



Received: 20-02-2020
Accepted: 06-03-2020

Anales de Edificación
Vol. 6, N°2, 38-52 (2020)
ISSN: 2444-1309
Doi: 10.20868/ade.2020.4495

Influencia de las Condiciones Locales y de los Valores Medidos in situ en la Estimación de la Demanda Energética en Edificios de Construcción Tradicional.

Influence of Local Conditions and Values Measured in situ in the Estimation of Energy Demand in Buildings of Traditional Construction.

Miguel Ángel Mellado Mascaraque^a; Francisco Javier Castilla Pascual^a; Ignacio Oteiza^b

^aDepartamento de Ingeniería Civil y de la Edificación, Escuela Politécnica de Cuenca, Universidad de Castilla-La Mancha. ^bDepartamento de Construcción, Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción (IETcc-CSIC)

Resumen—Este trabajo tiene como objetivo el estudio del comportamiento higrotérmico y el análisis de la demanda energética de viviendas construidas con muros de gran espesor en el clima Seco-Mediterráneo. Esta fase se acomete tras una campaña anual de monitorización in situ, con el fin de obtener valores reales de las condiciones climáticas locales, el comportamiento de los usuarios y los valores de transmitancia térmica de los muros de tapia de tierra característicos de la arquitectura vernácula de La Mancha. Para conseguirlo, se han ejecutado simulaciones energéticas sobre dos edificios representativos, con tres objetivos: 1) Evaluación de los sistemas constructivos que incluyen muros con alta inercia térmica, en comparación con sistemas más contemporáneos. 2) Comparativa entre el uso de datos teóricos acerca de propiedades de muros y actividad de los usuarios (Catálogo de Elementos Constructivos y perfiles de uso del CTE), y el uso de datos recogidos a través de ensayos de caracterización de los muros y encuestas a los usuarios. 3) Comparativa entre el uso de datos climatológicos estándar (archivos climáticos de zona tipo del CTE), valores medios de datos recogidos por estaciones en pueblos cercanos, y el uso de datos recogidos durante un año a través de una estación meteorológica situada en el mismo pueblo donde se encuentran los edificios estudiados. Los resultados demuestran que: 1) Las simulaciones donde se han usado datos teóricos de transmitancia térmica (U) han provocado un incremento entre 36-55% en la demanda energética de invierno y un incremento entre 9-14% en verano. 2) El uso de información teórica frente al uso de encuestas realizadas a los usuarios puede generar una diferencia de hasta un 80% en las demandas energéticas. 3) Por el contrario, el uso de datos climáticos estándar produce demandas energéticas menores que usando datos recogidos en el mismo pueblo, hasta 74% menor en los meses de invierno y 100% menor en meses de verano.

Palabras Clave— Demanda energética; simulación energética; transmitancia térmica; muros de tapia

Abstract—This work has as its objective the study of the hygrothermal behavior and the analysis of the energy demand of houses built with thick walls in the Dry-Mediterranean climate. This phase is undertaken after an annual on-site monitoring campaign, in order to obtain real values of the local climatic conditions, the behavior of the users and the values of thermal transmittance of the earth wall

walls characteristic of the vernacular architecture of La Mancha. To achieve this, energy simulations have been carried out on two representative buildings, with three objectives: 1) Evaluation of construction systems that include walls with high thermal inertia, compared to more contemporary systems. 2) Comparison between the use of theoretical data about wall properties and user activity (Constructive Elements Catalog and CTE usage profiles), and the use of data collected through wall characterization tests and surveys to the users. 3) Comparison between the use of standard weather data (climate files of the CTE type zone), average values of data collected by stations in nearby villages, and the use of data collected during a year through a weather station located therein town where the buildings studied are located. The results show that: 1) Simulations where theoretical data of thermal transmittance (U) have been used have caused an increase between 36-55% in winter energy demand and an increase between 9-14% in summer. 2) The use of theoretical information against the use of user surveys can generate a difference of up to 80% in energy demands. 3) On the contrary, the use of standard climatic data produces lower energy demands than using data collected in the same town, up to 74% lower in the winter months and 100% lower in the summer months.

Index Terms— Energy demand; energy simulation; thermal transmittance; tapia walls

I. INTRODUCCIÓN

Conocer el comportamiento térmico de los materiales es esencial para la realización de una correcta evaluación energética de los edificios, de sus demandas y el impacto medioambiental debido al consumo de recursos. El uso de herramientas informáticas de simulación energética es un camino para llevar a cabo esta evaluación al ofrecer la posibilidad de configurar un modelo lo más adaptado a la realidad e ir comprobando el funcionamiento cambiando diversas propiedades. Este trabajo pertenece a la tesis doctoral que se está desarrollando con el objetivo de estudiar viviendas en uso de construcción tradicional características de la Comunidad de Castilla-La Mancha.

Previamente, se han llevado a cabo varios ensayos en cuatro viviendas situadas en Campo de Criptana (Ciudad Real) para estudiar muros de gran espesor, concretamente de tapia de tierra. Se pueden dividir en dos categorías: la monitorización del confort en viviendas, y la caracterización higrotérmica de muros de tapia. Mientras que la primera categoría se concentra en la monitorización del confort en cuatro salones de cuatro casas diferentes y sin aislamiento, realizando encuestas bianuales a los usuarios, la segunda categoría ha consistido en la realización de ensayos no invasivos con fluxómetro, siguiendo las directrices de la normativa ISO 9869 (ISO, 2014), en las dos casas que presentaban una construcción tradicional. Una revisión previa del estado del arte y de la ejecución de estos ensayos puede encontrarse en (Mellado et al., 2017).

La investigación se centra ahora en valorar y cuantificar la influencia de las condiciones ambientales locales y de los valores térmicos de los muros de tapia en las demandas energéticas de los edificios de construcción tradicional. Para ello, se han realizado simulaciones energéticas de dos viviendas (Viv. A y Viv. B de ahora en adelante) con el software Design Builder (v. 5.0.3), utilizado en investigaciones similares como (Montalbán, 2015). Estas viviendas presentan muros de tapia de tierra en toda su envolvente y en los muros interiores. La demanda energética se estudia a tres niveles: tomando como variable el tipo de construcción cogiendo como referencia los

muros de fachada; cambiando las condiciones de uso teniendo en cuenta por un lado la actividad real de los usuarios y por otro las condiciones teóricas que podemos encontrar en el CTE; y por último, utilizando distintos datos climáticos. De esta manera se realiza un análisis desde lo particular de la construcción, probando con distintos tipos de muro, hasta lo general de la vivienda, que implica las condiciones climatológicas, pasando por un estadio intermedio que supone la actividad de los usuarios dentro de la vivienda.

Otras investigaciones como (Hasan and Dutta, 2015), (Allinson and Hall, 2010), y (Parra and Batty, 2006) también realizan simulaciones energéticas centradas en elementos constructivos de tapias de tierra pero en climas distintos. En (Hasan and Dutta, 2015) se estudia un edificio de oficinas en Australia, demostrando que las tapias de tierra pueden ser una alternativa para edificios de bajo coste, para la reducción de emisiones de carbono y también analiza el comportamiento de la tapia en climas sub-tropicales, tropicales y templados. Por otro lado, en (Allinson and Hall, 2010) se monitoriza y simula un habitáculo con muros de tierra en Inglaterra y se demuestra que la regulación de humedad provocada por la tierra afectaría positivamente en las demandas energéticas de humidificación y deshumidificación. Por último, en (Parra and Batty, 2006) se realizan simulaciones de construcciones de adobe con el software TAS en distintas regiones climáticas de México.

Por otro lado, estudios como (Lucchi, 2007), (Ficco et al., 2005), (Asdrubali et al., 2014) y (Baker, 2011) también realizan comparativas entre valores in situ y datos de diseño, utilizando fluxómetros y la misma normativa que para esta investigación, pero el principal material constructivo de los edificios estudiados no era la tierra. Todos concluyen que hay una gran disparidad entre ambos valores e inciden en la importancia de realizar ensayos in situ que tengan en cuenta las condiciones locales. Además, estas condiciones deben ser medidas lo más cerca posible de los edificios de estudio, ya que estudios como (Tendero, 2017) han demostrado la gran influencia de los microclimas de proximidad frente al uso de datos climáticos de referencia.

Finalmente, es importante mencionar que todas las simulaciones de este artículo se realizan con el modelo de cálculo CTF (“Conduction Transfer Function”), que solo considera transferencias de calor. Varios estudios han demostrado que existe una relación importante entre los valores térmicos y el contenido de agua del material (Arnold, 1969; Soudani et al., 2017). Por tanto, el trabajo posterior a este artículo radicará en la realización de simulaciones energéticas usando un modelo que considere transferencias combinadas de calor y humedad (HAMT en Energy Plus), ideales para considerar esa relación entre contenido de agua y propiedades térmicas (Liu et al., 2017).

II. METODOLOGÍA

A. Espacios estudiados

Ambas viviendas se encuentran en edificios muy grandes (>600m² construidos, Figura 1), y mientras que el edificio de la Vivienda B está compuesto por 2 viviendas y un local comercial, la Vivienda A ocupa todo el edificio. Esto genera muchos condicionantes y problemas a la hora de estudiar la actividad de los usuarios y también las características de los espacios, por lo que se procedió a estudiar muchos detalles de una de las habitaciones que tuviera la misma función y orientación en ambas viviendas: el salón.

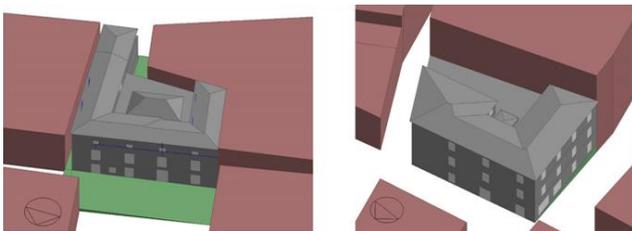


Fig. 1. Modelos de DesignBuilder. Vivienda A (izq.) y Vivienda B (dcha.).

Solo existe una diferencia importante entre ambas estancias: en la Vivienda A, el salón se sitúa en la Planta Primera, con un espacio deshabitado, pero de grandes dimensiones encima, mientras que en la Vivienda B el salón se encuentra en la Planta Segunda, bajo cubierta. Esto genera ciertas diferencias en el confort y en la demanda que se pueden comprobar cuando comparamos resultados. Los esquemas de la Figura 2 muestran la orientación, el tamaño y la situación de la habitación de estudio en cada vivienda.

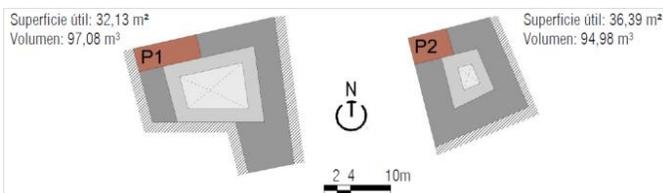


Fig. 2. Esquemas en planta de las viviendas con construcción con tapia de tierra. Vivienda A (izq), salón en Planta 1, y Vivienda B (dcha.) salón en Planta 2.

B. Características del programa: DesignBuilder

El programa Design Builder es un interfaz que permite modelar edificios de forma sencilla y exportar datos al motor de cálculo Energy Plus, permitiendo realizar una gran cantidad de simulaciones energéticas para comprobar el funcionamiento de medidas pasivas, instalaciones, iluminación natural, CFD (“Computational Fluid Dynamics”), así como la optimización y costes materiales y diversos otros temas.

La información se ha recogido a través de entrevistas frecuentes a los usuarios, y encuestas bianuales. Muchos de esos datos se han introducido en el programa, cuya interfaz se muestra en la Figura 3.

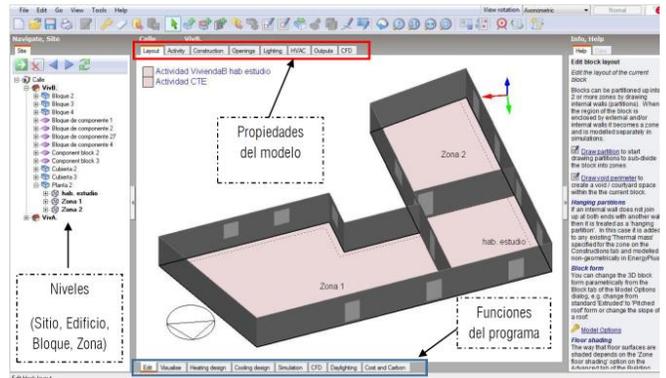


Fig. 3. Interfaz del programa y segunda planta de la Vivienda B.

Hay dos tipos de pestañas en el programa (Fig. 3). Las pestañas en el recuadro azul, que señalan algunas funciones del programa y de las que solo se han usado la de Edición, Visualización y Simulación, son comunes a todos los niveles (nivel Sitio, nivel Edificio, nivel Bloque y nivel Zona). Por otro lado, el recuadro rojo señala todas las pestañas para atribuir propiedades al modelo, tanto a nivel Edificio como a cada Planta (Bloque) y cada Habitación (Zona).

A nivel Sitio se configuran, entre otras cosas, los datos climáticos que va a usar el programa para las simulaciones y la región legislativa, donde se especifican los niveles estándar de aislamiento y los factores de emisión de CO₂.

Como ya se ha mencionado, para este trabajo solo se ha utilizado el modelo de cálculo CTF, que solo tiene en cuenta transferencias de calor en los muros y no considera contenidos de agua ni humedad.

C. Condiciones de partida que da el programa por defecto

A continuación, se va a hacer un breve resumen de los datos introducidos en los distintos apartados (pestañas) del programa para realizar las simulaciones.

A nivel de SITIO se introdujo la localidad de Ciudad Real, opción que se selecciona desde el principio al “Crear nuevo archivo”. El programa, por tanto, introduce la plantilla de Ciudad Real, atribuyendo propiedades como latitud, longitud, elevación sobre el nivel del mar, zona horaria, clima, región administrativa, etc.

Por otro lado, a nivel de EDIFICIO, BLOQUE o ZONA se crearon plantillas por defecto en todas las pestañas, y la información que contienen es la siguiente:

ACTIVIDAD. La plantilla que DB establece es de un área genérica de oficina, con una programación de ocupación de 8 de la mañana a 6 de la tarde, de lunes a sábado, y otras ganancias como equipos de oficina e iluminación. También se autoconfiguran los funcionamientos de Agua Caliente Sanitaria, Refrigeración y Calefacción con el mismo horario que la ocupación del espacio, pero en los meses correspondientes.

CERRAMIENTO. Por otro lado, la construcción que se establece es convencional, con ladrillo, hormigón y aislamiento de XPS en los muros, tabiques de yeso y cámara de aire, y cubiertas con lana de vidrio/roca y cámara de aire.

ABERTURAS. Las ventanas interiores y exteriores son iguales, con doble capa de vidrio con cámara de aire intermedia.

ILUMINACIÓN. Se crea un tipo de luminaria suspendida con una densidad de potencia determinada de forma automática.

HVAC. Dentro de esta plantilla aparece información que corresponde con la ventilación (no hay ventilación natural, pero sí una ventilación mecánica de impulsión), la calefacción (de gas natural y de tipo convectivo) y la refrigeración.

El resto de las pestañas no son de relevancia pues no se han usado en ningún momento de la investigación.

D. Variables de simulación

Se han estudiado una gran cantidad de detalles sobre la actividad de los usuarios y las características de los edificios, por lo que se han creado varias plantillas que han sustituido toda la información por defecto. Como se ha comentado anteriormente, la influencia en la demanda energética se ha estudiado a tres niveles, yendo desde lo particular hasta lo general:

1) Variable de ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS (MUROS): Consiste en evaluar los sistemas constructivos que incluyen muros con una gran inercia térmica en comparación con la construcción contemporánea.

2) Variable CONDICIONES DE USO: Consiste en estudiar la influencia del uso de información teórica de los muros y actividad de los usuarios tomados de valores del Catálogo de Elementos Constructivos (CEC) del Código Técnico de la Edificación (CTE) con respecto al uso de datos reales recogidos a través de ensayos in situ y de encuestas a los usuarios;

3) Variable DATOS CLIMÁTICOS: Consiste en contrastar el uso de datos climáticos estándar, que suelen ser medias de 20 años, e información climatológica real obtenida mediante una estación meteorológica particular cercana a los edificios estudiados.

RESUMEN DE CONDICIONES INTRODUCIDAS EN EL PROGRAMA PARA LA SIMULACIÓN 1, DENOMINADA “BÁSICA”

| Pestaña | Nivel edificio viviendas A y B | Nivel habitación estudio – salón viviendas A y B |
|--------------|---|--|
| Actividad | CTE | Ganancias totales CTE Ocupación Otras ganancias Equipos e Iluminación Control ambiental Refrigeración, calefacción, ventilación natural |
| Cerramientos | Muro exterior Tapia Particiones Adobe Cubierta inclinada barro-paja Techo Semiexpuesto madera y baldosas Masa térmica interna | Muro exterior Tapia Particiones Adobe Cubierta inclinada barro-paja Techo Semiexpuesto madera y baldosas Masa térmica interna Infiltraciones a 50Pa |
| Aberturas | Acristalamiento: Ventanas exteriores y ventanas en cubierta | Acristalamiento: Ventanas exteriores y ventanas en cubierta |
| Iluminación | Iluminación general CTE | Iluminación general |
| HVAC | Calefacción Refrigeración | Calefacción Refrigeración Ventilación natural |

E. Simulaciones realizadas

Cada una de esas variables conlleva a un tipo de simulación, cambiando determinadas características del edificio y de su funcionamiento, que a su vez se traduce en la modificación de algunos contenidos de las pestañas mencionadas anteriormente, o, en su defecto, de las plantillas. Se han realizado 18 simulaciones en total, 9 por vivienda. A continuación, se va a explicar qué datos se han introducido en cada simulación y a qué nivel (como se ve en la Figura 3, Sitio, Edificio, Bloque o Zona):

Simulación 1, BÁSICA: se insertaron todos los datos estudiados a través de encuestas a los usuarios y los ensayos sobre el salón, teniendo otros datos a nivel edificio en algunos casos. Por tanto, con esta simulación se sacan datos de demandas energéticas que corresponden con las características “reales”, estudiadas in situ, de la habitación, de sus ocupantes y de las condiciones meteorológicas. Los datos de esta simulación corresponden con los resultados de “MURO TAPIA valor in situ”, “CONDICIONES DE USO, valores in situ”, y “Datos Climáticos PROPIO”, que son las simulaciones básicas sobre las cuales se realiza una comparación con los datos que se extraen del resto. La Tabla 1 resume todas las condiciones introducidas en el programa en los modelos de ambas viviendas para ejecutar esta simulación “básica”, teniendo en cuenta los datos obtenidos con los ensayos in situ, las entrevistas y las encuestas sobre el uso de una de las habitaciones, en este caso el salón. Nivel SITIO, nivel EDIFICIO / BLOQUE (planta), y nivel ZONA (habitación estudio – salón).

TABLA I

Variable de ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS (MUROS): Simulaciones 2, 3 y 4, solo a nivel EDIFICIO / BLOQUE y a nivel ZONA, concretamente la pestaña de cerramientos, que es la única que cambia.

Simulación 2: Igual que la 1, solo que se han modificado los datos del cerramiento de fachada de todo el edificio. Este cerramiento sigue siendo de tapia de tierra, solo que se han usado los datos de conductividad térmica que podemos encontrar en (DB, 2014a). Corresponde con los resultados de “MURO TAPIA valor teórico”.

Simulación 3: Igual que la 1, solo que se han modificado los datos del cerramiento de fachada de todo el edificio. Este cerramiento tiene una configuración constructiva ligera constituida por un entramado metálico, con aislamiento de XPS y finalizado con placa de yeso. Corresponde con los resultados de “MURO LIGERO $U=0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ ”.

Simulación 4: Igual que la 3, solo que se ha modificado la transmitancia térmica (o U en $\text{W/m}^2\text{K}$) del cerramiento ligero para que sea igual a la U del cerramiento de tapia de cada una de las viviendas. Esto se ha transmitido en la modificación del espesor del aislamiento, y corresponde con los resultados de “MURO LIGERO U igual a in situ”.

Los resultados de estas tres últimas simulaciones se comparan con los resultados de la simulación 1.

Variable de CONDICIONES DE USO: Simulación 5. Solo a nivel EDIFICIO / BLOQUE y a nivel ZONA. El nivel SITIO se mantiene como en Simulación 1.

Simulación 5: se modificaron las características de los cerramientos y de la actividad de los usuarios del modelo usado para la simulación 1, cambiándolos por esas mismas características que podemos encontrar en (DB, 2014b). Corresponde con los resultados de “CONDICIONES DE USO, teoría”. Los resultados de esta simulación se comparan con los de la simulación 1.

Variable de DATOS CLIMÁTICOS: Simulaciones 6, 7, 8 y 9. Solo a nivel SITIO, que es el único que cambia.

Simulación 6: Igual que la 1, solo que se han modificado los datos del archivo climático y se ha usado el que podemos encontrar en la página oficial de Energy Plus, en este caso de la localidad de Toledo (a unos 90km de Campo de Criptana). Corresponde con los resultados de “DATOS CLIMÁTICOS Toledo”.

Simulación 7: Igual que la 1, solo que se han modificado los datos del archivo climático y se ha usado el que podemos encontrar en la página oficial de Energy Plus, en este caso de la localidad de Albacete (a unos 120km de Campo de Criptana). Corresponde con los resultados de “DATOS CLIMÁTICOS Albacete”.

Simulación 8: Igual que la 1, solo que se han modificado los datos del archivo climático y se ha usado el que podemos encontrar en la página oficial de Energy Plus, en este caso de la localidad de Ciudad Real (a unos 80km de Campo de Criptana).

Es importante mencionar que en este archivo las radiaciones directa, difusa y global sucedían por la noche, por lo que se procedió a modificarlo 12 horas. Corresponde con los resultados de “DATOS CLIMÁTICOS Ciudad Real”. Los datos de viento de estos tres archivos climáticos se habían rellenado de tal manera que existía un viento constante de $6,7\text{m/s}$ durante todo el año en las 3 localidades. Por eso, se han modificado usando la herramienta epWind de Aurea Consulting, distribuidor oficial de DesignBuilder en España. Esta genera datos de viento que coinciden con los promedios mensuales de la publicación “AEMET Rosas del viento (1971-2000)” y los pega directamente en el archivo que sea subido, seleccionando previamente con qué localidad española corresponde.

Simulación 9: Igual que la 1, solo que se han modificado los datos del archivo climático y se ha usado el que podemos encontrar en la página oficial de Aurea Consulting, y está compuesto por datos que constituyen la zona D3 del CTE (DB, 2014c), zona en la que se encuentra Campo de Criptana. Corresponde con los resultados de “DATOS CLIMÁTICOS Zona D3”.

Cuando comparamos estos resultados con los de la simulación 1 podemos encontrar muchas diferencias. Todo esto será explicado en el apartado de Resultados de Simulación.

La Tabla 2 resume las condiciones introducidas en el programa según el tipo de simulación, siendo la variable los muros, las condiciones de uso o las condiciones meteorológicas (datos climáticos).

TABLA 2
RESUMEN DE CONDICIONES INTRODUCIDAS SEGÚN EL TIPO DE SIMULACIÓN

| PESTAÑA Nivel Zona (Salón) | SIMULACIONES | | | | | | | | |
|----------------------------------|--|--------------------------------------|----------------|---|------------------------|---|---|----------------|-------------|
| | Básica: datos in situ | Variable: elementos constructivos | | | | Variable: condiciones de uso | Variable: condiciones meteorológicas | | |
| SITIO | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| SITIO | Estudio in situ con estación meteorológica personal en Campo de Criptana | | | | | Toledo E+ | Albacete E+ | Ciudad Real E+ | Zona D3 CTE |
| ACTIVIDAD | Encuestas a los usuarios* | | | | CTE HE1 | Encuestas a los usuarios* | | | |
| CERRAMIENTO | Tapia - Ensayos in situ | Tapia - Valores CTE | Ligero - DB | Ligero - DB con valores in situ | Tapia - Valores CEC | Tapia -Ensayos in situ | | | |
| ABERTURAS | Estudio in situ: propiedades de las aberturas de cada vivienda | | | | | | | | |
| ILUMINACIÓN | Valores CTE y programación a través de encuestas a los usuarios** | | | | CTE HE1 | Valores CTE y programación a través de encuestas a los usuarios** | | | |
| HVAC | Encuestas a los usuarios*** | | | | CTE HE1 | Encuestas a los usuarios*** | | | |

*El estudio se realizó sobre el espacio de salón en ambas viviendas y es lo que se introdujo a nivel de zona. A nivel de edificio se introducen los datos sobre actividad que podemos encontrar en el CTE.
** A nivel de edificio se introducen los datos sobre iluminación que podemos encontrar en el CTE respecto a su programación.
*** En este caso se introdujo la información de las encuestas a nivel zona y a nivel edificio. Se estableció valores del CTE HE1 para la programación de la refrigeración en la VivA al no hacer uso de ningún sistema de climatización en verano.

III. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A. Sobre la variable “elementos constructivos” (muros):

Las Figuras 4 y 5 (Viv.A), 6 y 7 (Viv. B) y las Tablas 3 (Viv.A) y 4 (Viv.B) muestran los resultados de las simulaciones informáticas realizadas con DesignBuilder para el estudio de la influencia del cerramiento en la demanda energética de calefacción en invierno o de refrigeración en verano para el espacio del salón de ambas viviendas. Se han probado y comparado entre sí cuatro tipos de cerramiento, tanto en la Vivienda A como en la Vivienda B:

MURO DE TAPIA valor in situ (Simulación 1): Se ha realizado varias campañas de ensayos experimentales en ambas viviendas para averiguar la transmitancia térmica (U , en W/m^2K) en condiciones reales de los muros de cerramiento de ambas viviendas, que son de tapia de tierra con 2cm de mortero de cal o cemento al exterior y 1cm de yeso al interior. La principal diferencia entre los muros de ambas viviendas reside en el espesor: VivA=56cm; VivB=60cm. Los datos que se han utilizado son: Vivienda A: $U=0,69W/m^2K$; Vivienda B: $U=0,48W/m^2K$.

MURO DE TAPIA valor teórico (Simulación 2): Se ha extraído el valor de conductividad térmica (λ , en W/mK) de la tierra apisonada del CTE (DB, 2014a) y se ha calculado un valor de U teniendo en cuenta ese valor de λ y las capas descritas anteriormente. Los datos que se han utilizado son: Vivienda A: $U=1,40W/m^2K$; Vivienda B: $U=1,33W/m^2K$.

MURO LIGERO (Simulación 3): Se ha probado a cambiar el muro de inercia actual por uno con aislamiento y así comprobar el efecto de este y la diferencia con un muro muy espeso, pero

metálica y un panel sándwich con 9cm de XPS y 1,3cm de placa de yeso. $U=0,25W/m^2K$.

MURO LIGERO (Simulación 4): Se ha sustituido el muro de inercia por un muro ligero cambiando el espesor del aislamiento para hacer coincidir la U con la de in situ. Esto hace que el XPS pase a tener 4,14cm en la Vivienda A y 6,26cm en la Vivienda B. Así, estudiamos la influencia de la inercia térmica en la demanda energética en relación con un muro aislado.

Mientras que en verano las diferencias en la demanda energética usando distintos tipos de cerramientos son menores en la Vivienda A que en la Vivienda B, no existe tanta diferencia como en invierno, lo que nos lleva a pensar que la calidad o el tipo de cerramientos influye mucho más en invierno que en verano. Esto también lo podemos ver fijándonos exclusivamente en ambos tipos de muro ligero.

Por otro lado, los muros ligeros con una U menor que los muros originales de tapia (un tercio en la Vivienda A y la mitad en la Vivienda B) suponen una demanda energética muy inferior a la calculada con valores in situ en ambas viviendas:

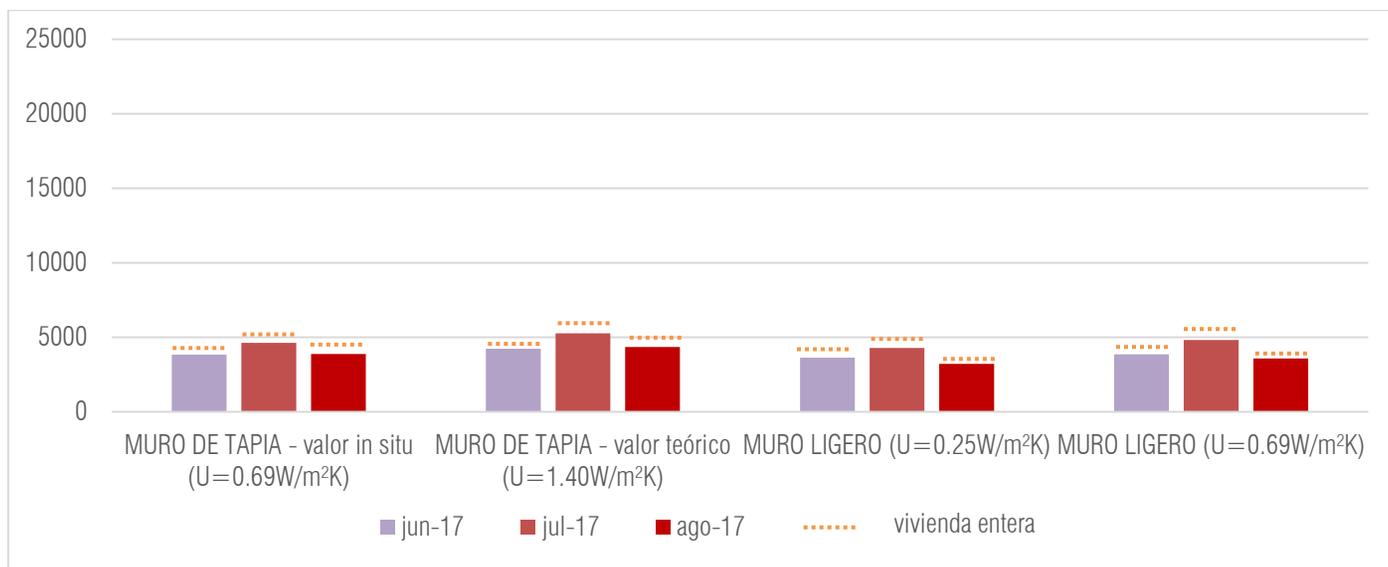


Fig. 4. Demanda energética de refrigeración en el salón de la Vivienda A (elementos constructivos - muros).

sin aislar. Este muro está compuesto por una subestructura entre un 26-33% en invierno y 5-17% en verano.

TABLA 3
VALORES ENERGÉTICOS DE DEMANDA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN EN EL SALÓN DE VIV. A Y DIFERENCIA CON VALORES IN SITU (ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS - MUROS)

| VIVIENDA A: SALÓN | Simulación 1 MURO TAPIA valor in situ ($U=0,48W/m^2K$) | Simulación 2 MURO TAPIA valor teórico ($U=1,33W/m^2K$) | % dif | Simulación 3 MURO LIGERO ($U=0,25W/m^2K$) | % dif | Simulación 4 MURO LIGERO U igual a in situ ($U=0,48W/m^2K$) | % dif |
|----------------------|---|---|-------|---|-------|--|-------|
| | Wh/m² | Wh/m² | | Wh/m² | | Wh/m² | |
| JUNIO 2017 | 3839,57 | 4230,15 | 10,2 | 3635,67 | -5,3 | 3861,14 | 0,6 |
| JULIO 2017 | 4626,68 | 5270,85 | 13,9 | 4289,80 | -7,3 | 4822,52 | 4,2 |
| AGOSTO 2017 | 3875,30 | 4354,12 | 12,4 | 3220,37 | -16,9 | 3577,48 | -7,7 |
| ENERO 2018 | 15907,88 | 21818,59 | 37,2 | 11093,60 | -30,3 | 14201,20 | -10,7 |
| FEBRERO 2018 | 15300,91 | 20819,48 | 36,1 | 10628,71 | -30,5 | 13562,74 | -11,4 |
| MARZO 2018 | 12912,02 | 17874,15 | 38,4 | 8626,83 | -33,2 | 11238,91 | -13,0 |

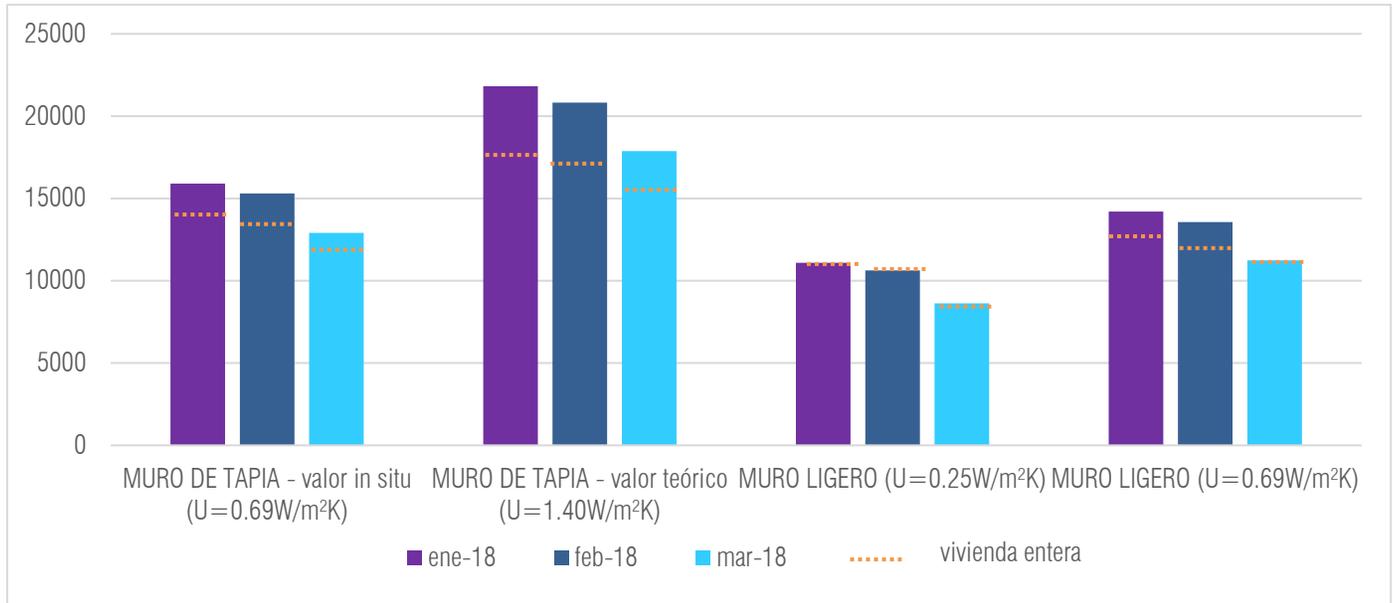


Fig. 5. Demanda energética de calefacción en el salón de la Vivienda A (elementos constructivos - muros).

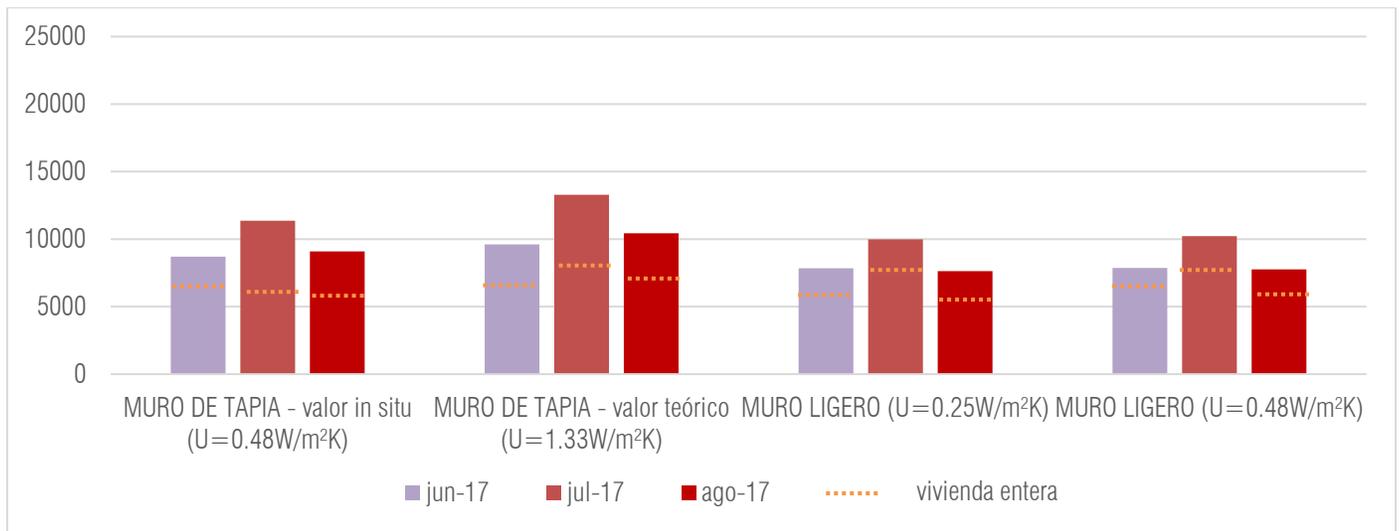


Fig. 6. Demanda energética de refrigeración en el salón de la Vivienda B (elementos constructivos - muros).

TABLA 4
VALORES ENERGÉTICOS DE DEMANDA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN EN EL SALÓN DE VIV.B Y DIFERENCIA CON VALORES IN SITU (ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS - MUROS)

| VIVIENDA B: SALÓN | Simulación 1 MURO TAPIA valor in situ (U=0,48W/m²K) | Simulación 2 MURO TAPIA valor teórico (U=1,33W/m²K) | % dif | Simulación 3 MURO LIGERO (U=0,25W/m²K) | % dif | Simulación 4 MURO LIGERO U igual a in situ (U=0,48W/m²K) | % dif |
|----------------------|--|--|-------|--|-------|---|-------|
| | Wh/m² | Wh/m² | | Wh/m² | | Wh/m² | |
| JUNIO 2017 | 11669,77 | 12238,61 | 4,9 | 10373,01 | -11,1 | 10190,01 | -12,7 |
| JULIO 2017 | 14108,58 | 15830,01 | 12,2 | 12432,01 | -11,9 | 12520,91 | -11,3 |
| AGOSTO 2017 | 11799,40 | 12908,59 | 9,4 | 9851,31 | -16,5 | 9800,80 | -16,9 |
| ENERO 2018 | 13794,17 | 21432,96 | 55,4 | 10163,37 | -26,3 | 11833,46 | -14,2 |
| FEBRERO 2018 | 12854,85 | 20015,45 | 55,7 | 9460,85 | -26,4 | 11041,13 | -14,1 |
| MARZO 2018 | 10682,10 | 17070,93 | 59,8 | 7503,50 | -29,8 | 8900,36 | -16,7 |

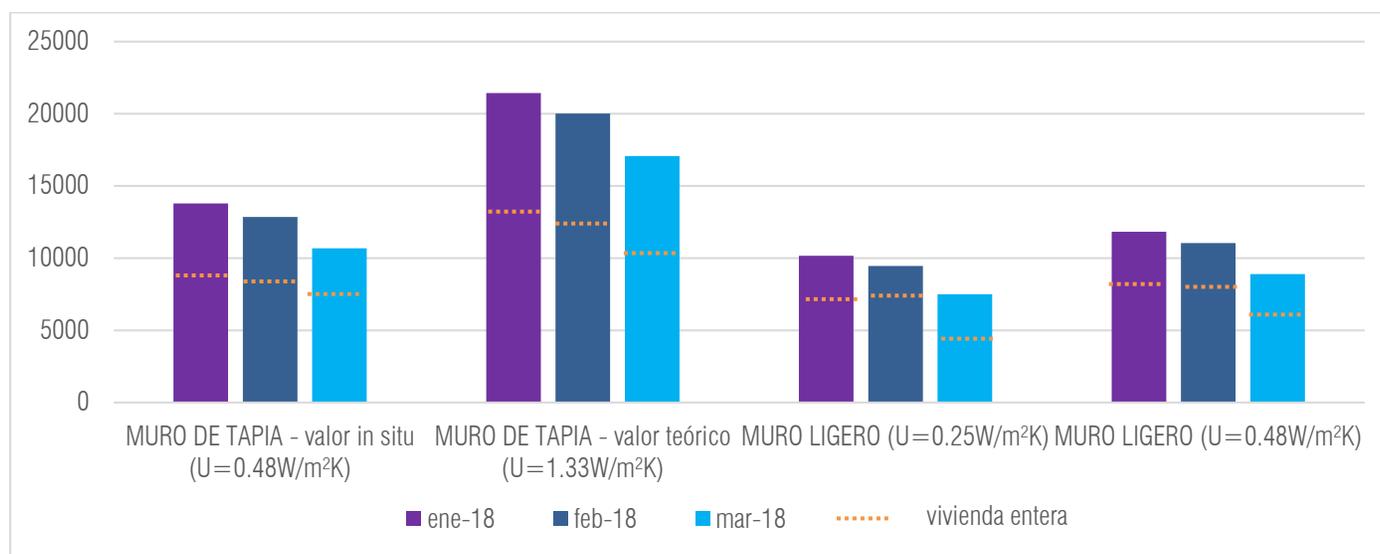


Fig. 7. Demanda energética de calefacción en el salón de la Vivienda B (elementos constructivos - muros).

Por otro lado, los muros ligeros con una U menor que los muros originales de tapia (un tercio en la Vivienda A y la mitad en la Vivienda B) suponen una demanda energética muy inferior a la calculada con valores in situ en ambas viviendas: entre un 26-33% en invierno y 5-17% en verano. Además, según los resultados, utilizar un muro ligero aislado con la misma transmitancia que un muro de gran inercia implica una demanda energética entre 10-17% menor, siendo corroborado por los resultados de invierno de la Vivienda A y los de verano e invierno de la Vivienda B. Esto nos hace dudar si el programa tiene en cuenta los efectos de inercia térmica debido, sobre todo, a que los espacios cuyos cerramientos hacen uso de esta medida pasiva tienen temperaturas más estables, provocando, en principio, demandas energéticas menores.

Finalmente, la principal diferencia con los valores de demanda energética del cerramiento de tapia con valor in situ se produce con el cerramiento de tapia con valor teórico, cuya U siempre es mucho mayor (el doble en la Vivienda A y casi el triple en la Vivienda B). Aquí podemos ver que la demanda energética del espacio estudiado con muros de tapia con valor teórico es siempre mayor, entre 5-14% en verano y entre 36-60% en invierno en ambas viviendas, siendo el mes de marzo de la Vivienda B el caso más extremo con un 60% más de demanda energética. Esta diferencia es la que provoca grandes errores a la hora de calcular las demandas energéticas de proyectos edificatorios no construidos (o reformas), pues se usan siempre valores estudiados en laboratorio en condiciones irreales.

Por tanto, las siguientes simulaciones van en la dirección de comparar todo lo averiguado in situ con todo lo que podemos encontrar en las normas.

B. Sobre la variable “condiciones de uso”:

Comparando la demanda energética de la habitación de estudio de la simulación 1 con la demanda de las simulaciones 2, 3 y 4 se demuestra que la mayor diferencia en la demanda energética se produce entre el muro de tapia con los valores estudiados in situ y el muro de tapia con los valores teóricos del CTE. Además, es imprescindible estudiar esta diferencia en profundidad pues son este tipo de datos teóricos lo que infunde a error al realizar rehabilitaciones energéticas, entre otras cosas. Para ello, se han realizado y comparado dos simulaciones:

CONDICIONES DE USO, Valores in situ (Simulación 1): Simulación básica con muchos detalles sobre el uso del espacio estudiado. Para ello, se han realizado encuestas bianuales a los usuarios de las viviendas, donde describían el horario de uso del salón, los aparatos electrónicos en el mismo, la actividad de calefacción / refrigeración / ventilación natural, etc., así como entrevistas frecuentes para concretar algunos detalles. Toda esta información se ha unido a los ensayos experimentales para completar todos los datos necesarios sobre el uso y características “reales” del salón.

CONDICIONES DE USO, Valores teóricos (Simulación 5): Para esta simulación, se tomaron datos del CTE de actividad de los usuarios, concretamente de (DB, 2014b) así como características de los cerramientos, compartimentación, forjados, etc. que podemos encontrar en (DB, 2014a) y otra información como infiltraciones, calculada con la herramienta de Aurea Consulting (Aurea, 2019).

Las Figuras 8 y 9 (Viv. A), 10 y 11 (Viv.B) y las Tablas 5 (Viv.A) y 6 (Viv.B) muestran los resultados de las simulaciones informáticas realizadas con DesignBuilder para el estudio de la

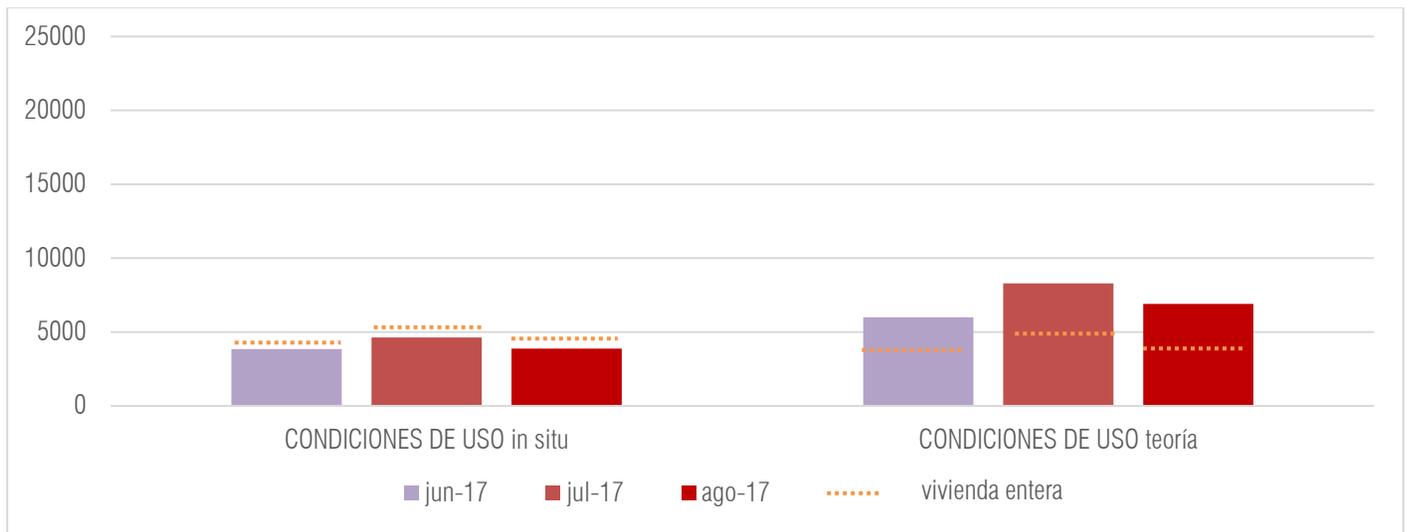


Fig. 8. Demanda energética de refrigeración en el salón de la Vivienda A (condiciones de uso).

TABLA 5

VALORES ENERGÉTICOS DE DEMANDA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN EN EL SALÓN DE VIV.A Y DIFERENCIA CON VALORES IN SITU (CONDICIONES DE USO)

| VIVIENDA A: SALÓN | Simulación 1 CONDICIONES DE USO Valores in situ | Simulación 5 CONDICIONES DE USO Valores teóricos | % dif |
|----------------------|---|--|-------|
| | Wh/m² | Wh/m² | |
| JUNIO 2017 | 3839,57 | 5993,11 | 56,1 |
| JULIO 2017 | 4626,68 | 8287,17 | 79,1 |
| AGOSTO 2017 | 3875,30 | 6900,81 | 78,1 |
| ENERO 2018 | 15907,88 | 20538,62 | 29,1 |
| FEBRERO 2018 | 15300,91 | 19703,22 | 28,8 |
| MARZO 2018 | 12912,02 | 16776,90 | 29,9 |

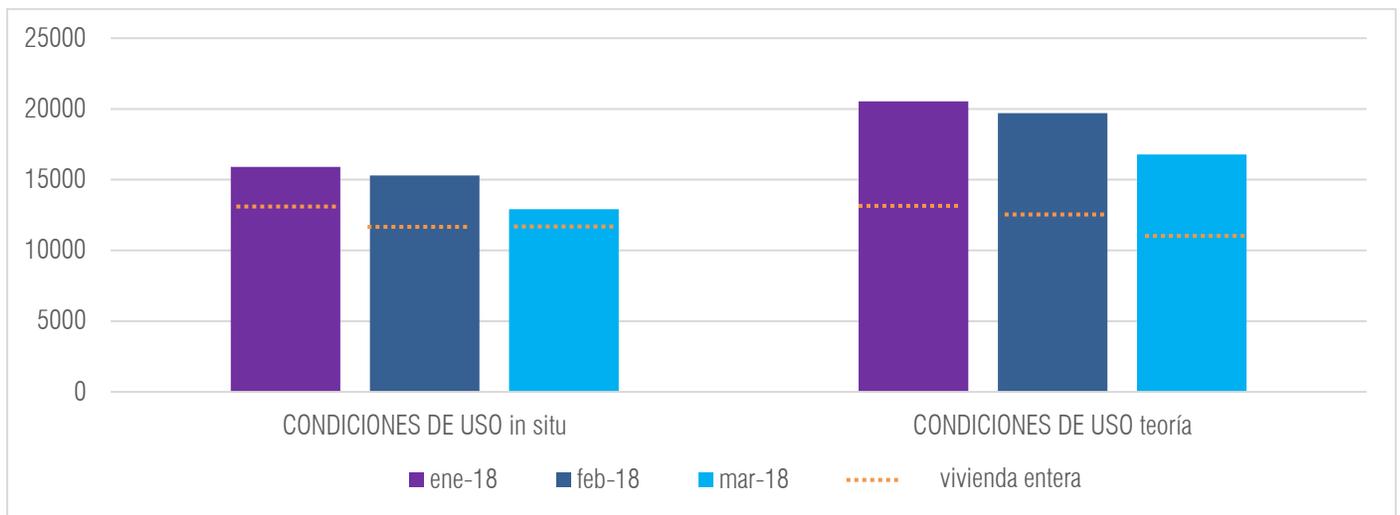


Fig. 9. Demanda energética de calefacción en el salón de la Vivienda A (condiciones de uso).

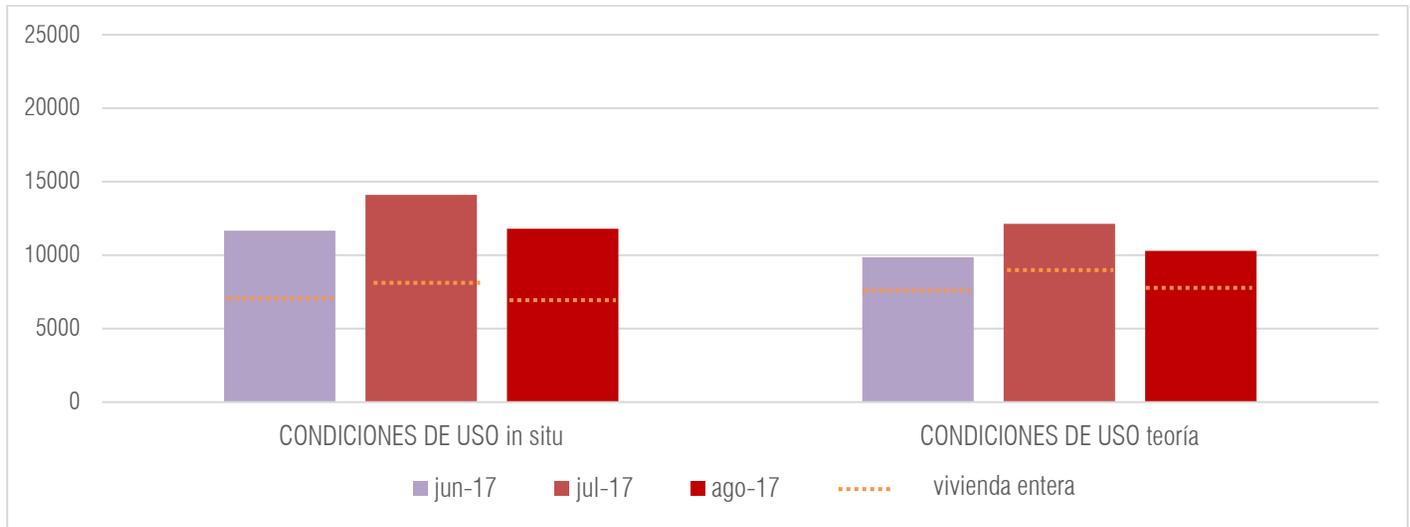


Fig. 10. Demanda energética de refrigeración en el salón de la Vivienda B (condiciones de uso).

TABLA 6

VALORES ENERGÉTICOS DE DEMANDA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN EN EL SALÓN DE VIV.B Y DIFERENCIA CON VALORES IN SITU (CONDICIONES DE USO)

| VIVIENDA B: SALÓN | Simulación 1 | Simulación 5 | | % dif |
|----------------------|---------------------------------------|--------------------|--------------------|-------|
| | CONDICIONES DE USO Valores in situ | CONDICIONES DE USO | CONDICIONES DE USO | |
| | Wh/m² | Wh/m² | Wh/m² | |
| JUNIO 2017 | 11669,77 | 9861,99 | | -15,5 |
| JULIO 2017 | 14108,58 | 12130,74 | | -14,0 |
| AGOSTO 2017 | 11799,40 | 10290,06 | | -12,8 |
| ENERO 2018 | 13794,17 | 13632,47 | | -1,2 |
| FEBRERO 2018 | 12854,85 | 12939,47 | | 0,7 |
| MARZO 2018 | 10682,10 | 10336,61 | | -3,2 |

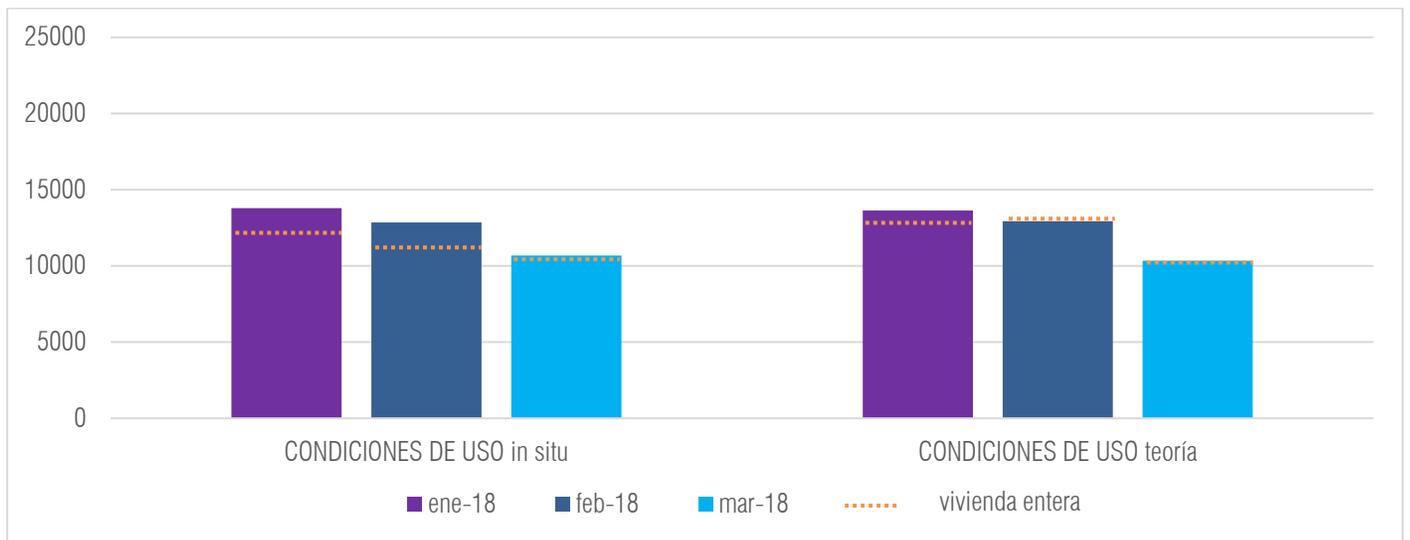


Fig. 11. Demanda energética de calefacción en el salón de la Vivienda B (condiciones de uso).

influencia de las condiciones de uso en la demanda energética de calefacción en invierno o de refrigeración en verano.

Para comparar y analizar los resultados de las simulaciones 1 y 5 se debe prestar atención a cada vivienda por separado,

pues cada una ha arrojado datos distintos. Mientras que la Vivienda B muestra muy pocas diferencias entre los resultados de ambas simulaciones (usando datos teóricos, hay una menor demanda energética en ambas temporadas, 13-15% en verano

y 0-3% en invierno), en la Vivienda A comprobamos que hay grandes diferencias (usando datos teóricos, hay una mayor demanda energética en ambas temporadas, 56-80% en verano y alrededor de 30% en invierno).

Debido a la disparidad de los resultados, no se pueden sacar ideas concluyentes acerca de si usar datos teóricos supondría demandas mayores o menores. Aún así, sí que podemos ver que hay diferencias según qué vivienda cojas y qué datos utilices, lo cual vuelve a apoyar la idea de que para hacer estudios energéticos es importante la investigación experimental in situ y personalizada, no cogiendo datos estándar.

Además, en invierno, mientras que en el salón A las demandas energéticas serían un 30% mayores usando valores teóricos, en el salón B serían muy parecidas, por lo que tampoco se puede decir que los valores teóricos impliquen algún “margen de seguridad” para no quedarse cortos en las estimaciones energéticas.

La mayor diferencia se produce cuando nos fijamos en los resultados de verano del salón de la Vivienda A. Usar valores teóricos supondría una estimación de demanda energética entre un 56% y un 80% mayor a la que obtendríamos usando valores experimentales. Sin embargo, esto no se refleja en los resultados de toda la vivienda, donde las estimaciones con datos in situ son muy parecidas a las teóricas. También es conveniente recordar que la Vivienda A no hace uso de ningún aparato de refrigeración en este espacio, y los usuarios comentan que, aunque durante el verano suelen pasar el día en la planta baja de la casa que es más fresca en esta época, esta habitación sí que tiene uso después de comer y antes de dormir entre semana, y toda la tarde de ambos días del fin de semana. Esto apoya la teoría de que, aunque la temperatura sube por encima de los niveles de confort en algunas épocas de julio y agosto, la demanda energética no es muy alta y los usuarios prescindirían de aparatos de aire acondicionado.

Finalmente, si prestamos atención a los resultados de toda la casa en ambas viviendas, se ve que no hay tanta diferencia como cuando comparamos los datos de los salones, aunque es cierto que los datos de toda la casa son medias de todos los espacios (o zonas) del edificio.

C. Sobre la variable “datos climáticos”:

Teniendo en cuenta los resultados de las simulaciones anteriores, se puede comprobar que el uso de datos teóricos de actividad del usuario puede provocar grandes diferencias en la estimación de la demanda energética (como sucede en la Viv.A). Sin embargo, también puede producir resultados parecidos a los que se obtienen a través del uso de información “real” (Viv.B). De esta manera pasamos al ámbito más general de los tres, realizando simulaciones con los datos de la simulación 1 pero cambiando el archivo climático, que da toda

la información al programa sobre las condiciones meteorológicas del lugar durante el año:

Datos climáticos PROPIO (Simulación 1): El archivo climático que se ha usado en esta simulación ha sido creado usando datos de tres estaciones meteorológicas: la personal en Campo de Criptana, la del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación en Alcázar de San Juan (a 8km), y la de Ciudad Real del AEMET (a 85km). Esta información está ampliada en el apartado 6.4.3 Condiciones introducidas según tipo de simulación.

Datos climáticos TOLEDO (Simulación 6): Archivo climático sacado de la página de Energy Plus . El resto de los datos se mantienen como en la Simulación 1.

Datos climáticos ALBACETE (Simulación 7): Archivo climático sacado de la página de Energy Plus. El resto de los datos se mantienen como en la Simulación 1.

Datos climáticos CIUDAD REAL (Simulación 8): Archivo climático sacado de la página de Energy Plus. El resto de los datos se mantienen como en la Simulación 1.

Datos climáticos ZONA D3 (Simulación 9): Archivo climático sacado de la página de Aurea Consulting con datos de la zona D3 según el CTE, HE2013 (DB, 2014c). El resto de los datos se mantienen como en la Simulación 1.

Las Figuras 12 y 13 (Viv.A), 14 y 15 (Viv.B) y las Tablas 7 (Viv.A) y 8 (Viv.B) muestran los resultados de las simulaciones informáticas realizadas con DesignBuilder para el estudio de la influencia de las condiciones climatológicas, en función del archivo climático utilizado en cada caso, en la demanda energética de calefacción en invierno o de refrigeración en verano.

En el caso de las simulaciones donde la variable son los datos climáticos es conveniente analizar los resultados mes a mes:

Junio: en los salones de ambas viviendas existe mucha diferencia entre usar datos climáticos recogidos in situ y datos de capitales de provincia cercanas cuyos datos suponen medias de 20 años. La demanda energética es 76-100% menor en el salón de la Vivienda A mientras que en el otro salón es 35-87% menor. Esto probablemente se deba a que el mes de junio de 2017 ha sido más caluroso que otros años, superando con creces la media de esos 20 años de información.

Julio y agosto: en estos meses vemos mucha diferencia entre los resultados del salón de la Vivienda A y el de la Vivienda B. El salón de la Vivienda B, e incluso el resto de la vivienda, muestra similares demandas energéticas usemos los datos que usemos, pero en el otro caso no es así y sigue habiendo diferencias de 70-100% como pasaba en el mes de junio, con la excepción de los datos climáticos de Toledo.

Por tanto, si nos quedamos con la parte de verano del salón de la Vivienda A podríamos concluir que ninguno de los archivos climáticos que no sea el PROPIO se acerca a la realidad.

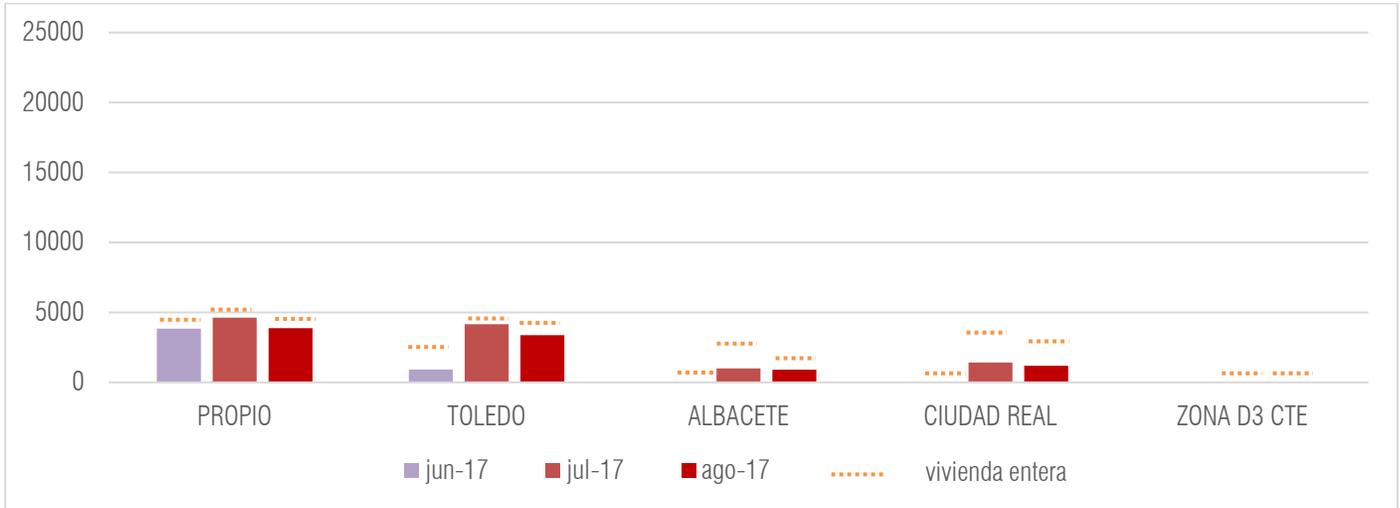


Fig. 12. Demanda energética de refrigeración en el salón de la Vivienda A (datos climáticos).

TABLA 7

VALORES ENERGÉTICOS DE DEMANDA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN EN EL SALÓN DE VIV.A Y DIFERENCIA CON VALORES IN SITU (DATOS CLIMÁTICOS)

| VIVIENDA A: SALÓN | Simulación 1 Datos Climáticos PROPIO | | | Simulación 6 Datos Climáticos TOLEDO | | | Simulación 7 Datos Climáticos ALBACETE | | Simulación 8 Datos Climáticos CIUDAD REAL | | Simulación 9 Datos Climáticos ZONA D3 CTE | |
|----------------------|--|----------|-------|--|--------|----------|--|----------|---|-------|---|--|
| | Wh/m² | Wh/m² | %dif | Wh/m² | %dif | Wh/m² | %dif | Wh/m² | %dif | Wh/m² | %dif | |
| JUNIO 2017 | 3839,57 | 917,30 | -76,1 | 0,00 | -100,0 | 38,71 | -99,0 | 0,00 | -100,0 | | | |
| JULIO 2017 | 4626,68 | 4152,05 | -10,3 | 993,77 | -78,5 | 1421,73 | -69,3 | 1,30 | -100,0 | | | |
| AGOSTO 2017 | 3875,30 | 3371,86 | -13,0 | 901,95 | -76,7 | 1190,24 | -69,3 | 48,89 | -98,7 | | | |
| ENERO 2018 | 15907,88 | 16269,31 | 2,3 | 17461,22 | 9,8 | 18323,56 | 15,2 | 19850,86 | 24,8 | | | |
| FEBRERO 2018 | 15300,91 | 11497,28 | -24,9 | 14204,88 | -7,2 | 14500,44 | -5,2 | 16442,46 | 7,5 | | | |
| MARZO 2018 | 12912,02 | 7825,60 | -39,4 | 12101,54 | -6,3 | 11740,98 | -9,1 | 14958,75 | 15,9 | | | |

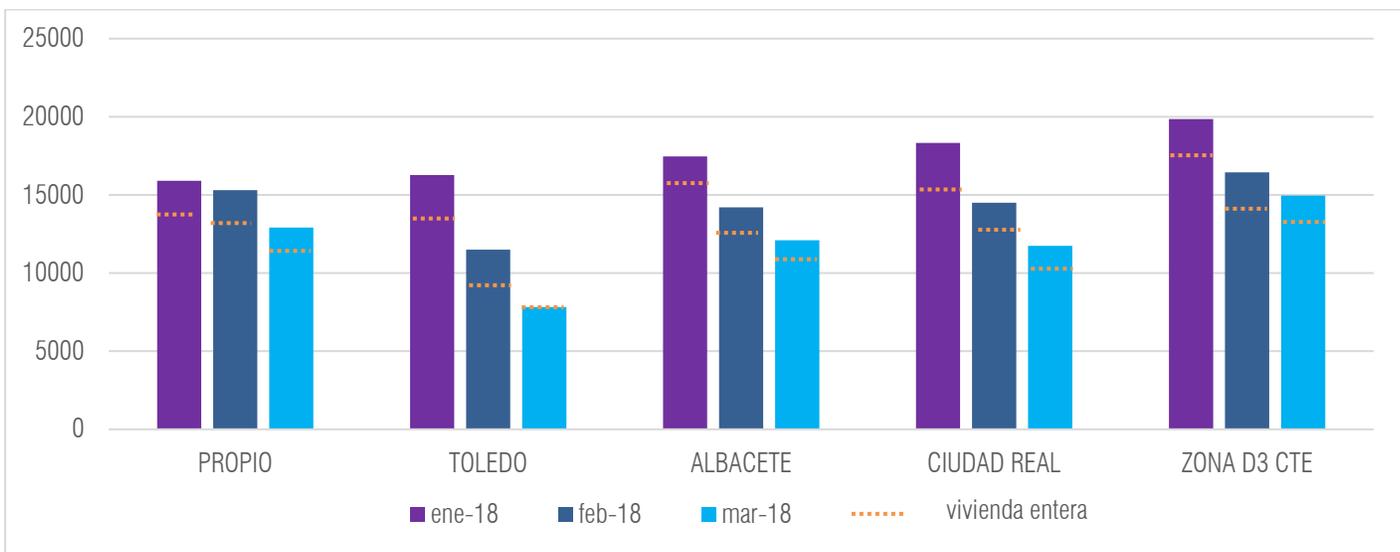


Fig. 13. Demanda energética de calefacción en el salón de la Vivienda A (datos climáticos).

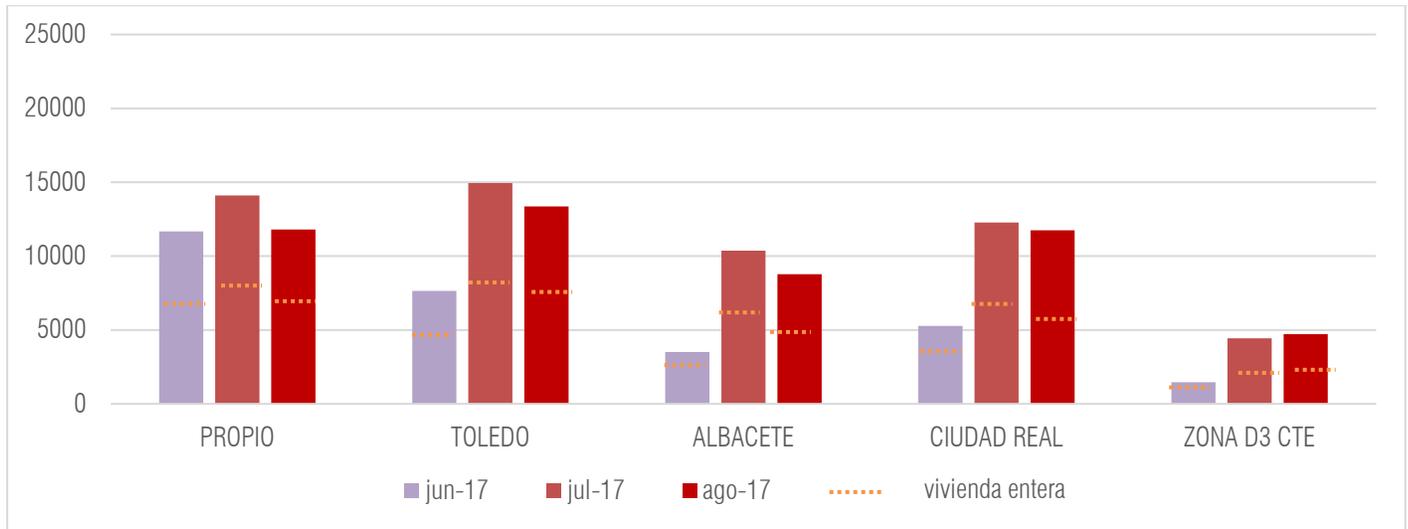


Fig. 14. Demanda energética de refrigeración en el salón de la Vivienda B (datos climáticos).

TABLA 8

VALORES ENERGÉTICOS DE DEMANDA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN EN EL SALÓN DE VIV.B Y DIFERENCIA CON VALORES IN SITU (DATOS CLIMÁTICOS)

| VIVIENDA B SALÓN | Simulación 1 | Simulación 6 | | Simulación 7 | | Simulación 8 | | Simulación 9 | |
|---------------------|----------------------------|----------------------------|-------|------------------------------|-------|---------------------------------|-------|---------------------------------|-------|
| | Datos Climáticos PROPIO | Datos Climáticos TOLEDO | %dif | Datos Climáticos ALBACETE | %dif | Datos Climáticos CIUDAD REAL | %dif | Datos Climáticos ZONA D3 CTE | %dif |
| | Wh/m² | Wh/m² | | Wh/m² | | Wh/m² | | Wh/m² | |
| JUNIO 2017 | 11669,77 | 7643,54 | -34,5 | 3512,29 | -69,9 | 5272,91 | -54,8 | 1467,59 | -87,4 |
| JULIO 2017 | 14108,58 | 14949,92 | 6,0 | 10373,42 | -26,5 | 12274,45 | -13,0 | 4442,53 | -68,5 |
| AGOSTO 2017 | 11799,40 | 13367,32 | 13,3 | 8773,40 | -25,6 | 11747,40 | -0,4 | 4721,95 | -60,0 |
| ENERO 2018 | 13794,17 | 11823,22 | -14,3 | 13070,91 | -5,2 | 13611,60 | -1,3 | 14753,37 | 7,0 |
| FEBRERO 2018 | 12854,85 | 7132,65 | -44,5 | 9198,65 | -28,4 | 9427,51 | -26,7 | 10837,39 | -15,7 |
| MARZO 2018 | 10682,10 | 2830,16 | -73,5 | 6159,64 | -42,3 | 6351,31 | -40,5 | 8357,51 | -21,8 |

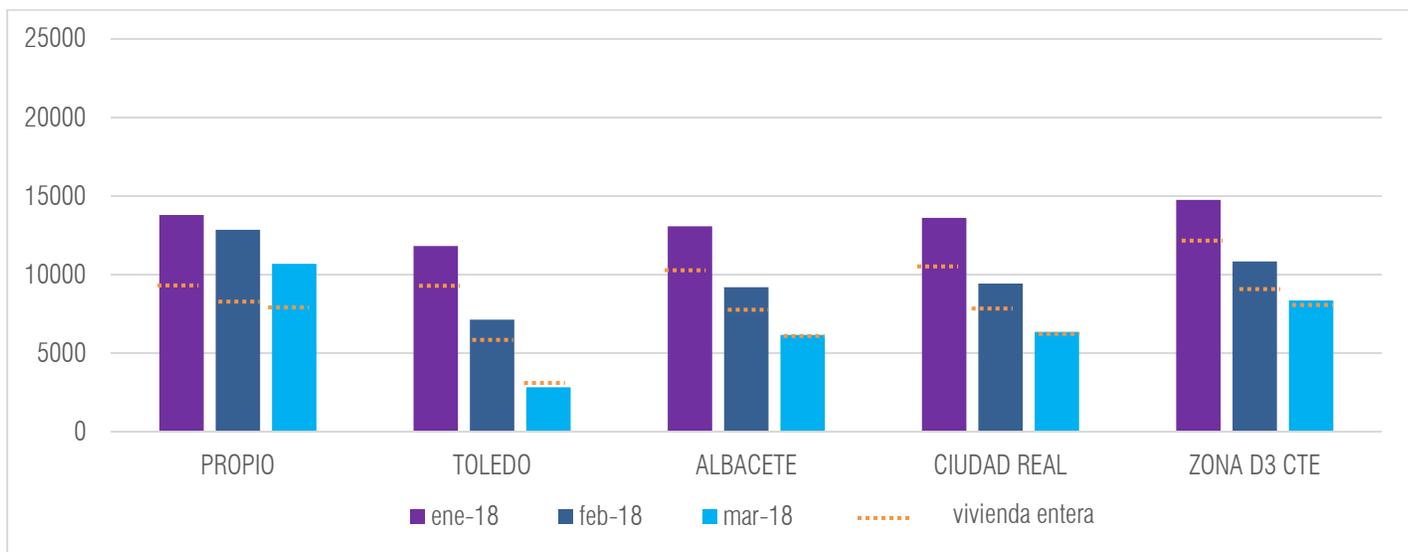


Fig. 15. Demanda energética de calefacción en el salón de la Vivienda B (datos climáticos).

Enero y febrero: mientras que la demanda energética durante el mes de enero es la que menos se diferencia en ambas viviendas cuando usamos datos del lugar o datos de capitales de provincia cercanas (2-15% en todos los casos menos para la zona D3, donde la diferencia llega a ser del 25%), el mes de febrero sí que muestra diferencias importantes sobre todo para el salón de la vivienda B (15-45% menor en todos los casos).

Marzo: en este mes pasa como en junio, pues debió ser más frío de lo normal y en ambos casos podemos comprobar demandas energéticas 6-40% menor en el salón de la Vivienda A y 21-74% menor para el salón de la Vivienda B.

Teniendo en cuenta todo lo explicado, ninguno de los archivos climáticos que no sea el que contiene datos reales, del lugar y del mismo periodo que en el que se han estudiado los salones de las viviendas, nos serviría para realizar simulaciones energéticas para evaluar el comportamiento del edificio en dicho periodo. De hecho, el archivo de la Zona D3 que describe el HE del 2013 saca unos resultados muy diferentes a los que sacaríamos con el archivo PROPIO, más ajustados en invierno que en verano, y los de las capitales de provincia dependería de en qué mes nos fijemos: unas veces la demanda energética es menor que la que sacamos con datos in situ y otras veces es mayor. Una vez más, se demuestra la importancia de llevar a cabo este tipo de estudios in situ, a ser posible ampliando el periodo de estudio a varios años y así obtener datos climáticos medios.

IV. CONCLUSIÓN

Para esta investigación, dos viviendas de construcción tradicional con muros de tapia de tierra, características de la Comunidad de Castilla-La Mancha, han sido estudiadas a través de ensayos in situ y encuestas a los usuarios. Estos datos han sido introducidos en Design Builder con el objetivo de analizar la demanda energética de estas viviendas, comparando los resultados con otros casos hipotéticos donde se sustituía esa información por datos teóricos. Así, se han realizado simulaciones energéticas con tres variables distintas, probando de lo particular a lo general: comparar el comportamiento de muros con alta inercia térmica con sistemas más contemporáneos; comparar el uso de información teórica de actividad del usuario con el uso de información in situ; y comparar el uso de datos climatológicos estándar con el uso de información recogida a través de una estación meteorológica particular situada en el mismo pueblo de estudio (Campo de Criptana).

Para la primera variable se han probado cuatro tipos de envolventes: un muro de tapia con valores experimentales in situ, un muro de tapia con valores teóricos, un muro ligero con una transmitancia térmica (U) baja y otro muro ligero con el mismo valor de U que el tomado experimentalmente en los muros de tapia de ambas viviendas. Mientras que el uso de

valores teóricos de U de la tapia de tierra provoca demandas superiores al uso de valores experimentales en ambas viviendas (36-60% en invierno y 5-14% en verano), lo contrario pasa cuando los sustituimos por cualquiera de los muros ligero. El muro ligero con la misma U que el muro de tapia con valores “in situ” produce demandas energéticas menores (entre 7-17% en ambas viviendas excepto en junio y julio de la Viv. A). Esto nos hace pensar que el programa, o más bien el modelo de cálculo utilizado (CTF), no tiene en cuenta propiedades de inercia térmica e hídrica que normalmente provoca estabilidad higrotérmica, y a su vez demandas energéticas menores.

En una segunda dirección se han comparado los resultados de demanda energética usando datos de la actividad de los usuarios recogidos a través de encuestas y entrevistas con aquellos que encontramos en el CTE. Aquí existen diferencias entre los resultados de ambas viviendas: la Viv. B arroja resultados parecidos usando unos datos u otros, pero en la Viv. A sí hay diferencias (mayor demanda energética usando datos del CTE: en verano, 56-80%, y en invierno, 30%). Por ello se puede concluir que es importante realizar estudios energéticos personalizados a la vivienda, excluyendo datos estándar.

La última variable comprobada ha sido el uso de datos climáticos “estándar” (archivos climáticos con datos medios de 20 años de localidades a unos 100km del pueblo de estudio, o zonales del CTE) frente al uso de datos climáticos recogidos en el mismo pueblo durante el mismo periodo de estudio de las viviendas (mayo2017-mayo2018). En general y para ambas viviendas, se puede decir que el uso de datos “estándar” provoca estimaciones energéticas menores a las que obtenemos usando datos tomados en el mismo pueblo (25-100% en verano, 5-74% en invierno), con algunas excepciones. Los meses de marzo y junio son los más dispares, probablemente debido a que marzo de 2018 fue más frío de lo normal y junio de 2017 más caluroso de lo normal. Los resultados del archivo climático estándar que más diferencias muestran con los resultados del estudio “in situ” son los de la zona D3 del CTE. Es importante mencionar que la información climática recogida en el pueblo de estudio sería más precisa si contuviera datos medios de varios años.

Por todo esto, se demuestra la importancia del uso de información recogida a través de experimentación “in situ”, así como los estudios personalizados de estimación de demanda energética de viviendas. El trabajo posterior a esta investigación irá en el sentido de estudiar la relación entre las propiedades térmicas de la tierra como material de construcción con el contenido de agua, ejecutando simulaciones usando un modelo que considere transferencias

AGRADECIMIENTOS

Los autores de esta investigación agradecen la colaboración de la FUNDACIÓN ABERTIS, que ha financiado este trabajo

como parte de la tesis doctoral “La tapia como aplicación bioconstructiva: monitorización y simulación de viviendas tradicionales en uso en el clima seco-mediterráneo”. Los autores también quieren agradecer la participación del Ayuntamiento de Campo de Criptana (Ciudad Real) y los propietarios de las viviendas estudiadas.

REFERENCIAS

- Allinson, D.; Hall, M. (2010). “Hygrothermal analysis of a stabilised rammed earth test building in the UK”. *Energy and Buildings*, 42, 845-852.
- Arnold, P.J. (1969). “Thermal conductivity of masonry materials”. *The Journal of the Institution of Heating and Ventilating Engineers* 37, 101-108.
- Asdrubali, F.; D'Alessandro, F.; Baldinelli, G.; Bianchi, F. (2014). “Evaluating in situ thermal transmittance of green buildings masonries - A case study”. *Case Studies in Construction Materials*, 1, 53-59.
- Aurea (2019). Herramienta Aurea Consulting “Condiciones técnicas de los procedimientos para la evaluación de la eficiencia energética de los edificios”. <https://ecoficiente.es/infiltraciones/>.
- Baker, P. (2011). “U-values and traditional buildings in situ measurements and their comparisons to calculated values”. *Historic Scotland Technical Paper* 10.
- DB (2014a). DB-HE1 “Limitación de la Demanda Energética”, Anejo HE1 V1 “Valores de cálculo de los materiales de construcción”
- DB (2014b). DB-HE1 “Limitación de la Demanda Energética”, Apéndice C, Perfiles de Uso.
- DB (2014c). DB-HE1 “Limitación de la Demanda Energética”, Apéndice B, Zonas Climáticas y climas de referencia. <https://ecoficiente.es/climas-he2013-en-epw/>
- Ficco, G.; Iannetta, F.; Ianniello, E.; Alfano, F.R.D.; Dell'Isola, M. (2005). “U-value in situ measurement for energy diagnosis of existing buildings”. *Energy and Buildings*, 104, 108-121.
- Hasan, M.; Dutta, K. (2015). “Investigation of energy performance of a rammed earth built commercial office building in three different climate zones of Australia.” En *First International Conference on rammed earth construction*, Perth and Margaret River (Australia), 101-105.
- ISO (2014). EN ISO 9869-1. Thermal insulation – Building elements – In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance – Part 1: Heat flow meter method.
- Liu, F.; Jia, B.; Chen, B.; Geng, W. (2017). “Moisture transfer in building envelope and influence on heat transfer”. En *10th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning*, Ishvac2017, 205, 3654-3661.
- Lucchi, E. (2007). “Thermal transmittance of historical brick masonries: A comparison among standard data, analytical calculation procedures, and in situ heat flow meter measurements”. *Energy and Buildings*, 134, 171-184.
- Mellado, M.Á.; Castilla, F.J.; Oteiza, I.; Martín-Consuegra, F. (2017). “In situ monitoring and characterisation of earthen envelopes: a review”. En *Vernacular and Earthen Architecture: Conservation and Sustainability: Proceedings of SosTierra 2017*. Valencia, Spain, 637-644.
- Montalbán, B. (2015). “Rehabilitación sostenible de la arquitectura tradicional del Valle del Jerte”. Tesis Doctoral UEX. Cáceres.
- Parra, M.; Batty, W. (2006). “Thermal behaviour of adobe constructions”. *Building and Environment*, 41, 1892-1904.
- Soudani, L.; Woloszyn, M.; Fabbri, A.; Morel, J.C. & Grillet, A.C. (2017). “Energy evaluation of rammed earth walls using long term in-situ measurements”. *Solar Energy*, 141, 70-80.
- Tendero, R. (2017). “Influencia del microclima de proximidad frente a datos climáticos de referencia: aplicación en la zona climática D: el caso de Zaragoza”. Tesis Doctoral UPM. Madrid.



Reconocimiento – NoComercial (by-nc): Se permite la generación de obras derivadas siempre que no se haga un uso comercial. Tampoco se puede utilizar la obra original con finalidades comerciales.