídas, portanto, duas soluções diferentes: parede de trombe simple e parede de trombe com controlo de radiação solar.

## **2. EXEMPLOS REAIS DE APLICAÇÃO.**

### **a) Na área de estudio:**



Zamora, Plaza del Mercado 1

### **b) No mundo:**



Taos, New Mexico (USA)



Santa Fe, New Mexico (USA)

## **a) PAREDE DE TROMBE NÃO VENTILADA SIMPLE**

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

As expressões matemáticas empiricamente desenvolvidas para estimar as poupanças de energia de uma parede de Trombe não ventilada aplicada a um edifício de habitação estão sujeitas às seguintes considerações:

1. Espaços de base rectangular, com uma espessura inferior a 0,8 m, e onde a superfície do vidro principal e a parede em contacto directo com o edifício são verticais e viradas para o sul ( $\pm 18^\circ$ ).
2. Os movimentos convectivos do ar não são levados em conta e os espaços da cavidade são horizontalmente divididos ao nível dos pavimentos.
3. A face sul da parede de Trombe será sempre envidraçada (feita inteiramente de vidro).
4. A parede deve ser completamente opaca e com toda a face norte em contato direto com os espaços climatizados do edifício. Supõe-se que os espaços climatizados em cada andar estão interligados e têm um tamanho suficiente para absorver toda a energia térmica transmitida através da parede.
5. As paredes laterais (leste e oeste) e as partes superior e inferior da parede de Trombe estão devidamente fechadas e isoladas. As perdas de calor através destes elementos são consideradas nulas.
6. No espaço anexo não há aquecimento, arrefecimento ou entrada de calor adicional.
7. As características climáticas correspondem à cidade de Zamora (zona climática D2 em Espanha)

### **4.a PARÂMETROS CARACTERÍSTICOS DA SOLUÇÃO.**

A seguir estão os **parâmetros característicos** estudados da **parede de trombe sem ventilação**, do **edifício** e da **relação entre os dois**. São destacados em negrito aqueles que foram estatisticamente significativos e, portanto, incluídos nas fórmulas da poupança de energia.

## Parâmetros característicos da parede de trombe:

Parâmetro:	Unidade:	Limites:	Nom:
Absorvência solar da parede de trombe (*)	-	0.3 a 0.9	AS
Condutibilidade térmica da parede de trombe	W/mK	0.1 a 3	CT
Espessura da parede de trombe	m	0.05 a 1	EM
Transmitância térmica parede de trombe (**)	W/m <sup>2</sup> K	0.3 a 3	UT
Capacidade de armazenamento térmico da parede de trombe ( $\rho \cdot C_p$ )	MJ/m <sup>3</sup> K	0.5 a 2.5	QT
Difusividade térmica $\lambda/\rho \cdot C_p$ (***)	mm <sup>2</sup> /s	0.2 a 2	DT
Espessura do espaço de separação	m	0.01 a 0.8	EH
Transmitância térmica vidro exterior trombe	W/m <sup>2</sup> K	1 a 6	UV
Factor solar do vidro exterior trombe (****)	-	0.5 a 0.9	FS

\*- Taxa média de radiação solar absorvida em exposição solar direta, pela face do trombe, na parede comum entre o edifício e o trombe.

\*\* - Coeficiente de transmissão térmica da parede. Inclui a contribuição da parede, oco, vidro e coeficientes de convecção do ar nos lados de dentro e de fora.

\*\*\* - Relacionado com a velocidade de armazenamento e liberação de energia térmica.

\*\*\*\* - Associado à transmitância térmica do vidro: Altos valores de UV implicam altos valores de FS, enquanto que baixos valores de UV envolvem valores baixos de FS.

## Parâmetros característicos do edifício:

Parâmetro:	Unidade:	Limites:	Nom:
Superfície de janelas viradas a norte (*)	-	0 a 0.6	VN
Superfície de janelas viradas a sul (*)	-	0 a 0.6	VS
Superfície de janelas viradas a leste (*)	-	0 a 0.6	VE
Superfície de janelas viradas a oeste (*)	-	0 a 0.6	VO
Compacidade do edifício (**)	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	1 a 6	CE
Transmitância térmica média do edifício (***)	W/m <sup>2</sup> K	< CTE	UM
Coeficiente de perdas pela envolvente (****)	W/m <sup>3</sup> K	0.05 a 0.5	CPE
Tipo de uso do edifício (*****)	-	Residencial	TU

\*- Relação entre a superfície total envidraçada dos espaços climatizados orientada na direcção indicada e a área total climatizada.

\*\* - Proporção entre o volume climatizado do edifício e a área total exposta para o exterior.

\*\*\* - As expressões obtidas são válidas para edifícios com coeficientes de transmissão térmica média inferiores aos exigidos pelo Código Técnico da Edificação em Espanha (CTE) na opção simplificada (0.66 W/m<sup>2</sup>K na zona climática D2).

\*\*\*\* - Relação entre a soma dos produtos de todas as superfícies exteriores por o seu coeficiente de transmissão, dividida pelo volume total climatizado (relacionado com a compacidade e a transmitância).

\*\*\*\*\* - O estudo inclui apenas os edifícios residenciais.

## Parâmetros característicos da relação edifício/trombe:

Parâmetro:	Unidade:	Limites:	Nom:
Relação de áreas (*)	-	0 a 0.20	RS

\*- Razão entre a área total da parede de Trombe e a área total climatizada.

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

As poupanças de energia calculadas durante o período de aquecimento, expressas por m<sup>2</sup> de parede de Trombe, são dadas pela expressão:

$$P_{AQ} \text{ (kWh/m}^2\text{ano)} = 9,15 + 196 \cdot FS \cdot AS/UV - 58,5 \cdot VE + 41,2 \cdot UT - 5,5 \cdot UV - 31 \cdot VO$$

O consumo adicional de energia térmica estimado durante o período de arrefecimento, é dado pela expressão:

$$C_{AR} \text{ (kWh/m}^2\text{ano)} = 1,36 \cdot CT/EM + 52,5 \cdot VO - 12,5 \cdot QT \cdot EM + 21 \cdot VE + 17,7 \cdot AS + 16,4 \cdot VN - 0,38$$

Em qualquer caso, a presença de elementos de isolamento ou de sombreamento sobre o vidro exterior poderia remover a totalidade ou parte do consumo adicional de energia durante o período de arrefecimento.

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

A fin de poder dar una idea del efecto de los diferentes parámetros sobre el ahorro energético, se desarrolla a continuación un ejemplo con parámetros típicos, analizando los cambios que se producen cuando cada una de las variables pasa a tomar sus valores extremos.

Valores a considerar:

Variável:	V. típico:	Extr. Inf.:	Extr. Sup.:	C. ótima*:
Absorvência solar parede de trombe	0.7	0.3	0.9	0.9
Condutibilidade térmica da parede	1	0.1	3	3
Espessura da parede de trombe	0.3	0.05	1	0.05
Capacidade armazenamento térmico	1	0.5	2.5	2.5
Transmitância térmica vidro exterior	3	1	6	1
Factor solar do vidro exterior**	0.72	0.5	0.9	0.5
Transmitância térmica trombe**	0.9	0.25	1.25	1.25
Ventanas viradas a norte	0.1	0	0.6	0
Ventanas viradas a leste	0.1	0	0.6	0
Ventanas viradas a oeste	0.1	0	0.6	0

\*- A combinação ótima é obtida a partir das extremidades superior ou inferior, em função dos valores de poupanças globais mais favoráveis.

\*\* - Não seleccionáveis: estão associados com outros parâmetros.

Os outros parâmetros não incluídos não são considerados relevantes para o resultado final da economia de energia.

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

<b>Poupança de energia para aquecimento:</b>	<b>53.71</b>	<b>kwh/m<sup>2</sup>ano</b>
<b>Maior consumo de energia para refrigeração:</b>	<b>21.78</b>	<b>kwh/m<sup>2</sup>ano</b>
<b>Poupança global estimada:</b>	<b>31.92</b>	<b>kwh/m<sup>2</sup>ano</b>

## Efeitos dos parâmetros:

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

Variável:	POUPANÇA AQUEC.			MAIOR CONSUMO ARREF.			POUPANÇA GLOBAL		
	V. típico:	Extr. Inf:	Extr. Sup:	V. típico:	Extr. Inf:	Extr. Sup:	V. típico:	Extr. Inf:	Extr. Sup:
Absorvência solar parede de trombe	53.71	34.89	<b>63.12</b>	21.78	14.7	25.32	31.93	20.19	<b>37.8</b>
Condutibilidade térmica da parede	53.71	26.93	<b>57.83</b>	21.78	17.7	30.85	31.93	9.23	<b>26.98</b>
Espesor del muro trombe	53.71	<b>61.95</b>	37.23	21.78	47.58	9.86	31.93	14.37	<b>27.37</b>
Capacidad almacenamiento térmico	53.71	53.71	53.71	21.78	23.66	16.16	31.93	30.05	37.55
Transmitância térmica vidro exterior	53.71	<b>85.96</b>	28.98	21.78	21.78	21.78	31.93	<b>64.18</b>	7.2
Ventanas viradas a norte	53.71	53.71	53.71	21.78	20.14	23.72	31.93	33.57	29.99
Ventanas viradas a leste	53.71	<b>59.56</b>	24.46	21.78	19.68	32.28	31.93	<b>39.88</b>	<b>-7.82</b>
Ventanas viradas a oeste	53.71	<b>56.81</b>	38.21	21.78	16.53	48.03	31.93	<b>40.28</b>	<b>-9.82</b>

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

Quando um elevado percentagem de janelas no edifício são viradas para leste ou oeste, os resultados podem vir a ser negativos, desde que a parede de trombe não é sombreada no verão: o aumento do consumo no período de arrefecimento seria maior que a poupança em período de aquecimento.

Poupança de energia pela **combinação ótima** (com todos os parâmetros na extremidade mais favorable):

<b>Poupança de energia para aquecimento:</b>	<b>143.35</b>	<b>kwh/m<sup>2</sup>ano</b>
<b>Maior consumo de energia para refrigeração:</b>	<b>95.59</b>	<b>kwh/m<sup>2</sup>ano</b>
<b>Poupança global estimada:</b>	<b>47.76</b>	<b>kwh/m<sup>2</sup>ano</b>



## **b) PAREDE DE TROMBE NÃO VENTILADA** **COM CONTROLO DE RADIAÇÃO SOLAR**

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

As expressões matemáticas empiricamente desenvolvidas para estimar as poupanças de energia de uma parede de Trombe não ventilada, sombreada e isolada aplicada a um edifício de habitação estão sujeitas às seguintes considerações:

1. Espaços de base rectangular, com uma espessura inferior a 0,8 m, e onde a superfície do vidro principal e a parede em contacto directo com o edifício são verticais e viradas para o sul ( $\pm 18^\circ$ ).
2. Os movimentos convectivos do ar não são levados em conta e os espaços da cavidade são horizontalmente divididos ao nível dos pavimentos.
3. A face sul da parede de Trombe será sempre envidraçada (feita inteiramente de vidro).
4. A parede deve ser completamente opaca e com toda a face norte, em contato direto com os espaços climatizados do edifício. Supõe-se que os espaços climatizados em cada andar estão interligados e têm um tamanho suficiente para absorver toda a energia térmica transmitida através da parede.
5. As paredes laterais (leste e oeste) e as partes superior e inferior da parede de Trombe estão devidamente fechadas e isoladas. As perdas de calor através destes elementos são consideradas nulas.
6. No espaço anexo não há aquecimento, arrefecimento ou entrada de calor adicional.
7. As características climáticas correspondem à cidade de Zamora (zona climática D2 em Espanha).

### **4.b PARÂMETROS CARACTERÍSTICOS DA SOLUÇÃO.**

A seguir estão os **parâmetros característicos** estudados da **parede de trombe sem ventilação**, do **edifício** e da **relação entre os dois**. São destacados em negrito aqueles que foram estatisticamente significativos e, portanto, incluídos nas fórmulas da poupança de energia.

### Parâmetros característicos da **parede de trombe**:

Parâmetro:	Unidade:	Limites:	Nom:
<b>Absorvência solar da parede de trombe (*)</b>	-	<b>0.3 a 0.9</b>	<b>AS</b>
Condutibilidade térmica da parede de trombe	W/mK	0.1 a 3	CT
Espessura da parede de trombe	m	0.05 a 1	EM
<b>Transmitância térmica da parede trombe (**)</b>	<b>W/m<sup>2</sup>K</b>	<b>0.3 a 3</b>	<b>UT</b>
Capacidade de armazenamento térmico da parede de trombe ( $\rho \cdot C_p$ )	MJ/m <sup>2</sup> K	0.25 a 1.5	QT
Difusividade térmica $\lambda/\rho \cdot C_p$ (***)	mm <sup>2</sup> /s	0.2 a 2	DT
Espessura do espaço de separação	m	0.01 a 0.8	EH
Transmitância térmica vidro exterior trombe	W/m <sup>2</sup> K	1 a 6	UV
Factor solar do vidro exterior do trombe	-	0.5 a 0.9	FS

\*- Taxa média de radiação solar absorvida em exposição solar direta, pela face do trombe, na parede comum entre o edifício e o trombe.

\*\*\*- Coeficiente de transmissão térmica da parede. Inclui a contribuição da parede, oco, vidro e coeficientes de convecção do ar nos lados de dentro e de fora.

\*\*\*- Relacionado com a velocidade de armazenamento e liberação de energia térmica.

### Parâmetros característicos do **edifício**:

Parâmetro:	Unidade:	Limites:	Nom:
Superfície de janelas viradas a norte (*)	-	0 a 0.6	VN
<b>Superfície de janelas viradas a sul (*)</b>	-	<b>0 a 0.6</b>	<b>VS</b>
<b>Superfície de janelas viradas a leste (*)</b>	-	<b>0 a 0.6</b>	<b>VE</b>
<b>Superfície de janelas viradas a oeste (*)</b>	-	<b>0 a 0.6</b>	<b>VO</b>
Compacidade do edifício (**)	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	1 a 6	CE
Transmitância térmica média do edifício (***)	W/m <sup>2</sup> K	< CTE	UM
<b>Coeficiente de perdas pela envolvente (****)</b>	<b>W/m<sup>3</sup>K</b>	<b>0.05 a 0.5</b>	<b>CPE</b>
Tipo de uso do edifício (*****)	-	Residencial	TU

\*- Relação entre a superfície total envidraçada dos espaços climatizados orientada na direcção indicada e a área total climatizada.

\*\*- Proporção entre o volume climatizado do edifício ea área total exposta para o exterior.

\*\*- As expressões obtidas são válidas para edifícios com coeficientes de transmissão térmica média inferiores aos exigido pelo Código Técnico da Edificação em Espanha (CTE) na opção simplificada (0.66 W/m<sup>2</sup>K na zona climática D2).

\*\*\*\*- Relação entre a soma dos produtos de todas as superfícies exteriores por o seu coeficiente de transmissão, dividida pelo volume total climatizado (relacionado com a compacidade e a transmitância).

\*\*\*\*\*- O estudo inclui apenas os edifícios residenciais.

### Parâmetros característicos da **relação edifício/trombe**:

Parâmetro:	Unidade:	Limites:	Nom:
Relação de áreas (*)	-	0 a 0.20	RS

\*- Razão entre a área total da parede de Trombe ea área total climatizada.



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

As poupanças de energia calculadas durante o período de aquecimento, expressas por m<sup>2</sup> de parede de Trombe, são dadas pela expressão:

$$P_{AQ} \text{ (kWh/m}^2\text{ano)} = -0,53 + 60,65 \cdot AS + 36,4 \cdot AS \cdot UT + 126,6 \cdot CPE - 48,45 \cdot VO - 35 \cdot VS - 20,5 \cdot VE$$

O consumo adicional de energia térmica estimado durante o período de arrefecimento é assumido como sendo zero, porque é uma parede de Trombe com controlo de radiação solar.

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

A fim de dar uma ideia 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*:
Absorvência solar parede de trombe	0.7	0.3	0.9	0.9
Transmitância térmica parede	0.66	0.3	3	3
Superfície de janelas viradas a sul	0.1	0	0.6	0
Superfície de janelas viradas a leste	0.1	0	0.6	0
Superfície de janelas viradas a oeste	0.1	0	0.6	0
Coef. perdas pela envolvente	0.3	0.05	0.5	0.5

\*- A combinação ótima é obtida a partir das extremidades superior ou inferior, em função dos valores de poupanças globais mais favoráveis.

Os outros parâmetros não incluídos não são considerados relevantes para o resultado final da economia de energia.

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

Poupança de energia para aquecimento:	86.33	kwh/m <sup>2</sup> ano
Maior consumo de energia para refrigeração:	0.00	kwh/m <sup>2</sup> ano
Poupança global estimada:	86.33	kwh/m <sup>2</sup> ano

## Efeitos dos parâmetros:

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

Variável:	POUPANÇA AQUEC.			MAIOR CONSUMO ARREF.			POUPANÇA GLOBAL		
	V. típico:	Extr. Inf:	Extr. Sup:	V. típico:	Extr. Inf:	Extr. Sup:	V. típico:	Extr. Inf:	Extr. Sup:
Absorvência solar parede de trombe	86.33	52.46	<b>103.26</b>	0	0	0	86.33	52.46	103.26
Transmitância térmica trombe	86.33	77.15	<b>145.95</b>	0	0	0	86.33	77.15	145.95
Ventanas orientación sur	86.33	89.83	68.83	0	0	0	86.33	89.83	68.83
Ventanas orientación este	86.33	88.38	76.08	0	0	0	86.33	88.38	76.08
Ventanas orientación oeste	86.33	91.17	62.1	0	0	0	86.33	91.17	62.1
Coeficiente pérdidas envolvente	86.33	54.68	<b>111.65</b>	0	0	0	86.33	54.68	111.65

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

Poupança de energia pela **combinação ótima** (com todos os parâmetros na extremidade mais favorable):

Poupança de energia para aquecimento:	215.64	kwh/m <sup>2</sup> ano
Maior consumo de energia para refrigeração:	0.00	kwh/m <sup>2</sup> ano
Poupança global estimada:	215.64	kwh/m <sup>2</sup> ano