

BIOURB

CARACTERIZACIÓN DE SOLUCIONES BIOCLIMÁTICAS SINGULARES APLICADAS A EDIFICIOS TERCIARIOS DE PEQUEÑA-MEDIA DIMENSIÓN EN ZONAS CLIMÁTICAS DE CASTILLA Y LEÓN Y REGIÓN NORTE DE PORTUGAL

ÍNDICE:

| | |
|---|-----------|
| 1. JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE DE LOS TRABAJOS..... | 05 |
| 1.1. Tipos de soluciones, zonas climáticas y edificios estudiados..... | 05 |
| 1.2. Breve descripción de la metodología empleada..... | 06 |
| | |
| 2. METODOLOGÍA DE CARACTERIZACIÓN..... | 07 |
| 2.1. Planteamiento metodológico general..... | 07 |
| 2.2. Caracterización de los edificios..... | 10 |
| 2.3. Soluciones bioclimáticas y parámetros característicos..... | 11 |
| 2.3.1. Muros trombe..... | 11 |
| 2.3.2. Invernaderos adosados..... | 12 |
| 2.3.3. Climatización geotérmica..... | 13 |
| | |
| 3. CARACTERIZACIÓN DE MUROS TROMBE..... | 15 |
| 3.1. Clasificación de muros trombe..... | 15 |
| 3.2. Parámetros característicos del muro trombe aplicado a pequeños-medianos edificios del sector terciario..... | 15 |
| 3.2.1. Parámetros característicos del trombe..... | 16 |
| 3.2.2. Parámetros característicos del edificio..... | 17 |
| 3.2.3. Parámetros de relación edificio-trombe..... | 17 |

| | |
|--|-----------|
| 4. MURO TROMBE NO VENTILADO SIMPLE..... | 19 |
| 4.1. Matriz de experimentos para muro trombe SIMPLE, NO ventilado..... | 19 |
| 4.2. Expresiones para el cálculo de ahorro energético en el muro trombe SIMPLE NO ventilado..... | 21 |
| 4.3. Valores típicos y combinación óptima en muro trombe SIMPLE NO ventilado..... | 24 |
| | |
| 5. MURO TROMBE VENTILADO SIMPLE..... | 25 |
| 5.1. Matriz de experimentos para muro trombe VENTILADO SIMPLE..... | 25 |
| 5.2. Expresiones para el cálculo de ahorro energético en el muro trombe VENTILADO SIMPLE..... | 26 |
| 5.3. Valores típicos y combinación óptima en muro trombe ventilado SIMPLE..... | 29 |
| 5.4. Estudio comparativo TV vs TNV..... | 30 |
| | |
| 6. MURO TROMBE NO VENTILADO CON RADIACIÓN SOLAR CONTROLADA (APANTALLADO)..... | 31 |
| 6.1. Consideraciones relativas al muro trombe APANTALLADO, ventilado y NO ventilado..... | 31 |
| 6.2. Matriz de experimentos para muro trombe APANTALLADO NO ventilado..... | 32 |
| 6.3. Expresiones para el cálculo de ahorro energético en el muro trombe APANTALLADO NO ventilado..... | 34 |
| 6.4. Valores típicos y combinación óptima en muro trombe APANTALLADO NO ventilado..... | 35 |

| | |
|--|-----------|
| 7. MURO TROMBE VENTILADO CON RADIACIÓN SOLAR CONTROLADA (APANTALLADO)..... | 37 |
| 7.1. Matriz de experimentos para muro trombe APANTALLADO ventilado..... | 37 |
| 7.2. Expresiones para el cálculo de ahorro energético en el muro trombe APANTALLADO ventilado..... | 39 |
| 7.3. Valores típicos y combinación óptima en muro trombe APANTALLADO ventilado..... | 40 |
| 7.4. Estudio comparativo TV vs TNV..... | 41 |
| 8. GALERÍAS E INVERNADEROS ADOSADOS..... | 43 |
| 8.1. Parámetros característicos de la galería bioclimática aplicada a pequeños-medianos edificios del sector terciario..... | 43 |
| 8.1.1. Parámetros característicos de la galería bioclimática..... | 44 |
| 8.1.2. Parámetros característicos del edificio..... | 45 |
| 8.1.3. Parámetros de relación edificio-galería..... | 45 |
| 8.2. Diseño de la matriz de experimentos..... | 46 |
| 8.3. Expresiones para el cálculo de ahorro energético en galería bioclimática adosada..... | 49 |
| 8.4. Valores típicos y combinación óptima de los parámetros en el invernadero o galería bioclimática adosada..... | 50 |
| 9. ATEMPERAMIENTO GEOTÉRMICO DEL AIRE DE RENOVACIÓN..... | 51 |
| 9.1. Planteamiento del estudio. Datos climáticos..... | 51 |
| 9.2. Pantalla principal. Datos característicos del estudio..... | 56 |
| 9.3. Resultados con valores típicos de los parámetros..... | 58 |
| 10. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO REALIZADO..... | 59 |

| | |
|--|-----------|
| ANEXOS..... | 61 |
| ANEXO I: Trombe SIMPLE NO ventilado-Resultados en TRNSYS, parámetros y estimaciones:..... | 61 |
| ANEXO II: Trombe SIMPLE NO ventilado -Correlación estadística:..... | 64 |
| ANEXO III: Trombe SIMPLE ventilado-Resultados en TRNSYS, parámetros y estimaciones:..... | 70 |
| ANEXO IV: Trombe SIMPLE ventilado -Correlación estadística:..... | 73 |
| ANEXO V: Trombe APANTALLADO NO ventilado-Resultados, en TRNSYS, parámetros y estimaciones:..... | 79 |
| ANEXO VI: Trombe APANTALLADO NO ventilado –Correlación estadística:..... | 81 |
| ANEXO VII: Trombe APANTALLADO ventilado-Resultados, en TRNSYS, parámetros y estimaciones:..... | 84 |
| ANEXO VIII: Trombe APANTALLADO ventilado–Correlación estadística. | 87 |
| ANEXO IX: Galería bioclimática-Resultados, en TRNSYS, parámetros y estimaciones:..... | 90 |
| ANEXO X: Galería bioclimática –Correlación estadística..... | 93 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 96 |

1. JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE DE LOS TRABAJOS

1.1. Tipos de soluciones, zonas climáticas y edificios estudiados.

Dentro de la Actividad 2 del proyecto BIOURB NATUR (Identificación de soluciones bioconstructivas y sostenibles en los edificios de espacios naturales), la Acción 2.1 (Desarrollo de los métodos de cálculo y adaptación de la herramienta SBC Cal a edificios de uso terciario) se ha planteado como una adaptación de la metodología de cálculo desarrollada para viviendas dentro del proyecto BIOURB a este otro tipo de edificios.

Como hipótesis de partida, se han definido para su caracterización edificios de una o dos plantas, 50 a 200 m² de superficie construida y situados en algunas de las zonas climáticas españolas definidas como D2, D1 y E1, mayoritarias en Castilla y León y con características muy similares a las zonas climáticas existentes en los departamentos interiores de la Región Norte de Portugal. (Trás-os-Montes, Douro y Alto Tâmega).

Dentro de los trabajos desarrollados en el proyecto BIOURB se vio que las soluciones bioclimáticas que presentaban un aporte energético realmente significativo en las zonas climáticas indicadas (>10 kWh/m²año) eran los muros trombe, las galerías e invernaderos adosados y las soluciones geotérmicas. El resto de soluciones presentaban un aporte energético muy pequeño y, en algunos casos, negativo por lo que no fue posible obtener correlaciones suficientemente significativas a partir de estudios paramétricos.

En el caso que nos ocupa (edificios de uso terciario), los períodos de ocupación de los edificios van a ser bastante inferiores al caso de las viviendas, por lo que los consumos energéticos también se van a ver aún más reducidos. Las soluciones que se estudiarán, por tanto, de un modo generalizado son las indicadas en el párrafo anterior, quedando el resto de soluciones sujetas a estudios particularizados para cada caso.

De este modo, las soluciones a estudiar dentro del presente trabajo son:

- 1. Muro trombe no ventilado simple.**
- 2. Muro trombe ventilado simple.**
- 3. Muro trombe no ventilado con radiación solar controlada.**
- 4. Muro trombe ventilado con radiación solar controlada.**
- 5. Invernadero adosado.**
- 6. Climatización geotérmica.**

1.2. Breve descripción de la metodología empleada.

El objetivo del presente trabajo es prever justificadamente el aporte energético (reducción de consumos) que proporciona cada solución al edificio donde está aplicada en función de una serie de parámetros que caracterizan el edificio y la solución bioclimática. La aplicación desarrollada deberá ser sencilla y accesible a todos los proyectistas en el campo de la edificación (arquitectos e ingenieros).

Para ello se ha realizado en primer lugar un estudio técnico del comportamiento energético de las distintas soluciones mediante aplicaciones específicas desarrolladas con el **software de cálculo energético TRNSYS** (V16). Los programas desarrollados permitieron una simulación horaria a lo largo de un año completo de operación a partir de unas condiciones y características prefijadas del edificio y del elemento bioclimático, determinando las demandas energéticas (calefacción y refrigeración) de cada edificio con y sin elemento bioclimático y el ahorro energético de dicho elemento.

No obstante, la utilización de este tipo de códigos no está accesible a todos los proyectistas. Con el fin de poder simplificar y generalizar los resultados obtenidos para unos pocos edificios a una multitud de edificaciones típicas, se han empleado **técnicas estadísticas**, mediante metodología TAGUCHI aplicada al diseño de experimentos. El tratamiento de los resultados mediante software de análisis estadístico (ANOVA) ha permitido determinar los **parámetros más relevantes** y su efecto sobre el ahorro energético. En estos casos, lo que se obtiene es un intervalo de confianza dentro del cual estará situado el ahorro energético, con una probabilidad de error pequeña y cuantificable.

En el caso particular de la climatización geotérmica se ha utilizado un planteamiento algorítmico, con un modelo de hojas de cálculo donde, desde una hoja principal donde se introducen los parámetros deseados, se llama a otras hojas secundarias que calculan el efecto de los diferentes parámetros sobre el intercambio térmico y devuelven el resultado final a la hoja principal.

A fin de poder indicar un orden de magnitud de los ahorros, para todas las soluciones estudiadas se ha incluido la estimación de un caso típico y de la combinación de factores estimada como más favorable (combinación óptima).

Dada la complejidad y el número de variables que intervienen en los sistemas, cabe indicar una vez más que los resultados en ningún caso pretenden ser un fiel espejo de la realidad, sino mostrar sólo una estimación aproximada de la misma en función de las variables más características del edificio y de la solución bioclimática empleada.

2. METODOLOGÍA DE CARACTERIZACIÓN

2.1. Planteamiento metodológico general.

Como norma general, para cada uno de los elementos a modelar se establecerá el siguiente procedimiento:

a) Caracterización de la solución bioclimática:

1. Determinación del **parámetro característico de dimensionado**.
2. Determinación de los posibles **parámetros influentes** en el resultado.
3. Establecer los **niveles lógicos** para cada uno de los parámetros.
4. Determinación del conjunto de **experimentos o combinaciones de parámetros cuyo ahorro energético se va a obtener por simulación**.
Se realizarán combinaciones paramétricas, eliminando casos poco lógicos, poco habituales o que no aporten información adicional. Si las combinaciones son muy elevadas, se reducirá el número de experimentos aplicando metodología Taguchi.

b) Estudio del comportamiento energético:

1. Se determinará el comportamiento energético de la solución aplicada a edificios típicos para unas condiciones climatológicas características de cada una de las Zonas Climáticas D2 (Zamora), D1 (Palencia) y E1 (León).
2. Se supondrá que el edificio donde está aplicado se encuentra climatizado, con unas condiciones interiores típicas de edificios terciarios de uso turístico:
 - Invierno (octubre a mayo): Valor mínimo de 20ºC de 10:00 a 14:00 y de 16:00 a 19:00 todos los días del periodo. Sin climatización durante el resto del tiempo.
 - Verano (junio a septiembre): Valor máximo de 25ºC de 10:00 a 14:00 y de 16:00 a 19:00 todos los días del periodo. Sin climatización durante el resto del tiempo.
3. Se establecerá un **factor de escala** que relacione una dimensión característica de la solución con la superficie a climatizar. Esto permitirá determinar la energía específica aportada por la solución (por m² de edificación) y, mediante comparación con la demanda energética del edificio, determinar si la energía aportada es aprovechable en su totalidad o si existen excedentes.
4. Determinar la **demandas térmicas y temperatura interior del edificio cuando el elemento bioclimático no está instalado**. Las demandas térmicas (de calefacción o refrigeración) estarán constituidas por el aporte energético necesario para mantener las temperaturas de las zonas climatizadas dentro de los límites prefijados. Todos estos

parámetros serán determinados **hora a hora** para unos datos meteorológicos prefijados.

5. Computar las demandas térmicas mensuales y anuales (calefacción o refrigeración) del edificio sin elemento bioclimático (referencia). Las **demandas térmicas diarias, mensuales o anuales** de calefacción y/o refrigeración se obtendrán como suma de todos los datos horarios. Los resultados se expresarán en valor absoluto o por m^2 de superficie climatizada.
6. Determinar **la demanda térmica del edificio con el elemento bioclimático instalado, en sus distintas combinaciones** paramétricas. Mismas consideraciones que en los apartados 4 y 5.
7. Determinar, por diferencia, el **aporte del elemento bioclimático** en cada caso. El aporte podrá calcularse para los períodos horario, diario, mensual y anual y se determinarán los siguientes conceptos:

Concepto:

Ahorro en periodo de calefacción

Ahorro en periodo de refrigeración

Ahorro anual (Calef.+Refrig.)

Magnitud:

$D_{SC}-D_{BC}$

$D_{SR}-D_{BR}$

$(D_{SC}-D_{BC}) + (D_{SR}-D_{BR})$

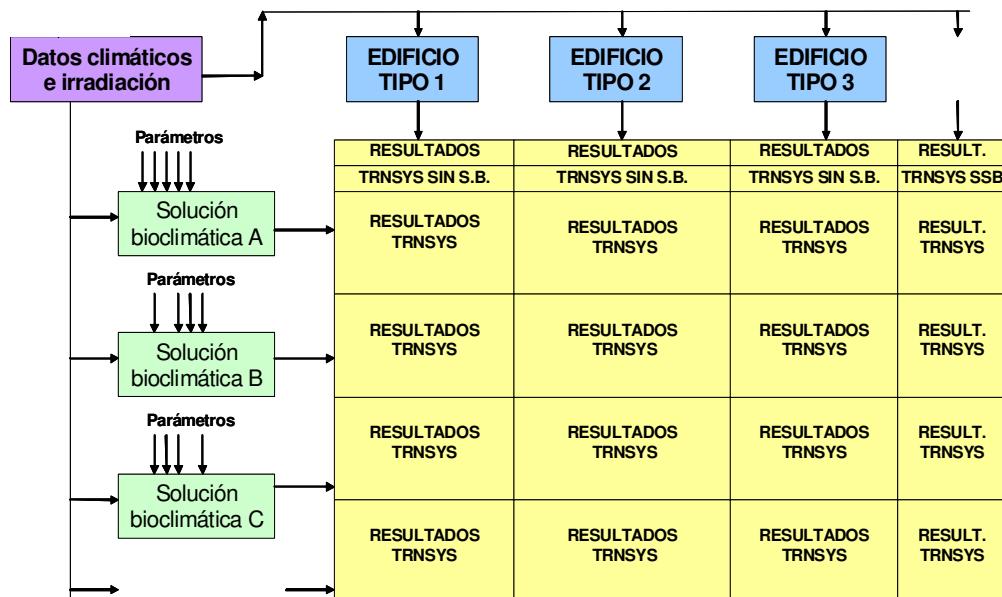
Siendo:

- D_{SC} = Demanda térmica de calefacción del edificio sin elemento bioclimático.
- D_{BC} = Demanda térmica de calefacción del edificio con elemento bioclimático.
- D_{SR} = Demanda térmica de refrigeración del edificio sin elemento bioclimático.
- D_{BR} = Demanda térmica de refrigeración del edificio con elemento bioclimático.

Cuando los ahorros resulten negativos, serán considerados como incrementos de consumo. Los resultados se pueden expresar en:

- Valor absoluto
- Valor por m^2 de edificio
- Valor por m^2 de solución (u otra unidad característica de su tamaño)

En la figura siguiente se presenta un esquema de las simulaciones a realizar. Cada fila representa una solución bioclimática e incluye un determinado número de simulaciones (predefinido) en función de la combinación de parámetros diseñada.



8. Obtención mediante **análisis estadístico** de todos los datos de una **expresión aproximada** para el ahorro energético **en función de los parámetros más significativos** de la solución (en períodos de calefacción y de refrigeración).
9. A partir de los resultados del análisis estadístico, obtención de **expresiones** de ahorro energético estimado **para** una serie de **configuraciones típicas en la edificación actual**.

La aplicación de los algoritmos específicos de la solución singular permitirá, a partir de los parámetros más significativos del edificio y de la solución, obtener los siguientes resultados correspondientes al conjunto edificio-solución:

- Ahorro o incremento de demanda energética en periodo de calefacción.
- Ahorro o incremento de demanda en periodo de refrigeración.
- Ahorro o incremento de demanda energética neta.

2.2. Caracterización de los edificios.

El aporte energético de los elementos bioclimáticos va a depender en gran medida de las características del edificio donde se aplican.



Para la caracterización de algunos de estos elementos bioclimáticos se utilizarán una serie de edificios tipo sencillos con una sola zona por planta, caracterizados por los siguientes parámetros:

- Superficie a climatizar (50 a 500 m²) y número de alturas (1 ó 2).
- Superficie orientada en cada dirección (N, S, E y O), en m²
- Porcentaje de huecos en cada dirección (N, S, E y O), en %
- Composición y características de los cerramientos exteriores en cada dirección, suelo y cubierta. La composición de los cerramientos cumplirá las condiciones de transmitancia mínima exigidas por el CTE del año 2006 [1].
- Composición y características de los huecos (vidrio y marco), dentro de las condiciones permitidas por el CTE-2006.
- Tipo de uso del edificio: El estudio se ha centrado en pequeños y medianos edificios del sector terciario de baja carga térmica, donde el consumo de calefacción es generalmente mayoritario frente al de refrigeración en la zona climática considerada.
- En cuanto a las renovaciones de aire, infiltraciones, carga interna de los edificios y condiciones higrotérmicas interiores, se han utilizado las condiciones exigidas en el Documento de aceptación de programas reconocidos de Certificación Energética a este tipo de edificios [2][3].

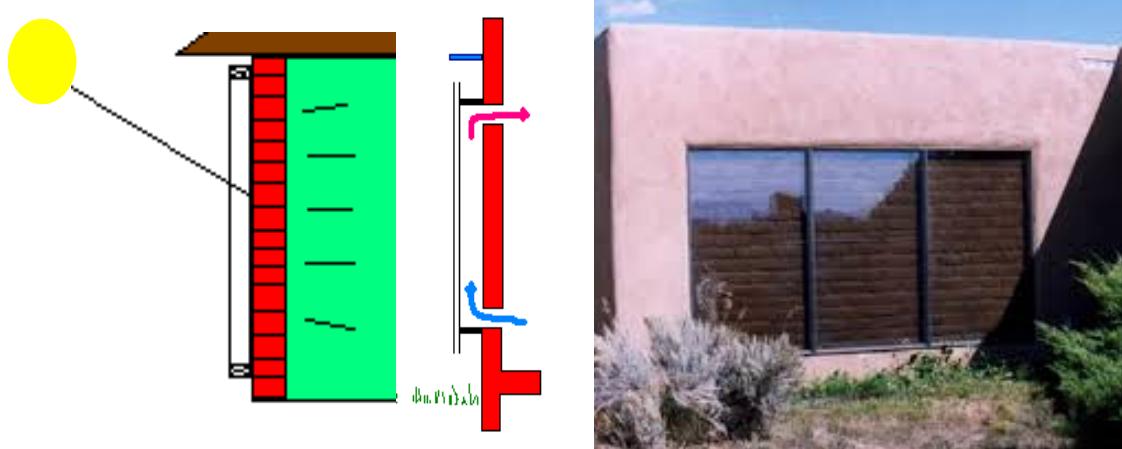
Los edificios reunirán las condiciones mínimas de aislamiento que exige el CTE en todos sus cerramientos, salvo en lo que respecta a las soluciones singulares: los muros trombe podrán definirse siguiendo criterios de diseño para este tipo de soluciones, sin tener en cuenta las restricciones genéricas del CTE.

2.3. Soluciones bioclimáticas y parámetros característicos.

De acuerdo a lo indicado en el punto 1.1, las soluciones bioclimáticas estudiadas dentro del presente trabajo son:

2.3.1. Muros trombe.

Con el nombre de “Muros Trombe” son conocidas 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.

Se conoce como muro trombe “ventilado” a aquel muro trombe que dispone de 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.

Tanto el muro trombe no ventilado como el ventilado pueden 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, por lo que a estos elementos los vamos a llamar “Muros trombe simples”.

Otro elemento que se ha considerado es 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 de este tipo de elementos, el muro permanece completamente cerrado durante todo el periodo de refrigeración, suponiendo por tanto que sus pérdidas energéticas son nulas.

Entre los **parámetros** de caracterización del muro **trombe no ventilado**, que se deberán considerar en el estudio, se encuentran:

- Transmitancia térmica del muro ($U=C/e$)
- Capacidad de almacenamiento térmico del muro (ρ^*Cp^*e)
- Espesor de la cámara de aire
- Características del vidrio exterior (conductividad y factor solar)
- La absorbividad del muro también se ha considerado como parámetro, si bien interesa tener siempre la más alta posible.

Como otros parámetros característicos **adicionales** del muro **trombe ventilado** estarían, en función del caso:

- Secciones de paso a través del muro.
- Caudal de aire de ventilación.

2.3.2. Invernaderos adosados.

El funcionamiento de un invernadero adosado o galería bioclimática es muy **similar al del muro trombe** y pueden darse las mismas variantes.



No obstante hay que tener en cuenta otras **dimensiones características adicionales** como son:

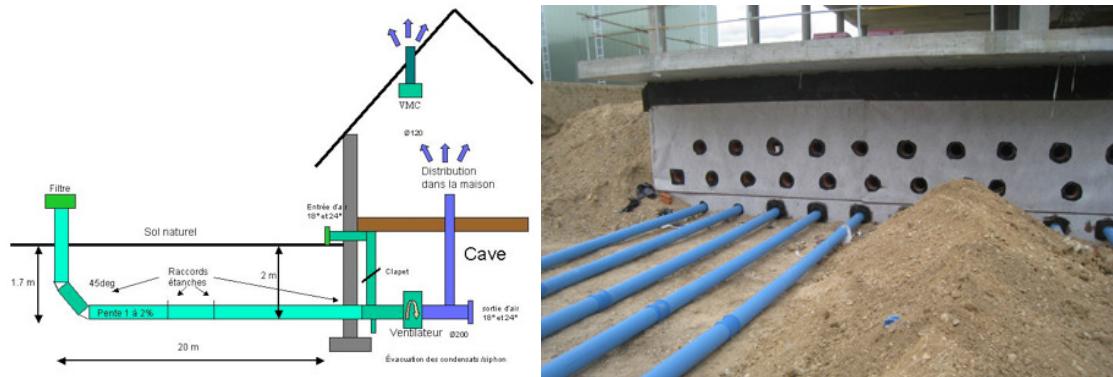
- Orientación, dimensiones y características térmicas (transmitancia y factor solar) de los elementos acristalados exteriores.
- Orientación, dimensiones y características térmicas (transmitancia y capacidad de almacenamiento) de los elementos exteriores no acristalados.
- Presencia, localización y características térmicas de elementos acristalados en los cerramientos interiores.

2.3.3. Climatización geotérmica.

El paso del aire de ventilación del edificio a través de **elementos subterráneos** permite un atemperado 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). La climatización geotérmica en verano puede ir acompañada además de elementos humidificadores, que en algunos casos producen un enfriamiento adicional, rebajando aún más la temperatura seca del aire.

Los límites al caudal máximo de aire en circulación vendrán impuestos en invierno por las condiciones mínimas de ventilación para mantener la calidad del aire (una ventilación superior al mínimo exigido supondría en cualquier caso pérdidas térmicas adicionales) y en verano por las condiciones aceptables de confort (valores de temperatura, humedad y velocidad del aire dentro de los límites de confort).

En la arquitectura moderna, la ventilación mediante conductos subterráneos (pozo canadiense o provenzal) es un ejemplo claro de climatización geotérmica del aire de ventilación, basada en los mismos principios.



Los parámetros necesarios para determinar el aporte energético serían:

- Caudal de aire.
- Profundidad media del intercambio.
- Gradiente térmico, conductividad y capacidad calorífica del terreno.
- Dimensiones características de los conductos (diámetro, longitud y rugosidad).
- Estrategia temporal de funcionamiento.

No se ha valorado el aporte de humedad ya que el aire, al ser enfriado, aumenta su humedad relativa hasta valores próximos al de saturación.

3. CARACTERIZACIÓN DE MUROS TROMBE

3.1. Clasificación de muros trombe.

Dentro del apartado correspondiente al muro trombe se han estudiado, por tanto, cuatro soluciones diferentes: muro trombe simple, ventilado y no ventilado, y muro trombe con radiación solar controlada (también ventilado y no ventilado).

3.2. Parámetros característicos del muro trombe aplicado a pequeños-medianos edificios del sector terciario.

Para poder reducir este tipo de elementos bioclimáticos a un número razonable de parámetros característicos, se van a establecer las siguientes **hipótesis**:

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. En el caso de edificios de dos plantas, 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. En los muros trombe de tipo “ventilado” se produce, en determinados momentos, una ventilación forzada en el interior del muro trombe, de acuerdo a las siguientes condiciones:
 - a. 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.
 - b. El intercambio de aire entre el muro trombe y el exterior en periodo de refrigeración (verano) se produce en todo momento.

De acuerdo con estas consideraciones, se indican a continuación los parámetros inicialmente estimados como relevantes para este tipo de soluciones bioclimáticas.

3.2.1 Parámetros característicos del trombe.

Los parámetros específicos de este tipo de muro trombe que mayor efecto pueden tener sobre el ahorro energético son los siguientes:

| Parámetro: | Unidades: | Valores límite: | Nomenclatura: |
|--|---------------------|-----------------|---------------|
| 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 ² K | 0.25 a 2 | UT |
| Capacidad de almacenamiento térmico del muro trombe (p*Cp) | MJ/m ³ K | 0.5 a 2.5 | QT |
| Difusividad térmica λ/p*Cp (***) | mm ² /s | 0.2 a 2 | DT |
| Espesor del hueco | m | 0.05 a 0.8 | EH |
| Transmitancia térmica del 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 10 | RH |
| Caudal de aire por metro cuadrado de muro trombe (****) | Kg/hm ² | 0.1 a 10 | 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. Relacionado con conductividad, espesor del trombe y coeficientes interiores de convección.

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

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

3.2.2. Parámetros característicos del edificio.

Como parámetros más relevantes del edificio que inciden sobre el ahorro energético se tienen los siguientes:

| Parámetro: | Unidades: | Valores límite: | Nomenclatura: |
|--|--------------------------------|------------------------------|---------------|
| Superficie de ventanas orientadas al norte (*) | - | 0 a 0.6 | VN |
| Superficie de ventanas orientadas al sur (*) | - | 0 a 0.6 | VS |
| Superficie de ventanas orientadas al este (*) | - | 0 a 0.6 | VE |
| Superficie de ventanas orientadas al oeste (*) | - | 0 a 0.6 | VO |
| Compacidad del edificio (**) | m ³ /m ² | 1 a 2 | CE |
| Transmitancia térmica media del edificio | W/m ² K | < CTE | UM |
| Coeficiente de pérdidas por envolvente (***) | W/m ³ K | 0.2 a 0.5 | CPE |
| Tipo de uso del edificio (****) | - | Uso terciario, baja carga | 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.

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

****- El estudio incluye pequeños edificios del sector terciario, con una o dos plantas y 50 a 200 m² de superficie.

3.2.3. Parámetros de relación edificio/trombe.

| Parámetro: | Unidades: | Valores límite: | Nomenclatura: |
|-----------------------------|-----------|-----------------|---------------|
| Relación de superficies (*) | - | 0.05 a 0.2 | RS |

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

4. MURO TROMBE NO VENTILADO SIMPLE

4.1 Matriz de experimentos para muro trombe SIMPLE, NO ventilado.

La matriz de experimentos empleada en el caso del muro trombe simple no ventilado, cuyas características y parámetros se corresponden con los indicados en el apartado 3.2 (excepto los dos últimos parámetros característicos del trombe que corresponden solo a muros trombe ventilados), es una matriz L₂₇(3¹³), con 13 factores a 3 niveles:

| Factor: | Nombre | Nivel 1 | Nivel 2 | Nivel 3 |
|----------------|--|----------------|----------------|----------------|
| A | Tamaño y aislamiento (*) | 100 CTE | 200 CTE | 50 AIS |
| B | Ventanas al norte (% s/muro) | 0 | 50 | 100 |
| C | Ventanas al sur (% s/muro) | 0 | 50 | 100 |
| D | Ventanas al este (% s/muro) | 0 | 50 | 100 |
| E | Ventanas al oeste (% s/muro) | 0 | 50 | 100 |
| F | Relación Strombe/Sacond. | 0.06 | 0.12 | 0.18 |
| G | Absortividad solar del trombe | 0.5 | 0.7 | 0.9 |
| H | Conductividad muro (kJ/hmK) | 1.8 | 3.6 | 5.4 |
| I | Specific capacitance (kJ/m ³ K) | 1000 | 2000 | 3000 |
| J | Espesor del muro (m) | 0.1 | 0.3 | 0.5 |
| K | Espesor del hueco (m) | 0.1 | 0.3 | 0.5 |
| L | Características del vidrio (**) | Sencillo | Doble | Triple B.E. |
| M | Orientación del edificio (***) | N-S | E-O | Libre |

(*) - Indica la superficie acondicionada del edificio y el nivel de aislamiento:

CTE=Aislamiento igual al mínimo exigido en el CTE-2006 para cada cerramiento.

AIS=Aislamiento doble al mínimo exigido en el CTE-2006 para cada cerramiento.

(**) - Indica el tipo de vidrio utilizado en el cerramiento exterior del trombe.

(***) – Indica el eje en el que se orienta la dimensión mayor del edificio cuando este no es simétrico.

La matriz de ensayo resultante (27 experimentos) es la siguiente:

| Factores: Nº Exp: | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M |
|------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 4 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 |
| 5 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| 6 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| 7 | 1 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| 8 | 1 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 |
| 9 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| 10 | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 11 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 |
| 12 | 2 | 1 | 2 | 3 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 |
| 13 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 | 3 | 1 | 2 |
| 14 | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 |
| 15 | 2 | 2 | 3 | 1 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 |
| 16 | 2 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 3 | 1 | 2 | 2 | 3 | 1 |
| 17 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 1 | 2 |
| 18 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 |
| 19 | 3 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 |
| 20 | 3 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 |
| 21 | 3 | 1 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 |
| 22 | 3 | 2 | 1 | 3 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 3 | 2 | 1 |
| 23 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 3 | 2 |
| 24 | 3 | 2 | 1 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 |
| 25 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 | 3 |
| 26 | 3 | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 | 3 | 1 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 |
| 27 | 3 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 | 3 | 1 | 3 | 2 |

En el ANEXO I se muestran los resultados de la aplicación del programa de cálculo a estos experimentos, en las condiciones climáticas correspondientes a Zamora (zona D2), Palencia (zona D1) y León (zona E1) y con los requisitos que se exigen a los programas reconocidos de certificación energética.

Como resultado final se ha obtenido, para cada experimento, el ahorro en calefacción y el consumo extra en refrigeración en el caso de incorporar al edificio un muro trombe sin ningún tipo de protección o cubrimiento, para el caso en que no existe ventilación.

Finalmente se ha realizado un análisis estadístico de correlación al conjunto de resultados obtenidos. Las variables estudiadas han sido todas las variables relevantes indicadas en el punto anterior, así como todas las combinaciones

dobles entre ellas y alguna combinación triple, entre las variables más significativas.

La técnica empleada es la de adición de variables: identificando primero la variable o combinación de variables más significativa y, a partir de ahí, ir incorporando variables por orden de importancia.

Se han estudiado por separado el ahorro en calefacción y el incremento en refrigeración, dejando sólo las variables estadísticamente significativas. El modelo incorpora todas las variables cuya probabilidad de que tengan efecto en el resultado final es superior al 95%. Los datos del análisis estadístico se presentan en el ANEXO II.

Como consecuencia se han obtenido las expresiones para la predicción del ahorro energético y del incremento de refrigeración en función de estos parámetros más significativos. El ahorro neto anual se ha obtenido como diferencia entre las dos expresiones precedentes.

4.2. Expresiones para el cálculo de ahorro energético en el muro trombe SIMPLE, NO ventilado.

A continuación se presentan las expresiones obtenidas a partir del análisis estadístico. Los datos se expresan en kWh anuales por cada metro cuadrado de muro trombe.

Ahorro en calefacción:

Zona D2 (Zamora):

(Valores entre -10 y 50 kWh/m²año, promedio 21,2 kWh/m²año)

$$\text{AC (kWh/m}^2\text{año)} = 135 * \text{FS} * \text{AS/UV} + 21,0 * \text{UT} - 20,9 * \text{VE} - 22,5 * \text{VO} - 13,8 * \text{VN} + 13,6$$

El valor R² de esta correlación es de 0,80. El error máximo cometido en la estimación es ±11 kWh/m²año.

Zona D1 (Palencia):

(Valores entre -10 y 50 kWh/m²año, promedio 20,3 kWh/m²año)

$$\text{AC (kWh/m}^2\text{año)} = 138 * \text{FS} * \text{AS/UV} + 20,7 * \text{UT} - 21,8 * \text{VE} - 22,2 * \text{VO} - 14,5 * \text{VN} + 14,7$$

El valor R² de esta correlación es de 0,81. El error máximo cometido en la estimación es ±10 kWh/m²año.

Zona E1 (León):

(Valores entre -11 y 55 kWh/m²año, promedio 23,0 kWh/m²año)

$$\text{AC (kWh/m}^2\text{año)} = 157 * \text{FS} * \text{AS/UV} + 23,6 * \text{UT} - 24,0 * \text{VE} - 23,3 * \text{VO} - 14,7 * \text{VN} + 17,7$$

El valor R^2 de esta correlación es de 0,83. El error máximo cometido en la estimación es $\pm 10 \text{ kWh/m}^2\text{año}$.

Incremento de consumo en refrigeración:

Zona D2 (Zamora):

(Valores entre 0 y 35 kWh/m²año, promedio 16,8 kWh/m²año)

$$\text{IR (kWh/m}^2\text{año)} = 0,664 * \text{CT/EM} + 17,3 * \text{VO} + 77,0 * \text{RS} + 33,9 * \text{FS*AS/UV} + 10,7 * \text{VE} + 14,0 * \text{VS} - 17,7 * \text{EM} + 2,71$$

El valor R^2 de esta correlación es de 0,81. El error máximo cometido en la estimación es $\pm 7 \text{ kWh/m}^2\text{año}$.

Zona D1 (Palencia):

(Valores entre 5 y 40 kWh/m²año, promedio 21,6 kWh/m²año)

$$\text{IR (kWh/m}^2\text{año)} = 0,705 * \text{CT/EM} + 18,1 * \text{VO} + 72,8 * \text{RS} + 34,0 * \text{FS*AS/UV} + 11,2 * \text{VE} + 15,0 * \text{VS} - 16,2 * \text{EM} - 0,23$$

El valor R^2 de esta correlación es de 0,78. El error máximo cometido en la estimación es $\pm 6 \text{ kWh/m}^2\text{año}$.

Zona E1 (León):

(Valores entre 4 y 35 kWh/m²año, promedio 16,8 kWh/m²año)

$$\text{IR (kWh/m}^2\text{año)} = 0,601 * \text{CT/EM} + 17,2 * \text{VO} + 58,8 * \text{RS} + 28,4 * \text{FS*AS/UV} + 10,8 * \text{VE} + 16,0 * \text{VS} - 16,5 * \text{EM} - 1,60$$

El valor R^2 de esta correlación es de 0,79. El error máximo cometido en la estimación es $\pm 6 \text{ kWh/m}^2\text{año}$.

Ahorro neto anual (sin sombreados):

Zona D2 (Zamora):

$$\text{AN (kWh/m}^2\text{año)} = 101 * \text{FS*AS/UV} - 0,664 * \text{CT/EM} + 21,0 * \text{UT} - 31,6 * \text{VE} - 36,5 * \text{VO} - 13,8 * \text{VN} - 14,0 * \text{VS} - 77,0 * \text{RS} + 17,7 * \text{EM} + 10,9$$

Zona D1 (Palencia):

$$\text{AN (kWh/m}^2\text{año)} = 104 * \text{FS*AS/UV} - 0,705 * \text{CT/EM} + 20,7 * \text{UT} - 33,0 * \text{VE} - 40,3 * \text{VO} - 14,5 * \text{VN} - 15,0 * \text{VS} - 72,8 * \text{RS} + 16,2 * \text{EM} + 14,9$$

Zona E1 (León):

$$\text{AN (kWh/m}^2\text{año)} = 129 * \text{FS*AS/UV} - 0,601 * \text{CT/EM} + 23,6 * \text{UT} - 34,8 * \text{VE} - 40,5 * \text{VO} - 14,7 * \text{VN} - 16,0 * \text{VS} - 58,8 * \text{RS} + 16,5 * \text{EM} + 19,3$$

Dados los horarios implicados en estos edificios del sector terciario, las demandas de calefacción son en torno al 60% de las demandas para el caso

de edificios de viviendas, mientras que las demandas de refrigeración son bastante similares en ambos casos.

No obstante, y también en parte por los horarios, el ahorro en calefacción que produce un muro trombe en estos edificios de terciario es de casi 1/3 del que se produce en el caso de las viviendas, lo que hace que el ahorro se vea prácticamente compensado con el incremento de consumo que el trombe provoca durante el periodo de refrigeración. No obstante, un oportuno y adecuado sombreado del trombe pueden llegar a desequilibrar la balanza en favor del ahorro, tal y como se verá en el muro trombe con radiación solar controlada.

Las expresiones obtenidas son muy similares en las tres zonas climáticas, si bien la tendencia es de un mayor ahorro general en los climas más fríos (especialmente debido al menor consumo energético extra en periodo de refrigeración).

En el ANEXO I se incluyen todas las estimaciones obtenidas mediante las expresiones anteriores en las tres zonas climáticas y sus diferencias, en valor absoluto, con el dato de referencia, así como los valores máximo y mínimo de estas diferencias. Los valores de calefacción se indican en color “verde” y los de refrigeración en color “rojo”.

En el ANEXO II se incluye la valoración estadística de los parámetros de correlación para las distintas expresiones.

4.3. Valores típicos y combinación óptima de los parámetros en muro trombe SIMPLE, NO ventilado.

A fin de poder dar una idea del ahorro que se puede llegar a conseguir en cada zona climática, se desarrolla a continuación un ejemplo con parámetros típicos o habituales y un ejemplo con sus parámetros en el extremo más favorable (combinación óptima).

Como combinación óptima se ha elegido aquella que maximiza el ahorro global (Ahorro en calefacción – Incremento en refrigeración), aún teniendo en cuenta que no coincide con el ahorro máximo en periodo de calefacción. De hecho este último se daría cuando el espesor del muro trombe es mínimo, manteniendo el resto de parámetros, y su valor sería unos 2-3 kWh superior al indicado para la llamada “combinación óptima”.

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 | 0.6 | 0.6 |
| Relación de superficies | 0.1 | 0.05 | 0.2 | 0.05 |
| Transmitancia térmica vidrio exterior | 3 | 1 | 6 | 1 |
| <i>Factor solar del vidrio exterior**</i> | <i>0.72</i> | <i>0.5</i> | <i>0.9</i> | <i>0.5</i> |
| <i>Transmitancia térmica trombe**</i> | <i>0.9</i> | <i>0.25</i> | <i>2</i> | <i>0.64</i> |
| Ventanas orientación norte | 0.1 | 0 | 0.6 | 0 |
| 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 |

*- 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:

| Ahorros en kWh/m ² año: | Zona climática: | | |
|---|-----------------|--------------|--------------|
| | D2 | D1 | E1 |
| Ahorro energético en calefacción | 24.63 | 23.60 | 26.38 |
| Consumo extra en refrigeración | 16.47 | 14.33 | 9.82 |
| Ahorro global estimado | 8.16 | 9.27 | 16.56 |

Ahorro energético 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 | 60.66 | 60.72 | 68.14 |
| Consumo extra en refrigeración | 20.09 | 17.66 | 12.44 |
| Ahorro global estimado | 40.57 | 43.06 | 55.70 |

5. MURO TROMBE VENTILADO SIMPLE

5.1 Matriz de experimentos para muro trombe VENTILADO SIMPLE.

La matriz de experimentos empleada en el caso del muro trombe simple ventilado, cuyas características y parámetros se corresponden con los indicados en el apartado 3.2, es una matriz L₂₇(3¹³), con 13 factores a 3 niveles:

| Factor: | Nombre | Nivel 1 | Nivel 2 | Nivel 3 |
|----------------|--|----------------|----------------|----------------|
| A | Tamaño y aislamiento | 100 CTE | 200 CTE | 50 AIS |
| B | Ventanas al norte (% s/muro) | 0 | 50 | 100 |
| C | Ventanas al sur (% s/muro) | 0 | 50 | 100 |
| D | Ventanas al este (% s/muro) | 0 | 50 | 100 |
| E | Ventanas al oeste (% s/muro) | 0 | 50 | 100 |
| F | Relación Strombe/Sacond. | 0.06 | 0.12 | 0.18 |
| G | Absortividad solar del trombe | 0.5 | 0.7 | 0.9 |
| H | Conductividad muro (kJ/hmK) | 1.8 | 3.6 | 5.4 |
| I | Specific capacitance (kJ/m ³ K) | 1000 | 2000 | 3000 |
| J | Espesor del muro (m) | 0.1 | 0.3 | 0.5 |
| K | Espesor del hueco (m) | 0.1 | 0.3 | 0.5 |
| L | Características del vidrio | Sencillo | Doble | Triple B.E. |
| M | Renov/hora en trombe (1/h) | 1 | 10 | 3 |

El diseño y la matriz de experimentos son coincidentes con los indicados en el caso del trombe no ventilado simple (apartado 4.1), con una única salvedad: dado que es preciso incorporar una nueva variable relacionada con la cantidad de aire en movimiento, se ha optado por sustituir el factor M, que hacía referencia a la orientación del edificio, por el número de renovaciones/hora en el interior del trombe. El parámetro de orientación del edificio, que no aparecía como significativo en el caso del trombe simple no ventilado, no va a ser considerado en este caso, pasando a ser un factor de ruido del sistema.

La variable FA (caudal de aire circulado por el interior del trombe, expresado en kg por hora y m² de trombe) está relacionada con las renovaciones hora, el espesor del hueco y la densidad del aire de acuerdo a la expresión: (FA=1,3*RH*EH)

En el ANEXO III se muestran los resultados de la aplicación del programa de cálculo a estos experimentos, en las condiciones climáticas correspondientes a Zamora (zona D2), Palencia (zona D1) y León (zona E1) y con los requisitos que se exigen a los programas reconocidos de certificación energética.

Como resultado final se ha obtenido, para cada experimento, el ahorro en calefacción y el consumo extra en refrigeración en el caso de incorporar al edificio un muro trombe ventilado, sin ningún tipo de protección o cubrimiento.

Finalmente se ha realizado un análisis estadístico de correlación al conjunto de resultados obtenidos. Las variables estudiadas han sido todas las variables relevantes indicadas en el punto anterior, así como todas las combinaciones dobles entre ellas y alguna combinación triple, entre las variables más significativas.

La técnica empleada es la de adición de variables: identificando primero la variable o combinación de variables más significativa y, a partir de ahí, ir incorporando variables por orden de importancia.

Se han estudiado por separado el ahorro en calefacción y el incremento en refrigeración, dejando sólo las variables estadísticamente significativas. El modelo incorpora todas las variables cuya probabilidad de que tengan efecto en el resultado final es superior al 95%. Los datos del análisis estadístico se presentan en el ANEXO IV.

Como consecuencia se han obtenido las expresiones para la predicción del ahorro energético y del incremento de refrigeración en función de estos parámetros más significativos. El ahorro neto anual se ha obtenido como diferencia entre las dos expresiones precedentes.

5.2. Expresiones para el cálculo de ahorro energético en el muro trombe VENTILADO SIMPLE.

A continuación se presentan las expresiones de ahorro energético obtenidas a partir del análisis estadístico.

Las expresiones indican el menor consumo energético, tanto en calefacción como en refrigeración, por el hecho de que el muro trombe dispone de una ventilación adicional. Los datos se expresan en kWh anuales por cada metro cuadrado de muro trombe.

Ahorro en calefacción:

Zona D2 (Zamora):

(Valores entre -2 y 50 kWh/m²año, promedio 22,9 kWh/m²año)

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

El valor R² de esta correlación es de 0,80. El error máximo cometido en la estimación es ±12 kWh/m²año.

Zona D1 (Palencia):

(Valores entre -4 y 50 kWh/m²año, promedio 22,0 kWh/m²año)

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

El valor R² de esta correlación es de 0,79. El error máximo cometido en la estimación es ±11 kWh/m²año.

Zona E1 (León):

(Valores entre -5 y 47 kWh/m²año, promedio 24,8 kWh/m²año)

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

El valor R² de esta correlación es de 0,82. El error máximo cometido en la estimación es ±11 kWh/m²año.

Incremento de consumo en refrigeración:

Zona D2 (Zamora):

(Valores entre 9 y 40 kWh/m²año, promedio 23,1 kWh/m²año)

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

El valor R² de esta correlación es de 0,86. El error máximo cometido en la estimación es ±9 kWh/m²año.

Zona D1 (Palencia):

(Valores entre 5 y 38 kWh/m²año, promedio 20,7 kWh/m²año)

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

El valor R² de esta correlación es de 0,86. El error máximo cometido en la estimación es ±7 kWh/m²año.

Zona E1 (León):

(Valores entre 3 y 33 kWh/m²año, promedio 16,0 kWh/m²año)

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

El valor R² de esta correlación es de 0,84. El error máximo cometido en la estimación es ±5 kWh/m²año.

Ahorro neto anual (sin sombreados):

Zona D2 (Zamora):

$$\begin{aligned} \text{AN (kWh/m}^2\text{año)} = & 101 \cdot \text{FS} \cdot \text{AS/UV} - 36,9 \cdot \text{VE} + 19,5 \cdot \text{UT} - 39,3 \cdot \text{VO} - 14,4 \cdot \text{VN} \\ & - 9,35 \cdot \text{RS/EM} - 0,872 \cdot \text{FS} \cdot \text{AS} \cdot \text{CT/EM} - 12,4 \end{aligned}$$

Zona D1 (Palencia):

$$\begin{aligned} \text{AN (kWh/m}^2\text{año)} = & 104 \cdot \text{FS} \cdot \text{AS/UV} - 38,4 \cdot \text{VE} + 18,8 \cdot \text{UT} - 39,3 \cdot \text{VO} - 15,0 \cdot \text{VN} \\ & - 8,95 \cdot \text{RS/EM} - 0,919 \cdot \text{FS} \cdot \text{AS} \cdot \text{CT/EM} - 10,6 \end{aligned}$$

Zona E1 (León):

$$\begin{aligned} \text{AN (kWh/m}^2\text{año)} = & 127 \cdot \text{FS} \cdot \text{AS/UV} - 38,8 \cdot \text{VE} + 21,8 \cdot \text{UT} - 39,7 \cdot \text{VO} - 15,0 \cdot \text{VN} - \\ & 8,44 \cdot \text{RS/EM} - 0,713 \cdot \text{FS} \cdot \text{AS} \cdot \text{CT/EM} - 11,3 \end{aligned}$$

El ahorro en calefacción que produce un muro trombe ventilado en estos edificios de terciario es del orden del 50-60% del que se produce en el caso de las viviendas, mientras que el incremento en consumo de refrigeración es ligeramente superior. Igual que en el caso del muro trombe no ventilado, el ahorro en calefacción se ve prácticamente compensado con el incremento de consumo que el trombe provoca durante el periodo de refrigeración. No obstante, y como ya se dijo en el caso del trombe no ventilado, un oportuno y adecuado sombreado del trombe pueden llegar a desequilibrar la balanza en favor del ahorro.

Las tendencias, en general, son las mismas que en el caso del trombe no ventilado: expresiones muy similares en las tres zonas climáticas y mayor ahorro en los climas más fríos.

El muro trombe simple ventilado es más eficiente que el trombe no ventilado, pues aporta ahorros energéticos tanto en período de calefacción como en período de refrigeración. El ahorro adicional en periodo de calefacción es del orden del 8-9% con respecto a un muro no ventilado de idénticas características, mientras que en periodo de refrigeración se tiene también un ligero ahorro adicional con respecto al trombe no ventilado.

El hecho de que no aparezca ningún parámetro relevante relacionado con la ventilación del trombe sólo indica que, para los niveles utilizados, el valor del caudal de aire recirculado es menos relevante que el resto de parámetros seleccionados. En definitiva, que lo importante es recircular una cierta cantidad de aire y que no es tan importante el valor del caudal de recirculación, siempre que este se encuentre dentro de los rangos de los niveles utilizados en el estudio paramétrico.

En el ANEXO III se incluyen todas las estimaciones obtenidas mediante las expresiones anteriores en las tres zonas climáticas y sus diferencias, en valor absoluto, con el dato de referencia, así como los valores máximo y mínimo de estas diferencias. Los valores de calefacción se indican en color “verde” y los de refrigeración en color “rojo”.

En el ANEXO IV se incluye la valoración estadística de los parámetros de correlación para las distintas expresiones.

5.3. Valores típicos y combinación óptima de los parámetros en muro trombe VENTILADO SIMPLE.

A fin de poder dar una idea del ahorro que se puede llegar a conseguir en cada zona climática, se desarrolla a continuación un ejemplo con parámetros típicos o habituales y un ejemplo con sus parámetros en el extremo más favorable (combinación óptima).

Igual que en el caso del muro trombe no ventilado, se ha elegido como combinación óptima aquella que maximiza el ahorro global (Ahorro en calefacción – Incremento en refrigeración), aún teniendo en cuenta que no coincide con el ahorro máximo en periodo de calefacción. De hecho este último se daría cuando el espesor del muro trombe es mínimo, manteniendo el resto de parámetros, y su valor sería unos 2 kWh superior al indicado para la llamada “combinación óptima”.

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 | 0.6 | 0.6 |
| Relación de superficies | 0.1 | 0.05 | 0.2 | 0.05 |
| 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 | 2 | 0.64 |
| 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:

| 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 |

Ahorro energético 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 |

5.4. Estudio comparativo TV vs TNV.

Las dos tablas siguientes indican las diferencias en los resultados obtenidos a partir de las correlaciones desarrolladas para los trombes simples “ventilado” y “no ventilado”.

| Ahorro con valores típicos de un muro trombe (kWh/m ² año): | | | | | | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Zona climática: | D2 | | | D1 | | | E1 | | |
| Concepto: | Ahorro Calef. | Incr. Refrig. | Ahorro global | Ahorro Calef. | Incr. Refrig. | Ahorro global | Ahorro Calef. | Incr. Refrig. | Ahorro global |
| TNV2: | 24.63 | 16.47 | 8.16 | 23.60 | 14.33 | 9.27 | 26.38 | 9.82 | 16.56 |
| TV2: | 26.49 | 15.92 | 10.58 | 25.56 | 13.54 | 12.02 | 28.46 | 9.55 | 18.91 |
| Ahorro (%): | 8% | 3% | 30% | 8% | 6% | 30% | 8% | 3% | 14% |

| Ahorro con valores óptimos del muro trombe (kWh/m ² año): | | | | | | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Zona climática: | D2 | | | D1 | | | E1 | | |
| Concepto: | Ahorro Calef. | Incr. Refrig. | Ahorro global | Ahorro Calef. | Incr. Refrig. | Ahorro global | Ahorro Calef. | Incr. Refrig. | Ahorro global |
| TNV2: | 60.66 | 20.09 | 40.57 | 60.72 | 17.66 | 43.06 | 68.14 | 12.44 | 55.70 |
| TV2: | 62.80 | 20.21 | 42.59 | 63.10 | 17.88 | 45.21 | 70.58 | 12.65 | 57.93 |
| Ahorro (%): | 4% | -1% | 5% | 4% | -1% | 5% | 4% | -2% | 4% |

La interpretación de estas dos tablas es la siguiente:

Los **valores típicos** indican una configuración de trombe idéntica para el caso “ventilado” y “no ventilado”. Como ya se dijo anteriormente, para una misma configuración, el trombe ventilado es más eficiente que el no ventilado (en torno al 8% en periodo de calefacción y en torno al 3-6% en periodo de refrigeración), lo que supone un incremento considerable en el ahorro global (15 al 30%, dependiendo de la zona climática).

Como ya se ha dicho también, un adecuado sombreado del trombe en verano reduciría las pérdidas por incremento de refrigeración y mejoraría el ahorro global en ambos casos, haciendo a su vez menor la diferencia entre ambos tipos de trombe.

Con respecto a los **valores óptimos**, los resultados obtenidos para el trombe ventilado son un 4% superiores en el caso de calefacción y muy similares para el ahorro en refrigeración, con un pequeño beneficio a favor del trombe ventilado.

No obstante, siempre habrá que tener en cuenta que existe un cierto margen de error en las correlaciones, ya que estas no incluyen todos los parámetros influyentes sino sólo los más relevantes.

6. MURO TROMBE NO VENTILADO CON RADIACIÓN SOLAR CONTROLADA (APANTALLADO).

6.1 Consideraciones relativas al muro trombe APANTALLADO, ventilado y NO ventilado.

Como ya se indicó en 2.3, un muro trombe apantallado es aquel que dispone en su cara exterior 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. Bajo esta premisa, la configuración óptima con respecto al tipo de vidrio es aquella que permite recibir la mayor cantidad de radiación solar cuando esta existe mientras que, cuando la radiación solar desaparece, la pantalla exterior se cierra y las pérdidas hacia el exterior se consideran nulas con independencia del tipo de vidrio presente. Como consecuencia, la configuración mediante vidrio simple es la más barata y la que permite, frente a las configuraciones de vidrio doble ó triple, un mayor aporte energético hacia el muro trombe. No tiene sentido pues estudiar las configuraciones de vidrio doble o triple y por ello, en el caso de trombe no ventilado, el factor L de la matriz de experimentos se ha mantenido invariable, con vidrio sencillo en todos los ensayos. En el caso de trombe ventilado, el factor L hace referencia al volumen de intercambio de aire entre los espacios interiores y el muro trombe.

Con el mismo planteamiento, el máximo rendimiento energético en verano de este tipo de solución se produce cuando la pantalla existente sobre el muro trombe permanece completamente cerrada durante todo el periodo de refrigeración, por lo que carece de sentido el cálculo de un consumo energético adicional en verano tanto en el trombe “ventilado” como en el “no ventilado” (el consumo energético adicional es nulo por definición del muro trombe apantallado). Por ello, el cálculo del ahorro energético se va a restringir, tanto en el muro “ventilado” como en el “no ventilado”, al periodo de calefacción.

6.2 Matriz de experimentos para muro trombe APANTALLADO, NO ventilado.

La matriz de experimentos empleada en el caso del muro trombe no ventilado apantallado es, al igual que en casos anteriores, una matriz $L_{27}(3^{13})$, con 13 factores a 3 niveles. Las características particulares de los edificios son las ya indicadas en el apartado 3.2.1 y, con respecto al muro trombe, son también las indicadas en dicho apartado con la excepción de la transmitancia y factor solar del vidrio exterior del trombe que van a tomar siempre valores fijos ($5,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ y 0.84 respectivamente) y los dos últimos parámetros, relacionados con la ventilación, que en este caso no existen.

Los factores y niveles se indican en la siguiente tabla:

| Factor: | Nombre | Nivel 1 | Nivel 2 | Nivel 3 |
|----------------|--|----------------|----------------|----------------|
| A | Tamaño y aislamiento | 100 CTE | 200 CTE | 50 AIS |
| B | Ventanas al norte (% s/muro) | 0 | 50 | 100 |
| C | Ventanas al sur (% s/muro) | 0 | 50 | 100 |
| D | Ventanas al este (% s/muro) | 0 | 50 | 100 |
| E | Ventanas al oeste (% s/muro) | 0 | 50 | 100 |
| F | Relación Strombe/Sacond. | 0.06 | 0.12 | 0.18 |
| G | Absortividad solar del trombe | 0.5 | 0.7 | 0.9 |
| H | Conductividad muro (kJ/hmK) | 1.8 | 3.6 | 5.4 |
| I | Specific capacitance (kJ/m ³ K) | 1000 | 2000 | 3000 |
| J | Espesor del muro (m) | 0.15 | 0.3 | 0.5 |
| K | Espesor del hueco (m) | 0.1 | 0.3 | 0.5 |
| L | Características del vidrio | Sencillo | Sencillo | Sencillo |
| M | Orientación del edificio | N-S | E-O | Libre |

La matriz de ensayo resultante (27 experimentos) es idéntica a la indicada en los apartados 4.1 y 5.1, con la única salvedad de que el parámetro L no tiene ningún tipo de efectos en este caso.

En el ANEXO V se muestran los resultados de la aplicación del programa de cálculo a estos experimentos, en las condiciones climáticas correspondientes a Zamora (zona D2), Palencia (zona D1) y León (zona E1) y con los requisitos que se exigen a los programas reconocidos de certificación energética.

Finalmente se ha realizado un análisis estadístico de correlación al conjunto de resultados obtenidos. Las variables estudiadas han sido todas las variables relevantes indicadas en el punto anterior, así como todas las combinaciones dobles entre ellas y alguna combinación triple, entre las variables más significativas.

La técnica empleada es la de adición de variables: identificando primero la variable o combinación de variables más significativa y, a partir de ahí, ir incorporando variables por orden de importancia, dejando sólo las variables estadísticamente significativas. El modelo incorpora todas las variables cuya

probabilidad de que tengan efecto en el resultado final es superior al 95%. Los datos del análisis estadístico se presentan en el ANEXO VI.

Como resultado final se han obtenido las expresiones para el ahorro energético en calefacción en el caso de incorporar al edificio un muro trombe apantallado (con radiación solar controlada), para el caso en que no existe ventilación.

6.3. Expresiones para el cálculo de ahorro energético en el muro trombe APANTALLADO, NO ventilado.

A continuación se presentan las expresiones obtenidas a partir del análisis estadístico. Los datos se expresan en kWh anuales por cada metro cuadrado de muro trombe.

Ahorro en calefacción:

Zona D2 (Zamora):

(Valores entre 50 y 155 kWh/m²año, promedio 87,8 kWh/m²año)

$$\text{AC (kWh/m}^2\text{año)} = 106 \cdot \text{AS} \cdot \text{UT} - 53,0 \cdot \text{VO} - 71,7 \cdot \text{VS} - 32,9 \cdot \text{VE} - 3,82 \cdot \text{ASCT/EM} - 9,88 \cdot \text{RS/EM} + 43,8$$

El valor R² de esta correlación es de 0,95. El error máximo cometido en la estimación es ±14 kWh/m²año.

Zona D1 (Palencia):

(Valores entre 52 y 160 kWh/m²año, promedio 90,1 kWh/m²año)

$$\text{AC (kWh/m}^2\text{año)} = 109 \cdot \text{AS} \cdot \text{UT} - 52,5 \cdot \text{VO} - 69,2 \cdot \text{VS} - 34,2 \cdot \text{VE} - 4,05 \cdot \text{ASCT/EM} - 9,69 \cdot \text{RS/EM} + 43,8$$

El valor R² de esta correlación es de 0,95. El error máximo cometido en la estimación es ±14 kWh/m²año.

Zona E1 (León):

(Valores entre 58 y 170 kWh/m²año, promedio 99,3 kWh/m²año)

$$\text{AC (kWh/m}^2\text{año)} = 121 \cdot \text{AS} \cdot \text{UT} - 54,3 \cdot \text{VO} - 70,3 \cdot \text{VS} - 34,7 \cdot \text{VE} - 4,49 \cdot \text{ASCT/EM} - 10,18 \cdot \text{RS/EM} + 45,6$$

El valor R² de esta correlación es de 0,96. El error máximo cometido en la estimación es ±13 kWh/m²año.

Las expresiones obtenidas son muy similares en las tres zonas climáticas, si bien la tendencia es de un mayor ahorro general en los climas más fríos. La diferencia entre zonas D2 y D1 es pequeña, si bien en la zona E1 se pueden llegar a reducciones globales de consumo energético en el entorno del 10% adicional.

Los ahorros energéticos en el caso de este tipo de edificios vienen a ser en torno al 50-60% de los ahorros que se tenían en el caso de las viviendas.

En el ANEXO V se incluyen todas las estimaciones obtenidas mediante las expresiones anteriores en las tres zonas climáticas y sus diferencias, en valor absoluto, con el dato de referencia, así como los valores máximo y mínimo de estas diferencias.

En el ANEXO VI se incluyen los parámetros de la correlación para las distintas expresiones.

6.4. Valores típicos y combinación óptima de los parámetros en muro trombe APANTALLADO, NO ventilado.

A fin de poder dar una idea del ahorro que se puede llegar a conseguir en cada zona climática, se desarrolla a continuación un ejemplo con parámetros típicos o habituales y un ejemplo con sus parámetros en el extremo más favorable (combinación óptima).

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 | 0.6 | 0.39 |
| <i>Transmitancia térmica trombe**</i> | 0.9 | 0.25 | 2 | 1.52 |
| Ventanas orientación oeste | 0.1 | 0 | 0.6 | 0 |
| Ventanas orientación sur | 0.1 | 0 | 0.6 | 0 |
| Ventanas orientación este | 0.1 | 0 | 0.6 | 0 |
| Relación de superficies | 0.12 | 0.05 | 0.20 | 0.05 |

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

**- No seleccionable: va asociado 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:

| Ahorros en kWh/m ² año: | Zona climática: | | |
|------------------------------------|-----------------|--------|--------|
| | D2 | D1 | E1 |
| Ahorro energético en calefacción | 104.65 | 106.89 | 117.26 |

Ahorro energético 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 | 160.76 | 163.28 | 178.35 |

7. MURO TROMBE VENTILADO CON RADIACIÓN SOLAR CONTROLADA (APANTALLADO)

7.1 Matriz de experimentos para muro trombe VENTILADO APANTALLADO.

La matriz de experimentos empleada en el caso del muro trombe ventilado apantallado es, al igual que en casos anteriores, una matriz $L_{27}(3^{13})$, con 13 factores a 3 niveles. Las características particulares de los edificios son las ya indicadas en el apartado 3.2.1 y, con respecto al muro trombe, son también las indicadas en dicho apartado con la excepción de la transmitancia y factor solar del vidrio exterior del trombe que van a tomar siempre valores fijos ($5,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ y 0.84 respectivamente).

Los factores y niveles se indican en la siguiente tabla:

| Factor: | Nombre | Nivel 1 | Nivel 2 | Nivel 3 |
|----------------|--|----------------|----------------|----------------|
| A | Tamaño y aislamiento | 100 CTE | 200 CTE | 50 AIS |
| B | Ventanas al norte (% s/muro) | 0 | 50 | 100 |
| C | Ventanas al sur (% s/muro) | 0 | 50 | 100 |
| D | Ventanas al este (% s/muro) | 0 | 50 | 100 |
| E | Ventanas al oeste (% s/muro) | 0 | 50 | 100 |
| F | Relación Strombe/Sacond. | 0.06 | 0.12 | 0.18 |
| G | Absortividad solar del trombe | 0.5 | 0.7 | 0.9 |
| H | Conductividad muro (kJ/hmK) | 1.8 | 3.6 | 5.4 |
| I | Specific capacitance (kJ/m ³ K) | 1000 | 2000 | 3000 |
| J | Espesor del muro (m) | 0.15 | 0.3 | 0.5 |
| K | Espesor del hueco (m) | 0.1 | 0.3 | 0.5 |
| L | Caudal de aire de ventilación por m ² de trombe (kg/hm ²) | 6.7 | 66.7 | 20 |
| M | Orientación del edificio | N-S | E-O | Libre |

El diseño y la matriz de experimentos son coincidentes con los indicados en el caso del trombe no ventilado simple (apartado 6.2), con la salvedad de que, como factor L, se ha incluido una variable adicional: el caudal de aire de ventilación por m² de trombe (kg/hm²). Dicha variable está relacionada con las renovaciones hora (RH) y el espesor del hueco (EH) de acuerdo a la expresión: $(FA=1,3 \cdot RH \cdot EH)$

Todos los muros trombe han sido calculados con el modelo de vidrio de una sola hoja identificado como "sencillo".

En el ANEXO VII se muestran los resultados de la aplicación del programa de cálculo a estos experimentos, en las condiciones climáticas correspondientes a Zamora (zona D2), Palencia (zona D1) y León (zona E1) y con los requisitos que se exigen a los programas reconocidos de certificación energética.

Finalmente se ha realizado un análisis estadístico de correlación al conjunto de resultados obtenidos. Las variables estudiadas han sido todas las variables relevantes indicadas en el punto anterior, así como todas las combinaciones dobles entre ellas y alguna combinación triple, entre las variables más significativas.

La técnica empleada es la de adición de variables: identificando primero la variable o combinación de variables más significativa y, a partir de ahí, ir incorporando variables por orden de importancia, dejando sólo las variables estadísticamente significativas. El modelo incorpora todas las variables cuya probabilidad de que tengan efecto en el resultado final es superior al 95%. Los datos del análisis estadístico se presentan en el ANEXO VIII.

Como resultado final se ha obtenido el ahorro en calefacción en el caso de incorporar al edificio un muro trombe ventilado con radiación solar controlada (apantallado).

7.2. Expresiones para el cálculo de ahorro energético en el muro trombe VENTILADO APANTALLADO.

A continuación se presentan las expresiones de ahorro energético obtenidas a partir del análisis estadístico. Los datos se expresan en kWh anuales de ahorro por cada metro cuadrado de muro trombe.

Ahorro en calefacción:

Zona D2 (Zamora):

(Valores entre 54 y 163 kWh/m²año, promedio 107,8 kWh/m²año)

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

El valor R² de esta correlación es de 0,93. El error máximo cometido en la estimación es ±24 kWh/m²año.

Zona D1 (Palencia):

(Valores entre 56 y 165 kWh/m²año, promedio 110,6 kWh/m²año)

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

El valor R² de esta correlación es de 0,94. El error máximo cometido en la estimación es ±24 kWh/m²año.

Zona E1 (León):

(Valores entre 63 y 181 kWh/m²año, promedio 122,7 kWh/m²año)

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

El valor R² de esta correlación es de 0,94. El error máximo cometido en la estimación es ±26 kWh/m²año.

En el ANEXO VII se incluyen todas las estimaciones obtenidas mediante las expresiones anteriores en las tres zonas climáticas y sus diferencias, en valor absoluto, con el dato de referencia, así como los valores máximo y mínimo de estas diferencias.

En el ANEXO VIII se incluyen los parámetros de la correlación para las distintas expresiones.

Las tendencias, en general, son las mismas que en el caso del trombe no ventilado: expresiones muy similares en las tres zonas climáticas y mayor ahorro en los climas más fríos.

Los ahorros energéticos con el trombe ventilado apantallado aplicado a este tipo de edificios vienen a ser en torno al 50% de los ahorros que se tenían en el caso de las viviendas.

El aporte adicional de la ventilación en el muro trombe apantallado es del orden del 20-25%. Un muro trombe ventilado de este tipo aporta aproximadamente un 20-25% más de energía que el muro trombe no ventilado.

Cabe destacar, por tanto, que la ventilación del trombe sí es efectiva. El hecho de que no aparezca ningún parámetro relevante relacionado con la ventilación del trombe sólo indica que, para los niveles utilizados, el valor del caudal de aire recirculado es menos relevante que el resto de parámetros seleccionados. En definitiva, que lo importante es recircular una cierta cantidad de aire y que no es tan importante el valor del caudal de recirculación, siempre que este se encuentre dentro de los rangos de los niveles utilizados en el estudio paramétrico.

7.3. Valores típicos y combinación óptima de los parámetros en muro trombe VENTILADO APANTALLADO.

A fin de poder dar una idea del ahorro que se puede llegar a conseguir en cada zona climática, se desarrolla a continuación un ejemplo con parámetros típicos o habituales y un ejemplo con sus parámetros en el extremo más favorable (combinación óptima).

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 | 0.6 | 0.47 |
| <i>Transmitancia térmica muro trombe**</i> | 0.9 | 0.25 | 2 | 1.46 |
| Ventanas orientación oeste | 0.1 | 0 | 0.6 | 0 |
| Ventanas orientación sur | 0.1 | 0 | 0.6 | 0 |
| Ventanas orientación este | 0.1 | 0 | 0.6 | 0 |
| Espesor del hueco en trombe | 0.2 | 0.1 | 0.5 | 0.5 |

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

**- No seleccionable: va asociado 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:

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

Ahorro energético 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 |

7.4. Estudio comparativo TV vs TNV.

La tabla siguiente indican las diferencias en los resultados obtenidos a partir de las correlaciones desarrolladas para los trombes apantallados “ventilado” y “no ventilado”.

Ahorro en calefacción de un muro trombe apantallado (kWh/m²año):

| Zona climática: | VALORES TÍPICOS | | | VALORES ÓPTIMOS | | |
|-----------------|-----------------|--------|--------|-----------------|--------|--------|
| | D2 | D1 | E1 | D2 | D1 | E1 |
| TNV1: | 104.65 | 106.89 | 117.26 | 160.76 | 163.28 | 178.35 |
| TV1: | 122.54 | 125.29 | 137.56 | 200.45 | 204.23 | 225.21 |
| Ahorro (%): | 17% | 17% | 17% | 25% | 25% | 26% |

Como se puede ver, el ahorro energético en calefacción de este tipo de trombe ventilado se encuentra entre un 17% (con valores típicos) y un 25% (con valores óptimos)

8. GALERÍAS E INVERNADEROS ADOSADOS

8.1. Parámetros característicos de la galería bioclimática aplicada a pequeños-medianos edificios del sector terciario.

La introducción de todos los posibles parámetros que pueden variar en una galería adosada daría lugar a una extensa combinación de arduo manejo y con resultados de difícil correlación. Con el fin de simplificar el número de parámetros y tratar de llegar a unos resultados coherentes, se va a hacer una reducción de parámetros a los casos más habituales, desarrollando una matriz de experimentos de tamaño similar a las utilizadas con anterioridad en los muros trombe. Para ello se han establecido las siguientes hipótesis:

1. No existe muro conductor: Las características del muro en contacto con el espacio de captación solar van a ser 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: la superficie acristalada principal del invernadero o galería será paralela al muro sur del edificio y va a estar siempre orientada en esta dirección ($\pm 18^\circ$), ya que el resto de orientaciones resultan en general poco adecuadas para el periodo de calefacción y bastante perjudiciales para el periodo de refrigeración.
3. La cubierta del espacio de captación solar va a ser siempre opaca y con la misma estructura y composición que el resto de cubiertas del edificio. De este modo, además de evitar irradiación solar en verano, se evitan los problemas estructurales a que puede dar lugar una superficie acristalada demasiado grande en la cubierta (acumulación de nieve).
4. La superficie frontal tendrá siempre un carácter semi-transparente (constituida en su totalidad por elementos vidriados).
5. Las superficies laterales (este y oeste) pueden ser vidriadas, con idénticas características a las de la superficie frontal, u opacas. En este último caso sus características coincidirán con las establecidas para el resto de muros de la vivienda.
6. No se ha tenido en cuenta ningún tipo de elementos de acumulación térmica dentro de la galería, ya que este parámetro no resultó ser relevante en el caso de las viviendas.
7. No existe ningún tipo de calefacción o aporte energético adicional dentro del espacio adosado.

De acuerdo con estas consideraciones, se indican a continuación los parámetros inicialmente estimados como relevantes para este tipo de soluciones bioclimáticas.

8.1.1. Parámetros característicos de la galería bioclimática.

Teniendo en cuenta las hipótesis y suposiciones efectuadas, los parámetros de caracterización del comportamiento energético de una galería bioclimática son:

| Parámetro: | Unidad: | Límites: | Nom: |
|---|--------------------|-----------|-----------------|
| Absorbancia solar de la galería (*) | - | 0.3 a 0.9 | AS |
| Transmitancia térmica del muro común | W/m ² K | <CTE(**) | U _M |
| Porcentaje de huecos en muro común | % | 0 a 100 | VI |
| Transmitancia térmica de huecos muro común | W/m ² K | 1 a 3.5 | U _{VI} |
| Transmitancia térmica global del muro común (***) | W/m ² K | 0.3 a 3.5 | U _G |
| Transmitancia térmica vidrio exterior galería | W/m ² K | 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 |

*- Porcentaje medio de la radiación solar absorbida hacia el interior de la galería cuando el sol incide directamente sobre sus vidrios exteriores.

**- Las expresiones obtenidas son válidas para edificios con transmitancia térmica inferior a la exigida por el CTE-2006 en su opción simplificada.

***- Valor promedio entre transmitancia de muros y transmitancia de huecos [(1-VI)*U_M+VI*U_H]).

****- Características de los huecos laterales iguales a las del vidrio exterior de la galería.

*****- 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 20°C, durante el periodo de calefacción.

8.1.2. Parámetros característicos del edificio.

Como parámetros más relevantes del edificio que inciden sobre el ahorro energético se tienen los siguientes:

| Parámetro: | Unidades: | Valores límite: | Nomenclatura: |
|--|--------------------------------|---------------------------------|---------------|
| Superficie de ventanas orientadas al norte (*) | - | 0 a 0.6 | VN |
| Superficie de ventanas orientadas al sur (*) | - | 0 a 0.6 | VS |
| Superficie de ventanas orientadas al este (*) | - | 0 a 0.6 | VE |
| Superficie de ventanas orientadas al 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 (****) | - | Sector terciario, baja carga | 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.

***- 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 pequeños edificios del sector terciario, con una o dos plantas y 50 a 200 m² de superficie.

8.1.3. Parámetros de relación edificio/galería.

| Parámetro: | Unidades: | Valores límite: | Nomenclatura: |
|-----------------------------|-----------|-----------------|---------------|
| Relación de superficies (*) | - | 0.05 a 0.2 | RS |

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

8.2. Diseño de la matriz de experimentos.

Con el fin de abarcar las variables necesarias e incluir posibles interacciones, se ha planteado una matriz de experimentos L27 (3^{13}), con 13 variables a tres niveles. Los factores y niveles se indican en la siguiente tabla:

| Factor: | Nombre | Nivel 1 | Nivel 2 | Nivel 3 |
|----------------|-----------------------------------|----------------|----------------|----------------|
| A | Tamaño y aislamiento | 100 CTE | 200 CTE | 50 AIS |
| B | Ventanas al norte (% s/muro) | 0 | 50 | 100 |
| C | Ventanas al sur (% s/muro) | 0 | 50 | 100 |
| D | Ventanas al este (% s/muro) | 0 | 50 | 100 |
| E | Ventanas al oeste (% s/muro) | 0 | 50 | 100 |
| F | Relación Smuro/Sacond. | 0.06 | 0.12 | 0.18 |
| G | Absortividad solar muro común | 0.5 | 0.7 | 0.9 |
| H | Porcentaje vidrio lateral (%) | 0 | 50 | 100 |
| I | Ventanas muro común (% muro) | 0 | 50 | 100 |
| J | Infiltraciones a la galería (1/h) | 0 | 2 | 5 |
| K | Ancho de la galería (m) | 1 | 3 | 5 |
| L | Características del vidrio | Sencillo | Doble | Triple B.E. |
| M | Intercambio de aire (RH) | 0 | 10 | 5 |

La mayor parte de los parámetros indicados son ya conocidos de los muros trombe, con la excepción de:

- La ventilación del trombe (FA) se ha expresado en forma de kg por hora y m^2 de superficie acristalada en orientación sur. Su relación con el número de renovaciones por hora en el interior del invernadero (RH) viene dada por la expresión: $FA(kg/hm^2)=1.3*RH(1/h)*E_H$
- La variable infiltraciones (INF) comprende el intercambio de aire que pueda haber entre el invernadero y el ambiente exterior, de forma independiente a la ventilación forzada. Entre el invernadero y el exterior siempre van a existir huecos que permitirán un cierto intercambio de aire entre ambos, mientras que entre el invernadero y el interior del edificio climatizado se ha supuesto un intercambio nulo, con la excepción de la ventilación forzada. Esta será siempre hacia el ambiente exterior en verano y hacia el interior del edificio en invierno, en este caso sólo mientras la temperatura del invernadero sea superior a 20°C.
- El porcentaje acristalado hacia invernadero (VI) hace referencia a los elementos vidriados (ventanas o puertas) que pueda haber entre el invernadero y el edificio. El reparto de cargas solares entre estos y el muro se va a hacer proporcional a las superficies, mientras que las características de estos cerramientos serán idénticas a las de los cerramientos acristalados del edificio.

- El porcentaje acristalado en muros E/O (V_{LE}) hace referencia a los cerramientos del espacio solar o invernadero orientados en estas direcciones. Los muros tendrán idénticas características que los muros del edificio, mientras que los elementos vidriados tendrán idénticas características a las del vidrio del invernadero en la orientación sur.

La matriz de ensayo resultante es la siguiente:

| Factores: Nº Exp: | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M |
|----------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 4 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 |
| 5 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| 6 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| 7 | 1 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| 8 | 1 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 |
| 9 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| 10 | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 11 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 |
| 12 | 2 | 1 | 2 | 3 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 |
| 13 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 | 3 | 1 | 2 |
| 14 | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 |
| 15 | 2 | 2 | 3 | 1 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 |
| 16 | 2 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 3 | 1 | 2 | 2 | 3 | 1 |
| 17 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 1 | 2 |
| 18 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 |
| 19 | 3 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 |
| 20 | 3 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 |
| 21 | 3 | 1 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 |
| 22 | 3 | 2 | 1 | 3 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 3 | 2 | 1 |
| 23 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 3 | 2 |
| 24 | 3 | 2 | 1 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 |
| 25 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 | 3 |
| 26 | 3 | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 | 3 | 1 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 |
| 27 | 3 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 | 3 | 1 | 3 | 2 |

En el ANEXO IX se muestran los resultados de la aplicación del programa de cálculo a estos experimentos, en las condiciones climáticas correspondientes a Zamora (zona D2), Palencia (zona D1) y León (zona E1) y con los requisitos que se exigen a los programas reconocidos de certificación energética.

A la hora de realizar el análisis estadístico de correlación al conjunto de resultados obtenidos, no se ha podido encontrar una correlación significativa para el caso de ahorro en calefacción (ninguna de las variables ha conseguido

entrar dentro del criterio aplicado $F<0.05$ o, lo que es lo mismo, probabilidad de que la variable estudiada tenga efecto en el resultado final $>95\%$).

Una posterior relajación de esta exigencia a valores menos rigurosos ($F<0.10$) ha permitido la entrada de un par de variables, pero aún así el valor de R^2 obtenido era realmente bajo (<0.20), por lo que no se puede obtener una correlación general suficientemente significativa entre las variables estudiadas y el ahorro en calefacción. Deberá hacerse por tanto un estudio específico para cada caso particular.

Por el contrario, sí se han encontrado correlaciones para el incremento en consumo de refrigeración, las cuales vienen indicadas en el ANEXO X. Como resultado final de este análisis se han obtenido expresiones para el incremento en consumo de refrigeración en el caso de incorporar al edificio un invernadero o galería bioclimática adosada.

8.3. Expresiones para el cálculo del ahorro energético en galería bioclimática adosada.

A continuación se presentan las expresiones de ahorro energético obtenidas a partir del análisis estadístico.

Ahorro en calefacción:

Zona D2 (Zamora):

(Valores entre -58 y +11 kWh/m²año, promedio -5,4 kWh/m²año)

No se ha encontrado correlación. Gran variabilidad en los resultados y, en general, se tienen ahorros energéticos negativos si bien existen casos donde este es ligeramente positivo.

Zona D1 (Palencia):

(Valores entre -60 y +10 kWh/m²año, promedio -5,4 kWh/m²año)

No se ha encontrado correlación. Gran variabilidad en los resultados y, en general, se tienen ahorros energéticos negativos si bien existen casos donde este es ligeramente positivo.

Zona E1 (León):

(Valores entre -70 y +12 kWh/m²año, promedio -7,2 kWh/m²año)

No se ha encontrado correlación. Gran variabilidad en los resultados y, en general, se tienen ahorros energéticos negativos si bien existen casos donde este es ligeramente positivo.

Incremento de consumo en refrigeración:

Zona D2 (Zamora):

(Valores entre -32 y +25 kWh/m²año, promedio 7,0 kWh/m²año)

$$\text{IR (kWh/m}^2\text{año)} = -43,0 \cdot \text{VI} + 11,8 \cdot \text{UG} + 24,6 \cdot \text{VE} + 11,0 \cdot \text{VLE} + 12,9 \cdot \text{VO} - 5,3$$

El valor R² de esta correlación es de 0,77. El error máximo cometido en la estimación es ±14 kWh/m²año.

Zona D1 (Palencia):

(Valores entre -32 y +24 kWh/m²año, promedio 6,0 kWh/m²año)

$$\text{IR (kWh/m}^2\text{año)} = -40,3 \cdot \text{VI} + 11,2 \cdot \text{UG} + 24,0 \cdot \text{VE} + 10,3 \cdot \text{VLE} + 13,5 \cdot \text{VO} - 6,1$$

El valor R² de esta correlación es de 0,77. El error máximo cometido en la estimación es ±14 kWh/m²año.

Zona E1 (León):

(Valores entre -29 y +20 kWh/m²año, promedio 4,6 kWh/m²año)

$$\text{IR (kWh/m}^2\text{año)} = -35,3 \cdot \text{VI} + 9,65 \cdot \text{UG} + 20,9 \cdot \text{VE} + 8,38 \cdot \text{VLE} + 12,6 \cdot \text{VO} - 5,6$$

El valor R^2 de esta correlación es de 0,74. El error máximo cometido en la estimación es $\pm 13 \text{ kWh/m}^2\text{año}$.

Las expresiones obtenidas son muy similares en las tres zonas climáticas, si bien la tendencia es de un mayor ahorro en el consumo energético en refrigeración en los climas más fríos.

En el ANEXO IX se incluyen en color “rojo” todas las estimaciones obtenidas mediante las expresiones anteriores en las tres zonas climáticas y sus diferencias, en valor absoluto, con el dato de referencia, así como los valores máximo y mínimo de estas diferencias.

En el ANEXO X se incluyen los parámetros de la correlación para el caso de la refrigeración.

En el caso de las galerías bioclimáticas cabe destacar que no todas ellas producen ahorros positivos durante el periodo de calefacción, ni tampoco todas producen ahorros negativos en el periodo de refrigeración. El signo del resultado va a depender de la combinación de parámetros seleccionada. Una combinación adecuada de los parámetros dará como resultado ahorros, aunque en general bastante inferiores a los del muro trombe. Una combinación de parámetros inadecuada puede hacer que el invernadero o galería bioclimática no sólo no produzca ahorros, sino que se tenga un mayor consumo energético que en el caso de que este no se hubiera incorporado.

8.4. Valores típicos y combinación óptima de los parámetros en el invernadero o galería bioclimática adosada.

En este caso no ha sido posible dar los valores típicos y óptimos, ya que no se pudieron obtener las expresiones de correlación para el ahorro energético en calefacción.

En cualquier caso, un valor alto en la transmitancia térmica de los muros del edificio y un reducido número de ventanas en el propio edificio, tanto hacia el exterior como hacia el lado del invernadero mejoran la eficiencia energética de este elemento bioclimático durante el periodo de calefacción.

Con respecto al periodo de refrigeración, se tiene en general un incremento de consumo salvo en aquellas soluciones con un gran número de ventanas entre el edificio y el invernadero, donde se llegan a tener ahorros importantes.

9. ATEMPERAMIENTO GEOTÉRMICO DEL AIRE DE RENOVACIÓN

9.1. Planteamiento del estudio. Datos climáticos.

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 períodos máximos de operación suelen estar comprendidos entre 1800 y 2400 horas por temporada (invierno o verano).

La utilización de un sistema de climatización geotérmica en edificios del sector terciario tiene las mismas connotaciones que en el caso de las viviendas: en invierno utilizará la cantidad mínima de aire exterior para mantener una calidad adecuada del aire interior, mientras que en verano la cantidad de aire introducido viene limitada por las condiciones aceptables de confort (valores de temperatura, humedad y velocidad del aire dentro de los límites de confort).

En el caso del calentamiento/refrigeración geotérmicos del aire de renovación, se han utilizado, bajo las mismas hipótesis, las hojas de cálculo ya desarrolladas en el proyecto BIOURB anterior [4] y [5]. Tal y como se indicaba en estos documentos, el programa de cálculo desarrollado para la estimación del aporte energético de un sistema de climatización geotérmica a cualquier tipo de edificio 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.

Como datos de base para las distintas zonas climáticas estudiadas se han utilizado los datos climáticos y térmicos del terreno correspondientes a las ciudades de Zamora (zona D2), Palencia (zona D1) y León (zona E1). En las tres figuras que siguen se pueden ver estos datos, obtenidos a partir de la propia hoja de cálculo y utilizados en cada uno de los supuestos.

| DATOS CLIMÁTICOS ZAMORA | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------------------|---------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------|---------------------|---------------------|-------|------|------|
| | T _s _{est} | | T _{sm} V Inv | T _{sm} V Ver | T _{sm} H Inv | T _{sm} H Ver | | T _{sm} Inv | T _{sm} Ver | | | |
| Temperatura del suelo estabilizada (°C): | 12.5 | | 7.67 | 18.07 | 12.50 | 12.50 | | 12.5 | 12.5 | | | |
| Temperaturas medias mensuales (°C): | | | | | | | | | | | | |
| MES: | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| TMED: | 4.30 | 6.30 | 8.25 | 10.45 | 14.00 | 18.45 | 21.75 | 21.30 | 18.66 | 13.41 | 8.06 | 4.85 |
| Funcionamiento en invierno: | | | | | | | | | | | | |
| Días: | 0 a 15 | 16 a 30 | 31 a 45 | 46 a 60 | 61 a 90 | 91 a 120 | >121 | | | | | |
| TMED: | 1 | 3 | 4 | 4.5 | 5 | 5.5 | 6 | | | | | |
| Funcionamiento en verano: | | | | | | | | | | | | |
| Días: | 0 a 15 | 16 a 30 | 31 a 45 | 46 a 60 | 61 a 90 | >91 | | | | | | |
| TMED: | 25 | 22.5 | 21.5 | 21 | 20.5 | 20 | | | | | | |
| Temperatura media del aire en inv. | | | | | | | | | | | | |
| En días de funcionamiento: | 5.5 | | 2.85 | | | | | | | | | |
| Dif. por intervalo horario: | -2.65 | | | | | | | | | | | |
| Temperatura media del aire en ver. | | | | | | | | | | | | |
| En días de funcionamiento: | 20 | | 23.65 | | | | | | | | | |
| Dif. por intervalo horario: | 3.65 | | | | | | | | | | | |
| Diferencias con respecto a la temperatura media diaria (°C): | | | | | | | | | | | | |
| R: Período de refrigeración (Junio-Septiembre) | | | | | | | | | | | | |
| C: Período de calefacción (Noviembre-Marzo) | | | | | | | | | | | | |
| H | R | C | | | | | | | | | | |
| 1 | -3.79 | -1.79 | | | | | | | | | | |
| 2 | -4.35 | -2.07 | | | | | | | | | | |
| 3 | -4.90 | -2.35 | | | | | | | | | | |
| 4 | -5.45 | -2.62 | | | | | | | | | | |
| 5 | -5.83 | -2.89 | | | | | | | | | | |
| 6 | -5.80 | -3.14 | | | | | | | | | | |
| 7 | -5.25 | -3.29 | | | | | | | | | | |
| 8 | -4.15 | -3.17 | | | | | | | | | | |
| 9 | -2.55 | -2.55 | | | | | | | | | | |
| 10 | -0.51 | -1.40 | | | | | | | | | | |
| 11 | 1.72 | 0.10 | | | | | | | | | | |
| 12 | 3.88 | 1.77 | | | | | | | | | | |
| 13 | 5.73 | 3.28 | | | | | | | | | | |
| 14 | 7.01 | 4.36 | | | | | | | | | | |
| 15 | 7.60 | 4.87 | | | | | | | | | | |
| 16 | 7.45 | 4.68 | | | | | | | | | | |
| 17 | 6.55 | 3.88 | | | | | | | | | | |
| 18 | 5.08 | 2.79 | | | | | | | | | | |
| 19 | 3.29 | 1.73 | | | | | | | | | | |
| 20 | 1.42 | 0.82 | | | | | | | | | | |
| 21 | -0.18 | 0.07 | | | | | | | | | | |
| 22 | -1.41 | -0.54 | | | | | | | | | | |
| 23 | -2.40 | -1.06 | | | | | | | | | | |
| 24 | -3.18 | -1.48 | | | | | | | | | | |
| TMED | 20.04 | 6.35 | | | | | | | | | | |

| DATOS CLIMÁTICOS PALENCIA | | | | | | | | | | |
|--|-------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|-------|-------|-------|
| | T _{Sest} | T _{sm V Inv} | T _{sm V Ver} | T _{sm H Inv} | T _{sm H Ver} | T _{sm Inv} | T _{sm Ver} | | | |
| Temperatura del suelo estabilizada (°C): | 11.77 | 7.25 | 16.86 | 11.77 | 11.77 | 11.77 | 11.77 | | | |
| Temperaturas medias mensuales (°C): | | | | | | | | | | |
| MES: | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| TMED: | 4.15 | 5.60 | 7.45 | 9.45 | 13.04 | 17.20 | 20.65 | 20.31 | 17.90 | 13.05 |
| Funcionamiento en invierno: | | | | | | | | | | |
| Días: | 0 a 15 | 16 a 30 | 31 a 45 | 46 a 60 | 61 a 90 | 91 a 120 | >121 | | | |
| TMED: | 0.5 | 2.5 | 3.5 | 4 | 4.5 | 5 | 5.5 | | | |
| Funcionamiento en verano: | | | | | | | | | | |
| Días: | 0 a 15 | 16 a 30 | 31 a 45 | 46 a 60 | 61 a 90 | >91 | | | | |
| TMED: | 24 | 21.5 | 20.5 | 20 | 19.5 | 19 | | | | |
| Temperatura media del aire en inv. | 2.73 | | | | | | | | | |
| En días de funcionamiento: | 5 | | | | | | | | | |
| Dif. por intervalo horario: | -2.27 | | | | | | | | | |
| Temperatura media del aire en ver. | 21.95 | | | | | | | | | |
| En días de funcionamiento: | 19 | | | | | | | | | |
| Dif. por intervalo horario: | 2.95 | | | | | | | | | |
| Diferencias con respecto a la temperatura media diaria (°C): | | | | | | | | | | |
| R: Período de refrigeración (Junio-Septiembre) | | | | | | | | | | |
| C: Período de calefacción (Noviembre-Marzo) | | | | | | | | | | |
| H | R | C | | | | | | | | |
| 1 | -3.67 | -1.58 | | | | | | | | |
| 2 | -4.13 | -1.85 | | | | | | | | |
| 3 | -4.64 | -2.06 | | | | | | | | |
| 4 | -5.33 | -2.52 | | | | | | | | |
| 5 | -5.33 | -2.52 | | | | | | | | |
| 6 | -5.09 | -2.76 | | | | | | | | |
| 7 | -4.36 | -2.81 | | | | | | | | |
| 8 | -3.09 | -2.56 | | | | | | | | |
| 9 | -1.39 | -1.78 | | | | | | | | |
| 10 | 0.57 | -0.64 | | | | | | | | |
| 11 | 2.56 | 0.78 | | | | | | | | |
| 12 | 4.38 | 2.20 | | | | | | | | |
| 13 | 5.85 | 3.35 | | | | | | | | |
| 14 | 6.70 | 4.04 | | | | | | | | |
| 15 | 6.91 | 4.18 | | | | | | | | |
| 16 | 6.40 | 3.75 | | | | | | | | |
| 17 | 5.33 | 2.83 | | | | | | | | |
| 18 | 3.83 | 1.83 | | | | | | | | |
| 19 | 2.11 | 1.03 | | | | | | | | |
| 20 | 0.50 | 0.35 | | | | | | | | |
| 21 | -0.79 | -0.24 | | | | | | | | |
| 22 | -1.77 | -0.72 | | | | | | | | |
| 23 | -2.55 | -1.06 | | | | | | | | |
| 24 | -3.16 | -1.42 | | | | | | | | |
| TMED | 19.04 | 5.83 | | | | | | | | |

| DATOS CLIMÁTICOS LEÓN | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|-------|-------|-------|------|
| | T _s _{est} | T _{sm} V Inv | T _{sm} V Ver | T _{sm} H Inv | T _{sm} H Ver | T _{sm} Inv | T _{sm} Ver | | | | |
| Temperatura del suelo estabilizada (°C): | 10.79 | 6.23 | 16.12 | 10.79 | 10.79 | 10.79 | 10.79 | | | | |
| Temperaturas medias mensuales (°C): | | | | | | | | | | | |
| MES: | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| TMED: | 3.10 | 4.43 | 6.59 | 8.55 | 12.11 | 16.35 | 19.65 | 19.10 | 16.75 | 11.74 | 6.80 |
| Funcionamiento en invierno: | | | | | | | | | | | |
| Días: | 0 a 15 | 16 a 30 | 31 a 45 | 46 a 60 | 61 a 90 | 91 a 120 | >121 | | | | |
| TMED: | 0 | 2 | 3 | 3.5 | 4 | 4.5 | 5 | | | | |
| Funcionamiento en verano: | | | | | | | | | | | |
| Días: | 0 a 15 | 16 a 30 | 31 a 45 | 46 a 60 | 61 a 90 | >91 | | | | | |
| TMED: | 23 | 20.5 | 19.5 | 19 | 18.5 | 18 | | | | | |
| Temperatura media del aire en inv. | | | | | | | | | | | |
| En días de funcionamiento: | | 1.68 | | | | | | | | | |
| Dif. por intervalo horario: | | 4.5 | | | | | | | | | |
| Dif. por intervalo horario: | | -2.82 | | | | | | | | | |
| Temperatura media del aire en ver. | | | | | | | | | | | |
| En días de funcionamiento: | | 21.46 | | | | | | | | | |
| Dif. por intervalo horario: | | 18 | | | | | | | | | |
| Dif. por intervalo horario: | | 3.46 | | | | | | | | | |
| Diferencias con respecto a la temperatura media diaria (°C): | | | | | | | | | | | |
| R: Período de refrigeración (Junio-Septiembre) | | | | | | | | | | | |
| C: Período de calefacción (Noviembre-Marzo) | | | | | | | | | | | |
| H | R | C | | | | | | | | | |
| 1 | -4.32 | -1.99 | | | | | | | | | |
| 2 | -4.89 | -2.31 | | | | | | | | | |
| 3 | -5.47 | -2.58 | | | | | | | | | |
| 4 | -6.22 | -3.13 | | | | | | | | | |
| 5 | -6.22 | -3.13 | | | | | | | | | |
| 6 | -5.95 | -3.37 | | | | | | | | | |
| 7 | -5.03 | -3.48 | | | | | | | | | |
| 8 | -3.58 | -3.16 | | | | | | | | | |
| 9 | -1.62 | -2.24 | | | | | | | | | |
| 10 | 0.64 | -0.80 | | | | | | | | | |
| 11 | 3.00 | 0.97 | | | | | | | | | |
| 12 | 5.15 | 2.71 | | | | | | | | | |
| 13 | 6.84 | 4.13 | | | | | | | | | |
| 14 | 7.86 | 5.04 | | | | | | | | | |
| 15 | 8.08 | 5.20 | | | | | | | | | |
| 16 | 7.53 | 4.62 | | | | | | | | | |
| 17 | 6.24 | 3.53 | | | | | | | | | |
| 18 | 4.46 | 2.29 | | | | | | | | | |
| 19 | 2.48 | 1.27 | | | | | | | | | |
| 20 | 0.59 | 0.41 | | | | | | | | | |
| 21 | -0.92 | -0.29 | | | | | | | | | |
| 22 | -2.11 | -0.89 | | | | | | | | | |
| 23 | -3.00 | -1.32 | | | | | | | | | |
| 24 | -3.72 | -1.74 | | | | | | | | | |
| TMED | 17.99 | 4.95 | | | | | | | | | |

9.2. Pantalla principal. Datos característicos para el estudio.

Además de la zona climática, el ahorro energético depende también de otros parámetros característicos del terreno y del sistema geotérmico empleado, así como de las estrategias de funcionamiento tanto en invierno como en verano. Se indican a continuación los resultados obtenidos en cada una de las tres zonas climáticas para un sistema geotérmico de tipo horizontal con 30 metros de conductos enterrados a 5 metros de profundidad. Las hipótesis de funcionamiento son 90 días en verano, de 14:00 a 24:00, y 120 días en invierno, de 7:00 a 22:00.

| ESTUDIO DE LA ENERGÍA APORTADA POR SISTEMAS GEOTÉRMICOS | | | | | |
|---|--------------------------------|-------|-------|-----------------------------------|---------|
| Zona climática de estudio: | D2 (Zamora) | | | | |
| Características del terreno: | | | | | |
| Conductividad térmica (W/mK): | 2 | | | | |
| Densidad (kg/m ³): | 2000 | | | | |
| Calor específico (J/kgK): | 900 | | | | |
| Características del sistema: | | | | | |
| Nº conductos en paralelo: | 1 | | | | |
| índice de rugosidad (mm): | 0.0015 | | | | |
| Radio interior del conducto (m): | 0.1 | | | | |
| Longitud del conducto (m): | 30 | | | | |
| Posición de los tubos (H o V): | H | | | | |
| Profundidad* (m): | 5 | | | | |
| Pérdida carga otros elementos (K): | 3 | | | | |
| *Profundidad máxima en conductos verticales y media en conductos horizontales | | | | | |
| Funcionamiento en invierno: | Horas/día: CelRef 1: CelRef 2: | | | | |
| Días de funcionamiento: | 120 | U2886 | V2886 | Energía total aportada (kWh): | 2012.10 |
| Hora de inicio: (1 a 24) | 7 | | D39 | Consumo ventilador (kWh): | 43.96 |
| Hora de fin: (1 a 24) | 22 | 15 | D54 | Potencia media (W): | 1117.83 |
| Caudal de aire (m ³ /h): | 600 | | | Potencia impulsión (w): | 24.42 |
| | | | | Eficiencia del intercambio (W/m): | 37.26 |
| Funcionamiento en verano: | | | | | |
| Días de funcionamiento: | 90 | U2166 | V2166 | Energía total aportada (kWh): | 1935.52 |
| Hora de inicio: (1 a 24) | 14 | | C46 | Consumo ventilador (kWh): | 21.34 |
| Hora de fin: (1 a 24) | 24 | 10 | C56 | Potencia media (W): | 2389.53 |
| Caudal de aire (m ³ /h): | 600 | | | Potencia impulsión (w): | 23.71 |
| | | | | Eficiencia del intercambio (W/m): | 79.65 |

| ESTUDIO DE LA ENERGÍA APORTADA POR SISTEMAS GEOTÉRMICOS | | | | | | | | | | |
|---|----------------------|------------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|
| Zona climática de estudio: | D1 (Palencia) | | | | | | | | | |
| Características del terreno: | | | | | | | | | | |
| Conductividad térmica (W/mK): | 2 | | | | | | | | | |
| Densidad (kg/m³): | 2000 | | | | | | | | | |
| Calor específico (J/kgK): | 900 | | | | | | | | | |
| Características del sistema: | | | | | | | | | | |
| Nº conductos en paralelo: | 1 | | | | | | | | | |
| índice de rugosidad (mm): | 0.0015 | | | | | | | | | |
| Radio interior del conducto (m): | 0.1 | | | | | | | | | |
| Longitud del conducto (m): | 30 | | | | | | | | | |
| Posición de los tubos (H o V): | H | | | | | | | | | |
| Profundidad* (m): | 5 | | | | | | | | | |
| Pérdida carga otros elementos (K): | 3 | | | | | | | | | |
| *Profundidad máxima en conductos verticales y media en conductos horizontales | | | | | | | | | | |
| Funcionamiento en invierno: | | | | | | | | | | |
| Días de funcionamiento: | 120 | Horas/día: | U2886 | V2886 | Energía total aportada (kWh): 1963.16 | | | | | |
| Hora de inicio: (1 a 24) | 7 | | D39 | | Consumo ventilador (kWh): 44.06 | | | | | |
| Hora de fin: (1 a 24) | 22 | | 15 | D54 | Potencia media (W): 1090.64 | | | | | |
| Caudal de aire (m³/h): | 600 | | | | Potencia impulsión (w): 24.48 | | | | | |
| | | | | | Eficiencia del intercambio (W/m): 36.35 | | | | | |
| Funcionamiento en verano: | | | | | | | | | | |
| Días de funcionamiento: | 90 | Horas/día: | U2166 | V2166 | Energía total aportada (kWh): 1777.26 | | | | | |
| Hora de inicio: (1 a 24) | 14 | | C46 | | Consumo ventilador (kWh): 21.42 | | | | | |
| Hora de fin: (1 a 24) | 24 | | 10 | C56 | Potencia media (W): 2194.15 | | | | | |
| Caudal de aire (m³/h): | 600 | | | | Potencia impulsión (w): 23.80 | | | | | |
| | | | | | Eficiencia del intercambio (W/m): 73.14 | | | | | |

| ESTUDIO DE LA ENERGÍA APORTADA POR SISTEMAS GEOTÉRMICOS | | | | | | | | | | |
|---|------------------|------------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|
| Zona climática de estudio: | E1 (León) | | | | | | | | | |
| Características del terreno: | | | | | | | | | | |
| Conductividad térmica (W/mK): | 2 | | | | | | | | | |
| Densidad (kg/m³): | 2000 | | | | | | | | | |
| Calor específico (J/kgK): | 900 | | | | | | | | | |
| Características del sistema: | | | | | | | | | | |
| Nº conductos en paralelo: | 1 | | | | | | | | | |
| índice de rugosidad (mm): | 0.0015 | | | | | | | | | |
| Radio interior del conducto (m): | 0.1 | | | | | | | | | |
| Longitud del conducto (m): | 30 | | | | | | | | | |
| Posición de los tubos (H o V): | H | | | | | | | | | |
| Profundidad* (m): | 5 | | | | | | | | | |
| Pérdida carga otros elementos (K): | 3 | | | | | | | | | |
| *Profundidad máxima en conductos verticales y media en conductos horizontales | | | | | | | | | | |
| Funcionamiento en invierno: | | | | | | | | | | |
| Días de funcionamiento: | 120 | Horas/día: | U2886 | V2886 | Energía total aportada (kWh): 1736.07 | | | | | |
| Hora de inicio: (1 a 24) | 7 | | D39 | | Consumo ventilador (kWh): 44.15 | | | | | |
| Hora de fin: (1 a 24) | 22 | | 15 | D54 | Potencia media (W): 964.49 | | | | | |
| Caudal de aire (m³/h): | 600 | | | | Potencia impulsión (w): 24.53 | | | | | |
| | | | | | Eficiencia del intercambio (W/m): 32.15 | | | | | |
| Funcionamiento en verano: | | | | | | | | | | |
| Días de funcionamiento: | 90 | Horas/día: | U2166 | V2166 | Energía total aportada (kWh): 1859.79 | | | | | |
| Hora de inicio: (1 a 24) | 14 | | C46 | | Consumo ventilador (kWh): 21.48 | | | | | |
| Hora de fin: (1 a 24) | 24 | | 10 | C56 | Potencia media (W): 2296.04 | | | | | |
| Caudal de aire (m³/h): | 600 | | | | Potencia impulsión (w): 23.86 | | | | | |
| | | | | | Eficiencia del intercambio (W/m): 76.53 | | | | | |

Los resultados en los tres casos son bastante similares (± 5 a 15%), resultando, como tendencia general, más eficiente en las zonas climáticas menos frías. No obstante, dado que en todos los casos se ha tenido en cuenta el mismo número de días de operación, dicha diferencia podría verse compensada con un mayor número de días de calefacción en las zonas más frías.

9.3. Resultados con valores típicos de los parámetros.

Se indica a continuación la relación de valores típicos de los parámetros ya utilizada en el estudio anterior de BIOURB [4] y [5].

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 y para las tres zonas climáticas del estudio.

| | Aporte energético total: (kWh) | | | Eficiencia del intercambio: (W/m) | | |
|--------------------------------|-----------------------------------|------|------|--------------------------------------|-------|------|
| | D2 | D1 | E1 | D2 | D1 | E1 |
| Refrigeración | 1315 | 1202 | 1261 | 48.7 | 44.52 | 46.7 |
| Calefacción máxima demanda | 562 | 595 | 488 | 20.8 | 22.10 | 18.1 |
| Calefacción máximo rendimiento | 1256 | 1177 | 1187 | 41.9 | 39.23 | 39.6 |

10. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO REALIZADO PARA PEQUEÑOS Y MEDIANOS EDIFICIOS DEL SECTOR TERCIARIO.

Muro trombe simple:

En el caso de los muros trombe simples, el ahorro energético en periodo de calefacción es muy inferior (menos de la mitad) del que se tenía en el caso de las viviendas, siendo además muy variable y con dependencia de múltiples factores. En cualquier caso, casi siempre es positivo, pudiendo llegar hasta valores próximos a 60-70 kwh/año por m² de muro trombe en el caso óptimo tanto para el muro trombe ventilado como para el no ventilado. El ahorro en el muro trombe ventilado suele ser un 4-8% superior al del trombe no ventilado.

No obstante, la presencia de muros trombe supone un mayor consumo en periodo de refrigeración para los edificios, de hasta 40 kwh/año en el caso más desfavorable, lo que limita el ahorro energético global a un valor máximo de 40-45 kWh/año, pudiendo llegar hasta valores máximos de 60 kWh/año en la zona E1. La existencia de ventilación en el muro trombe eleva un poco los valores anteriores.

Una correcto dimensionado y adecuación de las características del muro a las del edificio, unido al uso de sombreados, permitirá obtener el máximo rendimiento del muro trombe.

Muro trombe apantallado:

Cuando al muro trombe se le añade una pantalla para el control óptimo de la radiación solar, los ahorros energéticos se ven incrementados hasta valores mínimos de 50 kWh/año por m² y máximos de 165 a 180 kwh/año en función de la zona climática. Si el muro es ventilado se puede llegar a valores de 205 kwh/año en zonas D1 y D2 y hasta 225 kwh/año en zona E1 (+20-25% en ambos casos). En este caso no existe incremento de consumos energéticos durante el periodo de refrigeración.

En los edificios del sector terciario, el muro trombe apantallado representa un ahorro de entre el 60-80% del que se tenía en el caso de las viviendas.

Tanto en el muro trombe simple como en el apantallado, los ahorros energéticos en las zonas climáticas D1 y D2 son bastante similares, siendo superiores (entre +10 y +20%) los correspondientes a la zona E1.

Dependiendo del dimensionamiento entre la superficie del trombe y la superficie acondicionada, este tipo de soluciones pueden llegar a conseguir ahorros en los edificios del sector terciario de baja carga de hasta el 15% en el consumo energético de calefacción en el caso del muro trombe simple y hasta el 35% en el caso del trombe con radiación solar controlada.

Invernadero o galería bioclimática:

Los invernaderos adosados o galerías bioclimáticas en orientación sur no siempre resultan beneficiosos desde el punto de vista de ahorro energético. De

hecho, si bien en algunos casos se tiene un ligero ahorro en calefacción, en la mayor parte de los casos el balance energético en periodo de calefacción resulta negativo, ya que el invernadero está evitando tanto el soleamiento indirecto sobre el muro sur como el soleamiento directo hacia el interior a través de las ventanas en dicha orientación.

Bajo el mismo razonamiento, los invernaderos o galerías bioclimáticas no siempre resultan perjudiciales durante el periodo de refrigeración como ocurría en el caso del muro trombe. Existen ciertos casos, en especial los que tienen gran cantidad de ventanas en orientación sur, donde el propio invernadero hace de pantalla para evitar la irradiación solar hacia el interior del edificio.

El balance global invierno/verano resulta negativo en la mayor parte de los casos.

Climatización geotérmica:

Con respecto a la climatización geotérmica, los valores de aporte energético son idénticos a los que se tenían en el caso de edificios de viviendas. Un adecuado diseño y control del sistema podría llegar a dar rendimientos superiores a 80 kWh de ahorro energético por metro lineal de conducto (en torno a 40 en periodo de calefacción y otros 40-50 en periodo de refrigeración). Los resultados son muy similares en las tres zonas climáticas estudiadas.

En la tabla siguiente se presenta, a modo de resumen, el orden de magnitud de la energía aportada por los diferentes elementos en las distintas zonas climáticas.

| ENERGÍA APORTADA EN: | Periodo de calefacción: | | Periodo de refrigeración: | |
|--|---|---|---|---|
| | Zonas D1 y D2 | Zona E1 | Zonas D1 y D2 | Zona E1 |
| Trombe simple NO ventilado: | -10 a 60 kWh/m ² año | -10 a 68 kWh/m ² año | -40 a 0 kWh/m ² año | -35 a -4 kWh/m ² año |
| Trombe simple ventilado: | -5 a 63 kWh/m ² año | -5 a 71 kWh/m ² año | -40 a -5 kWh/m ² año | -33 a -3 kWh/m ² año |
| Trombe NO ventilado con radiación solar controlada: | 50 a 165 kWh/m ² año | 58 a 180 kWh/m ² año | - | - |
| Trombe ventilado con radiación solar controlada: | 55 a 205 kWh/m ² año | 63 a 225 kWh/m ² año | - | - |
| Invernadero o galería bioclimática adosada | -60 a 11 kWh/m ² año | -70 a 12 kWh/m ² año | -25 a 32 kWh/m ² año | -20 a 30 kWh/m ² año |
| Geotermia: | 20 a 50 kWh/m.año | 20 a 50 kWh/m.año | 40 a 70 kWh/m.año | 40 a 70 kWh/m.año |

ANEXO II: Trombe SIMPLE NO ventilado-Correlaciones estadísticas.

Estimación de la demanda de calefacción en Zona D2 (Zamora):

| Variables introducidas | | | |
|------------------------|------------------------|----------------------|--------|
| Modelo | Variables Introducidas | Variables eliminadas | Método |
| 1 | FSAS/UV | | * |
| 2 | UT | | * |
| 3 | VE | | * |
| 4 | VO | | * |
| 5 | VN | | * |

* -Hacia adelante (criterio: F>0,05)

| Resumen del modelo | | | | |
|--------------------|-------------------|------------|----------------------|-----------------------------|
| Modelo | R | R cuadrado | R cuadrado corregida | Error típ. de la estimación |
| 1 | ,671 ^a | .450 | .428 | 10.475537 |
| 2 | ,779 ^b | .606 | .574 | 9.046991 |
| 3 | ,851 ^c | .724 | .688 | 7.739984 |
| 4 | ,897 ^d | .804 | .769 | 6.660599 |
| 5 | ,917 ^e | .840 | .802 | 6.161007 |

| ANOVA | | | | | | |
|--------|-----------|-------------------|----|------------------|--------|-------------------|
| Modelo | | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
| 1 | Regresión | 2247.479 | 1 | 2247.479 | 20.481 | ,000 ^b |
| | Residual | 2743.422 | 25 | 109.737 | | |
| | Total | 4990.901 | 26 | | | |
| 2 | Regresión | 3026.548 | 2 | 1513.274 | 18.489 | ,000 ^c |
| | Residual | 1964.353 | 24 | 81.848 | | |
| | Total | 4990.901 | 26 | | | |
| 3 | Regresión | 3613.032 | 3 | 1204.344 | 20.103 | ,000 ^d |
| | Residual | 1377.869 | 23 | 59.907 | | |
| | Total | 4990.901 | 26 | | | |
| 4 | Regresión | 4014.902 | 4 | 1003.726 | 22.625 | ,000 ^e |
| | Residual | 975.999 | 22 | 44.364 | | |
| | Total | 4990.901 | 26 | | | |
| 5 | Regresión | 4193.783 | 5 | 838.757 | 22.097 | ,000 ^f |
| | Residual | 797.118 | 21 | 37.958 | | |
| | Total | 4990.901 | 26 | | | |

| Coeficientes | | | | | | |
|--------------|--------------------------------|------------|--------|--------------------------|--------|------|
| Modelo | Coeficientes no estandarizados | | | Coeficientes tipificados | | |
| | B | Error típ. | Beta | t | Sig. | |
| 1 | (Constante) | 2.856 | 4.532 | | ,630 | ,534 |
| | FSAS/UV | 96.274 | 21.273 | ,671 | 4.526 | ,000 |
| | UT | -25.233 | 9.910 | | -2.546 | ,018 |
| 2 | (Constante) | 135.079 | 22.265 | ,942 | 6.067 | ,000 |
| | FSAS/UV | 21.141 | 6.853 | ,479 | 3.085 | ,005 |
| | VE | -17.650 | 8.818 | | -2.002 | ,057 |
| 3 | (Constante) | 130.240 | 19.111 | ,908 | 6.815 | ,000 |
| | FSAS/UV | 19.334 | 5.891 | ,438 | 3.282 | ,003 |
| | UT | -25.156 | 8.040 | -,345 | -3.129 | ,005 |
| 4 | (Constante) | 135.372 | 16.534 | ,944 | 8.187 | ,000 |
| | FSAS/UV | 20.697 | 5.090 | ,469 | 4.066 | ,001 |
| | VE | -21.220 | 7.041 | -,291 | -3.014 | ,006 |
| 5 | (Constante) | 22.543 | 7.002 | -,290 | -3.010 | ,006 |
| | FSAS/UV | -21.073 | 6.512 | | | |
| | UT | -13.592 | 7.156 | | -1.900 | ,071 |
| | VE | 134.841 | 15.296 | ,940 | 8.815 | ,000 |
| | VO | 20.957 | 4.709 | ,475 | 4.450 | ,000 |
| | VN | -20.930 | 6.514 | -,287 | -3.213 | ,004 |

Estimación de la demanda de calefacción en Zona D1 (Palencia):

| Variables Introducidas | | | |
|------------------------|------------------------|----------------------|--------|
| Modelo | Variables Introducidas | Variables eliminadas | Método |
| 1 | FSAS/UV | | * |
| 2 | UT | | * |
| 3 | VE | | * |
| 4 | VO | | * |
| 5 | VN | | * |

* -Hacia adelante (criterio: F>0,05)

| Resumen del modelo | | | | |
|--------------------|-------------------|------------|----------------------|-----------------------------|
| Modelo | R | R cuadrado | R cuadrado corregida | Error típ. de la estimación |
| 1 | ,685 ^a | .469 | .447 | 10.537730 |
| 2 | ,784 ^b | .615 | .583 | 9.149332 |
| 3 | ,857 ^c | .735 | .701 | 7.756819 |
| 4 | ,900 ^d | .809 | .774 | 6.731917 |
| 5 | ,920 ^e | .847 | .811 | 6.165637 |

| ANOVA | | | | | |
|--------|-----------|-------------------|----|------------------|---------------------|
| Modelo | | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F |
| 1 | Regresión | 2448.158 | 1 | 2448.158 | 22.047 ^f |
| | Residual | 2776.094 | 25 | 111.044 | |
| | Total | 5224.252 | 26 | | |
| 2 | Regresión | 3215.205 | 2 | 1607.603 | 19.204 ^g |
| | Residual | 2009.047 | 24 | 83.710 | |
| | Total | 5224.252 | 26 | | |
| 3 | Regresión | 3840.383 | 3 | 1280.128 | 21.276 ^h |
| | Residual | 1383.869 | 23 | 60.168 | |
| | Total | 5224.252 | 26 | | |
| 4 | Regresión | 4227.240 | 4 | 1056.810 | 23.320 ⁱ |
| | Residual | 997.012 | 22 | 45.319 | |
| | Total | 5224.252 | 26 | | |
| 5 | Regresión | 4425.935 | 5 | 885.187 | 23.285 ^j |
| | Residual | 798.317 | 21 | 38.015 | |
| | Total | 5224.252 | 26 | | |

| Modelo | Coeficientes no estandarizados | | Beta | t | Sig. |
|--------|--------------------------------|------------|--------|-------|----------------------|
| | B | Error típ. | | | |
| 1 | (Constante) | 1.160 | 4.559 | .254 | .801 |
| | FSAS/UV | 100.481 | 21.400 | .685 | 4.695 ^k |
| | UT | -26.712 | 10.022 | | -2.665 ^l |
| 2 | (Constante) | 138.985 | 22.517 | .947 | 6.172 ^m |
| | FSAS/UV | 20.978 | 6.930 | .464 | 3.027 ⁿ |
| | UT | -18.883 | 8.837 | | -2.137 ^o |
| 3 | (Constante) | 133.989 | 19.153 | .913 | 6.996 ^p |
| | FSAS/UV | 19.112 | 5.904 | .423 | 3.237 ^q |
| | UT | -25.972 | 8.057 | -.348 | -3.223 ^r |
| 4 | (Constante) | -17.767 | 7.679 | | -2.314 ^s |
| | FSAS/UV | 139.023 | 16.711 | .947 | 8.319 ^t |
| | UT | 20.449 | 5.144 | .453 | 3.975 ^u |
| 5 | (Constante) | -22.111 | 7.117 | -.296 | -3.107 ^v |
| | FSAS/UV | -20.676 | 7.077 | -.278 | -2.922 ^w |
| | UT | -14.689 | 7.161 | | -2.051 ^x |
| 5 | VE | 138.465 | 15.308 | .943 | 9.046 ^y |
| | VE | 20.723 | 4.713 | .459 | 4.397 ^z |
| | VO | -21.805 | 6.519 | -.292 | -3.345 ^{aa} |
| 5 | VO | -22.225 | 6.517 | -.299 | -3.410 ^{ab} |
| | VN | -14.544 | 6.362 | -.196 | -2.286 ^{ac} |

Estimación de la demanda de calefacción en Zona E1 (León):

| Variables introducidas | | | | | |
|------------------------|------------------------|----------------------|--------|--|--|
| Modelo | Variables Introducidas | Variables eliminadas | Método | | |
| 1 | FSAS/UV | | * | | |
| 2 | UT | | * | | |
| 3 | VE | | * | | |
| 4 | VO | | * | | |
| 5 | VN | | * | | |

* -Hacia adelante (criterio: F>0,05)

| Resumen del modelo | | | | | |
|--------------------|-------------------|------------|----------------------|-----------------------------|--|
| Modelo | R | R cuadrado | R cuadrado corregida | Error típ. de la estimación | |
| 1 | ,700 ^a | .490 | .470 | 11.401986 | |
| 2 | ,804 ^b | .647 | .618 | 9.683401 | |
| 3 | ,874 ^c | .764 | .733 | 8.093455 | |
| 4 | ,911 ^d | .831 | .800 | 7.001191 | |
| 5 | ,929 ^e | .863 | .830 | 6.453408 | |

| ANOVA | | | | | |
|--------|-----------|-------------------|----|------------------|--------|
| Modelo | | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F |
| 1 | Regresión | 3123.804 | 1 | 3123.804 | 24.028 |
| | Residual | 3250.132 | 25 | 130.005 | |
| | Total | 6373.936 | 26 | | |
| 2 | Regresión | 4123.498 | 2 | 2061.749 | 21.988 |
| | Residual | 2250.438 | 24 | 93.768 | |
| | Total | 6373.936 | 26 | | |
| 3 | Regresión | 4867.344 | 3 | 1622.448 | 24.769 |
| | Residual | 1506.592 | 23 | 65.504 | |
| | Total | 6373.936 | 26 | | |
| 4 | Regresión | 5295.569 | 4 | 1323.892 | 27.009 |
| | Residual | 1078.367 | 22 | 49.017 | |
| | Total | 6373.936 | 26 | | |
| 5 | Regresión | 5499.360 | 5 | 1099.872 | 26.410 |
| | Residual | 874.576 | 21 | 41.646 | |
| | Total | 6373.936 | 26 | | |

| Coeficientes | | | | | |
|--------------|--------------------------------|------------|--------------------------|-------|-------------|
| Modelo | Coeficientes no estandarizados | | Coeficientes tipificados | t | Sig. |
| | B | Error típ. | Beta | | |
| 1 | (Constante) | 1.334 | 4.933 | | ,270 ,789 |
| | FSAS/UV | 113.502 | 23.155 | ,700 | 4.902 ,000 |
| | | | | | |
| 2 | (Constante) | -30.486 | 10.607 | | -2.874 ,008 |
| | FSAS/UV | 157.459 | 23.832 | ,971 | 6.607 ,000 |
| | UT | 23.949 | 7.335 | ,480 | 3.265 ,003 |
| 3 | (Constante) | -21.945 | 9.221 | | -2.380 ,026 |
| | FSAS/UV | 152.010 | 19.984 | ,938 | 7.607 ,000 |
| | UT | 21.913 | 6.160 | ,439 | 3.557 ,002 |
| | VE | -28.330 | 8.407 | -,343 | -3.370 ,003 |
| 4 | (Constante) | -20.772 | 7.986 | | -2.601 ,016 |
| | FSAS/UV | 157.307 | 17.380 | ,970 | 9.051 ,000 |
| | UT | 23.320 | 5.350 | ,467 | 4.359 ,000 |
| | VE | -24.268 | 7.401 | -,294 | -3.279 ,003 |
| | VO | -21.753 | 7.360 | -,265 | -2.956 ,007 |
| 5 | (Constante) | -17.655 | 7.495 | | -2.355 ,028 |
| | FSAS/UV | 156.741 | 16.022 | ,967 | 9.783 ,000 |
| | UT | 23.598 | 4.933 | ,473 | 4.784 ,000 |
| | VE | -23.958 | 6.824 | -,290 | -3.511 ,002 |
| | VO | -23.322 | 6.821 | -,284 | -3.419 ,003 |
| | VN | -14.729 | 6.659 | -,180 | -2.212 ,038 |

Estimación de la demanda de refrigeración en zona D2 (Zamora):

| Variables introducidas | | | |
|------------------------|------------------------|----------------------|--------|
| Modelo | Variables introducidas | Variables eliminadas | Método |
| 1 | CT/EM | | * |
| 2 | RS | | * |
| 3 | VO | | * |
| 4 | FSAS/UV | | * |
| 5 | VE | | * |
| 6 | VS | | * |
| 7 | EM | | * |

* -Hacia adelante (criterio: $F>0.05$)

| Resumen del modelo | | | | |
|--------------------|-------------------|------------|----------------------|-----------------------------|
| Modelo | R | R cuadrado | R cuadrado corregida | Error típ. de la estimación |
| 1 | .541 ^a | .292 | .264 | 7.960822 |
| 2 | .700 ^b | .491 | .448 | 6.892713 |
| 3 | .789 ^b | .623 | .574 | 6.057764 |
| 4 | .856 ^a | .732 | .683 | 5.220489 |
| 5 | .883 ^a | .780 | .727 | 4.844634 |
| 6 | .896 ^a | .802 | .748 | 4.455893 |
| 7 | .915 ^a | .837 | .785 | 4.175738 |

| ANOVA | | | | | |
|--------|-------------------|----------|------------------|---------|--------------------------|
| Modelo | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
| 1 | Regression | 653.889 | 1 | 653.889 | 10.318 .004 ^a |
| | Residual | 1584.367 | 25 | 63.375 | |
| | Total | 2238.257 | 26 | | |
| 2 | Regression | 1098.029 | 2 | 549.014 | 11.556 .000 ^a |
| | Residual | 1140.226 | 24 | 47.509 | |
| | Total | 2238.257 | 26 | | |
| 3 | Regression | 1394.237 | 3 | 464.746 | 12.665 .000 ^a |
| | Residual | 844.020 | 23 | 36.697 | |
| | Total | 2238.257 | 26 | | |
| 4 | Regression | 1638.679 | 4 | 409.670 | 15.032 .000 ^a |
| | Residual | 599.577 | 22 | 27.254 | |
| | Total | 2238.257 | 26 | | |
| 5 | Regression | 1745.377 | 5 | 349.075 | 14.873 .000 ^a |
| | Residual | 492.880 | 21 | 23.470 | |
| | Total | 2238.257 | 26 | | |
| 6 | Regression | 1793.334 | 6 | 325.264 | 15.289 .000 ^a |
| | Residual | 444.923 | 20 | 21.544 | |
| | Total | 2238.257 | 26 | | |
| 7 | Regression | 1837.612 | 7 | 306.269 | 15.838 .000 ^a |
| | Residual | 400.645 | 19 | 20.032 | |
| | Total | 2238.257 | 26 | | |

| Coeficientes | | | | | |
|--------------|--------------------------------|------------|--------------------------|-------|-------------|
| Modelo | Coeficientes no estandarizados | | Coeficientes tipificados | | Sig. |
| | B | Error típ. | Beta | t | |
| 1 | (Constant) | 18.208 | 2.374 | | 7.669 .000 |
| | CT/EM | 1.140 | .355 | .541 | 3.212 .004 |
| | RS | 82.789 | 27.077 | .445 | 3.058 .005 |
| 2 | (Constant) | 8.273 | 3.845 | | 2.152 .042 |
| | CT/EM | 1.140 | .307 | .541 | 3.710 .001 |
| | VO | 17.828 | 6.275 | .366 | 2.841 .009 |
| 3 | (Constant) | 5.771 | 3.492 | | 1.653 .112 |
| | CT/EM | 1.106 | .270 | .525 | 4.093 .000 |
| | RS | 75.361 | 23.940 | .405 | 3.148 .005 |
| 4 | (Constant) | -.118 | 3.595 | | -.033 .974 |
| | CT/EM | 1.098 | .233 | .521 | 4.716 .000 |
| | VO | 16.899 | 5.417 | .347 | 3.120 .005 |
| 5 | (Constant) | -1.464 | 3.395 | | -.431 .671 |
| | CT/EM | 1.109 | .216 | .526 | 5.128 .000 |
| | RS | 70.396 | 19.309 | .379 | 3.646 .002 |
| 6 | (Constant) | 15.105 | 5.097 | .310 | 2.964 .007 |
| | FSAS/UV | 32.666 | 9.864 | .340 | 3.312 .003 |
| | VE | 10.945 | 5.134 | .224 | 2.132 .045 |
| 7 | (Constant) | -14.027 | 6.642 | | -.2112 .047 |
| | CT/EM | .614 | .305 | .291 | 2.012 .058 |
| | RS | 70.253 | 17.839 | .378 | 3.938 .001 |
| | VO | 14.274 | 4.724 | .293 | 3.021 .007 |
| | FSAS/UV | 53.731 | 13.395 | .559 | 4.011 .001 |
| | VE | 12.428 | 4.793 | .254 | 2.593 .017 |
| | VS | 15.210 | 5.224 | .379 | 2.146 .044 |
| | (Constant) | 2.712 | 4.452 | | -.052 .959 |
| | CT/EM | 0.664 | .279 | .336 | 2.524 .021 |
| | RS | 76.964 | 4.362 | .373 | 4.150 .001 |
| | VO | 17.318 | 16.505 | .393 | 4.410 .000 |
| | FSAS/UV | 33.863 | 8.326 | .355 | 4.083 .001 |
| | VE | 10.743 | 4.329 | .230 | 2.588 .018 |
| | VS | 13.981 | 5.756 | .238 | 2.606 .017 |
| | EM | -17.651 | 7.447 | -.292 | -2.179 .042 |

Caracterización de soluciones bioclimáticas singulares en zonas climáticas D2, D1 y E1

Estimación de la demanda de refrigeración en zona D1 (Palencia):

| Variables introducidas | | | |
|------------------------|------------------------|----------------------|--------|
| Modelo | Variables Introducidas | Variables eliminadas | Método |
| 1 | CT/EM | | * |
| 2 | VO | | * |
| 3 | RS | | * |
| 4 | FSAS/UV | | * |
| 5 | VE | | * |
| 6 | VS | | * |
| 7 | EM | | * |

* -Hacia adelante (criterio: F>0,05)

| Resumen del modelo | | | | |
|--------------------|-------------------|------------|----------------------|-----------------------------|
| Modelo | R | R cuadrado | R cuadrado corregida | Error tip. de la estimación |
| 1 | .541 ^a | .293 | .265 | 7.923734 |
| 2 | .688 ^b | .474 | .430 | 6.976172 |
| 3 | .787 ^c | .619 | .569 | 6.065410 |
| 4 | .854 ^d | .729 | .680 | 5.226951 |
| 5 | .884 ^e | .781 | .729 | 4.809494 |
| 6 | .906 ^f | .822 | .768 | 4.450330 |
| 7 | .926 ^g | .857 | .805 | 4.083941 |

| ANOVA | | | | | | |
|--------|------------|-------------------|----|------------------|--------|-------------------|
| Modelo | | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
| 1 | Regression | 649.859 | 1 | 649.859 | 10.350 | ,004 ^b |
| | Residual | 1569.639 | 25 | 62.786 | | |
| | Total | 2219.498 | 26 | | | |
| 2 | Regression | 1051.491 | 2 | 525.745 | 10.803 | ,000 ^c |
| | Residual | 1168.007 | 24 | 48.667 | | |
| | Total | 2219.498 | 26 | | | |
| 3 | Regression | 1373.346 | 3 | 457.782 | 12.443 | ,000 ^d |
| | Residual | 846.152 | 23 | 36.789 | | |
| | Total | 2219.498 | 26 | | | |
| 4 | Regression | 1618.436 | 4 | 404.609 | 14.809 | ,000 ^e |
| | Residual | 601.062 | 22 | 27.321 | | |
| | Total | 2219.498 | 26 | | | |
| 5 | Regression | 1733.742 | 5 | 346.748 | 14.990 | ,000 ^f |
| | Residual | 485.756 | 21 | 23.131 | | |
| | Total | 2219.498 | 26 | | | |
| 6 | Regression | 1823.389 | 6 | 303.898 | 15.344 | ,000 ^g |
| | Residual | 396.109 | 20 | 19.805 | | |
| | Total | 2219.498 | 26 | | | |
| 7 | Regression | 1902.605 | 7 | 271.801 | 16.296 | ,000 ^h |
| | Residual | 316.893 | 19 | 16.679 | | |
| | Total | 2219.498 | 26 | | | |

| Modelo | Coeficientes | | |
|--------|--------------|------------|--------|
| | B | Error tip. | Beta |
| 1 | (Constant) | 15.827 | 2.363 |
| | CT/EM | 1.136 | .353 |
| | VO | 20.635 | 7.183 |
| 2 | (Constant) | 11.899 | 2.490 |
| | CT/EM | 1.097 | .311 |
| | RS | 70.900 | 23.971 |
| 3 | (Constant) | 3.777 | 3.496 |
| | CT/EM | 1.101 | .271 |
| | VO | 18.606 | 6.283 |
| | RS | 70.900 | 23.971 |
| | FSAS/UV | 31.848 | 10.633 |
| 4 | (Constant) | -2.119 | 3.599 |
| | CT/EM | 1.093 | .233 |
| | VO | 17.675 | 5.423 |
| | RS | 71.270 | 20.657 |
| | FSAS/UV | 32.742 | 9.792 |
| 5 | (Constant) | -3.519 | 3.371 |
| | CT/EM | 1.104 | .215 |
| | VO | 15.810 | 5.060 |
| | RS | 65.726 | 19.169 |
| | FSAS/UV | 33.661 | 9.071 |
| 6 | (Constant) | 11.378 | 5.096 |
| | CT/EM | 1.162 | .200 |
| | VO | 17.379 | 4.740 |
| | RS | 72.006 | 17.982 |
| | FSAS/UV | 33.661 | 9.071 |
| 7 | (Constant) | -6.935 | 3.508 |
| | CT/EM | .705 | .279 |
| | VO | 18.100 | 4.362 |
| | RS | 72.785 | 16.505 |
| | FSAS/UV | 33.993 | 8.326 |

Zona D1 (Palencia):

Zona E1 (León):

ANEXO IV: Trombe VENTILADO SIMPLE - Correlaciones estadísticas.

Estimación de la demanda de calefacción en Zona D2 (Zamora):

| Variables introducidas | | | |
|------------------------|------------------------|----------------------|--------|
| Modelo | Variables Introducidas | Variables eliminadas | Método |
| 1 | FSAS/UV | | * |
| 2 | VE | | * |
| 3 | UT | | * |
| 4 | VO | | * |
| 5 | VN | | * |

* -Hacia adelante (criterio: F>0,05)

Resumen del modelo

| Modelo | R | R cuadrado | R cuadrado corregida | Error típ. de la estimación |
|--------|-------------------|------------|----------------------|-----------------------------|
| 1 | ,670 ^a | .449 | .427 | 10.651710 |
| 2 | ,782 ^b | .611 | .578 | 9.133770 |
| 3 | ,847 ^c | .718 | .681 | 7.943108 |
| 4 | ,891 ^d | .794 | .756 | 6.943637 |
| 5 | ,912 ^e | .831 | .791 | 6.424503 |

ANOVA

| Modelo | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
|--------|-------------------|----------|------------------|----------|--------------------------|
| | | | | | |
| 1 | Regression | 2307.300 | 1 | 2307.300 | 20.336 ,000 ^b |
| | Residual | 2836.473 | 25 | 113.459 | |
| | Total | 5143.773 | 26 | | |
| 2 | Regression | 3141.555 | 2 | 1570.777 | 18.828 ,000 ^c |
| | Residual | 2002.218 | 24 | 83.426 | |
| | Total | 5143.773 | 26 | | |
| 3 | Regression | 3692.635 | 3 | 1230.878 | 19.509 ,000 ^d |
| | Residual | 1451.138 | 23 | 63.093 | |
| | Total | 5143.773 | 26 | | |
| 4 | Regression | 4083.063 | 4 | 1020.766 | 21.172 ,000 ^e |
| | Residual | 1060.710 | 22 | 48.214 | |
| | Total | 5143.773 | 26 | | |
| 5 | Regression | 4277.014 | 5 | 855.403 | 20.725 ,000 ^f |
| | Residual | 866.759 | 21 | 41.274 | |
| | Total | 5143.773 | 26 | | |

Coefficientes

| Modelo | Coeficientes no estandarizados | | Beta | t | Sig. |
|--------|--------------------------------|------------|--------|-------|-------------|
| | B | Error típ. | | | |
| 1 | (Constant) | 4.293 | 4.609 | .931 | .361 |
| | FSAS/UV | 97.547 | 21.631 | .670 | 4.510 ,000 |
| | VE | -29.858 | 9.442 | -.403 | -3.162 ,004 |
| 2 | (Constant) | 10.443 | 4.405 | | 2.371 ,026 |
| | FSAS/UV | 95.742 | 18.557 | .657 | 5.159 ,000 |
| | VE | -27.463 | 8.251 | -.371 | -3.328 ,003 |
| | UT | 17.865 | 6.045 | .399 | 2.955 ,007 |
| 3 | (Constant) | -13.791 | 9.050 | | -1.524 ,141 |
| | FSAS/UV | 128.703 | 19.617 | .884 | 6.561 ,000 |
| | VE | -27.463 | 8.251 | -.371 | -3.328 ,003 |
| | UT | 17.865 | 6.045 | .399 | 2.955 ,007 |
| | VO | -20.770 | 7.299 | -.282 | -2.846 ,009 |
| 4 | (Constant) | -12.666 | 7.921 | | -1.599 ,124 |
| | FSAS/UV | 133.757 | 17.241 | .918 | 7.758 ,000 |
| | VE | -23.584 | 7.340 | -.318 | -3.213 ,004 |
| | UT | 19.205 | 5.305 | .429 | 3.620 ,002 |
| | VO | -20.770 | 7.299 | -.282 | -2.846 ,009 |
| 5 | (Constant) | -9.631 | 7.462 | | -1.291 ,211 |
| | FSAS/UV | 133.213 | 15.954 | .915 | 8.350 ,000 |
| | VE | -23.281 | 6.793 | -.314 | -3.427 ,003 |
| | UT | 19.480 | 4.910 | .435 | 3.967 ,001 |
| | VO | -22.301 | 6.790 | -.302 | -3.284 ,004 |
| | VN | -14.369 | 6.629 | -.195 | -2.168 ,042 |

Estimación de la demanda de calefacción en Zona D1 (Palencia):

| Variables introducidas | | | |
|------------------------|------------------------|----------------------|--------|
| Modelo | Variables Introducidas | Variables eliminadas | Método |
| 1 | FSAS/UV | | * |
| 2 | VE | | * |
| 3 | UT | | * |
| 4 | VO | | * |
| 5 | VN | | * |

* -Hacia adelante (criterio: F>0,05)

| Resumen del modelo | | | | |
|--------------------|-------------------|------------|----------------------|-----------------------------|
| Modelo | R | R cuadrado | R cuadrado corregida | Error típ. de la estimación |
| 1 | ,686 ^a | .470 | .449 | 10.677774 |
| 2 | ,798 ^b | .636 | .606 | 9.030247 |
| 3 | ,855 ^c | .731 | .696 | 7.929323 |
| 4 | ,894 ^d | .800 | .764 | 6.993946 |
| 5 | ,916 ^e | .839 | .801 | 6.420723 |

| ANOVA | | | | | |
|--------|-------------------|----------|------------------|----------|--------------------------|
| Modelo | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
| 1 | Regression | 2528.500 | 1 | 2528.500 | 22.177 ,000 ^b |
| | Residual | 2850.372 | 25 | 114.015 | |
| | Total | 5378.872 | 26 | | |
| 2 | Regression | 3421.783 | 2 | 1710.891 | 20.981 ,000 ^c |
| | Residual | 1957.089 | 24 | 81.545 | |
| | Total | 5378.872 | 26 | | |
| 3 | Regression | 3932.766 | 3 | 1310.922 | 20.850 ,000 ^d |
| | Residual | 1446.106 | 23 | 62.874 | |
| | Total | 5378.872 | 26 | | |
| 4 | Regression | 4302.735 | 4 | 1075.684 | 21.991 ,000 ^e |
| | Residual | 1076.136 | 22 | 48.915 | |
| | Total | 5378.872 | 26 | | |
| 5 | Regression | 4513.132 | 5 | 902.626 | 21.895 ,000 ^f |
| | Residual | 865.739 | 21 | 41.226 | |
| | Total | 5378.872 | 26 | | |

| Coeficientes | | | | | | |
|--------------|--------------------------------|------------|--------------------------|-------|--------|------|
| Modelo | Coeficientes no estandarizados | | Coeficientes tipificados | | t | Sig. |
| | B | Error típ. | Beta | | | |
| 1 | (Constant) | 2.564 | 4.620 | | .555 | .584 |
| | FSAS/UV | 102.116 | 21.684 | .686 | 4.709 | .000 |
| 2 | (Constant) | 8.928 | 4.355 | | 2.050 | .051 |
| | FSAS/UV | 100.248 | 18.347 | .673 | 5.464 | .000 |
| 3 | (Constant) | -14.408 | 9.035 | | -1.595 | .124 |
| | FSAS/UV | 131.988 | 19.583 | .886 | 6.740 | .000 |
| 4 | (Constant) | -28.590 | 8.237 | -.377 | -3.471 | .002 |
| | VE | 17.203 | 6.034 | .375 | 2.851 | .009 |
| 5 | (Constant) | -13.313 | 7.979 | | -1.669 | .109 |
| | FSAS/UV | 136.907 | 17.365 | .919 | 7.884 | .000 |
| 6 | (Constant) | -24.814 | 7.394 | -.327 | -3.356 | .003 |
| | UT | 18.507 | 5.344 | .404 | 3.463 | .002 |
| 7 | (Constant) | -20.219 | 7.352 | -.268 | -2.750 | .012 |
| | VO | -10.151 | 7.457 | | -1.361 | .188 |
| 8 | (Constant) | 136.341 | 15.944 | .915 | 8.551 | .000 |
| | VE | -24.498 | 6.789 | -.323 | -3.608 | .002 |
| 9 | (Constant) | 18.794 | 4.907 | .410 | 3.830 | .001 |
| | UT | -21.813 | 6.786 | -.289 | -3.214 | .004 |
| 10 | (Constant) | -14.966 | 6.625 | -.199 | -2.259 | .035 |
| | VN | | | | | |

Estimación de la demanda de calefacción en Zona E1 (León):

| Variables introducidas | | | |
|------------------------|------------------------|----------------------|--------|
| Modelo | Variables Introducidas | Variables eliminadas | Método |
| 1 | FSAS/UV | | * |
| 2 | VE | | * |
| 3 | UT | | * |
| 4 | VO | | * |
| 5 | VN | | * |

* -Hacia adelante (criterio: F>0,05)

| Resumen del modelo | | | | |
|--------------------|-------------------|------------|----------------------|-----------------------------|
| Modelo | R | R cuadrado | R cuadrado corregida | Error típ. de la estimación |
| 1 | ,699 ^a | .489 | .469 | 11.546557 |
| 2 | ,806 ^b | .649 | .620 | 9.768159 |
| 3 | ,870 ^c | .756 | .725 | 8.311541 |
| 4 | ,906 ^d | .822 | .789 | 7.273486 |
| 5 | ,925 ^e | .855 | .820 | 6.714389 |

| ANOVA | | | | | |
|--------|------------|-------------------|----|------------------|--------------------------|
| Modelo | | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F |
| 1 | Regression | 3190.283 | 1 | 3190.283 | 23.929 ,000 ^a |
| | Residual | 3333.075 | 25 | 133.323 | |
| | Total | 6523.357 | 26 | | |
| 2 | Regression | 4233.351 | 2 | 2116.676 | 22.183 ,000 ^b |
| | Residual | 2290.006 | 24 | 95.417 | |
| | Total | 6523.357 | 26 | | |
| 3 | Regression | 4934.478 | 3 | 1644.826 | 23.810 ,000 ^c |
| | Residual | 1588.879 | 23 | 69.082 | |
| | Total | 6523.357 | 26 | | |
| 4 | Regression | 5359.478 | 4 | 1339.870 | 25.327 ,000 ^d |
| | Residual | 1163.879 | 22 | 52.904 | |
| | Total | 6523.357 | 26 | | |
| 5 | Regression | 5572.389 | 5 | 1114.478 | 24.736 ,000 ^e |
| | Residual | 950.968 | 21 | 45.284 | |
| | Total | 6523.357 | 26 | | |

| Modelo | Coeficientes no estandarizados | | Coeficientes tipificados | | t | Sig. |
|--------|--------------------------------|------------|--------------------------|-------|--------|------|
| | B | Error típ. | Beta | | | |
| 1 | (Constant) | 2.924 | 4.996 | | .585 | .564 |
| | FSAS/UV | 114.703 | 23.448 | .699 | 4.892 | .000 |
| | (Constant) | 9.801 | 4.710 | | 2.081 | .048 |
| | FSAS/UV | 112.685 | 19.846 | .687 | 5.678 | .000 |
| | VE | -33.386 | 10.098 | -.400 | -3.306 | .003 |
| | (Constant) | -17.533 | 9.470 | | -1.851 | .077 |
| | FSAS/UV | 149.864 | 20.527 | .914 | 7.301 | .000 |
| | VE | -30.684 | 8.634 | -.368 | -3.554 | .002 |
| | UT | 20.151 | 6.325 | .399 | 3.186 | .004 |
| | (Constant) | -16.360 | 8.298 | | -1.972 | .061 |
| 2 | FSAS/UV | 155.137 | 18.059 | .946 | 8.590 | .000 |
| | VE | -26.637 | 7.689 | -.319 | -3.464 | .002 |
| | UT | 21.549 | 5.557 | .427 | 3.878 | .001 |
| | VO | -21.670 | 7.646 | -.261 | -2.834 | .010 |
| | (Constant) | -13.190 | 7.680 | | -2.290 | .032 |
| | FSAS/UV | 155.192 | 17.701 | 1.025 | 9.502 | .000 |
| | VE | -26.340 | 7.105 | -.311 | -3.651 | .001 |
| | UT | 21.776 | 5.953 | .558 | 4.733 | .000 |
| | VO | -23.311 | 7.078 | -.247 | -2.898 | .009 |
| | VN | -15.012 | 3.696 | -.213 | -2.195 | .040 |

Estimación de la demanda de refrigeración en zona D2 (Zamora):

| Variables introducidas | | | |
|------------------------|------------------------|----------------------|--------|
| Modelo | Variables Introducidas | Variables eliminadas | Método |
| 1 | RS/EM | | * |
| 2 | VO | | * |
| 3 | FSAS/UV | | * |
| 4 | VE | | * |
| 5 | FSASCT/EM | | * |

* -Hacia adelante (criterio: $F>0,05$)

| Resumen del modelo | | | | |
|--------------------|-------------------|------------|----------------------|-----------------------------|
| Modelo | R | R cuadrado | R cuadrado corregida | Error típ. de la estimación |
| 1 | ,700 ^a | .491 | .470 | 6.564016 |
| 2 | ,816 ^b | .666 | .638 | 5.428453 |
| 3 | ,885 ^c | .784 | .755 | 4.461666 |
| 4 | ,922 ^d | .850 | .823 | 3.794509 |
| 5 | ,942 ^e | .887 | .860 | 3.380009 |

| ANOVA | | | | | |
|--------|------------|-------------------|----|------------------|--------------------------|
| Modelo | | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F |
| 1 | Regression | 1037.664 | 1 | 1037.664 | 24.083 ,000 ^b |
| | Residual | 1077.158 | 25 | 43.086 | |
| | Total | 2114.822 | 26 | | |
| 2 | Regression | 1407.587 | 2 | 703.794 | 23.883 ,000 ^c |
| | Residual | 707.234 | 24 | 29.468 | |
| | Total | 2114.822 | 26 | | |
| 3 | Regression | 1656.973 | 3 | 552.324 | 27.746 ,000 ^d |
| | Residual | 457.849 | 23 | 19.906 | |
| | Total | 2114.822 | 26 | | |
| 4 | Regression | 1798.059 | 4 | 449.515 | 31.220 ,000 ^e |
| | Residual | 316.763 | 22 | 14.398 | |
| | Total | 2114.822 | 26 | | |
| 5 | Regression | 1874.908 | 5 | 374.982 | 32.823 ,000 ^f |
| | Residual | 239.914 | 21 | 11.424 | |
| | Total | 2114.822 | 26 | | |

| Coeficientes | | | | | | |
|--------------|--------------------------------|------------|--------------------------|-------|--------|------|
| Modelo | Coeficientes no estandarizados | | Coeficientes tipificados | | t | Sig. |
| | B | Error típ. | Beta | | | |
| 1 | (Constant) | -15.755 | 1.958 | | -8.048 | ,000 |
| | RS/EM | -11.965 | 2.438 | -.700 | -4.907 | ,000 |
| | VO | -19.791 | 5.586 | -.418 | -3.543 | ,002 |
| 2 | (Constant) | -11.907 | 1.949 | | -6.108 | ,000 |
| | RS/EM | -11.785 | 2.017 | -.690 | -5.843 | ,000 |
| | VO | -18.842 | 4.599 | -.398 | -4.097 | ,000 |
| | FSAS/UV | -32.141 | 9.081 | -.344 | -3.539 | ,002 |
| 3 | (Constant) | -5.843 | 2.346 | | -2.491 | ,020 |
| | RS/EM | -11.983 | 1.659 | -.702 | -7.224 | ,000 |
| | VO | -18.842 | 4.599 | -.398 | -4.097 | ,000 |
| | FSAS/UV | -32.141 | 9.081 | -.344 | -3.539 | ,002 |
| | VE | -12.489 | 3.990 | -.263 | -3.130 | ,005 |
| 4 | (Constant) | -3.788 | 2.100 | | -1.804 | ,085 |
| | RS/EM | -11.788 | 1.412 | -.690 | -8.348 | ,000 |
| | VO | -16.646 | 3.974 | -.352 | -4.189 | ,000 |
| | FSAS/UV | -33.111 | 7.729 | -.355 | -4.284 | ,000 |
| | VE | -12.489 | 3.990 | -.263 | -3.130 | ,005 |
| | FSASCT/EM | -0.872 | 2.970 | -.222 | -2.594 | ,017 |
| 5 | (Constant) | -2.827 | 2.601 | | .345 | ,734 |
| | RS/EM | -9.346 | 1.344 | -.618 | -7.852 | ,000 |
| | VO | -17.007 | 3.551 | -.336 | -4.479 | ,000 |
| | FSAS/UV | -32.565 | 7.537 | -.440 | -5.448 | ,000 |
| | VE | -13.583 | 3.564 | -.277 | -3.699 | ,001 |
| | FSASCT/EM | -0.872 | 2.970 | -.222 | -2.594 | ,017 |

Estimación de la demanda de refrigeración en zona D1 (Palencia):

| Variables introducidas | | | |
|------------------------|------------------------|----------------------|--------|
| Modelo | Variables Introducidas | Variables eliminadas | Método |
| 1 | RS/EM | | * |
| 2 | VO | | * |
| 3 | FSAS/UV | | * |
| 4 | VE | | * |
| 5 | FSASCT/EM | | * |

* -Hacia adelante (criterio: F>0,05)

| Resumen del modelo | | | | |
|--------------------|-------------------|------------|----------------------|-----------------------------|
| Modelo | R | R cuadrado | R cuadrado corregida | Error típ. de la estimación |
| 1 | ,688 ^a | .474 | .453 | 6.642947 |
| 2 | ,813 ^b | .661 | .633 | 5.443109 |
| 3 | ,883 ^c | .780 | .751 | 4.482068 |
| 4 | ,922 ^d | .850 | .823 | 3.777869 |
| 5 | ,942 ^e | .887 | .860 | 3.354664 |

| ANOVA | | | | | |
|--------|------------|-------------------|----|------------------|------------------------------------|
| Modelo | | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F |
| 1 | Regression | 993.772 | 1 | 993.772 | 22.520 ^{,000^b} |
| | Residual | 1103.219 | 25 | 44.129 | |
| | Total | 2096.991 | 26 | | |
| 2 | Regression | 1385.932 | 2 | 692.966 | 23.389 ^{,000^c} |
| | Residual | 711.058 | 24 | 29.627 | |
| | Total | 2096.991 | 26 | | |
| 3 | Regression | 1634.945 | 3 | 544.982 | 27.128 ^{,000^d} |
| | Residual | 462.046 | 23 | 20.089 | |
| | Total | 2096.991 | 26 | | |
| 4 | Regression | 1783.000 | 4 | 445.750 | 31.232 ^{,000^e} |
| | Residual | 313.990 | 22 | 14.272 | |
| | Total | 2096.991 | 26 | | |
| 5 | Regression | 1860.662 | 5 | 372.132 | 33.067 ^{,000^f} |
| | Residual | 236.329 | 21 | 11.254 | |
| | Total | 2096.991 | 26 | | |

| Coeficientes | | | | | | |
|--------------|--------------------------------|------------|--------------------------|-------|--------|------|
| Modelo | Coeficientes no estandarizados | | Coeficientes tipificados | | t | Sig. |
| | B | Error típ. | Beta | | | |
| 1 | (Constant) | -13.523 | 1.981 | | -6.826 | ,000 |
| | RS/EM | -11.709 | 2.467 | -.688 | -4.746 | ,000 |
| 2 | (Constant) | -9.562 | 1.955 | | -4.892 | ,000 |
| | RS/EM | -11.524 | 2.022 | -.677 | -5.698 | ,000 |
| 3 | (Constant) | -3.502 | 2.357 | | -1.486 | ,151 |
| | RS/EM | -11.721 | 1.666 | -.689 | -7.034 | ,000 |
| 4 | (Constant) | -19.428 | 4.620 | -.412 | -4.205 | ,000 |
| | VO | -32.117 | 9.122 | -.345 | -3.521 | ,002 |
| 5 | (Constant) | -1.397 | 2.091 | | -,668 | ,511 |
| | RS/EM | -11.522 | 1.406 | -.677 | -8.196 | ,000 |
| 6 | (Constant) | -17.180 | 3.956 | -.365 | -4.342 | ,000 |
| | FSAS/UV | -33.111 | 7.695 | -.356 | -4.303 | ,000 |
| 7 | (Constant) | -12.794 | 3.972 | -.270 | -3.221 | ,004 |
| | VE | -13.950 | 3.555 | -.295 | -3.924 | ,001 |
| 8 | (Constant) | -,392 | 1.896 | | -,207 | ,838 |
| | RS/EM | -8.953 | 1.586 | -,526 | -5.645 | ,000 |
| 9 | (Constant) | -17.532 | 3.516 | -,372 | -4.987 | ,000 |
| | VO | -32.616 | 6.836 | -,351 | -4.771 | ,000 |
| 10 | (Constant) | -13.950 | 3.555 | -,295 | -3.924 | ,001 |
| | FSASCT/EM | -,919 | ,350 | -,245 | -2.627 | ,016 |

Estimación de la demanda de refrigeración en zona E1 (León):

| Variables introducidas | | | |
|------------------------|------------------------|----------------------|--------|
| Modelo | VARIABLES INTRODUCIDAS | VARIABLES ELIMINADAS | MÉTODO |
| 1 | RS/EM | | * |
| 2 | VO | | * |
| 3 | FSAS/UV | | * |
| 4 | VE | | * |
| 5 | FSASCT/EM | | * |

* -Hacia adelante (criterio: F>0,05)

| Resumen del modelo | | | | |
|--------------------|-------------------|------------|----------------------|-----------------------------|
| Modelo | R | R cuadrado | R cuadrado corregida | Error típ. de la estimación |
| 1 | ,692 ^a | .479 | .458 | 5.970224 |
| 2 | ,820 ^b | .672 | .645 | 4.828823 |
| 3 | ,879 ^c | .773 | .743 | 4.108421 |
| 4 | ,919 ^d | .845 | .816 | 3.474620 |
| 5 | ,934 ^e | .872 | .841 | 3.228834 |

| ANOVA | | | | | |
|--------|-------------------|----------|------------------|---------|--------------------------|
| Modelo | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
| 1 | Regression | 817.654 | 1 | 817.654 | 22.940 ,000 ^b |
| | Residual | 891.089 | 25 | 35.644 | |
| | Total | 1708.743 | 26 | | |
| 2 | Regression | 1149.123 | 2 | 574.561 | 24.641 ,000 ^c |
| | Residual | 559.621 | 24 | 23.318 | |
| | Total | 1708.743 | 26 | | |
| 3 | Regression | 1320.524 | 3 | 440.175 | 26.078 ,000 ^d |
| | Residual | 388.220 | 23 | 16.879 | |
| | Total | 1708.743 | 26 | | |
| 4 | Regression | 1443.138 | 4 | 360.784 | 29.884 ,000 ^e |
| | Residual | 265.606 | 22 | 12.073 | |
| | Total | 1708.743 | 26 | | |
| 5 | Regression | 1489.811 | 5 | 297.962 | 28.580 ,000 ^f |
| | Residual | 218.933 | 21 | 10.425 | |
| | Total | 1708.743 | 26 | | |

| Coeficientes | | | | | |
|--------------|--------------------------------|------------|--------------------------|-------|-------------|
| Modelo | Coeficientes no estandarizados | | Coeficientes tipificados | | Sig. |
| | B | Error típ. | Beta | t | |
| 1 | (Constant) | -9.506 | 1.780 | | -5.339 ,000 |
| | RS/EM | -10.621 | 2.218 | -.692 | -4.790 ,000 |
| 2 | (Constant) | -5.863 | 1.734 | | -3.381 ,002 |
| | RS/EM | -10.451 | 1.794 | -.681 | -5.825 ,000 |
| | VO | -18.735 | 4.969 | -.441 | -3.770 ,001 |
| 3 | (Constant) | -.836 | 2.160 | | -.387 ,702 |
| | RS/EM | -10.615 | 1.527 | -.691 | -6.950 ,000 |
| | VO | -17.947 | 4.235 | -.422 | -4.238 ,000 |
| | FSAS/UV | -26.646 | 8.362 | -.317 | -3.187 ,004 |
| 4 | (Constant) | 1.080 | 1.923 | | .562 ,580 |
| | RS/EM | -10.433 | 1.293 | -.679 | -8.069 ,000 |
| | VO | -15.901 | 3.639 | -.374 | -4.370 ,000 |
| | FSAS/UV | -27.550 | 7.078 | -.328 | -3.893 ,001 |
| | VE | -11.643 | 3.653 | -.273 | -3.187 ,004 |
| 5 | (Constant) | 1.859 | 1.825 | | 1.019 ,320 |
| | RS/EM | -8.441 | 1.526 | -.550 | -5.530 ,000 |
| | VO | -16.174 | 3.384 | -.380 | -4.780 ,000 |
| | FSAS/UV | -27.167 | 6.579 | -.324 | -4.129 ,000 |
| | VE | -12.539 | 3.421 | -.294 | -3.665 ,001 |
| | FSASCT/EM | -.713 | .337 | -.211 | -2.116 ,046 |

ANEXO VI: Trombe APANTALLADO NO ventilado-Correlaciones estadísticas.

Estimación de la demanda de calefacción en Zona D2 (Zamora):

| Variables introducidas | | | |
|------------------------|------------------------|----------------------|--------|
| Modelo | Variables Introducidas | Variables eliminadas | Método |
| 1 | ASUT | | * |
| 2 | VO | | * |
| 3 | VS | | * |
| 4 | VE | | * |
| 5 | ASCT/EM | | * |
| 6 | RS/EM | | * |

* -Hacia adelante (criterio: F>0,05)

| Resumen del modelo | | | | |
|--------------------|-------------------|------------|----------------------|-----------------------------|
| Modelo | R | R cuadrado | R cuadrado corregida | Error tip. de la estimación |
| 1 | ,808 ^a | .653 | .640 | 16.807607 |
| 2 | ,868 ^b | .753 | .732 | 14.488915 |
| 3 | ,933 ^c | .870 | .853 | 10.744176 |
| 4 | ,957 ^d | .917 | .902 | 8.782117 |
| 5 | ,975 ^e | .950 | .938 | 6.961158 |
| 6 | ,980 ^f | .961 | .949 | 6.318682 |

| ANOVA | | | | | | |
|--------|------------|-------------------|----|------------------|--------|-------------------|
| Modelo | | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
| 1 | Regression | 13312.156 | 1 | 13312.156 | 47.123 | ,000 ^b |
| | Residual | 7062.392 | 25 | 282.496 | | |
| | Total | 20374.548 | 26 | | | |
| 2 | Regression | 15336.260 | 2 | 7668.130 | 36.527 | ,000 ^b |
| | Residual | 5038.288 | 24 | 209.929 | | |
| | Total | 20374.548 | 26 | | | |
| 3 | Regression | 17719.490 | 3 | 5906.497 | 51.166 | ,000 ^b |
| | Residual | 2655.058 | 23 | 115.437 | | |
| | Total | 20374.548 | 26 | | | |
| 4 | Regression | 18677.785 | 4 | 4669.446 | 60.543 | ,000 ^b |
| | Residual | 1696.763 | 22 | 77.126 | | |
| | Total | 20374.548 | 26 | | | |
| 5 | Regression | 19356.936 | 5 | 3871.387 | 79.892 | ,000 ^b |
| | Residual | 1017.612 | 21 | 48.458 | | |
| | Total | 20374.548 | 26 | | | |
| 6 | Regression | 19576.033 | 6 | 3262.672 | 81.719 | ,000 ^b |
| | Residual | 798.515 | 20 | 39.926 | | |
| | Total | 20374.548 | 26 | | | |

| Modelo | Coeficientes | | | |
|--------|--------------------------------|------------|--------------------------|-------------|
| | Coeficientes no estandarizados | | Coeficientes tipificados | |
| | B | Error tip. | Beta | |
| 1 | (Constant) 22.050 | 10.103 | | 2.183 .039 |
| | ASUT 80.358 | 11.706 | ,808 | 6.865 .000 |
| 2 | (Constant) 28.649 | 8.965 | | 3.196 .004 |
| | ASUT 83.671 | 10.147 | ,842 | 8.246 .000 |
| | VO -46.539 | 14.988 | -,317 | -3.105 .005 |
| 3 | (Constant) 44.656 | 7.524 | | 5.935 .000 |
| | ASUT 77.817 | 7.634 | ,783 | 10.193 .000 |
| | VO -55.051 | 11.271 | -,375 | -4.884 .000 |
| | VS -67.448 | 14.844 | -,353 | -4.544 .000 |
| 4 | (Constant) 49.856 | 6.324 | | 7.883 .000 |
| | ASUT 77.989 | 6.240 | ,784 | 12.498 .000 |
| | VO -49.528 | 9.345 | -,337 | -5.300 .000 |
| | VS -68.343 | 12.136 | -,358 | -5.631 .000 |
| | VE -32.499 | 9.220 | -,220 | -3.525 .002 |
| 5 | (Constant) 40.851 | 5.560 | | 7.347 .000 |
| | ASUT 107.169 | 9.231 | ,1.078 | 11.609 .000 |
| | VO -53.708 | 7.491 | -,366 | -7.170 .000 |
| | VS -71.969 | 9.668 | -,377 | -7.444 .000 |
| | VE -34.278 | 7.323 | -,232 | -4.681 .000 |
| | ASCT/EM -4.700 | 1.255 | -,348 | -3.744 .001 |
| 6 | (Constant) 43.777 | 5.199 | | 8.420 .000 |
| | ASUT 105.810 | 8.399 | ,1.064 | 12.597 .000 |
| | VO -53.025 | 6.806 | -,361 | -7.791 .000 |
| | VS -71.738 | 8.777 | -,375 | -8.174 .000 |
| | VE -32.896 | 6.674 | -,223 | -4.929 .000 |
| | ASCT/EM -3.818 | 1.200 | -,282 | -3.182 .005 |
| | RS/EM -9.883 | 4.219 | -,117 | -2.343 .030 |

Estimación de la demanda de calefacción en Zona D1 (Palencia):

| Variables introducidas | | | |
|------------------------|------------------------|----------------------|--------|
| Modelo | Variables Introducidas | Variables eliminadas | Método |
| 1 | ASUT | | * |
| 2 | VO | | * |
| 3 | VS | | * |
| 4 | VE | | * |
| 5 | ASCT/EM | | * |
| 6 | RS/EM | | * |

*-Hacia adelante (criterio: F>0,05)

| Resumen del modelo | | | | |
|--------------------|-------------------|------------|----------------------|-----------------------------|
| Modelo | R | R cuadrado | R cuadrado corregida | Error típ. de la estimación |
| 1 | ,817 ^a | .667 | .653 | 16.648841 |
| 2 | ,874 ^b | .764 | .744 | 14.314110 |
| 3 | ,932 ^c | .869 | .852 | 10.886369 |
| 4 | ,958 ^d | .918 | .903 | 8.788063 |
| 5 | ,977 ^e | .954 | .943 | 6.762124 |
| 6 | ,982 ^f | .964 | .953 | 6.138083 |

| ANOVA | | | | | | |
|--------|------------|-------------------|----|------------------|--------|-------------------|
| Modelo | | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
| 1 | Regression | 13868.984 | 1 | 13868.984 | 50.035 | ,000 ^a |
| | Residual | 6929.598 | 25 | 277.184 | | |
| | Total | 20798.582 | 26 | | | |
| 2 | Regression | 15881.132 | 2 | 7940.566 | 38.755 | ,000 ^a |
| | Residual | 4917.450 | 24 | 204.894 | | |
| | Total | 20798.582 | 26 | | | |
| 3 | Regression | 18072.782 | 3 | 6024.261 | 50.832 | ,000 ^a |
| | Residual | 2725.800 | 23 | 118.513 | | |
| | Total | 20798.582 | 26 | | | |
| 4 | Regression | 19099.521 | 4 | 4774.880 | 61.827 | ,000 ^a |
| | Residual | 1699.061 | 22 | 77.230 | | |
| | Total | 20798.582 | 26 | | | |
| 5 | Regression | 19838.329 | 5 | 3967.666 | 86.770 | ,000 ^a |
| | Residual | 960.253 | 21 | 45.726 | | |
| | Total | 20798.582 | 26 | | | |
| 6 | Regression | 20045.060 | 6 | 3340.843 | 88.673 | ,000 ^a |
| | Residual | 753.521 | 20 | 37.676 | | |
| | Total | 20798.582 | 26 | | | |

| Modelo | Coeficientes | | | t | Sig. |
|--------|--------------|------------|--------|--------|--------------|
| | B | Error tip. | Beta | | |
| 1 | (Constant) | 23.065 | 10.008 | 2.305 | ,030 |
| | ASUT | 82.021 | 11.595 | ,817 | ,7074 ,000 |
| 2 | (Constant) | 29.645 | 8.857 | | ,3.347 ,003 |
| | ASUT | 85.324 | 10.025 | ,849 | ,8.511 ,000 |
| | VO | -46.401 | 14.807 | -,313 | -,3.134 ,005 |
| 3 | (Constant) | 44.995 | 7.623 | | ,5.902 ,000 |
| | ASUT | 79.711 | 7.735 | ,794 | ,10.305 ,000 |
| | VO | -54.564 | 11.420 | -,368 | -,4.778 ,000 |
| | VS | -64.681 | 15.041 | -,335 | -,4.300 ,000 |
| 4 | (Constant) | 50.377 | 6.328 | | ,7.961 ,000 |
| | ASUT | 79.889 | 6.245 | ,795 | ,12.793 ,000 |
| | VO | -48.848 | 9.351 | -,329 | -,5.224 ,000 |
| | VS | -65.607 | 12.144 | -,340 | -,5.402 ,000 |
| | VE | -33.639 | 9.226 | -,226 | -,3.646 ,001 |
| 5 | (Constant) | 40.985 | 5.401 | | ,7.588 ,000 |
| | ASUT | 110.323 | 8.967 | ,1.098 | ,12.303 ,000 |
| | VO | -53.207 | 7.277 | -,359 | -,7.312 ,000 |
| | VS | -69.389 | 9.392 | -,359 | -,7.388 ,000 |
| | VE | -35.495 | 7.114 | -,238 | -,4.989 ,000 |
| | ASCT/EM | -4.902 | 1.220 | -,359 | -,4.020 ,001 |
| 6 | (Constant) | 43.827 | 5.051 | | ,8.678 ,000 |
| | ASUT | 109.004 | 8.159 | ,1.085 | ,13.359 ,000 |
| | VO | -52.543 | 6.611 | -,354 | -,7.948 ,000 |
| | VS | -69.164 | 8.526 | -,358 | -,8.112 ,000 |
| | VE | -34.152 | 6.483 | -,229 | -,5.268 ,000 |
| | ASCT/EM | -4.046 | 1.166 | -,296 | -,3.470 ,002 |
| | RS/EM | -9.600 | 4.098 | -,113 | -,2.342 ,030 |

Estimación de la demanda de calefacción en Zona E1 (León):

Caracterización de soluciones bioclimáticas singulares en zonas climáticas D2, D1 y E1

| Variables introducidas | | | |
|------------------------|------------------------|----------------------|--------|
| Modelo | Variables introducidas | Variables eliminadas | Método |
| 1 | ASUT | | * |
| 2 | VO | | * |
| 3 | VS | | * |
| 4 | VE | | * |
| 5 | ASCT/EM | | * |
| 6 | RS/EM | | * |

* -Hacia adelante (criterio: F>0,05)

| Resumen del modelo | | | | |
|--------------------|-------------------|------------|----------------------|-----------------------------|
| Modelo | R | R cuadrado | R cuadrado corregida | Error t.p. de la estimación |
| 1 | .834 ^a | .696 | .684 | 17.236875 |
| 2 | .885 ^b | .783 | .765 | 14.865586 |
| 3 | .936 ^c | .876 | .860 | 11.458893 |
| 4 | .959 ^d | .919 | .905 | 9.461999 |
| 5 | .978 ^e | .956 | .946 | 7.128741 |
| 6 | .983 ^f | .966 | .956 | 6.328741 |

| ANOVA | | | | | | | |
|--------|------------|-------------------|----|------------------|--------|-------------------|------|
| Modelo | | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | | Sig. |
| | | | | | | | |
| 1 | Regression | 16993.326 | 1 | 16993.326 | 57.195 | ,000 ^a | |
| | Residual | 7427.747 | 25 | 297.110 | | | |
| | Total | 24421.073 | 26 | | | | |
| 2 | Regression | 19117.418 | 2 | 9558.709 | 43.255 | ,000 ^b | |
| | Residual | 5303.655 | 24 | 220.986 | | | |
| | Total | 24421.073 | 26 | | | | |
| 3 | Regression | 21401.030 | 3 | 7133.677 | 54.329 | ,000 ^c | |
| | Residual | 3020.043 | 23 | 131.306 | | | |
| | Total | 24421.073 | 26 | | | | |
| 4 | Regression | 22451.426 | 4 | 5612.856 | 62.693 | ,000 ^d | |
| | Residual | 1969.647 | 22 | 89.529 | | | |
| | Total | 24421.073 | 26 | | | | |
| 5 | Regression | 23295.426 | 5 | 4659.086 | 84.593 | ,000 ^e | |
| | Residual | 1125.647 | 21 | 53.602 | | | |
| | Total | 24421.073 | 26 | | | | |
| 6 | Regression | 23573.455 | 6 | 3928.908 | 86.510 | ,000 ^f | |
| | Residual | 847.623 | 20 | 42.381 | | | |
| | Total | 24421.073 | 26 | | | | |

| Modelo | Coeficientes | | |
|--------|-------------------|------------|-------|
| | B | Error t.p. | Beta |
| 1 | (Constant) 25.027 | 10.361 | |
| | ASUT 90.791 | 12.005 | .834 |
| 2 | (Constant) 31.787 | 9.198 | |
| | ASUT 94.185 | 10.411 | .865 |
| | VO -47.674 | 15.377 | -.297 |
| 3 | (Constant) 47.455 | 8.024 | |
| | ASUT 88.455 | 8.142 | .813 |
| | VO -56.007 | 12.021 | -.348 |
| | VS -66.024 | 15.832 | -.316 |
| 4 | (Constant) 52.899 | 6.814 | |
| | ASUT 88.635 | 6.723 | .814 |
| | VO -50.225 | 10.068 | -.312 |
| | VS -66.960 | 13.076 | -.320 |
| | VE -34.024 | 9.933 | -.211 |
| 5 | (Constant) 50.586 | 5.163 | |
| | ASUT 106.044 | 6.537 | .974 |
| | VO -50.813 | 7.587 | -.316 |
| | VS -68.624 | 9.859 | -.328 |
| | VE -35.510 | 7.492 | -.220 |
| | ASCT/EM -4.034 | .669 | -.251 |
| 6 | (Constant) 45.553 | 5.233 | |
| | ASUT 120.711 | 8.241 | 1.074 |
| | VO -54.321 | 6.704 | -.359 |
| | VS -70.312 | 8.644 | -.363 |
| | VE -34.713 | 6.576 | -.225 |
| | ASCT/EM -4.489 | 1.184 | -.284 |
| | RS/EM -10.180 | 4.125 | -.115 |

ANEXO VIII: Trombe APANTALLADO ventilado - Correlaciones estadísticas.

Estimación de la demanda de calefacción en Zona D2 (Zamora):

| Resgresión TV 1 E1 Ahorro Cal | | | |
|-------------------------------|------------------------|----------------------|--------|
| Variables introducidas | | | |
| Modelo | Variables Introducidas | Variables eliminadas | Método |
| 1 | ASUT | | * |
| 2 | ASCT/EM | | |
| 3 | VE | | * |
| 4 | VS | | * |
| 5 | VO | | * |
| 6 | EH | | * |
| 7 | AS | | * |

*-Hacia adelante (criterio:F>0,05)

| Resumen del modelo | | | | |
|--------------------|-------------------|------------|----------------------|-----------------------------|
| Modelo | R | R cuadrado | R cuadrado corregida | Error típ. de la estimación |
| 1 | .742 ^a | .551 | .533 | 27.047927 |
| 2 | .793 ^b | .629 | .598 | 25.106500 |
| 3 | .842 ^c | .709 | .671 | 22.702248 |
| 4 | .883 ^d | .779 | .739 | 20.208634 |
| 5 | .926 ^e | .857 | .823 | 16.631211 |
| 6 | .970 ^f | .941 | .923 | 11.001886 |
| 7 | .977 ^g | .954 | .937 | 9.899792 |

| ANOVA | | | | | | |
|--------|-------------------|-----------|------------------|-----------|--------|-------------------|
| Modelo | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | | Sig. |
| | | | | t | Sig. | |
| 1 | Regression | 22451.881 | 1 | 22451.881 | 30.689 | ,000 ^a |
| | Residual | 18289.758 | 25 | 731.590 | | |
| | Total | 40741.639 | 26 | | | |
| 2 | Regression | 25613.566 | 2 | 12806.783 | 20.317 | ,000 ^b |
| | Residual | 15128.073 | 24 | 630.336 | | |
| | Total | 40741.639 | 26 | | | |
| 3 | Regression | 28887.622 | 3 | 9629.207 | 18.683 | ,000 ^c |
| | Residual | 11854.017 | 23 | 515.392 | | |
| | Total | 40741.639 | 26 | | | |
| 4 | Regression | 31757.084 | 4 | 7939.271 | 19.440 | ,000 ^d |
| | Residual | 8984.556 | 22 | 408.389 | | |
| | Total | 40741.639 | 26 | | | |
| 5 | Regression | 34933.098 | 5 | 6986.620 | 25.259 | ,000 ^e |
| | Residual | 5808.541 | 21 | 276.597 | | |
| | Total | 40741.639 | 26 | | | |
| 6 | Regression | 38320.809 | 6 | 6386.802 | 52.765 | ,000 ^f |
| | Residual | 2420.830 | 20 | 121.041 | | |
| | Total | 40741.639 | 26 | | | |
| 7 | Regression | 38879.527 | 7 | 5554.218 | 56.672 | ,000 ^g |
| | Residual | 1862.112 | 19 | 98.006 | | |
| | Total | 40741.639 | 26 | | | |

| Coeficientes | | | | | | |
|--------------|--------------------------------|------------|--------------------------|-------|--------|------|
| Modelo | Coeficientes no estandarizados | | Coeficientes tipificados | | t | Sig. |
| | B | Error t.p. | Beta | | | |
| 1 | (Constant) | 37.412 | 16.258 | | 2.301 | ,030 |
| | ASUT | 104.359 | 18.838 | ,742 | 5.540 | ,000 |
| 2 | (Constant) | 31.777 | 15.300 | | 2.077 | ,049 |
| | ASUT | 136.976 | 22.756 | ,974 | 6.019 | ,000 |
| | ASCT/EM | -5.258 | 2.348 | -,363 | -2.240 | ,035 |
| 3 | (Constant) | 42.030 | 14.420 | | 2.915 | ,008 |
| | ASUT | 139.853 | 20.609 | ,995 | 6.786 | ,000 |
| | ASCT/EM | -5.531 | 2.126 | -,381 | -2.602 | ,016 |
| | VE | -59.225 | 23.498 | -,284 | -2.520 | ,019 |
| 4 | (Constant) | 58.376 | 14.241 | | 4.099 | ,000 |
| | ASUT | 134.079 | 18.474 | ,954 | 7.258 | ,000 |
| | ASCT/EM | -5.720 | 1.894 | -,394 | -3.021 | ,006 |
| | VE | -62.056 | 20.944 | -,298 | -2.963 | ,007 |
| | VS | -73.120 | 27.585 | -,271 | -2.651 | ,015 |
| 5 | (Constant) | 67.769 | 12.043 | | 5.627 | ,000 |
| | ASUT | 137.572 | 15.239 | ,979 | 9.028 | ,000 |
| | ASCT/EM | -5.820 | 1.559 | -,401 | -3.734 | ,001 |
| | VE | -52.194 | 17.481 | -,250 | -2.986 | ,007 |
| | VS | -85.663 | 23.002 | -,317 | -3.724 | ,001 |
| | VO | -59.978 | 17.700 | -,289 | -3.389 | ,003 |
| 6 | (Constant) | 48.882 | 8.730 | | 5.599 | ,000 |
| | ASUT | 137.795 | 10.081 | ,980 | 13.669 | ,000 |
| | ASCT/EM | -5.824 | 1.031 | -,402 | -5.649 | ,000 |
| | VE | -55.586 | 11.582 | -,267 | -4.800 | ,000 |
| | VS | -86.543 | 15.217 | -,320 | -5.687 | ,000 |
| | VO | -66.123 | 11.766 | -,318 | -5.620 | ,000 |
| | EH | 69.117 | 13.065 | ,291 | 5.290 | ,000 |
| 7 | (Constant) | 19.019 | 11.442 | | 2.536 | ,020 |
| | ASUT | 107.032 | 20.563 | ,667 | 4.558 | ,000 |
| | ASCT/EM | -5.503 | 1.529 | -,202 | -1.912 | ,071 |
| | VE | -55.141 | 10.429 | -,262 | -5.239 | ,000 |
| | VS | -91.435 | 13.718 | -,328 | -6.454 | ,000 |
| | VO | -72.260 | 10.616 | -,327 | -6.402 | ,000 |
| | EH | 67.662 | 11.758 | ,293 | 5.925 | ,000 |
| | AS | 70.492 | 26.676 | ,268 | 2.388 | ,028 |

ANEXO X: Galería bioclimática - Correlaciones estadísticas.

Estimación de la demanda de refrigeración en Zona D2 (Zamora):

| Variables introducidas | | | |
|------------------------|------------------------|----------------------|--------|
| Modelo | Variables Introducidas | Variables eliminadas | Método |
| 1 | VI | | * |
| 2 | UG | | * |
| 3 | VE | | * |
| 4 | VLE | | |
| 5 | VO | | * |

* -Hacia adelante (criterio: F>0,05)

Model Summary^a

| Model | R | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
|-------|-------------------|----------|-------------------|----------------------------|
| 1 | ,489 ^b | .239 | .209 | 11.577138 |
| 2 | ,696 ^b | .484 | .442 | 9.726253 |
| 3 | ,799 ^c | .638 | .591 | 8.327504 |
| 4 | ,879d | .773 | .732 | 6.743823 |
| 5 | ,903 ^d | .815 | .771 | 6.003823 |

ANOVA

| Modelo | | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
|--------|------------|-------------------|----|------------------|--------|-------------------|
| 1 | Regression | 1053.466 | 1 | 1053.466 | 7.860 | ,010 ^b |
| | Residual | 3350.753 | 25 | 134.030 | | |
| | Total | 4404.219 | 26 | | | |
| 2 | Regression | 2133.819 | 2 | 1066.910 | 11.278 | ,000 ^c |
| | Residual | 2270.400 | 24 | 94.600 | | |
| | Total | 4404.219 | 26 | | | |
| 3 | Regression | 2809.231 | 3 | 936.410 | 13.503 | ,000 ^d |
| | Residual | 1594.989 | 23 | 69.347 | | |
| | Total | 4404.219 | 26 | | | |
| 4 | Regression | 3403.678 | 4 | 850.919 | 18.710 | ,000 ^e |
| | Residual | 1000.541 | 22 | 45.479 | | |
| | Total | 4404.219 | 26 | | | |
| 5 | Regression | 3551.408 | 5 | 710.282 | 18.210 | ,000 ^f |
| | Residual | 852.809 | 21 | 40.610 | | |
| | Total | 4404.219 | 26 | | | |

Coeficientes

| Modelo | Coeficientes no estandarizados | | t | Sig. | |
|--------|--------------------------------|------------|--------|--------|-------------|
| | B | Error típ. | | | |
| 1 | (Constant) | 14.692 | 3.523 | | |
| | VI | -15.300 | 5.458 | -.489 | .2804 .010 |
| 2 | (Constant) | 6.818 | 3.767 | | |
| | VI | -48.079 | 10.729 | -1.537 | -4.481 .000 |
| 3 | UG | 13.734 | 4.064 | 1.159 | 3.379 .002 |
| | (Constant) | 1.013 | 3.723 | | |
| 4 | VI | -46.210 | 9.205 | -1.477 | -5.020 .000 |
| | UG | 13.517 | 3.480 | 1.141 | 3.884 .001 |
| 5 | VE | 27.021 | 8.658 | .394 | 3.121 .005 |
| | (Constant) | -3.808 | 3.297 | | |
| 4 | VI | -41.900 | 7.549 | -1.339 | -5.550 .000 |
| | UG | 11.713 | 2.862 | .988 | 4.092 .000 |
| 5 | VE | 27.111 | 7.012 | .395 | 3.866 .001 |
| | VLE | 11.672 | 3.229 | .373 | 3.615 .002 |
| 5 | (Constant) | -5.261 | 2.989 | | |
| | VI | -42.960 | 6.653 | -1.354 | -5.783 .000 |
| 5 | UG | 11.836 | 2.491 | .988 | 4.221 .000 |
| | VE | 24.649 | 6.215 | .368 | 3.683 .001 |
| 5 | VLE | 11.002 | 2.884 | .343 | 3.378 .002 |
| | VO | 12.895 | 6.213 | .211 | 2.092 .049 |

Estimación de la demanda de refrigeración en Zona D1 (Palencia):

| Variables introducidas | | | |
|------------------------|------------------------|----------------------|--------|
| Modelo | Variables Introducidas | Variables eliminadas | Método |
| 1 | VI | | * |
| 2 | UG | | * |
| 3 | VE | | * |
| 4 | VLE | | * |
| 5 | VO | | * |

* -Hacia adelante (criterio: F>0,05)

Resumen del modelo

| Modelo | R | R cuadrado | R cuadrado corregida | Error típ. de la estimación |
|--------|-------------------|------------|----------------------|-----------------------------|
| 1 | ,476 ^a | .226 | .195 | 11.105865 |
| 2 | ,684 ^b | .468 | .424 | 9.398673 |
| 3 | ,795 ^c | .631 | .583 | 7.990516 |
| 4 | ,874 ^d | .764 | .721 | 6.534591 |
| 5 | ,897 ^e | .805 | .758 | 6.085809 |

ANOVA

| Modelo | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
|--------|-------------------|----------|------------------|---------|--------------------------|
| 1 | Regression | 901.412 | 1 | 901.412 | 7.308 ,012 ^b |
| | Residual | 3083.506 | 25 | 123.340 | |
| | Total | 3984.918 | 26 | | |
| 2 | Regression | 1864.877 | 2 | 932.438 | 10.556 ,001 ^c |
| | Residual | 2120.041 | 24 | 88.335 | |
| | Total | 3984.918 | 26 | | |
| 3 | Regression | 2516.406 | 3 | 838.802 | 13.137 ,000 ^d |
| | Residual | 1468.512 | 23 | 63.848 | |
| | Total | 3984.918 | 26 | | |
| 4 | Regression | 3045.498 | 4 | 761.375 | 17.830 ,000 ^e |
| | Residual | 939.419 | 22 | 42.701 | |
| | Total | 3984.918 | 26 | | |
| 5 | Regression | 3207.139 | 5 | 641.428 | 17.319 ,000 ^f |
| | Residual | 777.778 | 21 | 37.037 | |
| | Total | 3984.918 | 26 | | |

Coeficientes

| Modelo | Coeficientes no estandarizados | | Coeficientes tipificados | | t | Sig. |
|--------|--------------------------------|------------|--------------------------|--------|--------|------|
| | B | Error típ. | Beta | | | |
| 1 | (Constant) | 13.107 | 3.379 | | 3.879 | .001 |
| | VI | -14.153 | 5.235 | -.476 | -2.703 | .012 |
| | UG | 5.671 | 3.640 | | 1.558 | .132 |
| 2 | (Constant) | -45.108 | 10.367 | -1.516 | -4.351 | .000 |
| | VI | 12.970 | 3.927 | 1.151 | 3.303 | .003 |
| | UG | -.031 | 3.572 | | -.009 | .993 |
| 3 | (Constant) | -43.273 | 8.833 | -1.454 | -4.899 | .000 |
| | VI | 12.757 | 3.340 | 1.132 | 3.820 | .001 |
| | UG | 26.539 | 8.308 | .407 | 3.194 | .004 |
| 4 | (Constant) | -4.579 | 3.195 | | -1.433 | .166 |
| | VI | -39.206 | 7.315 | -1.317 | -5.359 | .000 |
| | UG | 11.055 | 2.774 | .981 | 3.986 | .001 |
| | VE | 26.624 | 6.794 | .408 | 3.919 | .001 |
| | VLE | 11.012 | 3.128 | .370 | 3.520 | .002 |
| 5 | (Constant) | -6.098 | 3.063 | | -1.991 | .060 |
| | VI | -40.316 | 6.834 | -1.355 | -5.900 | .000 |
| | UG | 11.183 | 2.584 | .992 | 4.328 | .000 |
| | VE | 24.048 | 6.447 | .369 | 3.730 | .001 |
| | VLE | 10.312 | 2.933 | .347 | 3.516 | .002 |
| | VO | 13.489 | 6.457 | .208 | 2.089 | .049 |

Estimación de la demanda de refrigeración en Zona E1 (León):

| Variables introducidas | | | |
|------------------------|------------------------|----------------------|--------|
| Modelo | Variables Introducidas | Variables eliminadas | Método |
| 1 | VI | | * |
| 2 | UG | | * |
| 3 | VE | | * |
| 4 | VLE | | * |
| 5 | VO | | * |

* -Hacia adelante (criterio: $F > 0,05$)

| Resumen del modelo | | | | |
|--------------------|-------------------|------------|----------------------|-----------------------------|
| Modelo | R | R cuadrado | R cuadrado corregida | Error típ. de la estimación |
| 1 | ,486 ^a | .236 | .205 | 9.675648 |
| 2 | ,683 ^b | .467 | .422 | 8.249002 |
| 3 | ,793 ^c | .629 | .580 | 7.031956 |
| 4 | ,863 ^d | .745 | .698 | 5.962206 |
| 5 | ,888 ^e | .789 | .739 | 5.548118 |

| ANOVA | | | | | | |
|--------|------------|-------------------|----|------------------|--------|-------------------|
| Modelo | | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
| 1 | Regression | 722.329 | 1 | 722.329 | 7.716 | ,010 ^b |
| | Residual | 2340.454 | 25 | 93.618 | | |
| | Total | 3062.784 | 26 | | | |
| 2 | Regression | 1429.679 | 2 | 714.839 | 10.505 | ,001 ^c |
| | Residual | 1633.105 | 24 | 68.046 | | |
| | Total | 3062.784 | 26 | | | |
| 3 | Regression | 1925.470 | 3 | 641.823 | 12.980 | ,000 ^d |
| | Residual | 1137.313 | 23 | 49.448 | | |
| | Total | 3062.784 | 26 | | | |
| 4 | Regression | 2280.730 | 4 | 570.182 | 16.040 | ,000 ^e |
| | Residual | 782.054 | 22 | 35.548 | | |
| | Total | 3062.784 | 26 | | | |
| 5 | Regression | 2416.370 | 5 | 483.274 | 15.700 | ,000 ^f |
| | Residual | 646.414 | 21 | 30.782 | | |
| | Total | 3062.784 | 26 | | | |

| Modelo | Coeficientes | | |
|--------|--------------------------------|------------|--------------------------|
| | Coeficientes no estandarizados | | Coeficientes tipificados |
| | B | Error típ. | Beta |
| 1 | (Constant) | 10.912 | 2.944 |
| | VI | -12.670 | 4.561 |
| 2 | (Constant) | 4.541 | 3.195 |
| | VI | -39.193 | 9.099 |
| 3 | UG | 11.113 | 3.447 |
| | (Constant) | -.433 | 3.144 |
| 4 | VI | -37.592 | 7.773 |
| | UG | 10.927 | 2.939 |
| 5 | VE | 23.151 | 7.311 |
| | (Constant) | -4.160 | 2.915 |
| | VI | -34.259 | 6.674 |
| | UG | 9.532 | 2.531 |
| | VE | 23.220 | 6.199 |
| | VLE | 9.023 | 2.854 |
| | (Constant) | -5.552 | 2.792 |
| | VI | -35.277 | 6.230 |
| | UG | 9.650 | 2.355 |
| | VE | 20.861 | 5.877 |
| | VLE | 8.382 | 2.674 |
| | VO | 12.356 | 5.886 |

BIBLIOGRAFÍA:

1. CTE. Código Técnico de la Edificación. Documento básico HE. Ahorro de Energía (R.D. 314/2006).
2. Condiciones de aceptación de procedimientos alternativos a LIDER y CALENER (IDAE, 2009).
3. Condiciones de aceptación de procedimientos alternativos a LIDER y CALENER. Anexos (IDAE, 2009).
4. Caracterización de soluciones bioclimáticas singulares para disminuir la demanda energética en la edificación (2014). (Fundación CIDAUT, proyecto BIOURB).
5. Caracterización de soluciones bioclimáticas singulares en zonas climáticas D2, D1 y E1 (2015). (Fundación CIDAUT, proyecto BIOURB).