

FICHA 2:

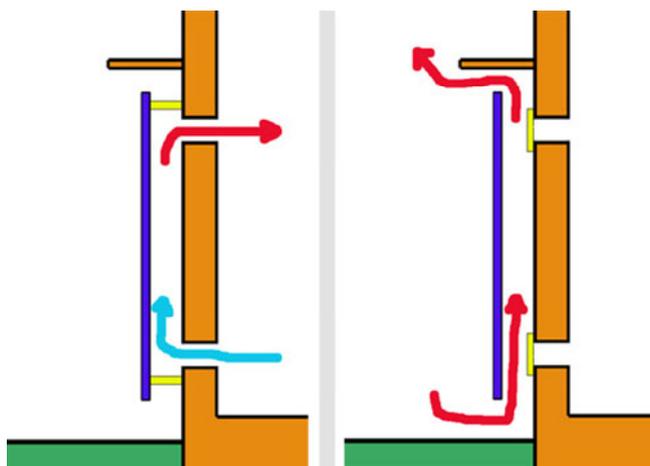
MURO TROMBE VENTILADO

1. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA.

Se conocen con el nombre de “Muro Trombe” aquellas soluciones bioclimáticas que incorporan un cerramiento vertical opaco, con espesor y transmitancia variables, en su cara interior y un cerramiento acristalado, simple o múltiple, en su cara exterior. El espacio entre el cerramiento opaco y el acristalado es relativamente pequeño (<0,8 m).

El cerramiento acristalado es muy transparente a la radiación visible, pero es muy poco transparente a la radiación infrarroja, de mayor longitud de onda, emitida hacia el exterior por un muro caliente. De este modo, una gran parte de la radiación solar emitida pasa hacia el interior del edificio.

Un muro trombe se conoce como “ventilado” cuando existen orificios de comunicación del hueco intermedio con el interior del edificio, con el ambiente exterior o con ambos. Para que sea eficaz, los orificios deben ser practicables, pudiendo ser abiertos o cerrados de forma automática o por voluntad del usuario. La **ventilación** puede ser **natural**, cuando el movimiento del aire es debido a fenómenos naturales de convección, o **forzada**, cuando se dispone de elementos mecánicos (ventiladores) que hacen circular el aire.



Posición de invierno Posición de verano

El muro trombe ventilado puede disponer de elementos de sombreado, tipo aleros o toldos, que favorezcan el ahorro energético reduciendo el valor de la irradiación solar directa sobre el muro en verano. El efecto de estos elementos no ha sido considerado en los cálculos.

Sólo se ha considerado una variante conocida como “muro trombe apantallado”: Se trata de un muro trombe especial que dispone de una persiana, o elemento similar, que hace de pantalla aislante y reflectante. El dispositivo está abierto sólo en invierno y sólo mientras el muro trombe recibe la radiación solar directa, permaneciendo cerrado el resto del tiempo. De este modo se consigue un mayor aislamiento del muro y una reducción muy importante de las pérdidas térmicas hacia el exterior en invierno y de las ganancias térmicas desde el exterior en verano.

Por definición, el muro permanece completamente cerrado durante todo el periodo de refrigeración, suponiendo por tanto que sus pérdidas energéticas son nulas.

Dentro de la ficha correspondiente al muro trombe ventilado se han incluido, por tanto, dos soluciones diferentes: muro trombe ventilado expuesto y muro trombe ventilado apantallado.

2. EJEMPLOS REALES DE APLICACIÓN.

a) En la zona de estudio:

No se ha encontrado.

b) En el mundo:



Adelaida (Australia)



Hayward, California (USA)

a) MURO TROMBE VENTILADO SIMPLE

3.a RESTRICCIONES IMPUESTAS AL CÁLCULO DE LA SOLUCIÓN.

Las expresiones matemáticas empíricamente desarrolladas como estimación del aporte energético de un muro trombe ventilado aplicado a un edificio están sujetas a las siguientes consideraciones:

1. Espacios de base rectangular, con espesor inferior a 0,8 m, donde tanto la superficie acristalada principal como el muro en contacto directo con el edificio son verticales y orientados al sur ($\pm 18^\circ$).
2. Los espacios se suponen divididos horizontalmente al nivel de cada planta.
3. La superficie sur del muro trombe tendrá siempre un carácter semi-transparente (constituida en su totalidad por elementos vidriados).
4. El muro deberá ser totalmente opaco y con toda su cara norte en contacto directo con espacios acondicionados del edificio. Los espacios acondicionados de cada planta se suponen comunicados entre sí y de un tamaño suficiente para absorber toda la energía térmica transmitida a través del muro.
5. Tanto las superficies laterales (este y oeste) como la parte superior e inferior del muro están debidamente cerradas y aisladas. Se consideran nulas las pérdidas a través de estos elementos.
6. No existe ningún tipo de calefacción, refrigeración o aporte calorífico adicional dentro del espacio adosado.
7. El elemento está aplicado a edificios residenciales o a edificios de uso terciario de baja carga (operativos durante 8 horas/día).
8. Clima característico correspondiente a las ciudades de Zamora (Zona climática D2), Palencia (Zona climática D1) y León (Zona climática D2)
9. En determinados momentos se produce una ventilación forzada en el interior del muro trombe, de acuerdo a las siguientes condiciones:
 - El intercambio de aire entre el muro trombe y el interior del edificio en periodo de calefacción (invierno) se produce sólo cuando la temperatura en el hueco del trombe es superior a la temperatura interna del edificio.
 - El intercambio de aire entre el muro trombe y el exterior en periodo de refrigeración (verano) se produce en todo momento.

4.a PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LA SOLUCIÓN.

Se presentan a continuación los **parámetros característicos** estudiados del **muro trombe ventilado**, del **edificio** y de la **relación entre ambos**. Se destacan en **negrita** aquellos considerados estadísticamente relevantes y por ello incluidos en las expresiones de ahorro energético.

Parámetros característicos del **trombe**:

Parámetro:	Unidad:	Límites:	Nom:
Absorbancia solar del muro trombe (*)	-	0.3 a 0.9	AS
Conductividad térmica del muro trombe	W/mK	0.1 a 3	CT
Espesor del muro trombe	m	0.05 a 1	EM
Transmitancia térmica del muro trombe (**)	W/m²K	0.3 a 5	UT
Capacidad de almacenamiento térmico del muro trombe ($\rho \cdot Cp$)	MJ/m²K	0.5 a 2.5	QT
Difusividad térmica $\lambda/\rho \cdot Cp$ (***)	mm²/s	0.2 a 2	DT
Espesor del hueco	m	0.05 a 0.8	EH
Transmitancia térmica vidrio exterior trombe	W/m²K	1 a 6	UV
Factor solar del vidrio exterior trombe (****)	-	0.5 a 0.9	FS
Renovaciones por hora	1/h	1 a 100	RH
Caudal de aire por metro cuadrado de muro trombe (*****)	Kg/hm²	0.1 a 100	FA

*- Porcentaje medio de la radiación solar absorbida en exposición directa por el lado del trombe en el muro común entre edificio y trombe.

**- Transmitancia térmica del muro. Incluye la contribución de muro, hueco, vidrio y coeficientes de convección interior y exterior.

***- Relacionado con la velocidad de almacenamiento y liberación de la energía térmica.

****- Asociado a la transmitancia térmica del vidrio: Valores altos de UV implican valores altos de FS, mientras que valores bajos de UV conllevan valores bajos de FS.

*****- Relacionado con las renovaciones hora, el espesor del hueco y la densidad del aire (FA=1,3*RH*EH)

Parámetros característicos del edificio:

Parámetro:	Unidad:	Límites:	Nom:
Superficie de ventanas orientación norte (*)	-	0 a 0.6	VN
Superficie de ventanas orientación sur (*)	-	0 a 0.6	VS
Superficie de ventanas orientación este (*)	-	0 a 0.6	VE
Superficie de ventanas orientación oeste (*)	-	0 a 0.6	VO
Compacidad del edificio (**)	m ³ /m ²	1 a 6	CE
Transmitancia térmica media del edificio (***)	W/m ² K	< CTE	UM
Coeficiente de pérdidas por envolvente (****)	W/m ³ K	0.05 a 0.5	CPE
Tipo de uso del edificio (*****)	-	Residencial / Terciario	TU

*- Cociente entre la superficie total acristalada sobre espacios acondicionados orientada en la dirección indicada y la superficie total acondicionada.

**- Cociente entre el volumen climatizado del edificio y la superficie total expuesta al exterior.

***- Las expresiones obtenidas son válidas para edificios con coeficientes de transmisión térmica inferiores a los exigidos por el Código Técnico de la Edificación (CTE) en su opción simplificada (0.66 W/m²K en la zona climática D2).

****- Cociente entre la suma de todas las superficies exteriores por su transmitancia y el volumen total climatizado (relacionado con la compacidad y la transmitancia).

*****- El estudio incluye edificios residenciales y edificios de uso terciario de baja carga.

Parámetros característicos de relación edificio/trombe:

Parámetro:	Unidad:	Límites:	Nom:
Relación de superficies (*)	-	0.05 a 0.20	RS

*- Cociente entre la superficie total del muro trombe y la superficie total acondicionada.

5.a EXPRESIONES PARA EL CÁLCULO DEL AHORRO ENERGÉTICO.

5.a.1. Edificios residenciales

El ahorro energético estimado durante el periodo de calefacción, expresado por m² de muro trombe, viene dado por las expresiones:

Zona D2 (Zamora):

$$AC \text{ (kWh/m}^2\text{año)} = 249 \cdot FS \cdot AS/UV + 2,61 \cdot CT/EM - 49,1 \cdot VE - 39,3 \cdot VO + 0,204 \cdot FA + 11,25$$

Zona D1 (Palencia):

$$AC \text{ (kWh/m}^2\text{año)} = 259 \cdot FS \cdot AS/UV + 2,63 \cdot CT/EM - 50,9 \cdot VE - 39,7 \cdot VO + 0,205 \cdot FA + 8,4$$

Zona E1 (León):

$$AC \text{ (kWh/m}^2\text{año)} = 292 \cdot FS \cdot AS/UV + 3,02 \cdot CT/EM - 58,8 \cdot VE - 47,2 \cdot VO + 0,221 \cdot FA + 9,7$$

El consumo energético adicional estimado durante el periodo de refrigeración viene dado por las expresiones:

Zona D2 (Zamora):

$$\text{IR (kWh/m}^2\text{año)} = 1,55 \cdot \text{CT/EM} + 44,0 \cdot \text{VO} + 30,6 \cdot \text{VE} - 9,09 \cdot \text{QT} \cdot \text{EM} + 12,9 \cdot \text{AS} - 0,027 \cdot \text{R/H} - 1,659 \cdot \text{EH} - 0,743 \cdot \text{UT} + 3,0$$

Zona D1 (Palencia):

$$\text{IR (kWh/m}^2\text{año)} = 1,46 \cdot \text{CT/EM} + 43,4 \cdot \text{VO} + 30,8 \cdot \text{VE} - 8,02 \cdot \text{QT} \cdot \text{EM} + 12,5 \cdot \text{AS} - 0,026 \cdot \text{R/H} - 1,631 \cdot \text{EH} - 0,812 \cdot \text{UT} + 0,3$$

Zona E1 (León):

$$\text{IR (kWh/m}^2\text{año)} = 0,912 \cdot \text{CT/EM} + 41,7 \cdot \text{VO} + 30,3 \cdot \text{VE} - 8,36 \cdot \text{QT} \cdot \text{EM} + 4,82 \cdot \text{AS} - 0,018 \cdot \text{R/H} - 1,091 \cdot \text{EH} - 0,508 \cdot \text{UT} + 1,9$$

En cualquier caso, la presencia de elementos aislantes o de sombreado sobre el vidrio exterior podría eliminar total o parcialmente el consumo energético adicional durante el periodo de refrigeración.

5.a.2. Edificios de uso terciario de baja carga

El ahorro energético estimado durante el periodo de calefacción, expresado por m² de muro trombe, viene dado por las expresiones:

Zona D2 (Zamora):

$$\text{AC (kWh/m}^2\text{año)} = 133 \cdot \text{FS} \cdot \text{AS/UV} - 23,3 \cdot \text{VE} + 19,5 \cdot \text{UT} - 22,3 \cdot \text{VO} - 14,4 \cdot \text{VN} - 9,6$$

Zona D1 (Palencia):

$$\text{AC (kWh/m}^2\text{año)} = 136 \cdot \text{FS} \cdot \text{AS/UV} - 24,5 \cdot \text{VE} + 18,8 \cdot \text{UT} - 21,8 \cdot \text{VO} - 15,0 \cdot \text{VN} - 10,2$$

Zona E1 (León):

$$\text{AC (kWh/m}^2\text{año)} = 155 \cdot \text{FS} \cdot \text{AS/UV} - 26,3 \cdot \text{VE} + 21,8 \cdot \text{UT} - 23,3 \cdot \text{VO} - 15,0 \cdot \text{VN} - 13,2$$

El consumo energético adicional estimado durante el periodo de refrigeración viene dado por las expresiones:

Zona D2 (Zamora):

$$\text{IR (kWh/m}^2\text{año)} = 9,35 \cdot \text{RS/EM} + 17,0 \cdot \text{VO} + 32,6 \cdot \text{FS} \cdot \text{AS/UV} + 13,6 \cdot \text{VE} + 0,872 \cdot \text{FS} \cdot \text{AS} \cdot \text{CT/EM} + 2,8$$

Zona D1 (Palencia):

$$\text{IR (kWh/m}^2\text{año)} = 8,95 \cdot \text{RS/EM} + 17,5 \cdot \text{VO} + 32,6 \cdot \text{FS} \cdot \text{AS/UV} + 13,9 \cdot \text{VE} + 0,919 \cdot \text{FS} \cdot \text{AS} \cdot \text{CT/EM} + 0,4$$

Zona E1 (León):

$$\text{IR (kWh/m}^2\text{año)} = 8,44 \cdot \text{RS/EM} + 16,2 \cdot \text{VO} + 27,2 \cdot \text{FS} \cdot \text{AS/UV} + 12,5 \cdot \text{VE} + 0,713 \cdot \text{FS} \cdot \text{AS} \cdot \text{CT/EM} - 1,9$$

De igual modo, la presencia de elementos aislantes o de sombreado sobre el vidrio exterior podría eliminar total o parcialmente el consumo energético adicional durante el periodo de refrigeración.

6.a VALORES TÍPICOS Y EFECTO DE LOS PARÁMETROS.

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:

Variable:	V. típico:	Extr. Inf.:	Extr. Sup.:	C. óptima*: (viv – terc)
Absorbancia solar muro trombe	0.7	0.3	0.9	0.9
Conductividad térmica muro trombe	1	0.1	3	3
Espesor del muro trombe	0.3	0.05	1	0.05 – 0.6
Capacidad almacenamiento térmico	1	0.5	2.5	2.5
Transmitancia térmica vidrio exterior	3	1	6	1
Factor solar del vidrio exterior**	0.72	0.5	0.9	0.5
Transmitancia térmica muro trombe**	0.9	0.25	1.25	1.25 – 0.64
Espesor del hueco***	0.3	0.05	0.8	0.8
Caudal de aire por m ² de trombe***	10	0.1	100	100
Renovaciones por hora en el trombe***	10	1	100	100
Relación de superficies	0.1	0.05	0.2	0.05
Ventanas orientación norte	0.1	0	0.6	0
Ventanas orientación este	0.1	0	0.6	0
Ventanas orientación oeste	0.1	0	0.6	0

*- Obtenida a partir de los extremos superior o inferior en función de los valores de ahorro global más favorables

**- No seleccionables: van asociados a otros parámetros.

***- Dependientes entre sí (FA=1,3*Rh*EH).

El resto de parámetros no incluidos se consideran poco relevantes sobre el resultado final de ahorro energético.

Ahorro energético **en viviendas** a partir de los **valores típicos** supuestos:

Ahorros en kWh/m ² año:	Zona climática:		
	D2	D1	E1
Ahorro energético en calefacción	55.03	53.67	60.44
Consumo extra en refrigeración	20.50	17.45	12.04
Ahorro global estimado	34.54	36.22	48.40

Ahorro energético **en edificios de uso terciario** a partir de los **valores típicos** supuestos:

Ahorros en kWh/m ² año:	Zona climática:		
	D2	D1	E1
Ahorro energético en calefacción	26.49	25.56	28.46
Consumo extra en refrigeración	15.92	13.54	9.55
Ahorro global estimado	10.58	12.02	18.91

Efectos de los parámetros:

Se presenta a continuación tabla comparativa con los valores que toman las expresiones del ahorro energético aportado por el muro trombe en los extremos superior e inferior de cada una de las variables en la zona climática D2 (manteniendo el resto de parámetros el valor típico anteriormente definido). Los comportamientos de los parámetros en edificios de terciario y en las otras zonas climáticas estudiadas tienen tendencias similares.

Variable:	AHORRO CALEF.			INCREMENTO REFRIG.			AHORRO GLOBAL		
	V. típico:	Extr. Inf:	Extr. Sup:	V. típico:	Extr. Inf:	Extr. Sup:	V. típico:	Extr. Inf:	Extr. Sup:
Absorbancia solar muro trombe	55.03	31.13	66.98	20.50	15.34	23.08	34.54	15.79	43.91
Conductividad térmica muro trombe	55.03	47.2	72.43	20.50	16.28	28.54	34.54	30.92	43.90
Espesor del muro trombe	55.03	98.53	48.94	20.50	48.6	15.52	34.54	49.93	33.43
Capacidad almacenamiento térmico	55.03	55.03	55.03	20.50	21.86	16.41	34.54	33.17	38.63
Espesor del hueco	55.03	55.03	55.03	20.50	21.14	19.22	34.54	33.9	35.82
Vidrio exterior (FS/UV)	55.03	39.34	100.35	20.50	20.18	20.70	34.54	19.16	79.65
Caudal de aire por m ² de trombe	55.03	53.01	73.39	20.50	20.76	13.84	34.54	32.25	59.55
Ventanas orientación este	55.03	59.94	30.48	20.50	17.44	35.80	34.54	42.51	-5.31
Ventanas orientación oeste	55.03	58.96	35.38	20.50	16.10	42.50	34.54	42.87	-7.11

En **negrita** están destacados los parámetros que mayor efecto producen sobre el ahorro energético a partir del caso típico considerado.

Ahorro energético en **viviendas** a partir de la **combinación óptima** (con todos los parámetros en el punto más favorable):

Ahorros en kWh/m ² año:	Zona climática:		
	D2	D1	E1
Ahorro energético en calefacción	300.35	303.25	344.40
Consumo extra en refrigeración	101.52	93.23	56.60
Ahorro global estimado	198.83	210.02	287.80

Ahorro energético en **edificios de uso terciario** a partir de la **combinación óptima** (con todos los parámetros en el extremo más favorable):

Ahorros en kWh/m ² año:	Zona climática:		
	D2	D1	E1
Ahorro energético en calefacción	62.80	63.10	70.58
Consumo extra en refrigeración	24.62	22.41	16.36
Ahorro global estimado	42.59	45.21	57.93



b) MURO TROMBE VENTILADO CON RADIACIÓN SOLAR CONTROLADA

3.b RESTRICCIONES IMPUESTAS AL CÁLCULO DE LA SOLUCIÓN.

Las expresiones matemáticas empíricamente desarrolladas como estimación del aporte energético de un muro trombe apantallado ventilado a un edificio están sujetas a las siguientes consideraciones:

1. Espacios de base rectangular, con espesor inferior a 0,8 m, donde tanto la superficie acristalada principal como el muro en contacto directo con el edificio son verticales y orientados al sur ($\pm 18^\circ$).
2. Los espacios se suponen divididos horizontalmente al nivel de cada planta.
3. La superficie sur del muro trombe tendrá siempre un carácter semi-transparente (constituida en su totalidad por elementos vidriados).
4. El muro deberá ser totalmente opaco y con toda su cara norte en contacto directo con espacios acondicionados del edificio. Los espacios acondicionados de cada planta se suponen comunicados entre sí y de un tamaño suficiente para absorber toda la energía térmica transmitida a través del muro.
5. Tanto las superficies laterales (este y oeste) como la parte superior e inferior del muro están debidamente cerradas y aisladas. Se consideran nulas las pérdidas a través de estos elementos.
6. No existe ningún tipo de calefacción, refrigeración o aporte calorífico adicional dentro del espacio adosado.
7. El elemento está aplicado a edificios residenciales o a edificios de uso terciario de baja carga (operativos durante 8 horas/día).
8. Clima característico correspondiente a las ciudades de Zamora (Zona climática D2), Palencia (Zona climática D1) y León (Zona climática E1).
9. El intercambio de aire entre el muro trombe y el interior del edificio en periodo de calefacción (invierno) se produce sólo cuando la temperatura en el hueco del trombe es superior a la temperatura interna del edificio.
10. En periodo de refrigeración no existe ningún tipo de ventilación, permaneciendo el muro totalmente cerrado a la radiación solar.

4.b PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LA SOLUCIÓN.

Se presentan a continuación los **parámetros característicos** estudiados del **muro trombe ventilado**, del **edificio** y de la **relación entre ambos**. Se destacan en negrita aquellos considerados estadísticamente relevantes y por ello incluidos en las expresiones de ahorro energético.

Parámetros característicos del **trombe**:

Parámetro:	Unidad:	Límites:	Nom:
Absorbancia solar del muro trombe (*)	-	0.3 a 0.9	AS
Conductividad térmica del muro trombe	W/mK	0.1 a 3	CT
Espesor del muro trombe	m	0.05 a 1	EM
Transmitancia térmica del muro trombe (**)	W/m²K	0.3 a 3	UT
Capacidad de almacenamiento térmico del muro trombe ($\rho \cdot C_p \cdot e$)	MJ/m ² K	0.25 a 1.5	QT
Difusividad térmica $\lambda/\rho \cdot C_p$ (***)	mm ² /s	0.2 a 2	DT
Espesor del hueco	m	0.01 a 0.8	EH
Transmitancia térmica vidrio exterior trombe	W/m ² K	1 a 6	UV
Factor solar del vidrio exterior trombe	-	0.5 a 0.9	FS
Renovaciones por hora	1/h	1 a 100	RH
Caudal de aire por metro cuadrado de muro trombe (****)	Kg/hm ²	0.1 a 100	FA

*- Porcentaje medio de la radiación solar absorbida en exposición directa por el lado del trombe en el muro común entre edificio y trombe.

** - Transmitancia térmica del muro. Incluye la contribución de muro, hueco, vidrio y coeficientes de convección interior y exterior.

*** - Relacionado con la velocidad de almacenamiento o des-almacenamiento de la energía térmica.

**** - Relacionado con las renovaciones hora, el espesor del hueco y la densidad del aire (FA=1,3*RH*EH)

Parámetros característicos del **edificio**:

Parámetro:	Unidad:	Límites:	Nom:
Superficie de ventanas orientación norte (*)	-	0 a 0.6	VN
Superficie de ventanas orientación sur (*)	-	0 a 0.6	VS
Superficie de ventanas orientación este (*)	-	0 a 0.6	VE
Superficie de ventanas orientación oeste (*)	-	0 a 0.6	VO
Compacidad del edificio (**)	m ³ /m ²	1 a 6	CE
Transmitancia térmica media del edificio (***)	W/m ² K	< CTE	UM
Coficiente de pérdidas por envolvente (****)	W/m³K	0.05 a 0.5	CPE
Tipo de uso del edificio (*****)	-	Residencial / Terciario	TU

* - Cociente entre la superficie total acristalada sobre espacios acondicionados orientada en la dirección indicada y la superficie total acondicionada.

** - Cociente entre el volumen climatizado del edificio y la superficie total expuesta al exterior.

*** - Las expresiones obtenidas son válidas para edificios con coeficientes de transmisión térmica inferiores a los exigidos por el Código Técnico de la Edificación (CTE) en su opción simplificada (0.66 W/m²K en la zona climática D2).

**** - Cociente entre la suma de todas las superficies exteriores por su transmitancia y el volumen total climatizado (relacionado con la compacidad y la transmitancia).

***** - El estudio incluye edificios residenciales y edificios de uso terciario de baja carga.

Parámetros característicos de **relación edificio/trombe**:

Parámetro:	Unidad:	Límites:	Nom:
Relación de superficies (*)	-	0.05 a 0.20	RS

*- Cociente entre la superficie total del muro trombe y la superficie total acondicionada.

5.b EXPRESIÓN PARA EL CÁLCULO DEL AHORRO ENERGÉTICO.

5.b.1. Edificios residenciales

El ahorro energético estimado durante el periodo de calefacción, expresado por m² de muro trombe, viene dado por las expresiones:

Zona D2 (Zamora):

$$AC \text{ (kWh/m}^2\text{año)} = 341,6 \cdot AS + 170,5 \cdot CPE + 0,009 \cdot R/H + 41,4 \cdot UT - 90,2 \cdot VO - 76,9 \cdot VS - 85,8$$

Zona D1 (Palencia):

$$AC \text{ (kWh/m}^2\text{año)} = 348,2 \cdot AS + 170,3 \cdot CPE + 0,009 \cdot R/H + 43,5 \cdot UT - 89,2 \cdot VO - 75,8 \cdot VS - 90,0$$

Zona E1 (León):

$$AC \text{ (kWh/m}^2\text{año)} = 389,1 \cdot AS + 149,4 \cdot CPE + 0,010 \cdot R/H + 46,7 \cdot UT - 91,1 \cdot VO - 80,6 \cdot VS - 89,0$$

El consumo energético adicional estimado durante el periodo de refrigeración se supone nulo, por tratarse de un muro trombe apantallado.

5.b.2. Edificios de uso terciario de baja carga

El ahorro energético estimado durante el periodo de calefacción, expresado por m² de muro trombe, viene dado por las expresiones:

Zona D2 (Zamora):

$$AC \text{ (kWh/m}^2\text{año)} = 100 \cdot AS \cdot UT - 70,5 \cdot VO - 89,8 \cdot VS + 53,5 \cdot AS + 58,6 \cdot EH - 50,6 \cdot VE - 5,34 \cdot AS \cdot CT/EM + 22,5$$

Zona D1 (Palencia):

$$AC \text{ (kWh/m}^2\text{año)} = 99,8 \cdot AS \cdot UT - 69,8 \cdot VO - 87,1 \cdot VS + 58,5 \cdot AS + 59,0 \cdot EH - 52,0 \cdot VE - 5,28 \cdot AS \cdot CT/EM + 21,5$$

Zona E1 (León):

$$AC \text{ (kWh/m}^2\text{año)} = 107 \cdot AS \cdot UT - 72,3 \cdot VO - 91,4 \cdot VS + 70,5 \cdot AS + 68,0 \cdot EH - 55,1 \cdot VE - 5,50 \cdot AS \cdot CT/EM + 19$$

El consumo energético adicional estimado durante el periodo de refrigeración se supone nulo, por tratarse de un muro trombe apantallado.

6.b VALORES TÍPICOS Y EFECTO DE LOS PARÁMETROS.

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:

Variable:	V. típico:	Extr. Inf.:	Extr. Sup.:	C. óptima*: (viv – terc)
Absorbancia solar muro trombe	0.7	0.3	0.9	0.9
Conductividad térmica muro trombe	1	0.1	3	3
Espesor del muro trombe	0.3	0.05	1	0.05 – 0.47***
Transmitancia térmica muro trombe**	0.9	0.25	1.25	1.25 – 1.46***
Caudal de aire por m ² de trombe***	10	0.1	100	100
Renovaciones por hora en el trombe***	10	1	100	100
Espesor del hueco en trombe	0.2	0.1	0.5	0.5
Ventanas orientación este	0.1	0	0.6	0
Ventanas orientación oeste	0.1	0	0.6	0
Ventanas orientación sur	0.1	0	0.6	0
Coeficiente pérdidas envolvente	0.3	0.05	0.5	0.5

*- Obtenida a partir de los extremos superior o inferior en función de los valores de ahorro global más favorables

** - No seleccionables: van asociados a otros parámetros.

*** - Dependientes entre sí ($FA=1,3 \cdot Rh \cdot EH$).

El resto de parámetros no incluidos se consideran poco relevantes sobre el resultado final de ahorro energético.

Ahorro energético **en viviendas** a partir de los **valores típicos** supuestos:

Ahorros en kWh/m ² año:	Zona climática:		
	D2	D1	E1
Ahorro energético en calefacción	225.11	227.57	253.14

Ahorro energético **en edificios de uso terciario** a partir de los **valores típicos** supuestos:

Ahorros en kWh/m ² año:	Zona climática:		
	D2	D1	E1
Ahorro energético en calefacción	122.54	125.29	137.56

Efectos de los parámetros:

Se presenta a continuación tabla comparativa con los valores que toman las expresiones del ahorro energético aportado por el muro trombe en los extremos superior e inferior de cada una de las variables en la zona climática D2 (manteniendo el resto de parámetros el valor típico anteriormente definido). Los comportamientos de los parámetros en edificios de terciario y en las otras zonas climáticas estudiadas tienen tendencias similares.

Variable:	AHORRO CALEF.			INCREMENTO REFRIG.			AHORRO GLOBAL		
	V. típico:	Extr. Inf:	Extr. Sup:	V. típico:	Extr. Inf:	Extr. Sup:	V. típico:	Extr. Inf:	Extr. Sup:
Absorbancia solar muro trombe	225.11	88.47	293.43	0	0	0	225.11	88.47	293.43
Transmitancia térmica muro trombe	225.11	198.2	239.6	0	0	0	225.11	198.2	239.6
Renovaciones/hora en el trombe	225.11	225.03	225.92	0	0	0	225.11	225.03	225.92
Ventanas orientación sur	225.11	232.8	186.66	0	0	0	225.11	232.8	186.66
Ventanas orientación oeste	225.11	234.13	180.01	0	0	0	225.11	234.13	180.01
Coficiente pérdidas envolvente	225.11	182.49	259.21	0	0	0	225.11	182.49	259.21

En **negrita** están destacados los parámetros que mayor efecto producen sobre el ahorro energético a partir del caso típico considerado.

Ahorro energético **en viviendas** a partir de la **combinación óptima** (con todos los parámetros en el extremo más favorable):

Ahorros en kWh/m ² año:	Zona climática:		
	D2	D1	E1
Ahorro energético en calefacción	358.65	362.91	394.27

Ahorro energético **en edificios de uso terciario** a partir de la **combinación óptima** (con todos los parámetros en el extremo más favorable):

Ahorros en kWh/m ² año:	Zona climática:		
	D2	D1	E1
Ahorro energético en calefacción	200.45	204.23	225.21