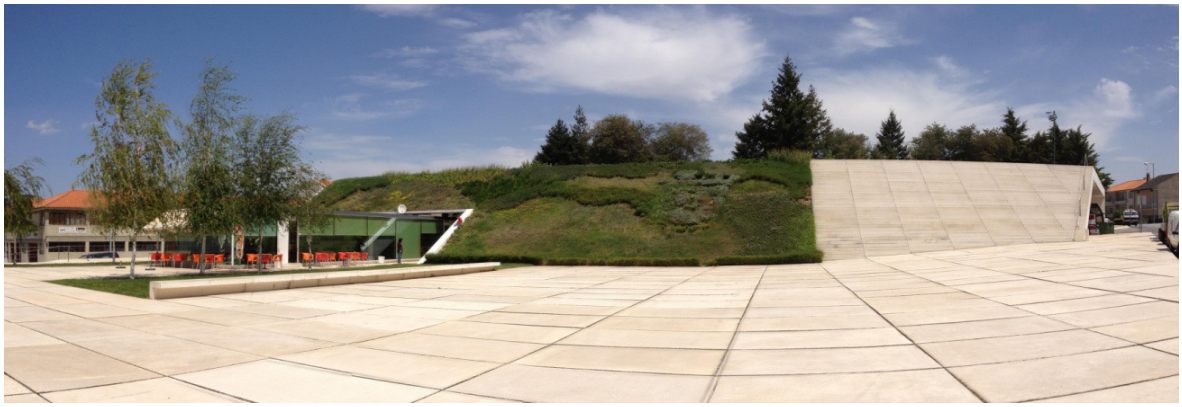


CATÁLOGO DE SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS BIOCLIMÁTICAS PARA LA MINIMIZACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA EN LOS EDIFICIOS

CATÁLOGO DE SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS BIOCLIMÁTICAS PARA LA MINIMIZACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA EN LOS EDIFICIOS

JUSTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL CATÁLOGO

El proyecto **BIOURB** (Diversidad Bioconstructiva Transfronteriza, Edificación Bioclimática y su adaptación a la Arquitectura y Urbanismo Moderno) es un proyecto acogido al Programa de Cooperación Transfronteriza España-Portugal (POCTEP) y financiado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) que tiene por objetivo principal cambiar el actual modelo constructivo por un modelo bioclimático más sostenible, ambiental y económicamente, disminuyendo la demanda energética de los edificios y poniendo en valor la Diversidad Bioconstructiva y el Patrimonio Bioclimático de la zona transfronteriza de Castilla y León y la Región Norte de Portugal.

Dentro de dicho proyecto, la Fundación para la Investigación y Desarrollo en Transporte y Energía (**CIDAUT**) ha desarrollado un estudio sobre el comportamiento energético de diferentes soluciones bioclimáticas tradicionales aplicadas a edificios actuales de carácter residencial.

El presente catálogo de soluciones ha sido elaborado a partir de los resultados del estudio realizado sobre diferentes tipos de soluciones:

- Muro trombe no ventilado…… 3
- Muro trombe ventilado…… 13
- Galerías e invernaderos adosados a la vivienda…… 23
- Muro vegetal…… 28
- Cubierta vegetal…… 32
- Cubierta captadora pasiva…….. 37
- Climatización geotérmica…… 41

Las condiciones climatológicas consideradas han sido siempre las correspondientes a una zona próxima y con características muy similares a las regiones objeto del proyecto (condiciones climatológicas de la ciudad de Zamora, zona climática D2). Las características climáticas de la zona suponen, en todo tipo de edificios residenciales, un periodo con elevada demanda de calefacción (meses de octubre a mayo) y un periodo con demanda de refrigeración relativamente pequeña (meses de junio a septiembre).

Básicamente, el estudio ha consistido en el modelado mediante códigos de simulación de sistemas energéticos (TRNSYS) de múltiples casos con diferentes configuraciones paramétricas de las distintas variables de edificios y soluciones, obteniendo el ahorro energético en climatización para cada caso. Un posterior tratamiento estadístico de los resultados permitió determinar los

parámetros más influyentes para cada tipo de solución y sus efectos sobre el resultado final.

Todo esto ha permitido determinar unas expresiones empíricas para el ahorro energético de las diferentes soluciones bioclimáticas en función de sus parámetros más característicos. El ahorro viene expresado en kWh/año de demanda energética para cada unidad básica de solución (metros cuadrados o metros lineales).

Estos ahorros son positivos en la mayor parte de los casos, si bien en ocasiones, dependiendo del tipo de solución bioclimática y sus características, pueden llegar a ser negativos. Existen soluciones en las que un comportamiento positivo en periodo de calefacción implica el comportamiento negativo en periodo de refrigeración y a la inversa; por las características climáticas de la zona anteriormente apuntadas, suele ser más significativo el comportamiento en periodo de calefacción. En otros casos el comportamiento es positivo en ambos periodos del año.

El ahorro en demanda energética puede ser transformado en ahorro de energía final aplicando los rendimientos térmicos de los equipos instalados en los sistemas de climatización propios del edificio.

Finalmente, y mediante la aplicación de los coeficientes de transformación correspondientes al tipo de suministro energético y teniendo en cuenta la zona geográfica de ubicación, se pueden llegar a determinar los ahorros energéticos en energía primaria y la reducción equivalente de emisiones de CO_2.

Las distintas fichas se han estructurado con los siguientes apartados:

1. Descripción de la solución constructiva
2. Ejemplos reales de aplicación
3. Restricciones impuestas al cálculo de la solución
4. Parámetros característicos de la solución
5. Expresiones para el cálculo del ahorro energético
6. Valores típicos y efectos de los parámetros

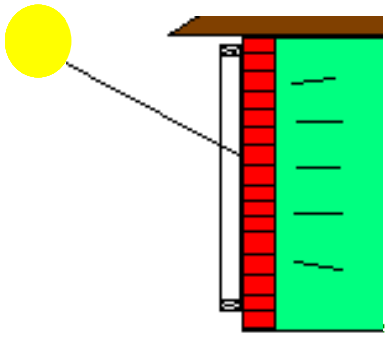
FICHA 1:

MURO TROMBE NO 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 "no ventilado" cuando el hueco intermedio no presenta comunicación ni con el ambiente exterior ni con el interior del edificio.

El muro trombe no 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 con radiación solar controlada": 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 no ventilado se han incluido, por tanto, dos soluciones diferentes: muro trombe no ventilado simple y muro trombe no ventilado con radiación solar controlada.

2. EJEMPLOS REALES DE APLICACIÓN.

a) En la zona de estudio:

Zamora, Plaza del Mercado 1

b) En el mundo:

Taos, New Mexico (USA)

Santa Fe, New Mexico (USA)

a) MURO TROMBE NO 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 no ventilado aplicado a un edificio residencial 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 (± 18º).
2. Se desprecian los movimientos convectivos del aire y 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. Clima característico correspondiente a la ciudad de Zamora (Zona climática D2)

4.a PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LA SOLUCIÓN.

Se presentan a continuación los **parámetros característicos** estudiados del **muro trombe**, 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/m^2K**	**0.3 a 3**	**UT**
Capacidad de almacenamiento térmico del muro trombe (ρ*Cp)	**MJ/m^3K**	**0.5 a 2.5**	**QT**
Difusividad térmica λ/ρ*Cp (***)	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^2K**	**1 a 6**	**UV**
Factor solar del vidrio exterior trombe (****)	**-**	**0.5 a 0.9**	**FS**

*- 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.

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^2K	< CTE	UM
Coeficiente de pérdidas por envolvente (****)	W/m^3K	0.05 a 0.5	CPE
Tipo de uso del edificio (*****)	-	Residencial	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/m^2K 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 sólo los edificios residenciales.

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

Parámetro:	Unidad:	Límites:	Nom:
Relación de superficies (*)	-	0 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.

El ahorro energético estimado durante el periodo de calefacción, expresado por m^2 de muro trombe, viene dado por la expresión:

AC (kWh/m²año) = 9,15 + 196*FS*AS/UV – 58,5*VE + 41,2*UT – 5,5*UV –31*VO

El consumo energético adicional estimado durante el periodo de refrigeración viene dado por la expresión:

IR (kWh/m²año) = 1,36*CT/EM + 52,5*VO – 12,5*QT*EM + 21*VE + 17,7*AS +16,4*VN – 0,38

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.

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*:
Absorbancia solar muro	0.7	0.3	0.9	*0.9*
Conductividad térmica muro	1	0.1	3	*3*
Espesor del muro trombe	0.3	0.05	1	*0.05*
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 trombe***	*0.9*	*0.25*	*1.25*	*1.25*
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.

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

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

Ahorro energético en calefacción:	**53.71**	**kwh/m²año**
Consumo energético extra en refrigeración:	**21.78**	**kwh/m²año**
Ahorro global estimado:	**31.92**	**kwh/m²año**

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 (manteniendo el resto de parámetros el valor típico anteriormente definido).

	AHORRO CALEF.			INCREMENTO REFRIG.			AHORRO GLOBAL		
Variable:	**V. típico:**	**Extr. Inf:**	**Extr. Sup:**	**V. típico:**	**Extr. Inf:**	**Extr. Sup:**	**V. típico:**	**Extr. Inf:**	**Extr. Sup:**
Absorbancia solar muro trombe	53.71	34.89	**63.12**	21.78	14.7	25.32	31.93	20.19	**37.8**
Conductividad térmica muro trombe	53.71	26.93	**57.83**	21.78	17.7	30.85	31.93	9.23	**26.98**
Espesor del muro trombe	53.71	**61.95**	37.23	21.78	47.58	9.86	31.93	14.37	**27.37**
Capacidad almacenamiento térmico	53.71	53.71	53.71	21.78	23.66	16.16	31.93	30.05	37.55
Transmitancia térmica vidrio exterior	53.71	**85.96**	28.98	21.78	21.78	21.78	31.93	**64.18**	7.2
Ventanas orientación norte	53.71	53.71	53.71	21.78	20.14	23.72	31.93	33.57	29.99
Ventanas orientación este	53.71	**59.56**	24.46	21.78	19.68	32.28	31.93	**39.88**	-7.82
Ventanas orientación oeste	53.71	**56.81**	38.21	21.78	16.53	48.03	31.93	**40.28**	-9.82

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

Un elevado porcentaje de ventanas del edificio en orientaciones este u oeste podrían llegar a dar resultados negativos si el muro trombe no está sombreado en verano: el incremento de consumo en periodo de refrigeración superaría al ahorro en periodo de calefacción.

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

Ahorro energético en calefacción:	**143.35**	**kwh/m^{2}año**
Consumo energético extra en refrigeración:	**95.59**	**kwh/m^{2}año**
Ahorro global estimado:	**47.76**	**kwh/m^{2}año**

b) MURO TROMBE NO 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 y no ventilado a un edificio residencial 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 (± 18º).
2. Se desprecian los movimientos convectivos del aire y 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. Clima característico correspondiente a la ciudad de Zamora (Zona climática D2)

4.b PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LA SOLUCIÓN.

Se presentan a continuación los **parámetros característicos** estudiados del **muro trombe**, 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/m^2K**	**0.3 a 3**	**UT**
Capacidad de almacenamiento térmico del muro trombe (ρ*Cp*e)	MJ/m^2K	0.25 a 1.5	QT
Difusividad térmica λ/ρ*Cp (***)	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^2K	1 a 6	UV
Factor solar del vidrio exterior trombe	-	0.5 a 0.9	FS

*- 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.

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^2K	< CTE	UM
Coeficiente de pérdidas por envolvente (****)	**W/m^3K**	**0.05 a 0.5**	**CPE**
Tipo de uso del edificio (*****)	-	Residencial	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/m^2K 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 sólo los edificios residenciales.

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

Parámetro:	Unidad:	Límites:	Nom:
Relación de superficies (*)	-	0 a 0.20	RS

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

5.b EXPRESIONES PARA EL CÁLCULO DEL AHORRO ENERGÉTICO.

El ahorro energético estimado durante el periodo de calefacción, expresado por m^2 de muro trombe, viene dado por la expresión:

AC (kWh/m^2año) = -0,53 + 60,65*AS + 36,4*AS*UT + 126,6*CPE – 48,45*VO – 35*VS – 20,5*VE

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*:
Absorbancia solar muro trombe	**0.7**	0.3	0.9	*0.9*
Transmitancia térmica muro trombe	**0.66**	0.3	3	*3*
Ventanas orientación sur	**0.1**	0	0.6	*0*
Ventanas orientación este	**0.1**	0	0.6	*0*
Ventanas orientación oeste	**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

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

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

Ahorro energético en calefacción:	**86.33**	**kwh/m^2año**
Consumo energético extra en refrigeración:	**0.00**	**kwh/m^2año**
Ahorro global estimado:	**86.33**	**kwh/m^2año**

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 (manteniendo el resto de parámetros el valor típico anteriormente definido).

	AHORRO CALEF.			INCREMENTO REFRIG.			AHORRO GLOBAL		
Variable:	V. típico:	Extr. Inf:	Extr. Sup:	V. típico:	Extr. Inf:	Extr. Sup:	V. típico:	Extr. Inf:	Extr. Sup:
Absorbancia solar muro trombe	86.33	52.46	**103.26**	0	0	0	86.33	52.46	103.26
Transmitancia térmica muro trombe	86.33	77.15	**145.95**	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	**111.65**	0	0	0	86.33	54.68	111.65

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

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

Ahorro energético en calefacción:	**215.64**	**kwh/m^{2}año**
Consumo energético extra en refrigeración:	**0.00**	**kwh/m^{2}año**
Ahorro global estimado:	**215.64**	**kwh/m^{2}año**

FICHA 2:

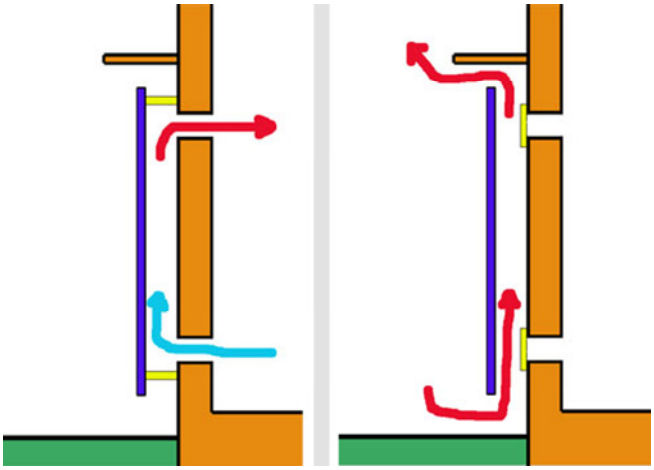
MURO TROMBE VENTILADO

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 residencial 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 (± 18º).
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. Clima característico correspondiente a la ciudad de Zamora (Zona climática D2)
8. 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/m^2K**	**0.3 a 5**	**UT**
Capacidad de almacenamiento térmico del muro trombe (ρ*Cp)	**MJ/m^2K**	**0.5 a 2.5**	**QT**
Difusividad térmica λ/ρ*Cp (***)	mm^2/s	0.2 a 2	DT
Espesor del hueco	**m**	**0.05 a 0.8**	**EH**
Transmitancia térmica vidrio exterior trombe	**W/m^2K**	**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 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^2K	< CTE	UM
Coeficiente de pérdidas por envolvente (****)	**W/m^3K**	**0.05 a 0.5**	**CPE**
Tipo de uso del edificio (*****)	-	Residencial	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/m^2K 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 sólo los edificios residenciales.

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

Parámetro:	Unidad:	Límites:	Nom:
Relación de superficies (*)	-	0 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.

El ahorro energético estimado durante el periodo de calefacción, expresado por m^2 de muro trombe, viene dado por la expresión:

AC (kWh/m²año) = 12,55 + 196*FS*AS/UV – 58,5*VE + 41,2*UT – 6,5*UV – 31*VO + 0,388*FA + 13,8*CPE – 3,32*CT + 6,33*EH

El consumo energético adicional estimado durante el periodo de refrigeración viene dado por la expresión:

IR (kWh/m²año) = 1,36*CT/EM + 43,9*VO – 12,5*QT*EM + 21*VE + 17,7*AS +16,4*VN – 0,052*RH – 0,812*FS – 0,85*EH – 5,3

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.

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*:
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*
Capacidad almacenamiento térmico	1	0.5	2.5	*2.5*
Espesor del hueco	0.3	0.05	0.8	*0.8*
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*
Caudal de aire por m^2 de trombe	10	0.1	100	*100*
Renovaciones por hora en el trombe	10	1	100	*100*
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*
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.

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

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

Ahorro energético en calefacción:	60.21	kwh/m^{2}año
Consumo energético extra en refrigeración:	13.83	kwh/m^{2}año
Ahorro global estimado:	46.38	kwh/m^{2}año

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 (manteniendo el resto de parámetros el valor típico anteriormente definido).

	AHORRO CALEF.			INCREMENTO REFRIG.			AHORRO GLOBAL		
Variable:	V. típico:	Extr. Inf:	Extr. Sup:	V. típico:	Extr. Inf:	Extr. Sup:	V. típico:	Extr. Inf:	Extr. Sup:
Absorbancia solar muro trombe	60.21	41.39	**69.62**	13.83	6.75	17.37	46.38	34.64	**52.25**
Conductividad térmica muro trombe	60.21	36.42	**57.69**	13.83	9.75	22.9	46.38	26.67	**34.79**
Espesor del muro trombe	60.21	**68.45**	43.73	13.83	39.62	1.91	46.38	28.83	41.82
Capacidad almacenamiento térmico	60.21	60.21	60.21	13.83	15.71	8.21	46.38	44.5	52
Espesor del hueco	60.21	58.62	63.37	13.83	7.38	14.24	46.38	51.24	49.13
Transmitancia térmica vidrio exterior	60.21	**94.46**	32.48	13.83	14.01	13.68	46.38	**80.45**	18.8
Caudal de aire por m^2 de trombe	60.21	56.86	**93.79**	13.83	15.15	9.74	46.38	41.71	**84.05**
Ventanas orientación norte	60.21	60.21	60.21	13.83	12.19	22.03	46.38	48.02	38.18
Ventanas orientación este	60.21	**66.06**	30.96	13.83	11.73	24.33	46.38	**54.33**	6.63
Ventanas orientación oeste	60.21	**63.31**	44.71	13.83	9.44	35.78	46.38	**53.87**	8.93
Coeficiente pérdidas envolvente	60.21	56.76	62.97	13.83	13.83	13.83	46.38	42.93	49.14

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

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

Ahorro energético en calefacción:	181.55	kwh/m^{2}año
Consumo energético extra en refrigeración:	84.58	kwh/m^{2}año
Ahorro global estimado:	96.97	kwh/m^{2}año

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 residencial 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 (± 18º).
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. Clima característico correspondiente a la ciudad de Zamora (Zona climática D2)
8. 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.
9. 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/m^2K**	**0.3 a 3**	**UT**
Capacidad de almacenamiento térmico del muro trombe (ρ*Cp*e)	MJ/m^2K	0.25 a 1.5	QT
Difusividad térmica λ/ρ*Cp (***)	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^2K	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^2K	< CTE	UM
Coeficiente de pérdidas por envolvente (****)	**W/m^3K**	**0.05 a 0.5**	**CPE**
Tipo de uso del edificio (*****)	-	Residencial	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/m^2K 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 sólo los edificios residenciales.

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

Parámetro:	Unidad:	Límites:	Nom:
Relación de superficies (*)	-	0 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.

El ahorro energético estimado durante el periodo de calefacción, expresado por m^2 de muro trombe, viene dado por la expresión:

AC (kWh/m²año) = - 89,7 + 344,5*AS + 172,3*CPE – 0,006*FA/EH + 12*UT – 88,6*VO – 76,1*VS

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*:
Absorbancia solar muro trombe	0.7	0.3	0.9	*0.9*
Transmitancia térmica muro	0.66	0.3	3	*3*
Caudal de aire por m^2 de trombe	30	0.1	100	*0.1*
Espesor hueco	0.1	0.01	0.8	*0.8*
Ventanas orientación sur	0.1	0	0.6	*0*
Ventanas orientación oeste	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

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

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

Ahorro energético en calefacción:	192.79	kwh/m²año
Consumo energético extra en refrigeración:	0.00	kwh/m²año
Ahorro global estimado:	192.79	kwh/m²año

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 (manteniendo el resto de parámetros el valor típico anteriormente definido).

	AHORRO CALEF.	INCREMENTO REFRIG.	AHORRO GLOBAL

Variable:	V. típico:	Extr. Inf:	Extr. Sup:	V. típico:	Extr. Inf:	Extr. Sup:	V. típico:	Extr. Inf:	Extr. Sup:
Absorbancia solar muro trombe	192.79	54.99	**261.69**	0	0	0	192.79	54.99	**261.69**
Transmitancia térmica muro trombe	192.79	188.47	**220.87**	0	0	0	192.79	188.47	**220.87**
Caudal de aire por m^2 de trombe	192.79	194.58	188.59	0	0	0	192.79	194.58	188.59
Espesor hueco	192.79	176.59	194.37	0	0	0	192.79	176.59	194.37
Ventanas orientación sur	192.79	**200.4**	154.74	0	0	0	192.79	**200.4**	154.74
Ventanas orientación oeste	192.79	**201.65**	148.49	0	0	0	192.79	**201.65**	148.49
Coeficiente pérdidas envolvente	192.79	149.72	**227.25**	0	0	0	192.79	149.72	**227.25**

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

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

Ahorro energético en calefacción:	**342.50**	**kwh/m^2año**
Consumo energético extra en refrigeración:	**0.00**	**kwh/m^2año**
Ahorro global estimado:	**342.50**	**kwh/m^2año**

FICHA 3:

GALERÍAS E INVERNADEROS ADOSADOS

1. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA.

Se considera que existe una galería (o invernadero) adosada a un edificio cuando un volumen constructivo relativamente cerrado, parcial o totalmente acristalado, se encuentra compartiendo, en su lado exterior, uno o varios cerramientos verticales del edificio. En este sentido, se entenderá por volumen cerrado aquel cuyas entradas de aire exterior no provoquen un intercambio del aire interior superior a 5 renovaciones/hora.

Frente a un muro trombe, la galería adosada tiene la particularidad de ser transitable, esto es, debe tener un elemento de acceso y una amplitud superior a 0,8 m. en su lado más estrecho.

2. EJEMPLOS REALES DE APLICACIÓN.

Miranda do Douro, Largo do Castelo 1

Zamora, Calle Balborraz 18

3. RESTRICCIONES IMPUESTAS AL CÁLCULO DE LA SOLUCIÓN.

Las expresiones matemáticas empíricamente desarrolladas como estimación del aporte energético de una galería adosada a un edificio residencial están sujetas a las siguientes consideraciones:

1. Características del muro en contacto con el espacio de captación solar (galería o invernadero) idénticas a las del resto de muros del edificio. No existen unas características específicas del muro en contacto con el espacio adosado. El muro podrá ser totalmente opaco o bien disponer de superficies semi-transparentes (puertas o ventanas con idénticas características a las establecidas para el resto del edificio).

2. Espacios de base rectangular y orientación sur, con la superficie acristalada principal paralela al muro sur del edificio. El resultado obtenido será válido siempre que el muro sur del edificio y la superficie acristalada principal de la galería estén orientados hacia la dirección sur (± 18º).
3. Se desprecian los movimientos convectivos del aire y los espacios se suponen divididos horizontalmente al nivel de cada planta.
4. Cubierta de la galería opaca y con la misma estructura y composición que el resto de cubiertas del edificio.
5. La superficie sur de la galería tendrá siempre un carácter semi-transparente (constituida en su totalidad por elementos vidriados).
6. Las superficies laterales (este y oeste) pueden ser vidriadas, con idénticas características a las de la superficie sur, u opacas. En este último caso sus características constructivas coincidirán con las establecidas para el resto de muros de la vivienda.
7. No existe ningún tipo de calefacción, refrigeración o aporte calorífico adicional dentro del espacio adosado.
8. Clima característico correspondiente a la ciudad de Zamora (Zona climática D2)

4. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LA SOLUCIÓN.

Se presentan a continuación los **parámetros característicos** estudiados de la **galería**, 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 de la **galería bioclimática** adosada:

Parámetro:	Unidad:	Límites:	Nom:
Absorbancia solar del muro común (*)	**-**	**0.3 a 0.9**	**AS**
Transmitancia térmica del muro común	**W/m^2K**	**0.3 a 1**	**U_M**
Porcentaje de huecos en muro común	**%**	**0 a 100**	**VI**
Transmitancia térmica de huecos muro común	**W/m^2K**	**1 a 3.5**	**U_{VI}**
Transmitancia térmica vidrio exterior galería	**W/m^2K**	**1 a 6**	**U_{VE}**
Factor solar del vidrio exterior galería	**-**	**0.5 a 0.9**	**FS**
Porcentaje de huecos en muros laterales (**)	**%**	**0 a 100**	**V_{LE}**
Espesor del hueco	**m**	**0.8 a 5**	**E_H**
Longitud del hueco	**m**	**1 a 100**	**L_H**
Entradas aire exterior no forzado hacia galería	**1/h**	**0 a 3**	**INF**
Intercambio forzado de aire en la galería (***)	**1/h**	**0 a 10**	**RH**
Elementos de acumulación térmica	kJ/m^3K	0 a 500	AT

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

**- Características de los huecos laterales iguales a las del vidrio exterior en orientación sur.

***- El intercambio forzado de aire se producirá de manera controlada, siempre hacia el exterior durante el periodo de refrigeración y hacia el interior del edificio, sólo cuando la temperatura de la galería sea superior a 20ºC, durante el periodo de calefacción.

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^2K	< CTE	UM
Coeficiente de pérdidas por envolvente (****)	**W/m^3K**	**0.05 a 0.5**	**CPE**
Tipo de uso del edificio (*****)	-	Residencial	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/m^2K 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 sólo los edificios residenciales.

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

Parámetro:	Unidad:	Límites:	Nom:
Relación de superficies (*)	-	0 a 0.20	RS

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

5. EXPRESIONES PARA EL CÁLCULO DEL AHORRO ENERGÉTICO.

El ahorro energético estimado durante el periodo de calefacción, expresado por m^2 de muro compartido o m^2 de superficie acristalada en orientación sur, viene dado por la expresión:

$$\mathbf{AC\ (kWh/m^2año) = 67{,}4*CPE - (0{,}0292*U_{VE}+0{,}0285*E_H*INF)*(VI*U_{VI}+(100-VI)*U_M) + 0{,}173*V_{LE} + 0{,}953*RH*E_H - 0{,}0395*U_{VE}*V_{LE}*E_H/L_H - 2{,}9}$$

El consumo energético adicional estimado durante el periodo de refrigeración viene dado por la expresión:

$$\mathbf{IR\ (kWh/m^2año) = 19{,}8*CPE - 0{,}126*VI + 0{,}098*V_{LE}*E_H/L_H + 29{,}7*FS*AS/U_{VE} + 33*VO + 37{,}2*VS + 17{,}5*VE - 7{,}6}$$

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

6. VALORES TÍPICOS Y EFECTO DE LOS PARÁMETROS.

A fin de poder dar una idea sobre el 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*:
Absorbancia muro	**0.7**	0.3	0.9	*0.3*
Transmitancia muro	**0.66**	0.3	1	*0.3*
Porcentaje huecos en muro	**40**	0	100	*0*
Transmitancia huecos en muro	**2.5**	1	3.5	*1*
Transmitancia vidrio exterior	**3.5**	1	6	*1*
Factor solar vidrio exterior	**0.75**	0.5	0.9	*0.5*
Porcentaje huecos laterales	**40**	0	100	*100*
Espesor hueco	**3**	0.8	5	*0.8*
Longitud hueco	**10**	1	100	*100*
Infiltraciones aire exterior	**1**	0	3	*0*
Circulación forzada de aire	**5**	0	10	*10*
Ventanas orientación sur	**0.1**	0	0.6	*0*
Ventanas orientación este	**0.1**	0	0.6	*0*
Ventanas orientación oeste	**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

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

Ahorro energético en calefacción:	**10.67**	**kwh/m^{2}año**
Consumo energético extra en refrigeración:	**7.70**	**kwh/m^{2}año**
Ahorro global estimado:	**2.97**	**kwh/m^{2}año**

Efectos de los parámetros:

Se presenta a continuación tabla comparativa con los valores que toman las expresiones del ahorro energético aportado por la galería en los extremos superior e inferior de cada una de las variables (manteniendo el resto de parámetros el valor típico anteriormente definido).

	AHORRO CALEF.			INCREMENTO REFRIG.			AHORRO GLOBAL		
Variable:	**V. típico:**	**Extr. Inf:**	**Extr. Sup:**	**V. típico:**	**Extr. Inf:**	**Extr. Sup:**	**V. típico:**	**Extr. Inf:**	**Extr. Sup:**
Absorbancia muro	10.67	10.67	10.67	7.7	5.16	8.97	2.97	5.51	1.7
Transmitancia muro	10.67	14.72	6.84	7.7	7.7	7.7	2.97	7.02	-0.86
Porcentaje huecos en muro	10.67	**24.49**	-10.05	7.7	12.74	0.14	2.97	**11.75**	-10.19
Transmitancia huecos en muro	10.67	**21.93**	3.16	7.7	7.7	7.7	2.97	**14.23**	-4.54
Transmitancia vidrio exterior	10.67	**22.05**	-0.71	7.7	18.84	5.84	2.97	3.21	-6.55
Factor solar vidrio exterior	10.67	10.67	10.67	7.7	6.22	8.59	2.97	4.45	2.08
Porcentaje huecos laterales	10.67	5.41	18.56	7.7	6.53	9.47	2.97	-1.12	9.09
Espesor hueco	10.67	10.16	11.14	7.7	6.84	8.49	2.97	3.32	2.65
Longitud hueco	10.67	-4.27	12.16	7.7	18.29	6.64	2.97	-22.56	5.52
Infiltraciones aire exterior	10.67	**22.61**	-13.2	7.7	7.7	7.7	2.97	**14.91**	-20.9
Circulación forzada de aire	10.67	-3.62	**24.96**	7.7	7.7	7.7	2.97	-11.32	**17.26**
Ventanas orientación sur	10.67	10.67	10.67	7.7	3.98	26.3	2.97	6.69	-15.63
Ventanas orientación este	10.67	10.67	10.67	7.7	5.95	16.45	2.97	4.72	-5.78
Ventanas orientación oeste	10.67	10.67	10.67	7.7	4.4	24.2	2.97	6.27	-13.53
Coeficiente pérdidas envolvente	10.67	-6.18	**24.15**	7.7	2.75	11.66	2.97	-8.93	**12.49**

En **negrita** están destacados los parámetros que mayor efecto producen sobre el ahorro energético a partir del caso típico considerado. Ahorros energéticos negativos indican que la presencia de la galería estaría penalizando el consumo energético del edificio.

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

Ahorro energético en calefacción:	**54.82**	**kwh/m^{2}año**
Consumo energético extra en refrigeración:	**6.83**	**kwh/m^{2}año**
Ahorro global estimado:	**47.98**	**kwh/m^{2}año**

FICHA 4:

MURO VEGETAL

1. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA.

En edificación bioclimática, se entiende por muro vegetal cualquier elemento de este tipo próximo a un cerramiento exterior del edificio que se interpone total o parcialmente entre la irradiación solar y el propio cerramiento, evitando así que una parte importante de la radiación incida sobre el mismo y disminuyendo la entrada de calor hacia el interior del edificio debido a este fenómeno.

2. EJEMPLOS REALES DE APLICACIÓN.

a) En la zona de estudio:

Palaçoulo, Rua do Rodelao 33

Pinilla de Fermoselle, Calle Alamicos 5

b) En el mundo:

Seúl (Corea del Sur) Portland (USA)

3. RESTRICCIONES IMPUESTAS AL CÁLCULO DE LA SOLUCIÓN.

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

1. La única interacción considerada entre el muro vegetal y el cerramiento es la reducción de la irradiación solar sobre el cerramiento. Los fenómenos biológicos como transpiración o fotosíntesis, que están en muchos casos relacionados con la cantidad de energía absorbida y/o desprendida por la planta, se consideran de un orden de magnitud bastante inferior y están excluidos del estudio. Se considera que el descenso de la temperatura superficial del cerramiento es proporcional a la cantidad de radiación solar evitada por la planta.
2. Tampoco se ha tenido en cuenta el efecto de la planta sobre la acción del viento, que podría disminuir el coeficiente de convección térmica entre el edificio y su exterior.
3. La aportación energética de este tipo de elementos tiene un carácter positivo en periodo de refrigeración (verano), siendo de carácter negativo en periodo de calefacción (resto del año).
4. La evolución anual del vegetal está caracterizada por un porcentaje medio de cerramiento que cubre el citado elemento para cada mes del año. La disposición más favorable se tendrá con plantas de hoja caduca.
5. Las características del cerramiento exterior sobre el que se aplica el muro vegetal son idénticas a las del resto de cerramientos del edificio. El muro vegetal solo cubre las partes opacas del cerramiento, quedando

siempre descubiertas las partes semi-transparentes (puertas o ventanas).

6. Clima característico correspondiente a la ciudad de Zamora (Zona climática D2)

4. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LA SOLUCIÓN.

Se presentan a continuación los **parámetros característicos** empleados:

Parámetro:	Unidad:	Límites:	Nom:
Orientación del muro	-	N, S, E, O	C_O
Porcentaje mensual de cobertura (*)	-	0 a 100	$\%MC_M$
Absorbancia solar del cerramiento (**)	-	0.3 a 0.9	AS
Transmitancia térmica del cerramiento (***)	W/m^2K	<CTE	UM

*- Porcentaje de cobertura del muro vegetal sobre la superficie cubierta (el porcentaje en un muro completamente tupido sería del 100%).

**- Porcentaje medio de la radiación solar absorbida por el cerramiento en exposición directa cuando no existe el muro vegetal.

***- Las expresiones obtenidas son válidas para edificios con transmitancia térmica inferior a la exigida por el CTE en su opción simplificada.

5. EXPRESIONES PARA EL CÁLCULO DEL AHORRO ENERGÉTICO.

El ahorro energético estimado durante el periodo de refrigeración, expresado por m^2 de muro vegetal, viene dado por la expresión:

$$\mathbf{AR\ (kWh/m^2año) = C_O * AS * UM/20 *[\sum_V (\%MC_{Mi}/100)*IS_{Mi}*C_{Mi}]}$$

Donde $\sum_V$ hace referencia a los meses de junio, julio, agosto y septiembre.

El consumo energético adicional estimado durante el periodo de calefacción viene dado por la expresión:

$$\mathbf{IC\ (kWh/m^2año) = C_O * AS * UM/20 *[\sum_I (\%MC_{Mi}/100)*IS_{Mi}*C_{Mi}]}$$

donde $\sum_I$ hace referencia en este caso a los meses de enero, febrero, marzo, abril, mayo, octubre, noviembre y diciembre.

Los factores de orientación y climáticos que aparecen en las fórmulas (C_O, IS_M y C_M), específicos para la zona climática D2 (Zamora) son los indicados a continuación:

Factor de corrección por orientación (C_O) que, en función de la orientación del muro vegetal, toma el valor:

Orientación:	SUR	ESTE	OESTE	NORTE
Factor:	0.85	0.65	1.10	0.85

Factor de reducción mensual (C_{Mi}) que, en función del mes del año, toma el valor:

MES:	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Factor:	1	1	1	0.80	0.45	0.25	0.50	0.40	0.20	0.45	1	1

Irradiación solar total (directa+difusa) en las distintas orientaciones (IS_{Mi}) que, en función del mes del año y expresada en kWh/m^{2}mes, toma los valores:

MES:	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
SUR	65.6	85.7	94.2	79.6	68.2	60.9	71.0	90.9	99.6	102.5	85.2	60.3
ESTE	28.1	41.7	63.9	71.6	87.1	90.9	103.7	98.0	71.9	52.6	35.1	23.0
OESTE	27.5	41.4	62.8	72.7	85.8	91.7	102.3	94.1	73.2	55.4	34.4	24.1
NORTE	14.4	15.5	24.7	28.4	37.7	41.7	39.6	30.1	22.0	18.4	14.0	12.7

6. VALORES TÍPICOS Y EFECTO DE LOS PARÁMETROS.

A fin de poder dar una idea sobre el 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*:
Absorbancia muro	0.7	0.3	0.9	*0.9*
Transmitancia muro	0.66	0.3	1	*1*
Porcentaje mensual de cobertura*	90	0	100	*100*

*- Se ha considerado un porcentaje idéntico para todos los meses del año.

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

ORIENTACIÓN:	SUR	OESTE	ESTE	NORTE
Ahorro energético en refrig. (kWh/m^{2}año):	**1.89**	**2.27**	**1.71**	**1.07**
Consumo energético extra en calef. (kwh/m^{2}año):	**9.39**	**5.51**	**4.22**	**2.96**

Efectos de los parámetros:

En este caso el efecto de los tres parámetros implicados es muy similar, pues el resultado final de ahorro o consumo extra es directamente proporcional a cada uno de ellos.

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

ORIENTACIÓN:	SUR	OESTE	ESTE	NORTE
Ahorro energético en refrig. (kWh/m^{2}año):	**4.09**	**4.90**	**3.70**	**2.31**
Consumo energético extra en calef. (kwh/m^{2}año):	**20.33**	**11.94**	**9.12**	**6.40**

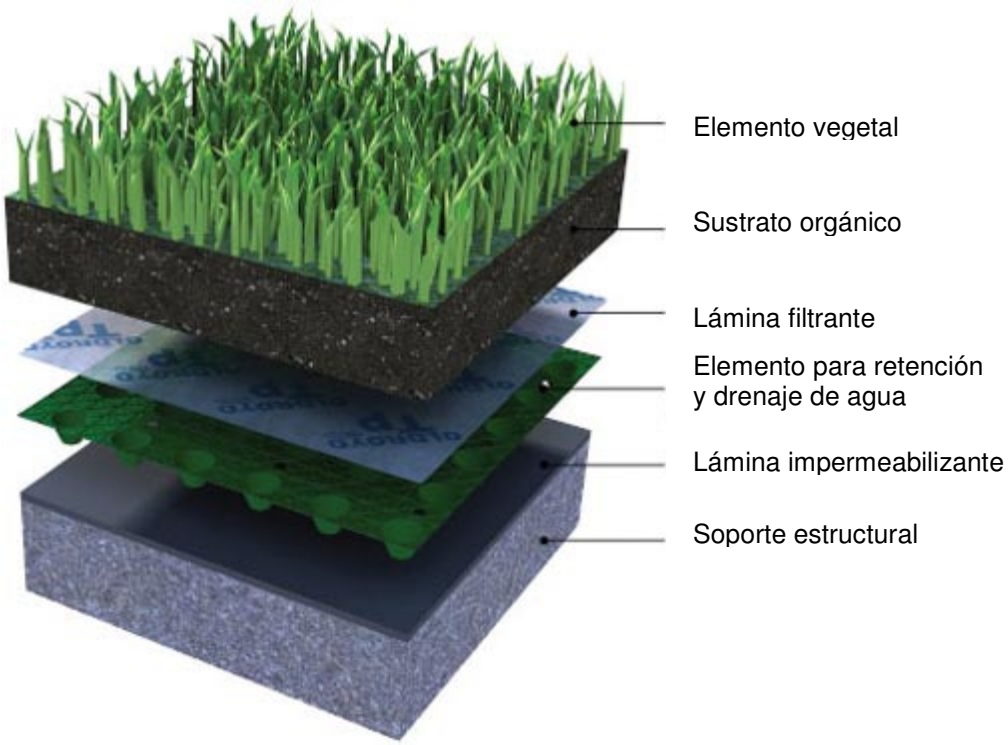
Cabe indicar que, en el caso de plantas estacionales con alto porcentaje de sombreamiento en verano y mínimo en invierno, los valores de consumo energético en calefacción pueden verse reducidos en gran medida.

FICHA 5:

CUBIERTA VEGETAL

1. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA.

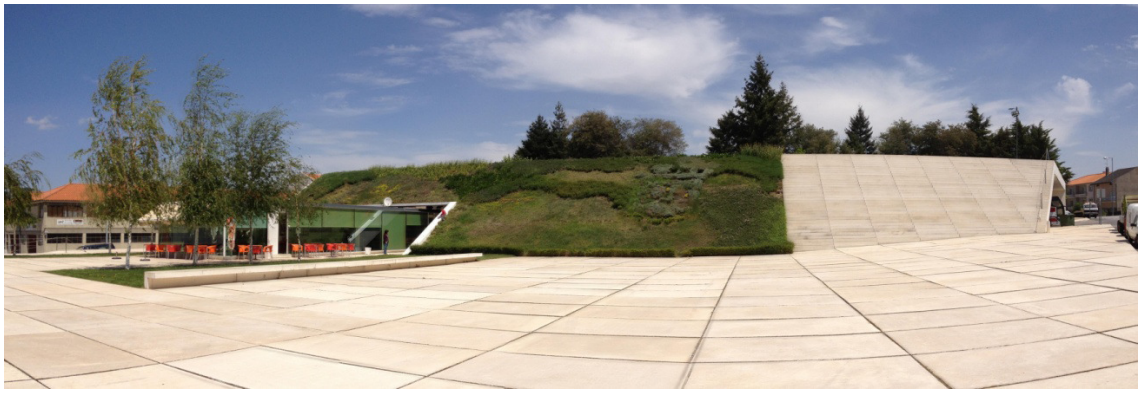
En edificación bioclimática, se entiende por cubierta vegetal cualquier elemento de este tipo situado sobre la cubierta del edificio. Incluye el elemento vegetal, con efectos de sombreado, transpiración y fotosíntesis muy similares a los del muro vegetal, además del sustrato orgánico que soporta dicho elemento vegetal y, en ocasiones, un soporte estructural que también puede tener efectos de aislamiento e inercia.



2. EJEMPLOS REALES DE APLICACIÓN.

a) En la zona de estudio:

San Felices de los Gallegos, Calle Acera del Cordero



Mogadouro, Estación de autobuses

b) En el mundo:

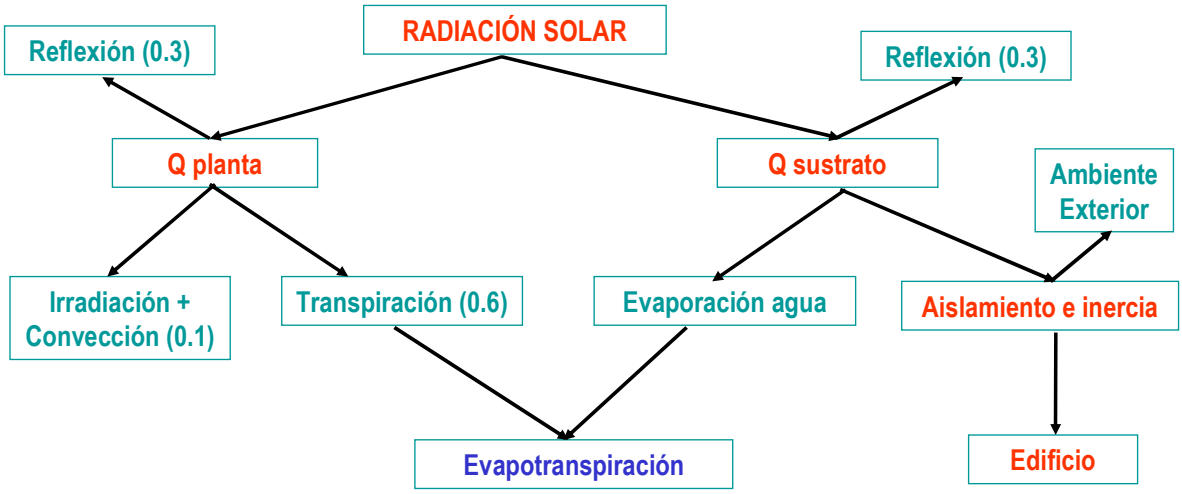
Isla Sentosa, Singapur

Islas Feroe, Noruega

3. RESTRICCIONES IMPUESTAS AL CÁLCULO DE LA SOLUCIÓN.

Las expresiones matemáticas empíricamente desarrolladas como estimación del aporte energético de una cubierta vegetal a un edificio residencial están sujetas a las siguientes consideraciones:

1. El esquema a seguir para el cálculo de los efectos térmicos de la cubierta vegetal sobre el edificio incluye los siguientes componentes:



2. Los únicos fenómenos considerados en el estudio son los de reflexión y la evapotranspiración de la planta, que incluye el efecto térmico combinado de la transpiración de la planta y la evaporación del agua en el sustrato.
3. Se han descartado, por su escasa importancia, los efectos térmicos debidos a la fotosíntesis, irradiación y convección de la planta. Tampoco se ha tenido en cuenta el efecto de la planta sobre la acción del viento, que podría disminuir el coeficiente de convección térmica entre el edificio y su exterior.
4. Se supone que el soporte de la cubierta vegetal presenta las mismas características térmicas que la cubierta original. En caso de existir efectos significativos de aislamiento e inercia adicionales a los de la cubierta original, debidos al sustrato orgánico y/o al soporte estructural, estos podrían ser calculados aparte por las metodologías al uso.
5. Se considera que el descenso de la temperatura superficial sobre la cubierta es proporcional a la cantidad de calor evitada por evapotranspiración.
6. La evapotranspiración, relacionada con las condiciones climatológicas y el tipo de cultivo, ha sido caracterizada mediante la expresión de Hargreaves:

$$\mathbf{ETR}\ (\mathrm{kWh/m^2día}) = \mathbf{0{,}0135 * (t_{med}+17{,}78)*Rs * K_C}$$

donde, para cada mes, t_{med} (ºC) y Rs (kWh/m^{2}día) son los valores medios mensuales de temperatura e irradiación total (directa+difusa)

sobre superficie horizontal y K_C es un parámetro adimensional propio de cada cultivo, también variable mensualmente.

7. La aportación energética de este tipo de elementos tiene un carácter positivo en periodo de refrigeración (verano), siendo de carácter negativo en periodo de calefacción (resto del año).
8. Clima característico correspondiente a la ciudad de Zamora (Zona climática D2)

4. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LA SOLUCIÓN.

Se presentan a continuación los **parámetros característicos** empleados:

Parámetro:	Unidad:	Límites:	Nom:
Coeficiente mensual de reducción de la evapotranspiración (*)	-	0 a 1	Kc
Absorbancia solar de la cubierta original (**)	-	0.3 a 0.9	AS_0
Transmitancia térmica de la cubierta (***)	W/m^2K	<CTE	UC

*- Dependiente del tipo de cultivo.

**- Porcentaje medio de la radiación solar absorbida por la cubierta original en exposición directa.

***- Las expresiones obtenidas son válidas para edificios con transmitancia térmica inferior a la exigida por el CTE en su opción simplificada.

5. EXPRESIONES PARA EL CÁLCULO DEL AHORRO ENERGÉTICO.

El ahorro energético estimado durante el periodo de refrigeración, expresado por m^2 de cubierta vegetal, viene dado por la expresión:

$$\mathbf{AR\ (kWh/m^2año) = UC/20 * [\sum_V IH_i*(AS_0 -0.6 +0.0092*K_{ci}*(t_{mi}+17.78))*C_i]}$$

Donde $\sum_V$ hace referencia a los meses de junio, julio, agosto y septiembre.

El consumo energético adicional estimado durante el periodo de calefacción viene dado por la expresión:

$$\mathbf{IC\ (kWh/m^2año) = UC/20 * [\sum_I IH_i*(AS_0 -0.6 +0.0092*K_{ci}*(t_{mi}+17.78))*C_i]}$$

donde $\sum_I$ hace referencia en este caso a los meses de enero, febrero, marzo, abril, mayo, octubre, noviembre y diciembre.

Los **factores climáticos** que aparecen en las fórmulas (IH_i y t_{mi}) específicos para la zona climática D2 (Zamora) son los indicados a continuación:

MES:	ENE	EB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
t_m (ºC):	4.30	6.30	8.26	10.45	14.00	18.45	21.75	21.30	18.66	13.41	8.06	4.85
IH (kWh/m^2mes):	52.3	76.1	121.4	153.4	190.4	208.5	231.4	206.1	146.7	102.6	63.0	45.3

Los **coeficientes de reducción mensual** (C_i), específicos para la zona climática D2 (Zamora) y edificios del sector residencial, son los indicados a continuación:

MES:	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Factor:	1.10	1.05	1.00	0.80	0.40	0.15	0.40	0.35	0.20	0.40	1.05	1.20

6. VALORES TÍPICOS Y EFECTO DE LOS PARÁMETROS.

A fin de poder dar una idea sobre el 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*:
Absorbancia cubierta	**0.7**	0.3	0.9	*0.9*
Transmitancia cubierta	**0.38**	0.2	0.5	*0.5*
Coef. reductor evapotranspiración	**0.95**	0	1	*1*

*- Se ha considerado un coeficiente idéntico para todos los meses del año.

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

CUBIERTA VEGETAL:	
Ahorro energético en refrigeración (kWh/m^{2}año):	1.87
Consumo energético extra en calefacción (kwh/m^{2}año):	3.91

Efectos de los parámetros:

Se presenta a continuación tabla comparativa con los valores que toman las expresiones del ahorro energético aportado por la cubierta vegetal en los extremos superior e inferior de cada una de las variables (manteniendo el resto de parámetros el valor típico anteriormente definido).

	AHORRO REFRIG.			INCREMENTO CALEF.		
Variable:	V. típico:	Extr. Inf.:	Extr. Sup.:	V. típico:	Extr. Inf.:	Extr. Sup.:
Absorbancia cubierta	1.87	0.59	**2.73**	3.91	0.38	6.26
Transmitancia cubierta	1.87	0.98	**2.46**	3.91	2.06	5.14
Coeficiente reducción evapotranspiración	1.87	0.43	**1.95**	3.91	1.18	4.05

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

CUBIERTA VEGETAL:	
Ahorro energético en refrigeración (kWh/m^{2}año):	3.69
Consumo energético extra en calefacción (kwh/m^{2}año):	8.43

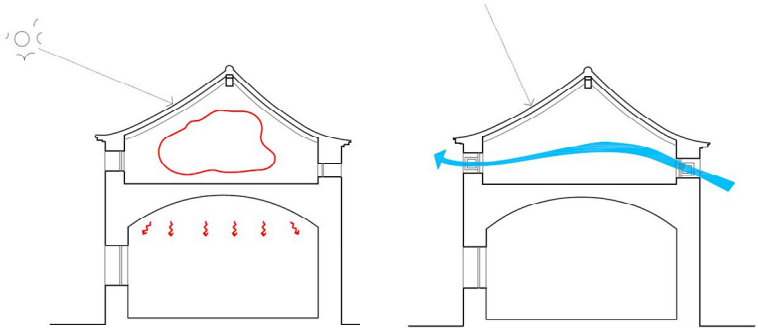
Cabe indicar que, en el caso de una planta estacional con elevada actividad en verano y mínima en invierno, los valores de consumo energético en calefacción pueden verse reducidos en gran medida.

FICHA 6:

CUBIERTA CAPTADORA PASIVA

1. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA.

La función de una cubierta captadora pasiva es captar la mayor cantidad de radiación solar posible durante el periodo de calefacción. Esto supone también un consumo extra durante el periodo de refrigeración, que puede ser disminuido mediante la ventilación natural de los espacios de transición situados bajo cubierta.



Dentro de este epígrafe se van a incluir los espacios de transición no climatizados, con cubierta plana o inclinada, en la parte superior del edificio. Este tipo de soluciones se consideran pasivas por no existir ningún elemento de tipo mecánico que fuerce el movimiento de los fluidos para un mejor comportamiento de la solución.

2. EJEMPLOS REALES DE APLICACIÓN.

a) En la zona de estudio:

Fariza de Sayago, Calle Adelante 2

Peredo, N-216

b) En el mundo:

Valdeorras, Ourense

3. RESTRICCIONES IMPUESTAS AL CÁLCULO DE LA SOLUCIÓN.

Las expresiones matemáticas empíricamente desarrolladas como estimación del aporte energético de una cubierta captadora pasiva a un edificio residencial están sujetas a las siguientes consideraciones:

1. La cubierta captadora consiste en un espacio de transición no climatizado situado sobre la planta superior del edificio, con la misma superficie en planta y altura variable. La cubierta original, que se mantiene, se supone plana y se incorpora una nueva cubierta, plana o inclinada, sobre el espacio de transición.
2. Las características de la envolvente del edificio, incluida la cubierta original que será el suelo del nuevo espacio de transición, se van a mantener. Las características de muros y cubiertas en el nuevo espacio de transición son variables.
3. La ventilación natural del espacio de transición durante el periodo de refrigeración (variable) es otro parámetro de la solución. Se supone que durante el periodo de calefacción no existe ningún tipo de ventilación.
4. No existe ningún tipo de calefacción, refrigeración o aporte calorífico adicional dentro del espacio de cubierta.
5. Clima característico correspondiente a la ciudad de Zamora (Zona climática D2)

4. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LA SOLUCIÓN.

Se presentan a continuación los **parámetros característicos** estudiados de la **cubierta captadora** y del **edificio.** Se destacan en negrita aquellos considerados estadísticamente relevantes y por ello incluidos en las expresiones de ahorro energético.

Parámetros característicos de la **cubierta captadora**:

Parámetro:	Unidad:	Límites:	Nom:
Absorbancia solar de la nueva cubierta (*)	-	0.3 a 0.9	AS
Transmitancia térmica de nueva cubierta	**W/m^2K**	**0.2 a 2**	**UC**
Inclinación de la nueva cubierta	**Grados sexagesimales**	**0 a 40**	**IC**
Orientación de la nueva cubierta	/Azimut/ (**)	0 a 180	AZ
Transmitancia térmica de los muros exteriores del espacio de transición	**W/m^2K**	**0.2 a 2**	**UM**
Altura mínima del espacio de transición (***)	m	0 a 2	AM
Ventilación del espacio de transición durante el periodo de refrigeración	1/h	0 a 10	RH

*- Porcentaje medio de la radiación solar absorbida por la nueva cubierta en exposición directa.

**- Grados sexagesimales que forma con la orientación sur la proyección sobre la horizontal de la normal a la cubierta. Para simplificar, se va a suponer que la cubierta presenta una única orientación. Para cubiertas con varias orientaciones, se podrá ponderar el azimut en función de los porcentajes en cada orientación.

***- Se supondrá la altura de los muros en su parte inferior.

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^2K	< CTE	UM
Coeficiente de pérdidas por envolvente (****)	**W/m^3K**	**0.05 a 0.5**	**CPE**
Relación de orientaciones (*****)	**-**	**0.5 a 2**	**RO**
Tipo de uso del edificio (******)	-	Residencial	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/m^2K 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).

*****- Cociente entre la superficie exterior en orientaciones norte y sur y la superficie exterior en orientaciones este y oeste.

******- El estudio incluye sólo los edificios residenciales.

5. EXPRESIONES PARA EL CÁLCULO DEL AHORRO ENERGÉTICO.

El ahorro energético total (periodo de calefacción+periodo de refrigeración) estimado, expresado por m^2 de cubierta, viene dado por la expresión:

Ah. (kWh/m^2año) = 4,345 - 1,141*UC – 0,044*IC*UM + 4,477*RO*CPE – 4,077*RO*VN

6. VALORES TÍPICOS Y EFECTO DE LOS PARÁMETROS.

A fin de poder dar una idea sobre el 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*:
Inclinación cubierta	**25**	0	40	0
Transmitancia cubierta	**0.38**	0.2	2	0.2
Transmitancia muros	**0.66**	0.2	2	0.2
Ventanas orientación norte	**0.1**	0	0.6	0
Coeficiente pérdidas envolvente	**0.3**	0.05	0.5	0.5
Relación orientaciones	**1**	0.5	2	2

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

Ahorro global estimado:	**4.12**	**kwh/m^2año**

Efectos de los parámetros:

Se presenta a continuación tabla comparativa con los valores que toman las expresiones del ahorro energético aportado por la cubierta captadora en los extremos superior e inferior de cada una de las variables (manteniendo el resto de parámetros el valor típico anteriormente definido).

	AHORRO GLOBAL		
Variable:	**V. típico:**	**Extr. Inf.:**	**Extr. Sup.:**
Inclinación cubierta	4.12	**4.85**	3.69
Transmitancia cubierta	4.12	**4.33**	2.27
Transmitancia muros	4.12	**4.63**	2.65
Ventanas orientación norte	4.12	**4.53**	2.08
Coeficiente pérdidas envolvente	4.12	3.00	**5.02**
Relación orientaciones	4.12	3.65	**5.06**

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

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

Ahorro global estimado:	**8.59**	**kwh/m^2año**

FICHA 7:

CLIMATIZACIÓN GEOTÉRMICA

1. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA.

El paso del aire de ventilación de un edificio a través de **elementos subterráneos** (conductos o bodegas) permite un atemperamiento del mismo antes de entrar al edificio. De este modo se consigue un ahorro energético tanto en invierno (por calentamiento del aire) como en verano (por enfriamiento). El uso alternativo en ambos periodos de un mismo intercambiador térmico puede ayudar a la regeneración térmica del terreno a distancias suficientemente profundas.

La climatización forzada mediante conductos (más conocida con el nombre de Pozo Canadiense, Pozo Provenzal, o Pozo Mediterráneo) resulta mucho más eficiente que la climatización mediante bodegas por circulación natural, ya que las velocidades del aire elevadas favorecen en gran medida el intercambio térmico. En cualquier caso, no son recomendables velocidades de aire superiores a 3-5 m/s.

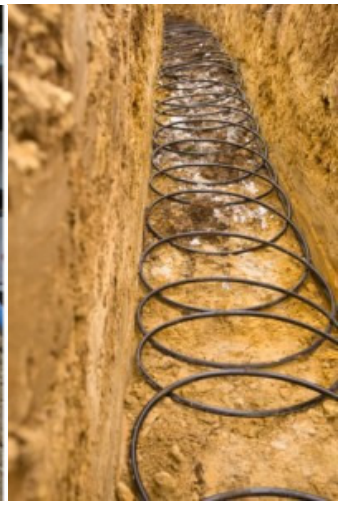
En geotermia, la cantidad máxima de calor que se puede obtener viene limitada fundamentalmente por el calor existente en el terreno que rodea al intercambiador y la capacidad de transmitir ese calor. La capacidad de intercambio de un sistema geotérmico suele ser muy elevada en los primeros días de operación y va disminuyendo con el tiempo. Dependiendo del ritmo de extracción, los periodos máximos de operación suelen estar comprendidos entre 1800 y 2400 horas por temporada (invierno o verano).

2. EJEMPLOS REALES DE APLICACIÓN.

a) En la zona de estudio:

Bodega El Pulijón, Fermoselle

b) En el mundo:



Edificio Lucía, Valladolid

Denver (USA)

3. RESTRICCIONES IMPUESTAS AL CÁLCULO DE LA SOLUCIÓN.

El programa de cálculo desarrollado para la estimación del aporte energético de un sistema de climatización geotérmica a un edificio residencial está sujeto a las siguientes consideraciones:

1. El sistema es capaz de regenerarse térmicamente en el periodo de un año. Las condiciones de partida del sistema al comienzo del ciclo anual son idénticas a las del ciclo anterior.
2. La distancia entre los conductos geotérmicos es suficiente para que las interferencias térmicas entre ellos sean mínimas durante un ciclo completo de operación. El programa de cálculo no considera interferencias térmicas entre los conductos.
3. El caudal máximo de ventilación en invierno está limitado por las necesidades de renovación de aire del edificio. En verano, el caudal máximo está limitado por la velocidad límite de confort en el edificio.
4. El edificio es capaz de admitir y aprovecha toda la energía térmica de calefacción o refrigeración aportada por el sistema: el funcionamiento del sistema coincide siempre con periodos de demanda térmica del edificio y su suministro nunca excede la demanda del edificio.
5. El terreno presenta unas características homogéneas en cuanto a conductividad, densidad y calor específico.
6. Se suponen conductos rectilíneos de sección circular.
7. Clima característico correspondiente a la ciudad de Zamora (Zona climática D2)

4. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LA SOLUCIÓN.

Se presentan a continuación los **parámetros característicos** estudiados en un sistema de climatización geotérmica. Se han destacado en negrita aquellos que tienen un efecto importante sobre el comportamiento energético de la solución.

Parámetro:	Unidad:	Límites:	Nom:
Conductividad térmica del terreno	**W/mK**	**0.2 a 3**	**CT**
Calor específico del terreno (ρ*C_p)	MJ/m^{3}K	1 a 3	CE
Rugosidad del conducto	mm	0.0001 a 10	RC
Radio interior del conducto	**m**	**0.05 a 2**	**Ri**
Longitud del conducto	**m**	**1 a 200**	**L**
Profundidad media del conducto	**m**	**0.5 a 20**	**P**
Horas de funcionamiento	**h**	**1 a 3600**	**HF**
Velocidad del aire en el conducto	**m/s**	**0.01 a 10**	**V**

5. EXPRESIONES PARA EL CÁLCULO DEL AHORRO ENERGÉTICO.

En el caso de la climatización geotérmica no existe una expresión para el cálculo del ahorro energético. El ahorro energético se obtiene mediante la aplicación de un programa de cálculo en EXCEL.

6. VALORES TÍPICOS Y EFECTO DE LOS PARÁMETROS.

A fin de poder dar una idea sobre el 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:
Conductividad térmica terreno	**1.5**	0.2	3	-
Calor específico terreno (ρ*C_p)	**2**	1	3	-
Rugosidad del conducto	**0.0015**	0.0001	10	-
Radio interior del conducto	**0.1**	0.05	2	-
Longitud del conducto	**30**	1	200	-
Profundidad media del conducto	**5**	0.5	20	-
Días de funcionamiento	**100**	1	150	-
Horas diarias de funcionamiento*	**10**	1	24	-
Velocidad del aire en el conducto	**3**	0.01	10	-

* - El aporte energético también depende del momento del día en que el sistema está en funcionamiento. Para refrigeración se va a suponer siempre el periodo de máxima demanda (de 14:00 a 24:00 en el caso de 10 horas), que está próximo al periodo de máximo rendimiento. En el caso de la calefacción se van a hacer dos supuestos: periodo de máxima demanda (de 14:00 a 24:00 en el caso de 10 horas) y periodo de máximo rendimiento (de 24:00 a 10:00 en el caso de 10 horas).

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

A continuación se presentan el aporte energético total del sistema (en kWh) y la eficiencia del intercambio (en W por metro lineal de conducto) en las tres situaciones típicas supuestas:

	Aporte energético total: (kWh)	Eficiencia del intercambio: (W/m)
Refrigeración	1315	48.7
Calefacción máxima demanda	562	20.8
Calefacción máximo rendimiento	1256	41.9

Efectos de los parámetros:

Se presenta a continuación tabla comparativa con los valores que toman las expresiones del ahorro energético aportado por la climatización geotérmica en los extremos superior e inferior de cada una de las variables (manteniendo el resto de parámetros el valor típico anteriormente definido).

APORTE ENERGÉTICO (Kwh)	REFRIGERACIÓN			CALEF. MÁX DEM.			CALEF. MÁX RTO.		
Variable:	V. típico:	Extr. Inf:	Extr. Sup:	V. típico:	Extr. Inf:	Extr. Sup:	V. típico:	Extr. Inf:	Extr. Sup:
Conductividad térmica terreno	1315	506	**1383**	562	216	**591**	1256	485	**1329**
Calor específico terreno (ρ*C_p)	1315	1313	1316	562	562	563	1256	1254	1258
Rugosidad del conducto	1315	1315	1315	562	562	562	1256	1256	1256
Radio interior del conducto	1315	736	**13375**	562	313	**5685**	1256	700	**12025**
Longitud del conducto	1315	75	**7805**	562	32	**3316**	1256	71	**7360**
Profundidad media del conducto	1315	131	**1315**	562	56	**562**	1256	126	**1256**
Días de funcionamiento	1315	20	**1969**	562	12	**753**	1256	15	**1786**
Horas de funcionamiento	1315	213	**1676**	562	35	**1533**	1256	148	**1533**
Velocidad del aire en el conducto	1315	19	**2554**	562	8	**1093**	1256	18	**2412**

EFICIENCIA INTERCAMBIO (w/m)	REFRIGERACIÓN			CALEF. MÁX DEM.			CALEF. MÁX RTO.		
Variable:	V. típico:	Extr. Inf.:	Extr. Sup.:	V. típico:	Extr. Inf.:	Extr. Sup.:	V. típico:	Extr. Inf.:	Extr. Sup.:
Conductividad térmica terreno	48.7	18.7	**51.2**	20.8	8	**21.9**	41.9	16.2	**44.3**
Calor específico terreno (ρ*C_p)	48.7	48.6	48.7	20.8	20.8	20.8	41.9	41.8	41.9
Rugosidad del conducto	48.7	48.7	48.7	20.8	20.8	20.8	41.9	41.9	41.9
Radio interior del conducto	48.7	27.3	**495.4**	20.8	11.6	**210.6**	41.9	23.3	**400.8**
Longitud del conducto	48.7	**83.8**	43.4	20.8	**35.6**	18.4	41.9	**71.2**	36.8
Profundidad media del conducto	48.7	4.8	**48.7**	20.8	2.1	**20.8**	41.9	4.2	**41.9**
Días de funcionamiento	48.7	**75.3**	48.6	20.8	**43.5**	18.6	41.9	**51.4**	39.7
Horas de funcionamiento	48.7	**71**	24.3	20.8	11.5	22.2	41.9	**49.4**	22.2
Velocidad del aire en el conducto	48.7	0.7	**94.6**	20.8	0.3	**40.5**	41.9	0.6	**80.4**

En **negrita** están destacados los parámetros que mayor efecto producen sobre el aporte energético total o sobre la eficiencia del intercambio.

Algunos de ellos afectan positivamente en ambos: Conductividad del terreno, diámetro del conducto, profundidad medio del intercambio (aunque su efecto se ha supuesto constante a partir de los 5 m) y velocidad del aire en el conducto. Interesa siempre la mayor velocidad posible en el conducto, aunque estará limitada por las pérdidas de carga o por la aparición de ruido.

Otros tienen un carácter opuesto y habrá que llegar a una solución de compromiso:

Cuantos más días y horas de funcionamiento, mayor energía se obtiene del sistema pero menor es su eficiencia energética. A medida que la eficiencia disminuye, puede llegar un momento en que el aporte energético no compense el consumo eléctrico de los ventiladores que hacen circular el aire.

Algo similar ocurre con la longitud del conducto: cuanto más largo, mayor es el aporte energético, pero menor su eficiencia. Habrá que encontrar una solución de compromiso entre ahorro energético total e inversión empleada.

En este caso se podría decir que existe una combinación óptima para ahorro energético total y una combinación óptima diferente para máxima eficiencia del intercambio. En medio de ambas estaría la combinación óptima desde el punto de vista económico, siempre condicionada por otros factores como el tamaño del edificio, el consumo energético del sistema de ventilación o la generación de ruido.