

CONTART 2018: VII Convención de la Edificación
30 mayo - 1 junio 2018; Zaragoza (Spain): Colegio Oficial de
Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Zaragoza. Escuela
Universitaria Politécnica de La Almunia, p.299-309

030

IMPLANTACIÓN DE PASSIVHAUS EN CLIMAS EXTREMOS. ARAGÓN: POLVO, NIEBLA, VIENTO Y SOL

NAVARRO GUTIÉRREZ, CARLOS¹; RODRÍGUEZ SORIA, BEATRIZ²;
GUILLÉN LAMBEA, SILVIA³

¹ *B+Haus, Arquitectura eficiente, Zaragoza, España*
E-mail: carlos@bhaus.es, Web: www.bhaus.es

² *Centro Universitario de la Defensa, Zaragoza, España*
E-mail: brs@unizar.es, Web: www.cud.unizar.es

³ *Centro Universitario de la Defensa, Zaragoza, España*
E-mail: sguillen@unizar.es, Web: www.cud.unizar.es

PALABRAS CLAVE: Passivhaus, climas extremos, criterios de diseño.

RESUMEN

Passivhaus es el estándar de certificación energética más exigente del mundo, reconocido como modelo de los edificios de energía casi nula (EECN) por la Directiva Europea 2010/31/EU. De hecho, ha sido asumido como normativa de obligado cumplimiento por diversos estados, regiones y municipios europeos.

Si bien en un principio se concibió como modelo energético para climatologías centro europeas con una marcada demanda y carga de calefacción, actualmente se ha superado ampliamente este ámbito, encontrándose adaptado a climas cálidos en los cuales el caballo de batalla se centra en la refrigeración y los sobrecalentamientos internos de las edificaciones. Para seguir en este camino de eficiencia energética y asegurar su correcto funcionamiento es necesario establecer las estrategias de diseño arquitectónico más convenientes.

Aragón, tierra de diversidad cultural, cuenta a su vez con una gran variedad de climatologías extremas con veranos muy cálidos, inviernos severos, zonas de alta montaña y nieblas y vientos fríos en el valle del Ebro.

Polvo, niebla, viento y sol cantaba Labordeta, sin saber que del análisis de estos elementos se obtendrían los indicadores necesarios para el correcto diseño de un edificio Passivhaus: la ventilación mecánica controlada, la envolvente aislada y sin puentes térmicos, la hermeticidad al aire y el aprovechamiento y control solar.

En la ponencia se definirán a través de proyectos realizados y de resultados de simulaciones de diferentes tipologías edificatorias de carácter residencial, las estrategias de diseño necesarias para el cumplimiento del estándar Passivhaus en Aragón. Para ello se analizarán soluciones de protección solar, la influencia de la inercia térmica, sistemas activos de refrigeración y estrategias de ventilación nocturna.

1. INTRODUCCIÓN

Ante la inminente obligatoriedad de construir en 2019 edificios de consumo energía casi nula (EECN) según la Directiva 2010/31/EU [1], y ante la falta de una definición clara de cómo deben diseñarse y cuáles deben ser sus requisitos cuantitativos de demanda energética [2, 3], el estándar constructivo Passivhaus ha sido tomado como modelo de referencia para su implantación. Reconocido por la propia Comisión Europea como ejemplo de EECN [4], ha sido asumido como normativa de obligado cumplimiento por diversos estados, regiones y municipios europeos.

Los principales requerimientos para el diseño de edificios bajo el estándar Passivhaus son [5]:

- Demanda energética de calefacción y refrigeración: $15 \text{ kW} \cdot \text{h/m}^2 \cdot \text{año}$.
- Energía primaria total: $120 \text{ kW} \cdot \text{h/m}^2 \cdot \text{año}$.
- Edificios con calefacción y refrigeración por aire: Carga de frío y calor menor de 10 W/m^2 .
- Infiltraciones: $< 0,6$ renov/hora con una diferencia de presión de 50 Pa.
- Ventilación mecánica controlada con recuperación de calor: con un caudal mínimo de ventilación: $30 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{persona}$ y una eficiencia mínima del recuperador: 75%.

El Passivhaus Institut ofrece una serie de valores orientativos de transmitancias y requerimientos que ayudan al diseñador a alcanzar dichos valores. Estos estudios se encuentran centrados en climas del centro y norte de Europa y más recientemente se han adaptado a climas del suroeste europeo [6]. En la figura 1, a la izquierda, podemos ver las zonas climáticas definidas por Passivhaus a las que asigna idénticos requerimientos. Se puede comprobar que en España únicamente se diferencian dos climas, “warm temperate” y “warm”:

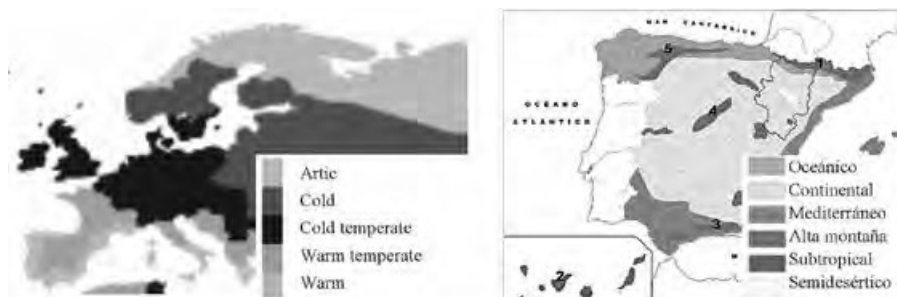


Figura 1. Izquierda: Zonas climáticas definidas por Passivhaus, http://www.passiv.de/downloads/03_certification_criteria_transparent_components_en.pdf. Derecha: Mapa climático de Köppen para España. AEMET.

No obstante, la variada geomorfología y vegetación de diferentes zonas de España, que definen y modifican en cierta medida la climatología a nivel local, hacen que en determinados territorios convivan climas muy diversos. Este es el caso de Aragón, con una gran variedad de climatologías extremas con veranos muy cálidos, inviernos severos, zonas de alta montaña, nieblas y vientos fríos en el valle del Ebro. De hecho, agencias del clima internacionales utilizan mapas climáticos que tienen en cuenta estas consideraciones, como es el caso del mapa climático de Köppen. En la figura 1 (derecha) pueden observarse las zonas climáticas que define en España y que son utilizadas por AEMET para sus estudios. Puede comprobarse que en Aragón se diferencian hasta cuatro zonas climáticas distintas, siendo éstas la semidesértica en el valle del Ebro, oceánica y de montaña en el pirineo y continental en el resto. Por ello se plantea la conveniencia de estudiar los diferentes parámetros de diseño para alcanzar el estándar Passivhaus en esas tres zonas geográficas diferenciadas: valle (semidesértico), continental y montaña.

Los principales parámetros de diseño pasivos para cumplir con los objetivos de demanda de calefacción y refrigeración son: transmitancia de la envolvente térmica, inercia térmica, orientación de ventanas para un adecuado aprovechamiento solar, y protecciones solares de las mismas para evitar sobrecalentamiento en verano. Como elemento activo se encuentra el recuperador de calor a través del cual se puede realizar una ventilación nocturna para refrigeración en verano. Posteriormente, para abastecer la demanda energética, se estudiarán los principales sistemas de refrigeración adecuados y sus limitaciones.

2. METODOLOGÍA

2.1 Software

Para realizar las simulaciones energéticas se utilizará el programa PHHP9 (Passive House Planning Package) y Design PH. Siendo el primero un programa de cálculo semi-dinámico utilizado para calcular y certificar los edificios bajo el estándar Passivhaus y el segundo un programa de modelado energético para edificios Passivhaus. Sus cálculos han sido ajustados y validados por los resultados de miles de edificios construidos y medidos. En estudios realizados en diferentes proyectos de investigación [7] se ha testado que su desviación respecto a programas de cálculo computacional fluidodinámico y a resultados experimentales, se encuentra en torno al 3%.

2.2 Zonas climáticas

Como se ha comentado se quieren estudiar tres zonas diferenciadas, continental, valle (semidesértico) y montaña. Para realizar el estudio se escogen datos climatológicos representativos de cada una de estas zonas. Dichos datos se han obtenido tanto de la base de datos de PHPP como de Meteonorm. Cabe señalar que dichas bases de datos no consideran el efecto de las nieblas prolongadas, que debería ser considerado en la irradiación en invierno en el caso del valle.

2.3 Tipologías edificatorias

Para analizar los elementos pasivos se estudiarán las dos tipologías edificatorias residenciales más comunes: unifamiliar y bloque de vivienda. Se crean para ello dos envolventes: una para el caso de unifamiliar de una planta con unas dimensiones de $10\text{m} \times 10\text{m} \times 3\text{m}$ y un factor de forma típico de $1,45\text{m}^{-1}$ y otra para el bloque de vivienda de 4 plantas con unas dimensiones de $40\text{m} \times 10\text{m} \times 12\text{m}$ y un factor de forma típico de $0,56\text{m}^{-1}$. Las unidades habitacionales del bloque de viviendas son reproducciones del unifamiliar para poder comparar datos equivalentes en las simulaciones energéticas. En ambos casos el porcentaje de huecos es aproximadamente el 10% de la superficie útil de la vivienda, valor típico mínimo en las normativas de planeamiento para cumplir con las condiciones de iluminación y ventilación. Se ubican 6 ventanas al sur y 3 al norte, todas ellas de 1m^2 de superficie. La superficie de referencia del unifamiliar y de cada unidad habitacional del bloque de viviendas es de 88m^2 . Las medidas de las edificaciones y la superficie útil de referencia se ajustan a valores típicos del parque edificatorio español según el IDAE [8, 9]. Para analizar la ventilación nocturna y los sistemas de climatización, el factor determinante, además del salto térmico, es el volumen de aire a renovar y climatizar. Por tanto, se analizan únicamente unidades habitacionales, sin diferenciar entre bloque de vivienda o unifamiliar.

2.4 Simulaciones energéticas para la optimización de los elementos pasivos

Se realizarán diversas simulaciones energéticas, con el fin de obtener unos valores óptimos del diseño de la envolvente de una edificación Passivhaus en los diferentes climas seleccionados (montaña, valle y continental) para las dos tipologías edificatorias definidas (unifamiliar y bloque de vivienda).

En una primera aproximación se pretende optimizar el aislamiento en cada climatología. Se realizarán simulaciones energéticas para cada tipología edificatoria, con baja inercia térmica y alta inercia térmica, comprobando cómo ésta disminuye la demanda energética frente a un mismo espesor de aislamiento. Se dan valores comparativos de espesor de aislamientos y no transmitancias sobre una misma tipología de cerramiento, para comprender mejor la influencia sobre la superficie útil y el sobre coste del mismo. El aislamiento utilizado es EPS con un valor de conductividad térmica de $0,035\text{W/mK}$. Se toma como partida una ventana con valores de transmitancia y emisividad dentro del rango recomendado para Passivhaus en nuestro clima, con el fin de evitar los efectos de “pared fría” [10]. Las transmitancias del marco (U_m) y el vidio (U_g) son de $1\text{W/m}^2\cdot\text{K}$, y $0,7\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ respectivamente y permanecerán invariables y la emisividad (g) es de 0,5.

Para obtener una cifra de demanda energética que permita comparar los resultados, se impondrán los requerimientos para el diseño de edificios bajo el estándar Passivhaus señalados en números en la introducción, y de los datos geométricos definidos en el apartado de tipologías edificatorias.

En una segunda aproximación, una vez definidos los aislamientos más adecuados para cada zona climática y tipología edificatoria, se procederá a establecer las ganancias o pérdidas de energía a través de 1m^2 de ventana en cada orientación, en función de su emisividad.

Por último se estudiarán las protecciones solares adecuadas para disminuir la demanda de refrigeración. Primero se realizará la protección mediante el 50% de sombreamiento por elementos móviles (persianas, stores...) y posteriormente a través de vuelos fijos de 0,5m.

2.5 Estudio de sistemas activos

Para reducir la carga de climatización se estudiará el efecto de la ventilación nocturna en verano. Introducida esta ventilación nocturna se analizará como superar las cargas de refrigeración.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se ofrecen los resultados de las diferentes simulaciones energética expuestas en el apartado 2. Metodología. En las gráficas se designa siempre demanda de calefacción como D_{cal} , carga de calefacción como C_{cal} , demanda de refrigeración como D_{ref} y carga de refrigeración como C_{ref} .

3.1 Aislamiento de la envolvente térmica

En un principio se impondrá en cada tipología edificatoria el mismo espesor de aislamiento, y se compararán las demandas y cargas energéticas obtenidas para cada climatología. Se impone como espesor de aislamiento el mínimo requerido para cumplir con todos los parámetros del estándar en la zona menos extrema en calefacción, en este caso, el valle. En la figura 2 se ofrecen los resultados para el caso de un unifamiliar. El espesor de aislamiento utilizado es de 20cm. En la figura 3 se ofrecen los resultados de un bloque de viviendas. El espesor de aislamiento utilizado es de 10cm. En ambos casos se muestran resultados para baja inercia térmica ($60\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$) y alta inercia térmica ($204\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$) de la envolvente.

Posteriormente se realizaron simulaciones energéticas aumentando los espesores de aislamiento y modificando los elementos necesarios para cumplir con la demanda y carga energética (tabla 1). En el caso de unifamiliar en montaña ha sido necesario además eliminar las 3 ventanas del norte y sumarlas a las ventanas en la fachada sur.

En las figuras 4 y 5 se muestran las demandas y carga obtenidas con los espesores y ventanas de la tabla 1, para vivienda unifamiliar y bloque de vivienda respectivamente.

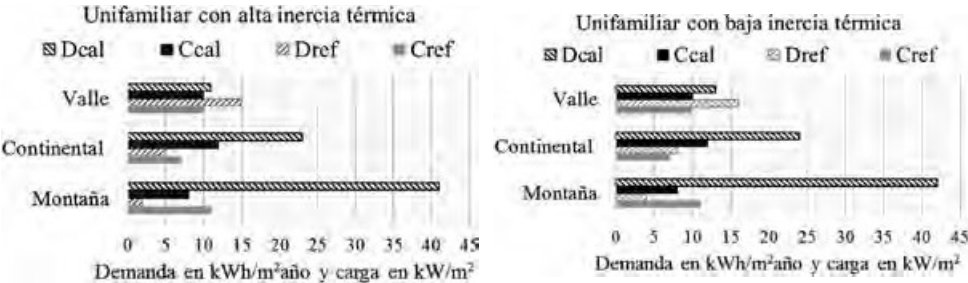


Figura 2. Demandas y cargas energéticas de una vivienda unifamiliar con 20 cm de EPS.

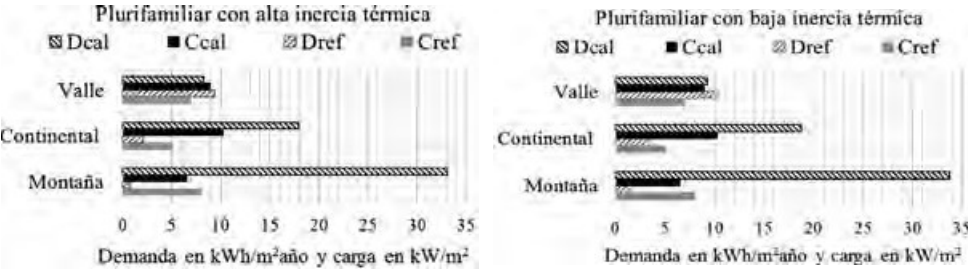


Figura 3. Demandas y cargas energéticas de un bloque de viviendas con 10 cm de EPS.

Tabla 1: Espesores de aislamiento EPS de cerramientos, emisividad de ventanas y eficiencia mínima del recuperador, para el cumplimiento del estándar Passivhaus.

	Valle		Continental		Montaña	
	Unifamiliar	Bloque	Unifamiliar	Bloque	Unifamiliar	Bloque
Fachada	20cm	10cm	25cm	12cm	30cm	22cm
Cubierta	20cm	10cm	30cm	12cm	30cm	22cm
Losa	20cm	10cm	30cm	12cm	30cm	22cm
Ventana	g:0,5	g:0,5	g:0,5	g:0,5	g:0,63	g:0,5
η recuperador	75%	75%	75%	75%	88,5%	75%

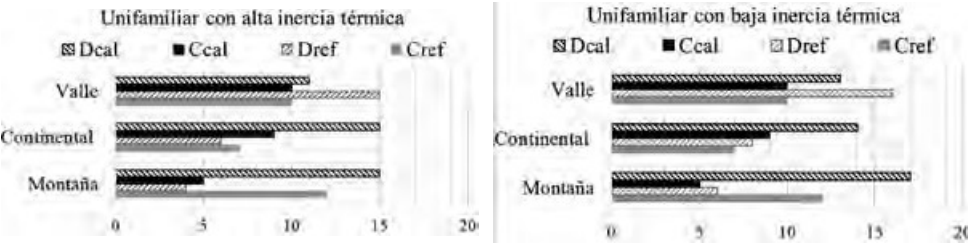


Figura 4. Demandas (kWh/m2año) y cargas (kW/m2) de una vivienda unifamiliar con aislamientos de tabla 1.

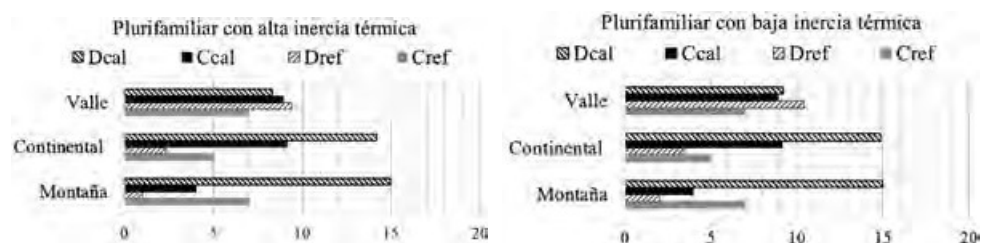


Figura 5. Demandas ($\text{kWh/m}^2\text{año}$) y cargas (kW/m^2) de un bloque de viviendas aislamientos de tabla 1.

3.2 Ventanas: Aprovechamiento solar

Se modifican los valores de emisividad de los cristales manteniendo el valor de transmittancias.

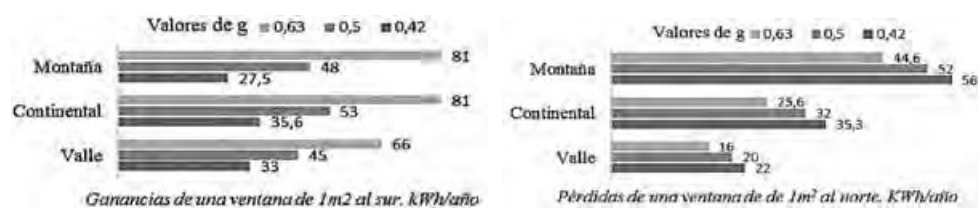


Figura 6. Izquierda: Ganancias solar al sur. Derecha: Pérdidas solares al norte.

Se obtiene la diferencia de ganancias y pérdidas energéticas en una ventana de 1m^2 de superficie, ubicada al norte y al sur de las edificaciones, en $\text{kW}\cdot\text{h/año}$ (figura 6).

3.3 Protecciones solares

Se realizan de nuevo para vivienda unifamiliar y bloque de vivienda. Se incluye únicamente el caso de edificios con baja inercia térmica ya que las variaciones por los elementos de sombreado son prácticamente las mismas a las de edificios con alta inercia térmica (figura 7).

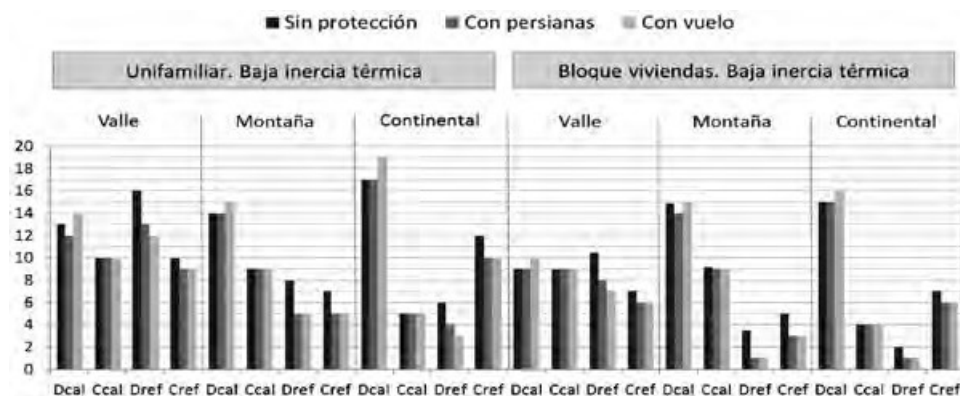


Figura 7. Demandas y cargas energéticas en función de las protecciones solares en cada climatología. Caso de baja inercia térmica.

3.4 Ventilación nocturna

La ventilación nocturna puede realizarse mediante la apertura de ventanas o realizando un by-pass en el sistema de ventilación mecánica con recuperación de calor. Para el caso de by-pass se aumenta el caudal de ventilación un 50%. Se ha comprobado que si la vivienda posee baja inercia térmica en todos los casos la demanda de refrigeración disminuye en $1\text{ kWh/m}^2\text{año}$. Si la vivienda posee una alta inercia térmica la demanda de refrigeración disminuye en torno a $2\text{ kWh/m}^2\text{año}$ con la ventilación por by-pass y si se combina con la apertura de ventanas, en torno a $3\text{ kWh/m}^2\text{año}$.

3.5 Sistemas de climatización

La demanda de refrigeración en la zona continental y de montaña, si realizamos una ventilación nocturna combinada, es muy pequeña. En clima de montaña únicamente se produce un sobrecalentamiento en torno al 1% (sólo el 1% de los días se supera la temperatura de confort de 25°C), muy por debajo del 10%, máximo permitido por Passivhaus. En clima continental el sobrecalentamiento se encuentra en torno al 9%. Por tanto en ambos casos, en líneas generales, no serían precisos sistemas de climatización. En cambio en la zona climática de valle, semidesértica, el sobrecalentamiento obtenido es del 20%. Si aumentáramos la temperatura de confort a 26°C dicho sobrecalentamiento sería del 15%, con 27°C del 8%, y con 28°C del 1%. Estos resultados parciales dejan entrever que en realidad las temperaturas de sobrecalentamiento no excesivas.

Para llevar a cabo la refrigeración se tratará el aire de impulsión (en el sistema de ventilación) y el aire en circulación en el interior de las viviendas. Aunque las cargas de refrigeración no son muy altas, es imposible superarlas a través del aire de impulsión, ya que su temperatura de impulsión no puede bajar de 17°C para evitar problemas de condensaciones en el sistema [10]. Impulsando aire a esa temperatura únicamente se consiguen $2,8\text{ W/m}^2$ en clima de montaña, $2,7\text{ W/m}^2$ en clima de valle y $1,7\text{ W/m}^2$ en clima continental. Si enfriamos el aire en circulación, en el clima continental bastaría con disponer de un generador de 500 W funcionando a un caudal de $65\text{ m}^3/\text{h}$ (70% del caudal máximo de ventilación de

la vivienda). Para el clima semidesértico del valle se precisaría de un equipo de 900W y un caudal de 194 m³/h. En este caso por tanto se precisaría impulsar un caudal constante a temperaturas cercanas a la de confort para no generar gradientes térmicos en la estancia, con bolsas de aire frío en las zonas cercanas al generador.

3.6 Discusión de resultados

Se comprueba que la inercia térmica es un factor determinante en el diseño, sobre todo en el caso de viviendas unifamiliares, para disminuir la demanda energética. Así la demanda de calefacción al utilizar cerramientos de alta inercia térmica se reduce utilizando un mismo espesor de aislamiento entre el 7% (en clima continental) y el 18% (en el valle) respecto al uso de cerramientos de baja inercia. En demanda de refrigeración, varía entre el 6% (en valle) y el 50% (en montaña). La influencia de la inercia térmica en la edificación en bloque es menor, sobre todo en la demanda de refrigeración.

En cuanto al análisis del aislamiento, se ha obtenido que frente a un mismo aislamiento, mientras se cumple los límites de demanda y carga energéticas en el valle, en el clima continental prácticamente se duplican y en el clima de montaña están cerca de triplicarse, tanto para vivienda unifamiliar como para bloque de viviendas. En clima continental, en vivienda unifamiliar ha sido necesario aumentar el aislamiento en losa y cubierta un 50% respecto al colocado en la zona de valle, y en clima de montaña, aún aumentado un 50% ese espesor (con un total de 30cm de aislamiento) ha sido necesario mejorar la emisividad de las ventanas (además de su redistribuirlas) y la eficiencia del recuperador.

Otro factor determinante es el factor de forma del edificio. Se comprueba que los espesores de aislamientos obtenidos para cumplir con las demandas energéticas establecidas en el bloque de viviendas, se encuentran en todos los casos por debajo de la mitad que los necesarios para la vivienda unifamiliar. Además, la variación de aislamiento para cumplir con el estándar en diferentes climas también es menor. En clima continental se aumentan un 20% y en clima de montaña, aumentando el aislamiento un 150% (con un espesor total de 22cm) no se precisa modificar ni la emisividad de las ventanas ni la eficiencia del recuperador.

Si analizamos las ganancias energéticas de los vidrios al sur y las pérdidas de los vidrios al norte, comprobamos que para bajas emisividades ambas se equilibran en clima continental en montaña son mayores las pérdidas y en el valle mayores las ganancias. Al aumentar la emisividad de los vidrios, cada vez aumentan más las ganancias de las ventanas ubicadas en el sur (casi un 200% en montaña y un 100% en valle) y disminuyen las pérdidas de las ventanas ubicadas en el norte (un 25% en montaña y 37,5% en valle). Donde más ganancias se producen en las ventanas ubicadas al sur es en el clima de montaña, después en el continental y por último en el valle. En cambio, en cómputo global, si al aprovechamiento solar del sur le restamos las pérdidas de las ventanas al norte, frente a una misma distribución de ventanas, es en el valle donde más ganancias se producen, después en el clima continental y por último en el clima de montaña. En lo referente al uso de medidas de protección solar, se ha comprobado que no afecta a la carga de calefacción pero sí a la demanda de calefacción (entre un 11 y un 17%) en el caso de protecciones fijas como son los vuelos. En cuanto a la demanda de refrigeración, con los vuelos se obtiene el mejor dato en todos los casos. Si en vez de vuelos utilizamos elementos móviles, en el valle aumenta la demanda un 10%, y en continental un 33%. Si no utilizamos ningún tipo de protección, en la zona de valle aumenta (respecto a poner un vuelo) un 33%, en las zonas continental y de montaña un 100%.

4. CONCLUSIONES

El Passivhaus Institut identifica en Aragón una zona climática, denominada warm temperate, para recomendar valores que permitan alcanzar el cumplimiento del estándar. En el artículo se han identificado y justificado no obstante, tres climatologías muy diferenciadas: valle (semidesértico), continental y de montaña. Además debería considerarse que en las bases de datos climáticos no se incluye el efecto de la niebla, que afectaría a la carga de calefacción y por tanto al diseño de los equipos. La radiación solar en el mes de enero en el valle debería considerarse al 50%.

Mientras en las viviendas unifamiliares la inercia térmica juega un papel muy importante para disminuir las demandas de energía, en el caso de las viviendas en bloque no es un factor decisivo. Si bien es verdad, se tenderá de forma natural a usar cerramientos de alta inercia térmica por las técnicas de construcción utilizadas para las tipologías en bloque. Además, se ha comprobado que en las viviendas en bloque con un factor de forma menor que las viviendas unifamiliares, los espesores de aislamiento requeridos para cumplir con el estándar se encuentran por debajo de la mitad. Por tanto, será más sencillo y con menor sobre coste, diseñar y construir bloques de viviendas Passivhaus que unifamiliares.

Se comprueba también que los mayores aislamientos son requeridos en los climas más fríos. Mientras en los climas continental y de montaña el factor determinante en el diseño es la demanda de calefacción, en el valle (semidesértico) será la refrigeración.

En cuanto a los vidrios, se ha podido comprobar que el clima de montaña debería tenderse a ubicar las ventanas al sur, utilizando vidrios con altas emisividades. En cambio, en la zona de valle la ventanas ubicadas al sur pueden producir sobrecalentamientos por un exceso de captación solar. En todos los casos será interesante combinar el uso de vidrios de baja y alta emisividad buscando en cada orientación su uso más adecuado para poder equilibrar a favor del cumplimiento del estándar Passivhaus el balance energético de la edificación. El clima de valle sufre más sobrecalentamiento, por lo que sus ventanas deberán protegerse mediante sombreamientos, debiendo evitar a toda costa ubicar en fachada sur excesivos huecos acristalados sin protección. No obstante el uso de vuelos puede ser contraproducente en zonas frías al producir un aumento de la demanda de calefacción por lo que se deberá guardar especial atención al resultado del balance energético al incorporarlos. El uso elementos de sombreamiento móviles no altera el valor de la demanda en ningún caso, si bien esto es solo en la teoría ya que su uso depende del factor usuario.

En lo referente a los sistemas activos, si realizamos una adecuada ventilación nocturna, en las zonas de montaña y continental no sería preciso incorporar sistema de refrigeración, siendo ineludible en el clima de valle. Dicha refrigeración no podrá llevarse a cabo a través del aire en impulsión, si no a través del aire en circulación, o con la combinación de ambos sistemas.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] European Commission, Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings. Official Journal L153, 18/6/2010, p. 13-35. Strasbourg, 2010.
- [2] European Commission. National Energy Efficiency Action Plans (NEEAPs): update on implementation Accompanying document to the Energy Efficiency. Plan 2011 COM (2011) 109. Brussels, 2011.
- [3] European Commission. Energy Efficiency Plan 2011. COM(2011) 109. Brussels, 2011.
- [4] Buildings Performance Institute Europe (BPIE). Principles for Nearly Zero-energy Buildings. Published by Buildings Performance Institute Europe (BPIE) Brussel, 2011.
- [5] Guía del estándar Passivhaus. Edificios de consume energético casi nulo. Madrid 2011. DL: M.37.033-2011. Edita: Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, PEP, Zhender.
- [6] Passive Houses in South West Europe. 2016. Jürgen Schneider. Passivhaus Institut, Darmstadt.
- [7] Validation of the PHPP program calculations in Mediterranean climates for ENERPHIT standard. Rodríguez, B; Navarro, C; Guillén, S; Sierra, J. 10th Conference on Advanced Building Skins. Suiza, 2015.
- [8] IDAE. Serie: Calificación de eficiencia energética de edificios. Guía no.12: Opción simplificada. Viviendas. Memoria de cálculo. IDAE, Madrid, 2009
- [9] IDAE (Proyecto Sech-Spahousec, Análisis del consumo energético del sector residencial en España), (2016). www.idae.es.
- [10] Course material for the “Certified Passive House Designer” / Passive House Institute Dr. Wolfgang Feist, Darmstadt 2017.