



Escola Politècnica Superior  
d'Edificació de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

## **GRADO EN ARQUITECTURA TÉCNICA Y EDIFICACIÓN TRABAJO DE FIN DE GRADO**

### **ANALISIS DE LA MONITORIZACION DE LA LARIXHAUS**

#### **ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO REAL DE UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR CON CERTIFICADO PASSIVHAUS Y COMPARACIÓN CON LOS VALORES CALCULADOS DE DISEÑO**

**Projectista: Pérez Marraco, Cristian.**

**Directores:** Lacasta, Ana María

Style, Oliver

**Convocatoria:** 2016/2017



## **RESUMEN**

En este trabajo analizamos los parámetros obtenidos a través de la monitorización durante el periodo de un año natural (octubre 2015 – septiembre 2016) de la vivienda unifamiliar “Larixhaus”, la primera casa con certificación Passivhaus con estructura de madera y aislamiento de paja construida en nuestro país.

Primero hacemos una breve introducción a la arquitectura pasiva y explicamos en que consiste la certificación Passivhaus.

Después explicamos la casa objeto del estudio, la Larixhaus, una casa prefabricada de madera certificada Passivhaus, con aislamiento de paja que se haya ubicada en la comarca del Moianès, a 60 km de Barcelona.

Una vez comentados los criterios de diseño según la época del año que se han utilizado para la construcción de la vivienda nos introduciremos en la herramienta de cálculo PHPP.

La herramienta de cálculo PHPP ofreció unos resultados en fase de diseño de 12 kWh / (m<sup>2</sup>a) en la demanda de calefacción, 107 kWh / (m<sup>2</sup>a) en la demanda de energía primaria y un índice de sobrecalentamiento del 7,5%. Una vez recalibrado el programa con los parámetros de temperatura obtenidos en la monitorización e introduciendo el comportamiento real de los usuarios con la ventilación y las protecciones solares, el programa nos aportó unos resultados de 11,65 kWh / (m<sup>2</sup>a) en la demanda de calefacción, 117 kWh / (m<sup>2</sup>a) en la demanda de energía primaria y un índice de sobrecalentamiento del 0,3%.

En el análisis de la monitorización se han utilizado las temperaturas ambiente exteriores e interiores y los datos de humedad relativas interiores.

Se ha dividido el año de monitorización en 3 periodos: octubre 2015 a enero 2016, febrero 2016 a mayo 2016 y junio 2016 a septiembre 2016.

Durante todos los periodos las temperaturas se mantienen constantes entre los 20º C y los 25º C, solo descendiendo de manera significativa cuando la casa se mantiene desocupada.

Durante los meses de más frío, en los que las temperaturas exteriores llegan a los -5ºC, con medias mensuales de solo 5ºC, el consumo de los radiadores es muy bajo, manteniéndose las temperaturas interiores gracias al diseño pasivo de la vivienda.

Utilizamos el modelo de confort ISO 7730 de Schnieders para los meses de noviembre, enero, febrero, marzo, julio, agosto y septiembre. Durante los meses más fríos, la mayoría de los puntos de análisis (70-80%) se mantienen dentro de la categoría de confort A, manteniéndose un 15-20% en la categoría B y solo un 5% en la categoría C, correspondiendo estos puntos al momento en el que los habitantes regresan a casa después de un periodo de desocupación.

En los meses más calurosos, prácticamente un 100% de los puntos permanecen en la categoría A.

Para los meses más calurosos, julio y agosto, también se han analizado los modelos de confort adaptativo UNE 15251 y ASHRAE 55. Durante estos meses los puntos analizados se han mantenido cerca de los límites inferiores de aceptación del 80%, demostrando que las temperaturas interiores durante el verano son muy frescas.

Los consumos tanto de radiadores como de energía primaria han sido mucho más reducidos que los calculados con la herramienta PHPP, siendo el consumo de la casa de 2,73 kWh/m<sup>2</sup>a en la demanda de calefacción y de 81.90 kWh/m<sup>2</sup>a en el consumo de energía primaria.





**INDICE**

<b>RESUMEN.....</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>7</b>
<b>1. LA CASA PASIVA.....</b>	<b>9</b>
INTRODUCCION A LA ARQUITECTURA PASIVA.....	10
LOS ORIGENES DEL ESTANDAR PASSIVHAUS.....	10
CRITERIOS DE LA ARQUITECTURA PASIVA .....	11
ORIENTACION DEL EDIFICIO.....	12
COMPACIDAD.....	13
PROTECCION SOLAR.....	14
AISLAMIENTO TERMICO E INERCIA TERMICA.....	15
CALIDAD DE LA ENVOLVENTE TERMICA SEMITRASPARENTE.....	18
PUENTES TERMICOS.....	19
HERMETICIDAD AL PASO DEL AIRE.....	21
VENTILACION CONTROLADA .....	22
<b>2. EL ESTÁNDAR PASSIVHAUS.....</b>	<b>25</b>
DEFINICION PASSIVHAUS INDEPENDIENTEMENTE DEL CLIMA.....	25
CRITERIOS DIRECTOS.....	27
CRITERIOS INDIRECTOS .....	29
LA HERRAMIENTA PHPP .....	30
<b>3. LA LARIXHAUS .....</b>	<b>31</b>
LOCALIZACION.....	32
DISEÑO.....	34
ESTRUCTURA.....	35
INSTALACIONES .....	37
<b>4. CRITERIOS DE DISEÑO SEGÚN LA EPOCA DEL AÑO .....</b>	<b>41</b>
INVIERNO .....	41
VERANO.....	41



<b>5. CALIBRADO DEL PROGRAMA PHPP .....</b>	<b>43</b>
CLIMA .....	43
VALORES U.....	44
SUPERFICIES .....	47
TERRENO .....	47
VENTANAS Y SOMBRAS.....	48
VENTILACION .....	49
VENTILACION EN VERANO .....	56
VERIFICACION .....	58
<b>6. ANALISIS DE LA MONITORIZACION DE LA LARIXHAUS.....</b>	<b>61</b>
<b>7. ANALISIS DE LAS TEMPERATURAS .....</b>	<b>63</b>
RESULTADOS Y ANALISIS PERIODO OCTUBRE-ENERO 2015 .....	63
RESULTADOS Y ANALISIS PERIODO FEBRERO-MAYO 2016.....	69
RESULTADOS Y ANALISIS PERIODO JULIO-SEPTIEMBRE 2016.....	76
ESTUDIO DEL DESFASE TEMPORAL.....	80
<b>8. ANALISIS DEL CONFORT TERMICO .....</b>	<b>83</b>
ISO7730 .....	83
UNE 15251 .....	88
ASHRAE 55 .....	91
FRECUENCIA DE SOBRECALENTAMIENTO MODELO PHPP (DIN 1946-2).....	94
<b>9. ANALISIS DEL CONSUMO .....</b>	<b>95</b>
CONSUMO DE CALEFACCION .....	96
CONSUMO DE ENERGIA PRIMARIA.....	99
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>101</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>103</b>
COMPLEMENTARIA.....	104
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>107</b>



## **INTRODUCCION**

¿Es realmente el estándar Passivhaus tan eficiente para nuestro clima?

Esta es la pregunta que intentaremos responder en nuestro trabajo de TFG. Durante todos estos años, las construcciones con la certificación Passivhaus han dado un resultado excelente para los climas más fríos, pero debido a que el número de estas construcciones en todavía residual en nuestro país, se hace necesario su estudio.

Con la colaboración de Oliver Style y el estudio de ingeniería Progetic, responsable de su diseño pasivo y de sus instalaciones, realizaremos el estudio del comportamiento de la Larixhaus, la primera casa pasiva de nuestro territorio prefabricada con madera y paja.

A través de los datos obtenidos con su monitorización de las temperaturas y humedades durante un año natural, analizaremos los parámetros de confort interiores, intentando comprobar que el bienestar interior de la vivienda no está reñido con un consumo.

A través del análisis de las temperaturas y humedades, queremos analizar los parámetros de confort dentro de la vivienda utilizando los 3 estándares más conocidos (ISO 7730, ASHRAE 55 y UNE-15251) durante los meses más representativos del año.

Durante los meses más fríos, también se analizará el consumo en calefacción necesario para mantener el bienestar dentro de la vivienda.

Después analizaremos los consumos de la vivienda, y los compararemos con los obtenidos en el programa de cálculo PHPP con el fin de averiguar si se asemejan o en contrapartida pueden llegar a mejorarlos.

Los datos que utilizaremos del PHPP serán tanto los obtenidos por el programa durante la fase de diseño como los que obtendremos una vez recalibrad el programa, con los datos de temperaturas exteriores monitorizados y con el comportamiento real de los usuarios durante este tiempo.

Con todo esto intentaremos demostrar el buen comportamiento tanto en parámetros de confort térmico como en el consumo eléctrico de una vivienda unifamiliar certificada bajo el estándar Passivhaus.



## **1. LA CASA PASIVA**

El coste total de un edificio no es solo el de su construcción. La demanda energética y su mantenimiento representan una parte mucho más importante que este.

Esta idea que parece simple, aún no está del todo arraigada en nuestro país y hace que entendamos la eficiencia energética como el camino a por el que debe concurrir la construcción de edificios en los próximos años.

Cualquier edificio que no parta de una buena envolvente, bien aislada y con un control de las infiltraciones de aire y los puentes térmicos, nacerá obsoleto.

La casa pasiva basa su diseño en reducir al máximo la demanda de energía de los edificios, y a la vez, exige una cuidada ejecución en obra con el fin de garantizar que los valores obtenidos en su diseño sean los reales.

En el contexto histórico en el que nos encontramos, en el que la crisis económica hace que nos replanteemos los procedimientos empleados hasta la fecha y la sombra del cambio climático y el agotamiento de recursos acecha, nos invitan a tomar decisiones que disminuyan nuestra dependencia energética y nuestro impacto en la naturaleza.

En este contexto, la comisión europea publicó la directiva 2010/31/EU, según el cual todos los estados miembros deberían de tomar medidas para que a partir de 2020 todas las nuevas edificaciones sean de consumo de energía casi cero ( NZEB; near zero emissions building) , siendo el 2018 la fecha elegida para los edificios públicos. [1]

Aquí es donde hace su entrada la casa pasiva, proporcionándonos un acercamiento a la autosuficiencia energética, no solo a través de la utilización de energías renovables, sino a través del diseño y la ejecución del proyecto eficientes, obteniendo demandas muy bajas de energía para conseguir un gran confort térmico.

Un ejemplo de casa pasiva, es la Larixhaus, la casa objeto de este estudio, que es la primera casa pasiva prefabricada de la península ibérica. A través de un diseño bioclimático cuidadoso, un alto aislamiento térmico con balas de paja, una envolvente estanca y ventanas de altas prestaciones energéticas, la Larixhaus cuenta con una demanda de calefacción calculada con la herramienta PHPP de 12 kWh/m<sup>2</sup> aproximadamente un 80% menos que una construcción convencional según la normativa actual del CTE.

Esta construcción es un ejemplo modesto y pionero de la arquitectura de alta eficiencia energética, que nos permite adelantarnos a esa fecha límite que impone la UE para el año 2020, donde los edificios NZEB serán una realidad.

## **INTRODUCCION A LA ARQUITECTURA PASIVA.**

La principal característica que podemos atribuir a los edificios pasivos es la combinación de un alto grado de confort interior de la vivienda con un consumo de energía muy bajo.

Se trata de unos edificios con un alto grado de aislamiento, un control muy riguroso tanto de los puentes térmicos como de las infiltraciones no deseadas, la utilización de unas carpinterías de altas prestaciones térmicas y un aprovechamiento óptimo del soleamiento de tal forma que a través de la ventilación mecánica que pasa por un recuperador de calor, obtenemos el aporte necesario de climatización sin la necesidad de acudir a otro sistema.

La definición exacta es la siguiente: “Una casa pasiva es un edificio en el que el confort térmico se puede lograr por el calentamiento o enfriamiento del flujo de volumen de aire fresco que es requerido para lograr condiciones de calidad de aire en interiores sin la necesidad de más recirculación de aire “. [2]

El objetivo del estándar Passivhaus es ser energéticamente eficiente utilizando eficazmente los recursos existentes. El consumo energético es muy reducido, obteniendo a cambio un confort térmico muy elevado. Aplicándolo se consiguen reducciones de hasta un 90% de las necesidades energéticas para calefacción y refrigeración de los edificios.

Podemos decir que los edificios pasivos llevan la eficiencia energética al EXTREMO: cuidando la orientación, la envolvente del edificio y aprovechando al máximo la energía del sol, se consigue que la demanda energética para su climatización sea realmente baja y con una calidad de aire interior muy elevada.

Para ello son necesarios un buen diseño y planificación, con un cuidado especial en los detalles constructivos y en su ejecución.

El concepto Passivhaus es aplicable a cualquier clima: el método y la sistemática de cálculo son siempre iguales, con pequeñas variaciones de los requisitos de calidad de los distintos elementos constructivos de los edificios en función de las condiciones climáticas de la zona donde se actúe.

## **LOS ORIGENES DEL ESTANDAR PASSIVHAUS**

El estándar Passivhaus cuenta con más de 20 años de desarrollo y más de 20000 viviendas construidas.

A finales de la década de 1980, Dr. Wolfgang Feist, actual director del Passivhaus Institut de Darmstadt, y Bo Adamson descubrieron que cuando la carga de calefacción no superaba los 10W/m<sup>2</sup> de superficie útil es posible suministrar el calor necesario para mantener el confort en invierno mediante la ventilación controlada con recuperación de calor.

Este caudal de ventilación es el mínimo necesario para garantizar una buena calidad del aire en las estancias interiores (0,3 renovaciones/h)

De este modo podía prescindirse de la instalación convencional de radiadores y conseguir un ahorro importante respecto a un edificio de bajo consumo, pero menos eficiente, que tenía que instalar un sistema de calefacción convencional para asegurar el confort en invierno.

En 1991 se construyó el primer edificio Passivhaus en la ciudad alemana de Darmstadt.





**Figura 1.01 : Primer edificio Passivhaus construido en la ciudad alemana de Darmstad en el año 1991 (Fuente:Google)**

La casa lleva desde la fecha de su construcción monitorizada, demostrando, a raíz de los datos obtenidos, un funcionamiento energético excelente.

El Passivhaus Institut (PHI) fue fundado en el año 1996 por el Dr. Feist, 5 años después de la construcción de esta primera edificación. Su objetivo principal es la investigación económicamente viable de éste estándar. Hoy en día es la institución que lidera la investigación, aplicación, formación y certificación de los edificios pasivos y promueve su implantación en todo el mundo.

### **CRITERIOS DE LA ARQUITECTURA PASIVA**

La demanda de climatización y refrigeración necesaria en una edificación se calcula sumando los siguientes componentes energéticos:

- a) Perdidas a través de la envolvente térmica.: flujos energéticos entre el exterior y el interior del edificio debido a la conducción, convección del calor.
- b) Perdidas por ventilación a través de la envolvente térmica: flujos energéticos debidos a una diferencia de presión en el aire o una diferencia entre el interior y el exterior.
- c) Ganancias a través de la radiación solar: flujos energéticos debidos a diferencias entre la temperatura superficial de la envolvente y la atmosfera exterior o ganancias solares directas o indirectas.
- d) Ganancias debidas a la producción de calor interno: sumas del calor generado por los cuerpos que la habitan, la iluminación y otras fuentes de calor interno

Estos cuatro componentes energéticos dependen de una serie de cualidades pasivas, las cuales vamos a detallar a continuación.

#### *CRITERIOS ARQUITECTURA PASIVA*

- Orientación.
- Compacidad.
- Protección solar.

#### *CRITERIOS ARQUITECTURA PASSIVHAUS*

- Aislamiento térmico e inercia térmica.
- Calidad de la envolvente térmica transparente
- Puentes térmicos
- Hermeticidad al paso del aire.
- Ventilación controlada.

### **ORIENTACION DEL EDIFICIO.**

La orientación del edificio es el factor que más influye sobre la demanda de calefacción o refrigeración.

La mejor orientación teórica del edificio es la orientación sur (para el hemisferio norte).

Con esta orientación se maximizan las ganancias solares en invierno, cuando necesitamos la energía solar para calentar el edificio.

A la vez, la fachada sur es la orientación con menor impacto de calor respecto a las orientaciones este y oeste. El alto ángulo solar en verano en las fachadas orientadas a sur permite una protección solar más fácil que en las otras dos orientaciones mencionadas.

En teoría, la orientación hacia sur aconseja desarrollar edificios alargados, con poca fachada este y oeste, y largas fachadas norte y sur. Esta pauta es más bien válida para climas fríos y templados.

Para climas cálidos, un exceso en fachadas orientadas a sur puede llevar a problemas de sobrecalentamiento, cuando no haya una buena protección solar. De hecho, cuanto más radiación solar tiene un sitio, más sensible se muestra en su demanda energética respecto a la orientación de sus fachadas.

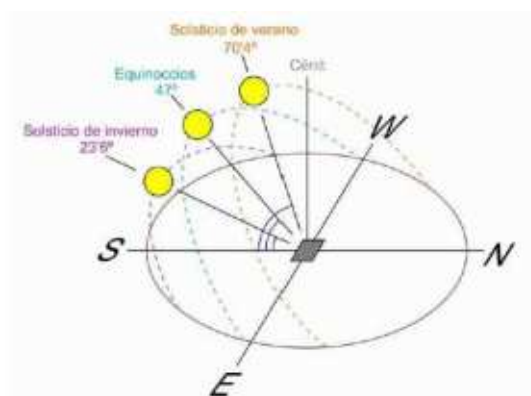


Figura 1.02 : Ángulo de incidencia solar según la época del año.(Fuente:Google)

En Passivhaus (hemisferio norte) se aconseja minimizar las aberturas hacia norte, este y sur. Sobre todo, las ventanas orientadas a norte suelen tener balances energéticos anuales negativos, pierden mucha más energía a través de las pérdidas por transmisión que lo que ganan a través de la radiación solar.

Gracias a las últimas generaciones de vidrios triples bajo emisivos, es posible hoy en día reducir las pérdidas por transmisión de ventanas hasta valores de  $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ , con lo cual aparecen en climas cálidos ya primeros edificios pasivos con amplios ventanales a norte. Estas soluciones no serían posibles para climas fríos o frío-templados.

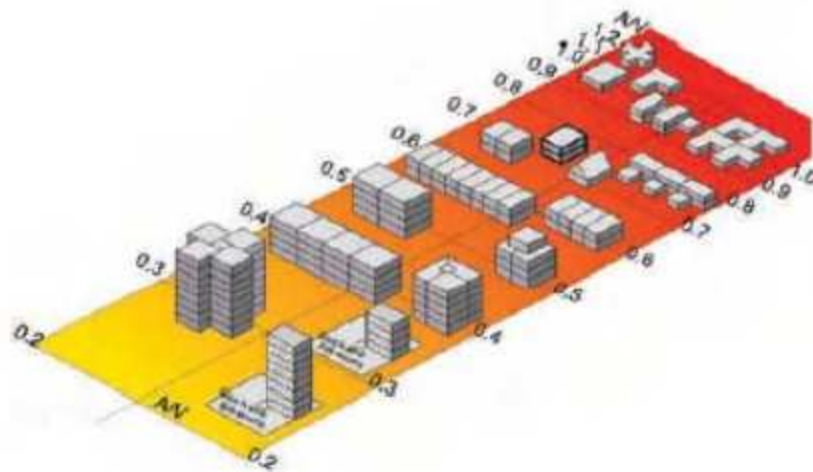
No obstante, de lo dicho anteriormente, para climas cálidos existen casos donde la orientación a sur no es la mejor solución energética, como puede ser por ejemplo un viento dominante en zonas montañosas o de costa, que puede determinar una ideal orientación de un edificio para maximizar las pérdidas de calor en verano a través de una ventilación natural. [3]

### **COMPACIDAD**

En el concepto tradicional del edificio, se interpreta la envolvente térmica como una piel, a través de la cual existe un flujo energético negativo: el calor se escapa en invierno, y el frío en verano.

Por esto, es lógico minimizar la superficie de esta piel, manteniendo el tamaño del volumen interior. Esta relación entre piel exterior y volumen interior se entiende como la compacidad. Se suele expresar en superficie por volumen. Una vivienda unifamiliar aislada por ejemplo suele tener un valor de 0,8 - 1; mientras que un hospital grande tiene valores de 0,2 – 0,4.

El factor de forma es el cociente entre la superficie exterior y el volumen del edificio. Un valor superior a 0,7 es considerado un mal valor.



**Figura 1.03: Coeficiente de factor de forma. (Fuente: Passivhaus trust)**

Según cálculos del Passivhaus Institut, curiosamente, la compactidad afecta sobre todo la demanda para calefacción, mientras que la refrigeración se reduce con menor grado al incrementar la compactidad. [4]

En climas moderadamente fríos los edificios compactos tienen menos pérdidas energéticas porque tienen una envolvente menor respecto a un edificio con el mismo volumen y menos envolvente, por tanto, las demandas son también menores.

Existen los casos en que, en un clima cálido con gran radiación solar, un edificio poco compacto podría generar más sombra propia (la que le aporta el mismo edificio) lo que a su vez acabaría reduciendo la demanda energética en verano.

Se ha comprobado además que en edificios con mala orientación y que reciben mucha radiación solar, una alta compactidad puede llegar a ser un inconveniente.

En estos casos, donde la temperatura interior diurna puede llegar a ser superior a la temperatura exterior, sería recomendable una baja compactidad, con grandes superficies que disipen el calor al exterior.

Igualmente, existen una serie de alternativas, como la reducción de aberturas a norte o el aumento del aislamiento térmico de la envolvente, que pueden llegar a compensar la poca compactidad de algunos diseños de Passivhaus.

## **PROTECCION SOLAR**

La radiación solar es la fuente pasiva por excelencia para calentar los edificios en invierno. Desgraciadamente, esta ventaja se convierte en efecto negativo en verano, con el sobrecalentamiento de los espacios interiores.

Por eso, hay que optimizar los huecos del edificio de manera que maximicen las ganancias solares en invierno y las minimicen en verano. La mejor manera para conseguir esta condición es la utilización de una protección solar móvil o bien de trabajar con voladizos o filtros fijos que dejen pasar la radiación en invierno y la paren en verano.

Las protecciones solares fijas deben de colocarse en horizontal cuando la inclinación de radiación solar es alta, y en vertical cuando el sol incide en ángulos bajos (orientación E-O).

Para edificios Passivhaus, la eficiencia de estos elementos de protección solar fijos ha de ser estudiada y optimizada para cada zona climática. Si bien esta protección protege el interior de la radiación solar diurna, también puede impedir la disipación del calor durante la noche.

La utilización de protecciones solares no debe restar iluminación natural en el interior de los espacios ya que haría aumentar la demanda energética de consumo eléctrico. Un valor importante a contemplar para la protección solar, además de elementos como persianas o toldos, es el factor solar de los vidrios

El valor que define el grado de protección solar es el valor Fc. Este valor corresponde a la fracción de radiación que incide en un hueco y que no queda bloqueada por persianas, toldos, etc.

<b>Protección solar</b>	<b>Fc</b>
Sin protección solar	1
<b>Protección interior o en el vidrio</b>	
Blanco o reflectante poca transparencia	0,75
Colores claros o con poca transparencia	0,8
Colores oscuros o con mayor transparencia	0,9
<b>Protección exterior</b>	
Persianas orientables ventiladas	0,25
Persianas poco transparentes	0,25
Persianas en general	0,4
Persianas enrollables	0,3
Voladizos (valor a comprobar)	0,5
Toldos ventilados	0,4
Toldos en general	0,5

Figura 1.04: Valores Fc aproximados según DIN4108-02 (Fuente:Energiehaus)

Para Passivhaus en climas fríos o templado-fríos, se aconseja maximizar este factor (valores iguales o mayores de 0,5). En climas cálidos, es más complejo el establecer pautas para el factor solar. En función de los balances anuales y la relación entre demanda para calefacción, refrigeración y la zonificación del edificio se tendría que buscar los factores solares ideales para las ventanas. [4]

### **AISLAMIENTO TÉRMICO E INERCIA TÉRMICA**

El aislamiento térmico sirve para aislar el interior de un edificio del clima exterior.

Su eficacia radica cuando la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior es elevada, y pierde su interés cuando es muy baja. Por lo tanto, un buen aislamiento térmico se considera más eficiente en invierno que en verano, dado que esta diferencia de temperatura es más elevada. (20°C en invierno- 26°C en verano).

El aislamiento térmico se expresa en  $W / m^2 K$ . Esta unidad se refiere a la cantidad de vatios por metro cuadrado, que es capaz de dejar pasar el material cuando la diferencia de temperatura entre el interior y el ambiente exterior es de aproximadamente 1 Kelvin. Se requiere un estudio adecuado sobre el espesor de aislamiento dependiendo de las condiciones de temperatura de verano y de invierno.



**Figura 1.05: Detalle aislamiento térmico ( Fuente: Fenercom)**

Dependiendo del clima se debe optimizar el espesor del aislamiento térmico en función del coste y de la mejora de la eficiencia energética. Como demostró el estudio Passive-On [5] sobre ejemplos en el clima mediterráneo, los grosores de aislamiento de cerramientos verticales, cubierta y solera variarían en función de las ciudades:

Se hizo este estudio para tres ciudades italianas: Milán, Roma y Palermo. Para el caso de España, estas tres ciudades corresponden aproximadamente a nivel climático con Girona (=Milán), Barcelona (Roma) y Murcia (Palermo). Para el clima de Milán se optimizó un aislamiento de 25 cm tanto para los cerramientos verticales como para la cubierta y las soleras. Lo mismo para un clima como Roma tendría 15 cm para la cubierta, 10 cm para los cerramientos verticales y 1 cm para los cimientos. Para Palermo, se puede optimizar hasta 5 cm para paredes y cubierta, sin tener que poner aislamiento térmico en los cimientos.

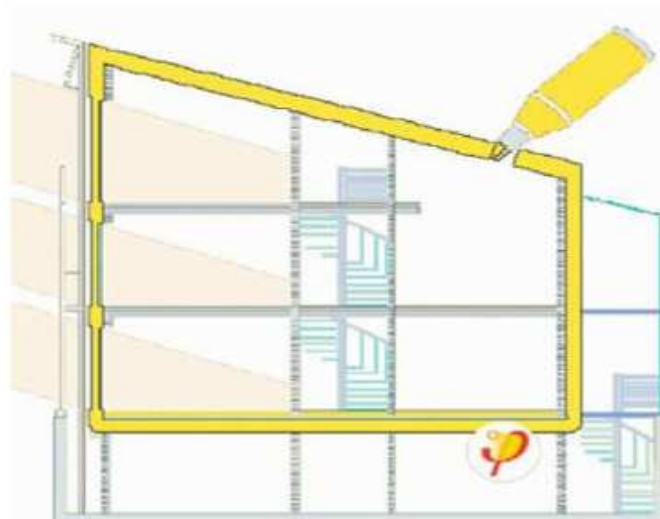
Existe la idea preconcebida de que un aislamiento excesivo perjudica el comportamiento térmico de los edificios en verano, con la opinión de que cuando la envolvente está altamente aislada, el calor acumulado durante el día tiene más dificultad para disiparse por la noche. Esto puede ser cierto en edificios con ganancias solares excesivas en verano (mal orientados o poco protegidos) y con mala ventilación nocturna. En cambio, los edificios pasivos con cargas solares muy controladas en verano, cuando se combinan con una buena estrategia de ventilación nocturna, no les va a perjudicar un alto aislamiento térmico, visto que la temperatura en el interior no llegará a estar nunca por encima de la temperatura exterior. [6]

En climas templados, el aislamiento de la solera es muy importante. En estos lugares, donde la temperatura del verano es muy cálida y los inviernos son templados podría ser interesante no aislar la solera, así se permitiría una mejor disipación del calor en verano.

En climas donde el invierno es severo, la recomendación será siempre aislar adecuadamente la solera.

Como regla general, la diferencia entre la superficie del suelo y la temperatura operativa del ambiente interior no debe superar los 3°C. [2]

El Instituto Passivhaus ha definido la llamada “Regla del rotulador”, que establece que en los planos debería de dibujarse con rotulador una línea continua con la envolvente térmica. El grosor del rotulador debería ser equivalente al grosor del aislamiento térmico, así cuando en el dibujo veamos partes con menor grosor podemos compensar la diferencia con otras medidas. [4]



**Figura 1.06: Regla del rotulador (Fuente: Passipedia)**

En principio, un edificio Passivhaus debería cubrirse con una piel aislante continúa ininterrumpida, así evitaríamos en la medida de lo posible los puentes térmicos.

La inercia térmica se define como la energía que es necesaria para aumentar un grado Kelvin la temperatura de un metro cúbico de un elemento constructivo.

Este elemento constructivo es capaz de almacenar una cantidad de energía determinada hasta alcanzar un punto de saturación; cuando la temperatura del elemento es más alta que la del aire circundante, el flujo energético se invierte y la energía empieza a fluir de nuevo del elemento al aire.

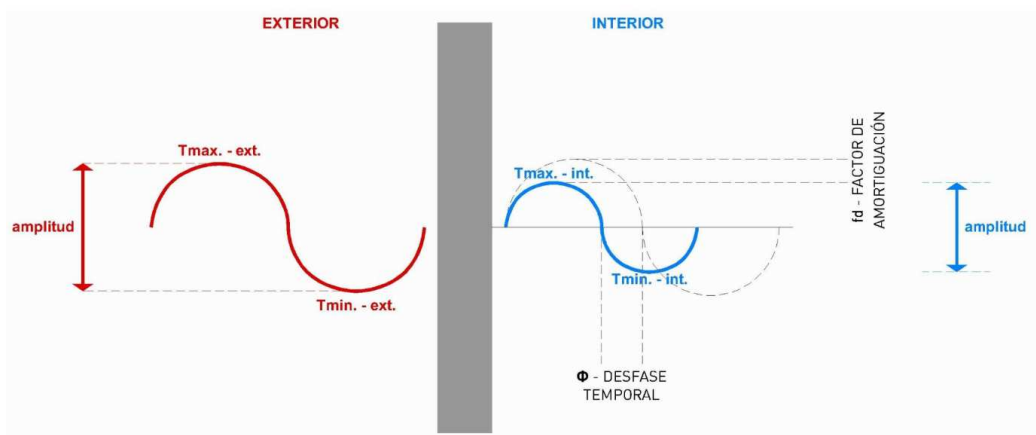
La inercia térmica se mide a través de la amortiguación de la onda térmica y del desfase entre las ondas térmicas en el interior en relación con el exterior durante las 24 horas del día. La amortiguación de la onda térmica,  $F_d$ , describe el grado de oscilación de las temperaturas interiores comparado con las del exterior, representando el flujo térmico absorbido y el correspondiente flujo térmico emitido.

El desfase temporal,  $\Phi$ , representa la cantidad de tiempo, expresada en horas, necesaria a la onda térmica para fluir desde la superficie exterior de un elemento constructivo hasta su superficie interior. Es la diferencia de fase entre la temperatura superficial interior máxima y la temperatura exterior máxima.

Se aconseja que la amortiguación de la onda térmica llegue al 95%, es decir, que solo el 5% del calor exterior llegue al interior. El desfase de la onda térmica debe ser de cómo mínimo, según la ISO 13786, de 10 horas, aconsejándose que sea de 14 horas. [7]

En climas cálidos, la inercia térmica puede tener ventajas tanto en invierno como en verano. En invierno, puede absorber el exceso de calor en días de mucha radiación solar, para luego poder disiparla al interior cuando la temperatura desciende.

Del mismo modo, en verano, ayuda a gestionar los cambios de temperatura, lo que se traduce en una menor fluctuación de las temperaturas.



**Figura 1.07: Características térmicas dinámicas (Fuente: PEP)**

Recientes estudios, demuestran que la inercia térmica no llega a ser del todo relevante a la hora de refrigerar pasivamente los edificios. Estos estudios señalan que se puede compensar una escasa inercia térmica de un edificio con un mayor nivel de aislamiento, combinándolo con la ventilación natural nocturna y las protecciones solares exteriores, ya que reducen directamente la entrada de calor por la radiación solar y ayudan a extraer el exceso de calor por la noche. [8] [9]

Para climas fríos y templado-fríos, el estándar Passivhaus trabaja con un alto aislamiento térmico. A la vez, se ha demostrado que la inercia térmica tiene menor relevancia.

En climas cálidos y templado-cálidos, estos edificios siguen teniendo un aislamiento térmico mucho más importante de lo que la normativa pide, pero obviamente no hay que poner los grosores de aislamiento que conocemos para Alemania o Austria, donde tanto paredes como cubiertas suelen tener más de 30 cm de aislamiento, con transmitancias térmicas del rango de 0,10-0,15 W/m<sup>2</sup>K. No obstante, no se puede predecir el grosor óptimo para un Passivhaus en climas cálidos.

### **CALIDAD DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA SEMITRANSARENTE**

Los huecos son el “punto débil” de la envolvente, por lo que se debe poner mucha atención en su ubicación durante el diseño del proyecto, y en su correcta colocación durante la obra.

Los edificios Passivhaus se rigen por la norma internacional ISO 7730, que establece una serie de criterios de alto confort térmico. Uno de estos criterios es la máxima diferencia permitida entre la temperatura operativa interior y la temperatura de la superficie interior de la envolvente térmica, valor que no puede sobrepasar los 4,2°C. [2]



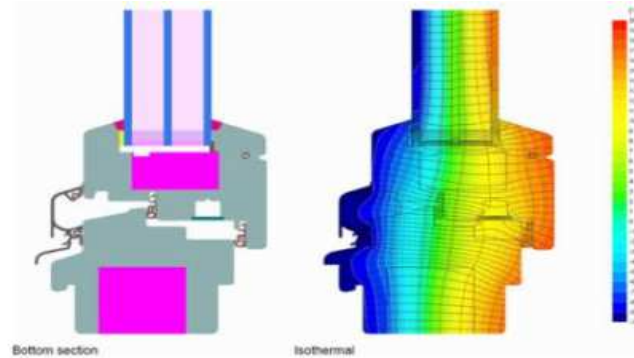


Figura 1.08: Simulación energética de una ventana: Passivhaus Institut)

Para cumplir con la serie de requisitos de confort establecidos por el Passivhaus Institut, la transmitancia térmica U- que incluye la pérdida calorífica a través del vidrio y de la carpintería- no puede superar los  $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Estas ventanas a su vez, tienen tener un factor solar del vidrio muy alto para garantizar un máximo aporte solar en invierno. Es aconsejable que este factor solar tenga valores cercanos al 50%, sobre todo a sur.

Este criterio de factor solar está pensado para minimizar la demanda energética de calefacción, mientras que en verano se debe de asegurar una protección solar alta para conseguir un confort térmico óptimo.

DESCRIPCIÓN	COEFICIENTE U ( $\text{W/m}^2\text{K}$ )
Panel simple	5,7
Panel doble	2,8
Panel triple	1,9
Panel triple sellado con revestimiento de baja emisividad	1,4
Además relleno de argón	1,2
Además con dos revestimientos de baja emisividad	0,8
Ventana de vacío (alto vacío)	0,5
20 mm de Aerogel [vacío reducido]	0,3

Figura 1.09: Valores coeficiente transmitancia térmica U (Fuente: Fenercom)

### **PUENTES TERMICOS**

Según el CTE, se consideran puentes térmicos a las zonas de la envolvente del edificio donde se evidencia una variación de la uniformidad de la construcción, ya sea por un cambio del espesor del cerramiento, de los materiales empleados, por penetración de elementos constructivos con diferente conductividad, etc., lo que conlleva necesariamente una minoración de la resistencia térmica respecto al resto de los cerramientos. [10]

Esta reducción de la resistencia térmica en un punto de la envolvente se debe principalmente a dos motivos:

- Cambio en la solución constructiva del propio cerramiento, ya sea por la presencia de un pilar, un capialzado, la hornacina de un radiador, etc. Estos puentes térmicos forman parte del propio cerramiento y se denominan puntuales.

– Encuentros de cerramientos, particiones interiores o elementos exteriores donde la discontinuidad geométrica induce un aumento de la densidad de flujo del calor. Se denominan lineales y existen tres tipos: constructivos (cuando el cerramiento cambia de grosor), geométricos (se producen en las esquinas) y debidos al cambio de material.



**Figura 1.10: Puentes térmicos en una edificación (Fuente: Google)**

Los puentes térmicos lineales suelen tener mayor impacto que los puntuales.

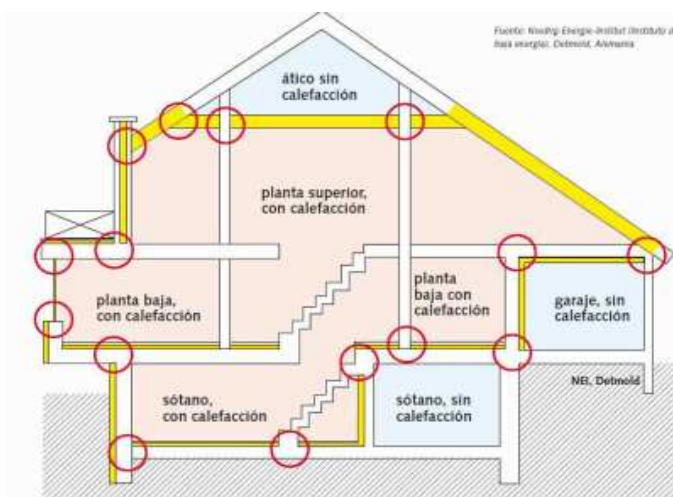
Dentro del estándar Passivhaus, se considera un detalle constructivo libre de puentes térmicos cuando la transmitancia térmica lineal no supera el valor máximo de  $0,01 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Para conseguir estos parámetros se han establecido una serie de reglas para evitar los puentes térmicos: [6]

Evitar: intentar no romper la continuidad del aislamiento térmico.

Penetrar: si no se puede evitar la ruptura, utilizar un elemento con una conductividad muy baja en este punto.

Conectar: conectar diferentes elementos constructivos sin interrumpir el aislamiento térmico.



**Figura 1.11: Señalización de los puentes térmicos habituales (Fuente: PEP)**

Existe un peligro adicional a la fuga de calor derivado de la existencia de un puente térmico: la condensación, por lo cual deberemos de cuidar que no se produzcan condensaciones superficiales e intersticiales debido a la bajada de temperatura en el detalle constructivo.

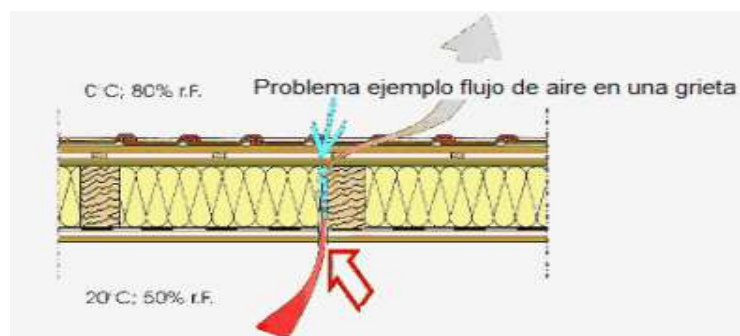
### **HERMETICIDAD AL PASO DEL AIRE**

Un alto grado de hermeticidad al aire es fundamental para los edificios de bajo consumo energético. Estas infiltraciones de aire hacen que el flujo de aire caliente salga del edificio en invierno, y en verano al revés, el aire caliente se introduce en el edificio.

Dado el alto grado de aislamiento térmico de los edificios Passivhaus, se debe prestar especial atención sobre todo a las juntas constructivas con el fin de tener las mínimas infiltraciones de aire.

Además del ahorro energético que conlleva, un edificio hermético tiene menos riesgo de sufrir condensaciones. La fuga de aire húmedo en invierno, puede causar estas condensaciones en el interior del material aislante malogrando este. Otro inconveniente de un mal sellado de juntas es la posible penetración de agua exterior en el interior del cerramiento en el caso de un fuerte chubasco acompañado de viento.

Las pérdidas por infiltración dependen de la hermeticidad del edificio, pero también de la exposición de este al viento. Un edificio muy expuesto al viento, tiene más infiltraciones que uno que por ejemplo está situado en el centro de una ciudad.



**Figura 1.12: Salida del aire del interior al exterior por el techo ( Fuente: Google)**

Como en otros conceptos Passivhaus, el impacto de la hermeticidad es más pronunciado en climas fríos, y tiende a perder interés en climas cálidos, cuando las temperaturas interiores son parecidas a las exteriores. En climas más fríos, las pérdidas de calor interiores debidas a las infiltraciones pueden echar a perder todo el trabajo llevado a cabo para la ejecución de una Passivhaus.

El grado de hermeticidad del edificio se mide en obra con el test blower door, que crea una diferencia de presión entre el interior y el exterior del edificio. Se mide el caudal de aire bajo una diferencia de presión de 50Pa, lo que equivale a una presión del viento de 30 Km/h. Para edificios Passivhaus, este valor no puede superar los 0,6/h (60% de intercambio de aire entre el interior y el exterior). El test blower door es obligatorio para cualquier estándar de muy bajo consumo energético y viene definido por la norma EN-13829.

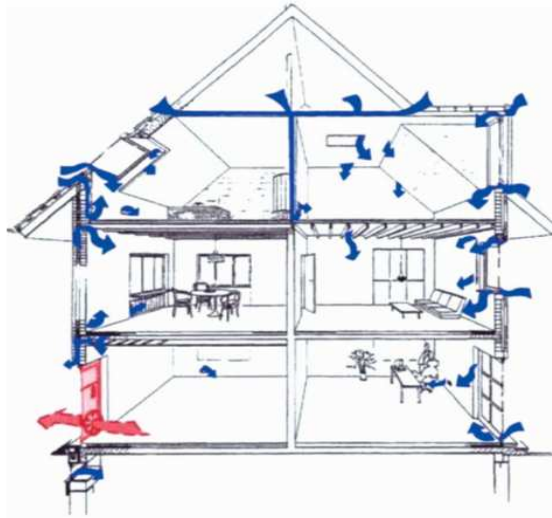


Figura 1.13: Puntos de infiltraciones habituales ( Fuente: Passivhaus Institut)



Figura 1.14: Test Blower Door (Fuente: Energiehaus)

### **VENTILACION CONTROLADA**

La función de ventilar una edificación no es otra que asegurar la calidad higiénica de los espacios interiores y garantizar la extracción al exterior de una serie de agentes nocivos para la salud humana como pueden ser el dióxido de carbono, componentes orgánicos volátiles, el vapor de agua producido por la actividad humana o simplemente deshacernos de olores desagradables. Por eso mismo es imprescindible definir unos conceptos de ventilación en nuestro edificio que a la vez sean eficaces desde el punto de vista energético.

Existen una serie de variantes a la hora de ventilar. Esta ventilación puede ser natural, híbrida y controlada de doble flujo.

La ventilación natural resulta crucial para los edificios en zonas cálidas, dado que en verano ayuda a descargar el calor acumulado durante el día. A la vez que, durante el día, puede generar corrientes de aire que mejoren el confort climático por convección.

La ventilación híbrida se encuentra a medio camino entre la ventilación natural y la controlada por doble flujo. Consiste en crear una depresión artificial en las estancias mediante unos ventiladores de extracción situados en los locales húmedos. El aire fresco entra a través de las aberturas pasivas en fachadas o a través de la carpintería y se expulsa este aire viciado por los locales húmedos. La ventilación híbrida garantiza una ventilación constante.

La ventilación de doble flujo funciona como la ventilación híbrida, pero añade un sistema que incorpora un recuperador de calor, que pasa la energía del aire saliente al caudal del aire entrante sin mezclarse. Este recuperador de calor que incorporan, es una caja compuesta de pequeños conductos que transportan el aire, separadas entre sí por pequeñas paredes de aluminio o polietileno. La mitad de estos conductos llevan el aire exterior al interior del edificio y la otra mitad los expulsan. El rendimiento nominal del recuperador caracteriza la cantidad de energía recuperada.

En general, se aconsejan utilizar recuperadores de calor con el certificado Passivhaus, que suelen tener rendimientos nominales mínimos del 75%.

En climas templados donde las temperaturas interiores y exteriores son muy parecidas, el recuperador tendría unos rendimientos muy bajos, haciendo innecesaria su instalación.



**Figura 1.15: Intercambiador de ventilación de doble flujo (Fuente:**

Los conductos de esta ventilación de confort suelen ser de acero galvanizado de sección circular o tubos de polipropileno de sección circular o cuadrada. Para conseguir la máxima eficacia de estos sistemas de recuperación de calor, lo más aconsejado es aislar los conductos que discurren entre la máquina de recuperación de calor y el exterior, permitiendo así un salto destacado entre la temperatura del flujo de aire exterior y el interior.



## **2. EL ESTÁNDAR PASSIVHAUS**

“Un edificio pasivo es aquel que puede garantizar el confort climático suministrando la energía para la calefacción y/o refrigeración solo a través del aire de la ventilación. Este caudal de ventilación es el mínimo para garantizar la higiene de las estancias interiores (30 m<sup>3</sup>/h por persona en uso residencial)” [2]

La filosofía del estándar Passivhaus es la de suministrar la energía necesaria a través del aire. Esto es solo posible gracias a una demanda energética de calefacción y refrigeración muy baja en el conjunto del edificio, en parte utilizando todas las estrategias de la arquitectura pasiva anteriormente descritas.

Esta filosofía no prohíbe que un edificio disponga de un sistema convencional de calefacción o de refrigeración, sino que afirma, al menos en la teoría, que un edificio es capaz de suministrar la energía necesaria para calefacción o refrigeración solo a través de la ventilación mínima que garantiza la salubridad del mismo.

Este caudal mínimo para garantizar la salubridad de la estancia equivale a 0,3/h renovaciones hora, lo que significa que cada hora se renueva el 30% del aire contenido en las estancias. Este valor es bastante que menor que el caudal para un edificio construido bajo los criterios del CTE (menos de la mitad).

Este caudal de renovación es tan reducido que los usuarios prácticamente no lo perciben y cumple estrictamente con los criterios de la normativa EN ISO 7730 en cuestiones como la velocidad del aire permitida máxima, limitación entre la temperatura radiante del suelo y del techo, etc.

Otro de los criterios que fija esta normativa son las temperaturas operativas mínimas y máximas. Para invierno la temperatura mínima es  $> 20$  °C y para verano  $\leq 26$  °C.

Esta normativa también fija diferencia entre la superficie interior de la envolvente térmica y la temperatura operativa del ambiente. Esta diferencia no puede ser, en ningún caso, mayor a 4,2 °C y cobra especial relevancia en el caso de las carpinterías donde a menudo se supera esta diferencia de temperatura.

### **DEFINICION PASSIVHAUS INDEPENDIENTEMENTE DEL CLIMA**

La definición oficial Passivhaus fija una carga para calefacción y refrigeración máxima permitida de 10 W/m. [11]

El concepto de “carga” equivale a la potencia necesaria para mantener los espacios interiores a la temperatura operativa determinada por la normativa en la época más severa del año. Se entiende la más severa, como el día más frío o más caluroso de todo el año. Se utiliza, entonces, para dimensionar adecuadamente los equipos de calefacción y de refrigeración.

#### ***Definición de carga para calefacción:***

La carga para calefacción expresada en W/m surge como el producto de los siguientes conceptos:

- Capacidad energética del aire: 0,33 Wh/m<sup>3</sup> K.
- Caudal de aire para mantener buenas condiciones higiénicas para cada persona estimado por normativas internacionales: 30 m<sup>3</sup> /h.

- Temperatura máxima del aire calentado es 50 °C y el incremento de temperatura  $\Delta t = 30^\circ\text{C}$

El producto de estos tres conceptos anteriores resulta:

$$0,33 \text{ Wh/m}^3 \text{ K} * 30 \text{ m}^3 / \text{hp} * 30 \text{ K} = 300 \text{ W/persona}$$

Este valor equivale al calor que puede ser suministrado a través del aire.

Considerando una densidad de 30 m<sup>3</sup> /persona (estimada para residencial en Alemania) resulta:

$$300 \text{ W/personas} / 30 \text{ m}^3 / \text{persona} = 10 \text{ W/m}^2$$

El estándar Passivhaus acepta la justificación de otro valor con densidades más altas que corresponda a otra normativa internacional, pudiéndose calcular cargas más altas. Por ejemplo, la densidad de ocupación de viviendas es 20 m<sup>2</sup> /persona en lugar de los 30 m<sup>2</sup> /persona de Alemania. Esto daría lugar a una carga suministrable equivalente de 15 W/ m<sup>2</sup>. El Passivhaus también tiene en cuenta para este cálculo la densidad y el perfil de uso de los edificios, como por ejemplo las escuelas. Éstas tienen mayores densidades de uso, pero, debido a que suelen apagar la calefacción por las noches necesitan una carga mayor a los 10 W/m<sup>2</sup>.

#### **Definición de carga para refrigeración:**

La carga para refrigeración expresada en W/m surge como el producto de los siguientes conceptos:

- Capacidad energética del aire: 0,33 Wh/m<sup>3</sup> K.
- Caudal de aire para mantener buenas condiciones higiénicas en verano: 42,5 m<sup>3</sup>/h
- Temperatura máxima del aire frío es 15 °C y el incremento de temperatura  $\Delta t = 26 - 15 \text{ }^\circ\text{C} = 11 \text{ K}$ .

El producto de estos tres conceptos anteriores resulta:

$$0,33 \text{ Wh/m}^3 \text{ K} * 42,5 \text{ m}^3 / \text{hp} * 11 \text{ K} = 154 \text{ W/persona}$$

Este valor equivale al frío que puede ser suministrado a través del aire bajo esas condiciones.

Considerando una densidad de 15 m<sup>2</sup> /persona (estimada para Oficinas) resulta:

$$154 \text{ W/personas} / 15 \text{ m}^2 / \text{persona} = 10 \text{ W/m}^2$$

Aparte de la definición independientemente del clima a través de la carga de calor/frío del estándar, se han definido con el tiempo otros criterios oficiales para la certificación. Estos son los criterios directos y los criterios indirectos. Los criterios directos deben justificarse mediante el cálculo con la herramienta PHPP y son necesarios para la obtención del certificado.

Los indirectos se basan en los requisitos de confort e higiene desarrollados por el Passivhaus para clima de Europa central. La no aplicación de estos criterios en un clima más cálido puede requerir una justificación respectiva mediante cálculos.



### **CRITERIOS DIRECTOS**

Las cuatro condiciones necesarias para que un edificio pueda ser certificado con el estándar Passivhaus son las siguientes:

- Demanda de energía para calefacción: máx. 15 kW h/m<sup>2</sup> a
- Demanda de energía para la refrigeración: máx. 15 kW h/m<sup>2</sup> a de refrigeración sensible, más una parte proporcional de refrigeración latente para climas húmedos.
- Demanda de energía primaria renovable PER
  - <60 kWh/m<sup>2</sup> a para la Certificación Classic
  - <45 kW h/m<sup>2</sup> a para la Certificación Plus
  - <30 kW h/m<sup>2</sup> a para la Certificación Premium

Para la calificación Plus y Premium también se establece que en la parcela en la que está construida la edificación, debe de llevarse a cabo una generación de energía primaria en de 60 kW h/m<sup>2</sup> a y 120 kW h/m<sup>2</sup> a, respectivamente.

- Hermeticidad al paso del aire de valor n50max.permitido = 0,6/h.

#### *Demanda de calefacción*

La demanda de calefacción indica la cantidad de energía necesaria que requiere un edificio para mantener la temperatura por encima de 20 °C en invierno. Este valor se refiere al comportamiento pasivo sin considerar la eficiencia de las instalaciones.

#### *Demanda de refrigeración*

La demanda de refrigeración indica la cantidad de energía necesaria que requiere un edificio para mantener la temperatura por debajo de 26 °C en verano. Este valor se refiere al comportamiento pasivo sin considerar la eficiencia de las instalaciones. En 2012 el Passivhaus Institut introdujo una parte proporcional de refrigeración latente. En climas húmedos, como Barcelona, se permite un componente de frío latente debido a la necesidad de deshumectación. En Barcelona, por ejemplo, se permite llegar a 18 kWh/m<sup>2</sup> a en la demanda de refrigeración total (sensible + latente).

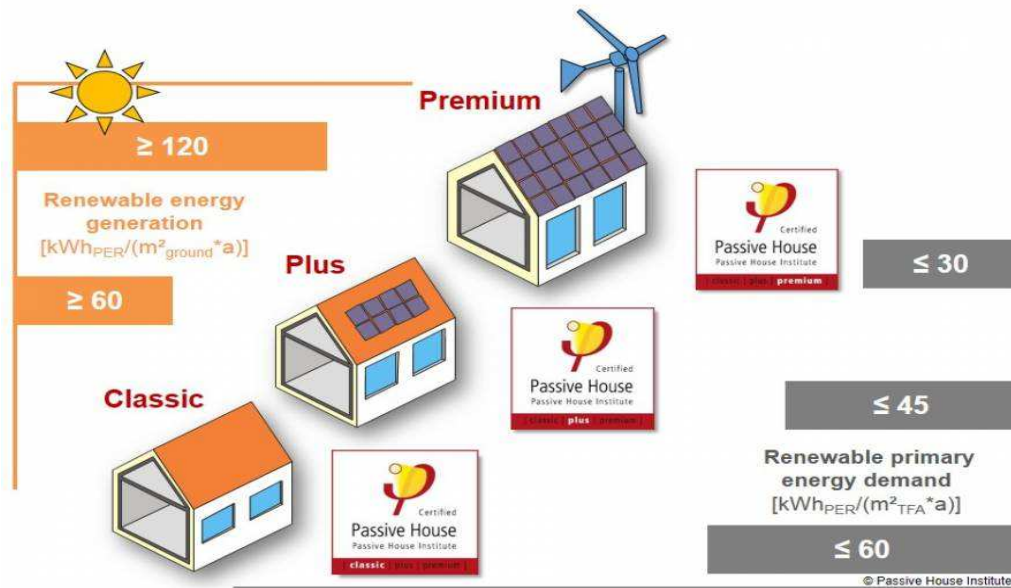
#### *Demanda de energía primaria renovable*

Se han establecido nuevas categorías para la certificación del estándar Passivhaus introduciendo los nuevos conceptos de demanda de energía primaria renovable (PER) y de generación de energía primaria renovable. Debido a que la demanda de energía de calefacción ya es muy reducida en las casas pasivas, la demanda de agua caliente sanitaria y electricidad adquieren más importancia en la nueva evaluación del estándar Passivhaus.

El nuevo proceso de certificación considera al edificio en un futuro (año 2060) en el que sólo se consume energía renovable. Este nuevo concepto de demanda de energía primaria renovable nace de la necesidad de situar el edificio en un escenario futuro correspondiente a la vida útil del mismo. El concepto de generación de energía primaria renovable, además de un ejemplo para los modelos de edificios de consumo de energía casi nulo (nZEB), convierte a las casas pasivas en una solución atractiva para la transición energética.

De esta forma, se ofrece al mercado una herramienta avanzada para certificar soluciones altamente eficientes con una generación importante de energía renovable.

Dentro del estándar Passivhaus Classic se reduce el antiguo límite de demanda de energía primaria de 120 KWh/m<sup>2</sup>a a una demanda de energía primaria renovable de 60 KWh/m<sup>2</sup>a. Esta reducción de la demanda máxima de energía del edificio se debe la equivalencia de los antiguos factores de producción de energía primaria a los nuevos factores producción de energía primaria renovable. En esta nueva categorización del estándar Passivhaus la generación de energía primaria renovable y el concepto de demanda de energía primaria renovable aparecen separados.



**Figura 2.01: Clasificación de los nuevos estándares Passivhaus (Fuente: Passivhaus Institute)**

La generación de energía primaria renovable se calcula en KWh/m<sup>2</sup> (de proyección de la envolvente térmica hacia el terreno) ·a. Esto supone que la producción de energía primaria renovable no va en función de la SRE sino que va en función de la superficie disponible en cubierta. De esta forma, se le da las mismas oportunidades de conseguir una clasificación Plus o Premium a un edificio de viviendas en altura que a una vivienda unifamiliar.

Para conseguir una categoría Plus o Premium, el PHI permite compensar hasta 15 KWh/m<sup>2</sup>·a de demanda de energía primaria renovable con la generación de energía renovable.

Como alternativa a estos dos criterios, se puede comprobar según el Estándar Casa Pasiva clásico que sigue siendo aceptado durante la fase de transición mediante el cumplimiento del requisito previo para la demanda de energía primaria no renovable (EP) de QEP ≤ 120 KWh/(m<sup>2</sup>a). El método de verificación deseado se puede seleccionar en el PHPP en la hoja de trabajo "Comprobación". El perfil 1 para el factor de energía primaria debe ser utilizado en el PHPP por defecto a menos que el PHI haya especificado otros valores nacionales.

Bajo este criterio, la demanda de energía primaria se refiere a la demanda de calefacción y refrigeración multiplicadas por la eficiencia de los sistemas activos que componen el edificio, incluyendo, las pérdidas energéticas en la generación, distribución y almacenamiento de energía. La energía primaria incluye las pérdidas energéticas en la extracción, elaboración y distribución de la energía. Estas pérdidas dependen del tipo de energía (electricidad, gas, biomasa, etc.) y del factor de energía primaria. Cada país tiene un factor de energía primaria diferente determinado por su mix eléctrico.

Este criterio tiene en cuenta la demanda pasiva, antes comentada, así como la eficiencia de las instalaciones de generación de calor, frío, ACS, electrodomésticos, iluminación, ofimática y otros.

#### Hermeticidad al paso del aire

Un edificio Passivhaus debe conseguir una buena hermeticidad al paso del aire. Esto se mide con el test de Blower Door que calcula el caudal de aire debido a las infiltraciones que hay en el edificio. Este test medido con una diferencia de presión entre el interior y el exterior de 50 Pa, no debe superar los 0,6/h (renovación de aire/ hora). Es decir, se debe evitar que el 60% del volumen de aire interior neto abandone el edificio al realizar el test. Este criterio es muy exigente en países como España donde el criterio de hermeticidad al aire no se ha tenido en cuenta en la tradición edificatoria y es un concepto que tampoco viene reflejado en el CTE, que no obliga a realizar este test de en los edificios. En nueva construcción, con un proyecto bien planificado y ejecutado no es difícil llegar a estos valores. En cambio, en rehabilitación el control de las infiltraciones resulta más complicado. Por ello, el Passivhaus Institut introdujo el estándar llamado EnerPHit para rehabilitaciones con un valor de hermeticidad menos exigente, de hasta 1/h. Por último, para grandes edificios y sector terciario, se tiene que cumplir además con el valor n50 referenciado a la superficie de la envolvente térmica. [12]

### **CRITERIOS INDIRECTOS**

#### Temperatura del aire interior en verano

La temperatura del aire interior no debe de superar los 25°C durante el 10% del uso.

Este criterio debe certificarse con la herramienta PHPP, que simula el edificio como una única zona, interpretándose este 10% como el promedio de calentamiento en todo el edificio

Con el fin de evitar el sobrecalentamiento excesivo en las zonas más expuestas de la edificación, es recomendable conseguir un valor de sobrecalentamiento del 5%.

Además, se recomienda que la diferencia de temperatura entre el aire exterior y interior no supere los 6°C, cuando la temperatura exterior sea superior a 32°C.

#### Criterio de higiene

Para evitar la aparición de moho y de condensaciones superficiales en los vidrios, debe mantenerse una humedad relativa inferior al 80% y al 100% respectivamente.

Esto debe justificarse mediante el cálculo con elementos finitos, tomando como referencia en el caso de la fachada la temperatura media del mes más frío, y en el caso de las ventanas la temperatura exterior del día más frío. La temperatura interior debe considerarse de 20°.

Si se utilizan ventanas conformes al estándar queda descartada la posibilidad de moho y condensaciones y no haría falta justificar este criterio.

### Criterio de confort

Teniendo en cuenta la norma EN ISO 7730 en la que se basa el estándar, la diferencia entre la temperatura operativa interior y la superficie interior de la ventana no debe de superar los 4,2 K.

Este criterio ya queda justificado con la utilización de vidrios triples y carpinterías pasivas. En casos contrarios, debe verificarse que la temperatura media de la superficie de la carpintería interior no descienda de los 17°C.

### Velocidad del aire

En invierno la velocidad del aire no debe de superar los 0,1m/s en las zonas de estar, criterio asequible con el estándar.

En verano es conveniente un movimiento de aire más elevado porque ayuda a conseguir un buen confort térmico, siempre que la humedad relativa exterior no sea muy elevada.

## **LA HERRAMIENTA PHPP**

El PHPP ( Passivhaus Planning Package ) es la herramienta oficial del estándar .Su primera versión data del 1995 y se revisa y actualiza constantemente.

PHPP es una herramienta híbrida de cálculo energético que combina conceptos de cálculo simplificados y dinámicos. Estos cálculos parten de un análisis energético del edificio basado en periodos de tiempo simplificados.

Los cálculos dinámicos analizan el edificio basándose en datos climáticos horarios y son capaces de simular flujos energéticos con gran exactitud.

Es recomendable empezar a trabajar con el PHPP desde una fase muy temprana del proyecto, momento en el que se puede retocar más las características pasivas del edificio.

El programa está organizado en dos partes: parte pasiva y activa. En la parte pasiva se puede simular y optimizar la arquitectura pasiva sin necesidad de simular el sistema activo. En la parte activa se simula tipo de refrigeración y calefacción, generación de ACS, iluminación, etc., para de este modo calcular el consumo de energía primaria.

El PHPP se basa en la norma EN ISO:13790:2008 que define el cálculo de demanda de calor y frío de edificios residenciales y no residenciales. Para poder aplicarla a climas cálidos, esta norma ha introducido métodos de cálculo dinámico más apropiados para estas zonas. [7]

La herramienta cuenta con un interfaz que permite definir la hermeticidad al aire e introducir los valores de puente térmico, con lo cual se hace imprescindible para el desarrollo de los edificios Passivhaus.



Figura 3.01: Fotografía Larixhaus ( Fuente:Progetic)

### 3. LA LARIXHAUS

#### FICHA TECNICA

Cliente/Promotores: Jordi Vinadé, Itziar Pagès

Arquitectura: Nacho Martí, MariaMolins, Oriol Martí Diseño Passivhaus,

PHPP, instalaciones: Oliver Style, Vicenç Fulcarà - Progetic

Constructor: Albert Fargas – FARHAUS

Fecha de la construcción: Mayo 2013 a Diciembre 2013

Tipología: Vivienda unifamiliar aislada

Sistema constructivo: Entramado de madera

Estándar energético: Passivhaus nueva construcción

Calificación energética: A

Ubicación: Calle Ponent 18, 08178 Collsuspina, Barcelona, España

Superficie útil (PHPP): 92 m<sup>2</sup>

Demanda de calefacción (PHPP): 12 kWh/(m<sup>2</sup>a) Carga de calefacción (PHPP): 11 W/m<sup>2</sup>

Consumo energía primaria (PHPP): 107 kWh/(m<sup>2</sup>a)

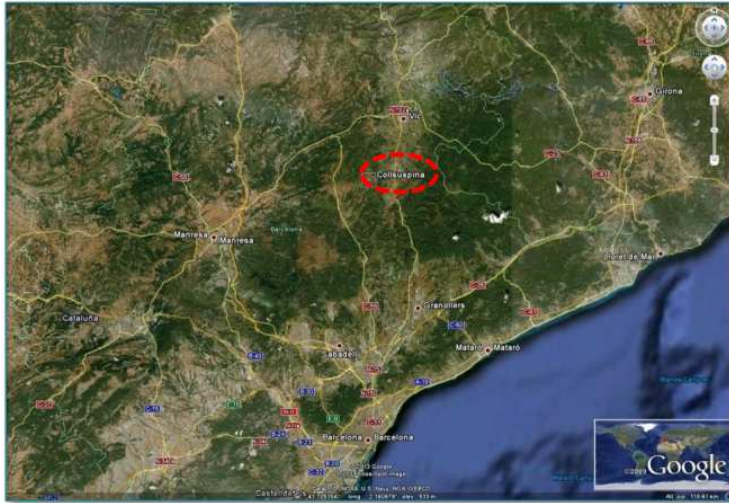
Coste de construcción (PEM): 1.211/m<sup>2</sup>

Infiltraciones: 0,3 ren/h

## **LOCALIZACION**

La Larixhaus está situada en Collsuspina, municipio de la comarca del Moianes, situada a 60 Km de Barcelona, Catalunya.

Se encuentra a 888 metros sobre el nivel del mar, con unas coordenadas de 41,8ºN/ 2,2ºE



**Figura 3.02: Localización Collsuspina (Fuente: GoogleMaps)**



**Figura 3.03: Parcela Larixhaus (Fuente: GoogleMaps)**

Su localización, alejada de la costa y elevada sobre el nivel del mar, hace que consideremos su clima como Mediterráneo continental.

Este clima es parecido al Mediterráneo típico en el régimen de precipitaciones, pero con características de climas continentales en cuanto a temperaturas, que son más extremas.

Según la clasificación climática de Köppen se puede clasificar como clima Cfb-clima oceánico templado con verano suave.

La estación meteorológica más cercana es la de Muntanyola, situada a solo 6km de la Larixhaus. Forma parte del Servei Meteorològic de Catalunya y está situada a una altitud de 816 m.



La estación mide los siguientes parámetros: temperatura, humedad relativa, radiación solar, viento, precipitaciones.

A partir de los datos obtenidos por la estación en el año 2015, realizamos la siguiente tabla:

	TEMP.MAX	TEMP.MIN.	TEMP.MEDIA	HUM.REL.MEDIA	PRECIP.
ENERO	11,9	-1,4	5,3	65,70%	14,9
FEBRERO	10,8	-2,6	4,1	60,60%	19,6
MARZO	15,3	2,5	8,9	66,10%	36,2
ABRIL	19,1	3,5	11,3	61,20%	38,6
MAYO	24,8	7,5	16,2	53,70%	16,4
JUNIO	27,9	11,4	19,7	56,50%	28
JULIO	31,9	15,9	23,9	53,60%	30,9
AGOSTO	28,3	13,8	21,1	61,30%	50,3
SEPTIEMB.	22,2	10,5	16,4	68,20%	77,7
OCTUBRE	18,7	7,2	13	69,10%	14,9
NOVIEMB.	17,8	3	10,4	59,50%	81,6
DICIEMB.	15	1,1	8,1	66,40%	1,7

Figura 3.04: Tabla de parámetros meteorológicos en la estación de Muntanyola para año el 2015

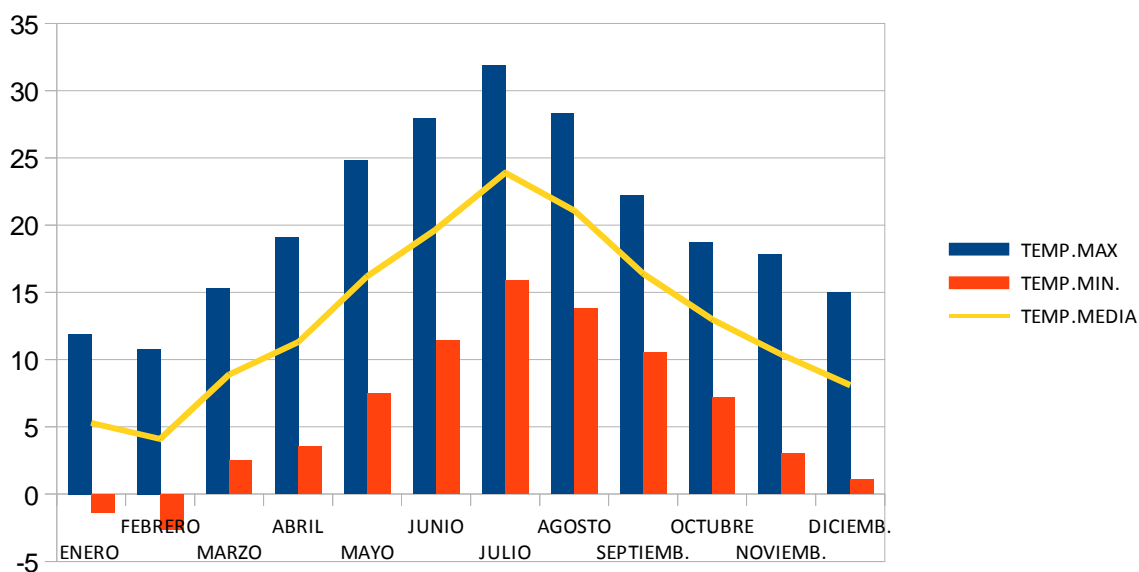


Figura 3.05: Grafica resultados meteorológicos Muntanyola año 2015

Durante el año se registraron un total de 82 días con temperaturas por debajo de los 0°C.

También se registraron un total de 45 días con temperaturas superiores a 30°C.

## DISEÑO

La Larixhaus es una vivienda unifamiliar aislada construida en una superficie de parcela de 442m<sup>2</sup>. Cuenta con una superficie útil de 91,50 m<sup>2</sup> dividida en dos plantas.

En la PB se encuentran dos habitaciones dobles de 17,90 y 13,80 m<sup>2</sup> y un baño de 6m<sup>2</sup>. En la P1 se encuentra la cocina, sala de estar y comedor, en un espacio diáfano de 45,95m<sup>2</sup>.

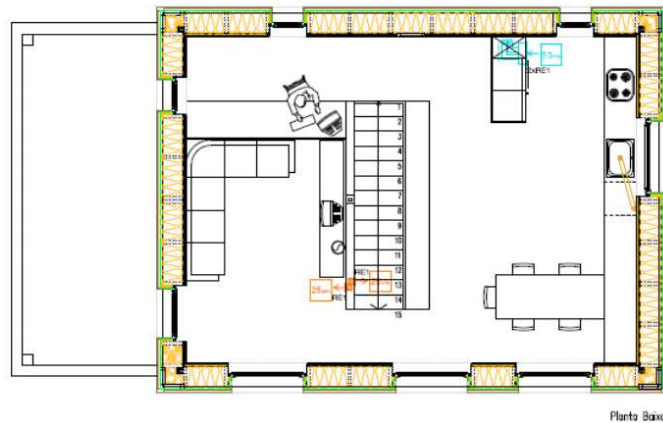


Figura 3.06: Plano de Planta primera

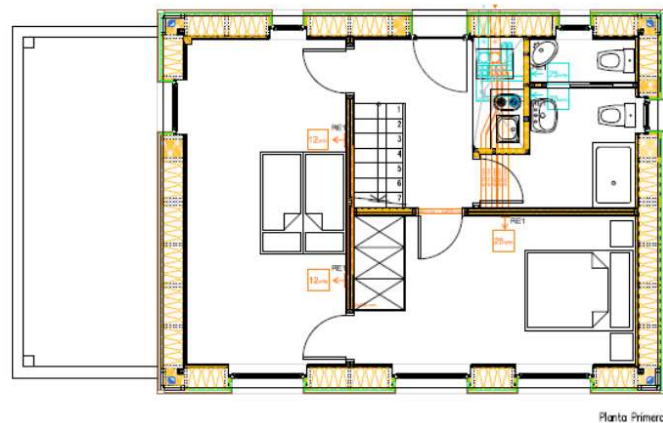


Figura 3.07: Plano de Planta baja

Las dos plantas se comunican con una escalera interior. Las zonas húmedas (baño y cocina) están situadas en el mismo eje vertical para reducir distancias de tuberías.

La envolvente compacta y sencilla del edificio consta de 339m<sup>2</sup>, envolviendo un volumen interior bruto de 437m<sup>3</sup>, dando un factor de compacidad del 0,78.

El lado largo del edificio está alineado en la dirección este-oeste, maximizando la ganancia de luz natural al interior, dando una relación de aspecto de 1:1,3.



La fachada con mayor número de oberturas es la sur, para aprovechar las ganancias solares en invierno. Se cuenta con aperturas operables en todas las estancias habitadas en fachada este, norte y oeste.

ORIENTACION	AREA VENTANA m <sup>2</sup>
NORTE	3,64
ESTE	1,14
SUD	9,77
OESTE	3,07

**Figura 4.07: Área total de ventanas según fachada**

### **ESTRUCTURA**

Para la estructura prefabricada se ha utilizado un entramado de madera con certificación PEFC.

La fachada cuenta con un aislamiento de balas de paja con unas dimensiones de 1200x700x400 mm, con una densidad media de  $\delta=104,17 \text{ Kg/m}^3$  y una humedad relativa del material de 0%, con una  $\lambda_R$  aproximada de 0,059 W/m.k.

Al exterior, las balas están encerradas con un tablero de madera transpirable DFP Kronolux de 16mm de grosor, una cámara ventilada y un acabado exterior de madera de alerce fijada sobre rastreles de madera.

La fachada ventilada permite reducir las ganancias de calor en verano y permite la salida del vapor de agua intersticial con el fin de prevenir daños en el aislamiento interior de paja.



**Figura 4.08: Montaje de fachada (Fuente:Farhaus)**

En el interior de la fachada, un tablero de 22mm de OSB 4 Nature (tablero de virutas orientadas) actúa como capa estanca, seguida por una cámara de instalaciones de 35mm con un 8% entre rastreles de madera y un panel de acabado de fibra de yeso Fermacell de 12mm.

Para romper los puentes térmicos de la madera estructural se ha utilizado un aislamiento de corcho. Con todos estos elementos el valor U de la pared exterior es de  $0,130 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

La cubierta está formada por dos módulos, con las balas de paja posicionadas igual que en las paredes. Está formada de abajo a arriba por un tablero de madera de abeto de 15mm, un tablero OSB 4 Nature de 22mm, 400 mm de aislamiento de paja situado entre vigas de madera al 2%, una placa transpirable de fibra de madera de 16mm DFP Kronolux y cuenta con un acabado de teja cocida sobre rastreles de madera. Su valor total de U es  $0,151 \text{ W/m}^2\text{K}$ .



**Figura 4.09: Montaje de cubierta (Fuente: Progetic)**

El forjado intermedio también cuenta con un aislamiento intermedio de paja, principalmente por razones acústicas.

Para la solera se optó por un aislamiento de XPS de 130mm debajo de una losa de hormigón reforzado de 350mm con un aislamiento perimetral de 60mm de XPS (polietileno extruido). Encima de la solera se coloca un aislamiento de fibras de madera PAVAFLEX de 80mm. Su valor de U es de  $0,165 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Para las ventanas se han utilizado carpinterías FARHAUS de madera laminada de 90mm ( $U= 1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ ), combinadas con un aislamiento de corcho. Los cristales son triple capa (2 capas bajo emisivas, gas argón y espaciadores TGI) con una transmitancias de  $U=0,65 \text{ W/m}^2\text{K}$ , con un factor solar de 47%. La puerta de entrada es una puerta Fargas, con triple capa con prestaciones idénticas a las de las ventanas.

Con todo ello, la transmitancias media ponderada de la envolvente térmica en su totalidad es de  $U= 0,211 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Para lograr la hermeticidad necesaria en paredes y techo, los tableros de OSB utilizados fueron unidos en las juntas con cinta adhesiva, tanto en las juntas entre ellos como a los marcos de ventanas. Estos tableros fueron pegados y unidos con cinta a la solera.

Los marcos de ventanas fueron instalados directamente en los paneles en fabrica, proporcionando una buena ejecución.

Se redujeron al mínimo las perforaciones en los paneles para evitar posibles fugas y la chimenea concéntrica se cerró herméticamente a la placa del techo.

Una vez realizada la envolvente se obtuvo un resultado de  $0,3 \text{ ren/h}$  en el test de blow door.



Figura 4.10: Detalle unión tableros (Fuente :Progetic)

### INSTALACIONES

La Larixhaus cuenta con un sistema de ventilación mecánica de doble flujo con recuperación de calor, que suministra gran parte del aire de confort durante el invierno y el verano.

El aire frío del exterior se precalienta con el aire que sale viciado, utilizando para ello una unidad Comfoair 350 de la casa Zehnder.

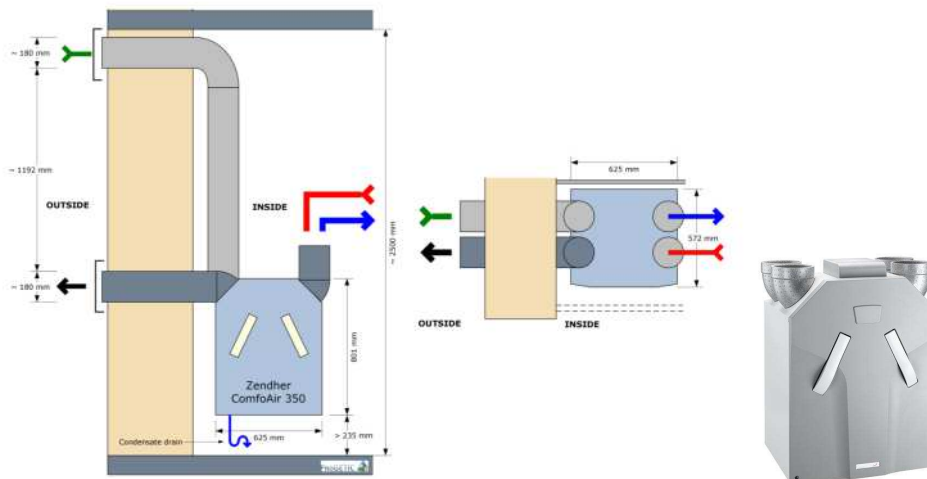


Figura 4.11: Detalle unidad Comforair 350 y fotografía (Fuente: Progetic y Zehnder)

Según las simulaciones, la unidad tiene un COP estacional medio de 8 (genera 8KWh por cada KW eléctrico consumido), gracias a los motores DC de alta eficiencia de sus ventiladores. La unidad está montada sobre amortiguadores acústicos y ubicada en la sala técnica de la PB.

Para los conductos de aire exterior se utilizó DN 180mm (150mm $\varnothing$ interior), de polipropileno de la marca Zehnder ConfoPipe, con un aislamiento de 15mm  $\lambda=0,042\text{W/m.k}$ .

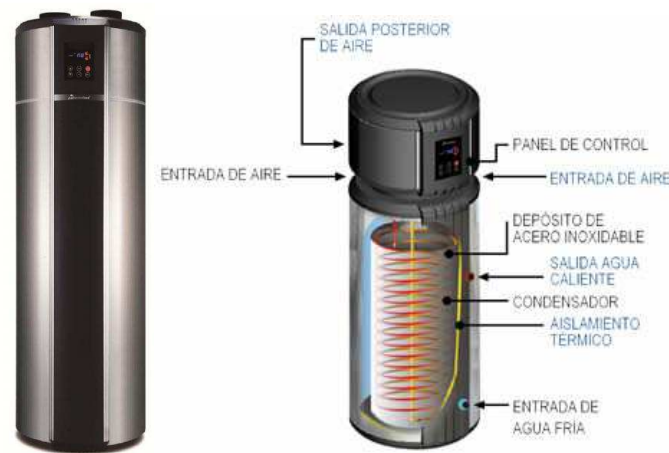


**Figura 4.11: Imagen conductos exteriores e interiores ( Fuente: Zehnder)**

Para los conductos de aire interior se utilizaron conductos de polipropileno de alta densidad Zehnder Comfotube de DN90mm (70mm $\varnothing$ interior). También se instalaron tuberías Comfotube planas para los conductos instalados en el suelo.

El sistema se diseñó para que las tasas de flujo máximo por conducto no excedan de 40m<sup>3</sup>/h, proporcionando una velocidad máxima del aire de 2,5m/s.

El agua caliente sanitaria se genera con una máquina compacta con bomba de calor Aero térmica, THEODOR 300 PLUS, con una capacidad de almacenamiento de 300 litros.



**Figura 4.12: Detalle y fotografía THEODOR 300 PLUS (Fuente: Georenova)**

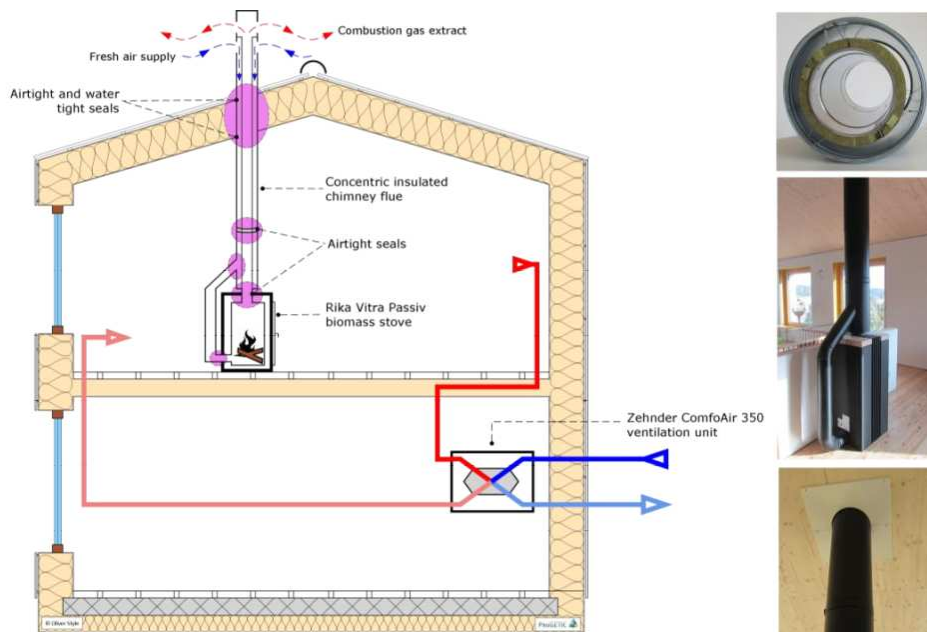
La máquina extrae el calor del aire exterior para calentar el agua, con el conducto de impulsión de aire exterior ubicado justo encima de la salida de aire viciado de la máquina de ventilación, mejorando ligeramente el rendimiento de esta. La máquina cuenta con un COP de 3,75 (aire = 15°C/agua = 45°C).

Los tramos de ACS están aislados en su totalidad. No se requiere de recirculación dado que los tramos de tuberías son cortos.

Con el fin de evitar un bajo rendimiento de la máquina en invierno, los propietarios la tienen programada para que no se encienda en las horas más frías (23:00-08:00) de temperatura exterior. Se prevé la instalación de un sistema de recogida de pluviales.

La demanda de calefacción se lleva a cabo en PB por 2 radiadores eléctricos de 500W montados sobre pared en las habitaciones y un toallero eléctrico de 450W colocado en el baño.

Para la P1 se ha instalado una estufa estanca de leña Rika Vitra de 4kW, con una chimenea aislada de doble flujo. Este conducto de evacuación, hermético y concéntrico, permite el suministro de aire al interior de la estufa y la evacuación independiente de los gases de combustión.



**Figura 4.13: Detalle sistema de estufa y ventilación. Fotografías estufa ( Fuente:Progetic)**

El sistema de ventilación mecánica está diseñado para distribuir el exceso de calor que proporciona la estufa en la zona diáfana de la P1 hacia el resto de la casa.

Se ha instalado un detector de monóxido de carbono junto a la estufa, con un circuito de relé, que apagara automáticamente la unidad de ventilación en el caso que los niveles detectados de CO estén por encima de 150ppm. Esto es por razones de seguridad en caso de despresurización y que el CO se fugue al interior durante su funcionamiento.

No se ha instalado ningún sistema de refrigeración, ya que no era necesario.

Para la cocina, la vitrocerámica es eficiente, con una campana de recirculación, que permite aprovechar las ganancias de calor en invierno y previene la necesidad de colocar una válvula anti retorno para garantizar la estanqueidad de la instalación.

La iluminación artificial es de LEEDs y todos los electrodomésticos son clasificados A++.

En un futuro se prevé la instalación de un generador fotovoltaico en cubierta, permitiendo que el balance energético del edificio se aproxime a los parámetros nZeB. [13]



#### **4. CRITERIOS DE DISEÑO SEGÚN LA ÉPOCA DEL AÑO**

Para el diseño de este edificio se han llevado a cabo una serie de estrategias pasivas según la época del año, con el fin de conseguir los mejores resultados energéticos.

A continuación, las enumeramos:

##### **INVIERNO**

###### COMPACTIDAD, RELACION DE ASPECTO Y ORIENTACION

Con el fin de minimizar las pérdidas energéticas se optó por una forma de construcción compacta y sencilla, con una envolvente térmica exterior de 335m<sup>2</sup> que encierra un volumen interior bruto de 437 m<sup>3</sup> con lo cual obtenemos un coeficiente de compactación de 0,77

La dimensión más larga del edificio se alinea con una orientación de este a oeste, permitiendo una perfecta orientación a sur de la fachada más larga, proporcionando la máxima iluminación natural al interior, con la rebaja de cargas de iluminación artificial que ello implica, y generando unas ganancias solares en invierno.

###### ABERTURAS

Las aberturas se han colocado en su mayoría en la fachada sud, para aprovechar al máximo las ganancias solares en el periodo de invierno, a la vez que se han minimizado en la fachada norte para reducir las pérdidas de calor.

El diseño de estas aberturas ha permitido que el balance de ganancias/ pérdidas solares de energía sea de +908 kWh/a.

###### HERMETICIDAD Y RECUPERACION DEL CALOR

Una buena planificación y la cuidada ejecución en obra de la capa hermética han permitido que las pérdidas de calor por infiltraciones exteriores sean mínimas, dando un resultado en el test de Blower door de 0,31 ac/h @ 50 Pa.

La instalación de una unidad de ventilación mecánica de doble flujo con recuperación de calor Passivhaus Zehnder ComfoAir 350 con  $\eta = 84\%$ , permite la recuperación del calor del aire expulsado para calentar el aire entrante.

El diseño de tramos cortos y la ubicación de la maquinaria en el interior de la envolvente térmica permite una eficiencia en la recuperación de calor de 77,2%.

##### **VERANO**

###### CONTROL SOLAR

Con el fin de evitar el sobrecalentamiento en verano, las aberturas se han reducido al mínimo en las fachadas orientadas a este y a oeste.

También se han añadido persianas en las aberturas orientadas a sud.

## FACHADA

La fachada ventilada llevada a cabo ayuda a reducir la transmisión de la temperatura exterior al interior del edificio en los meses de más calor, permitiendo que las temperaturas interiores sean más bajas.

## REDUCCION DE LAS CARGAS DE CALOR INTERNAS

Con el fin de evitar las ganancias de calor a través de los aparatos interiores, se han utilizado tanto electrodomésticos como iluminación eficiente.

A su vez se han minimizado los tramos de tubería de ACS



## 5. CALIBRADO DEL PROGRAMA PHPP

En la fase de diseño de un edificio Passivhaus, la herramienta PHPP nos permite calcular las demandas energéticas de nuestro edificio, así como las necesidades de calefacción y refrigeración de este. También nos calcula el porcentaje de sobrecalentamiento en caso de no necesitar refrigeración activa.

En este apartado explicaremos los principales apartados llevados a cabo a la hora de calibrar el PHPP de la vivienda en la fase de diseño, y calibraremos los apartados que creamos oportunos a partir de los datos obtenidos durante el año de monitorización y del comportamiento llevado a cabo por los habitantes de la casa.

Los apartados principales que tendremos en cuenta a la hora de recalibrar nuestro PHPP de diseño serán:

- Temperaturas exteriores obtenidas por los sensores.
- Comportamiento de los usuarios en la utilización de las protecciones solares en verano.
- Control de las aberturas para la ventilación cruzada en verano.
- Utilización de la ventilación de doble flujo

## CLIMA

Para el cálculo de la temperatura exterior durante la fase de diseño se utilizó el fichero del programa PHPP para la ciudad de Barcelona calibrado según la altitud de la edificación (888 metros).

Passive House planning: **CLIMATE DATA**

---

Building: Larixhaus

Climate building: [ES] - Barcelona

Region: S-Europe

Monthly data: [ES] - Barcelona

Annual data:

Use annual climate data set: no

Climate data set: [ES] - Barcelona

Results:

Annual heating demand: 12,0 kWh/(m²a)

Heating load: 11,3 W/m²

Primary energy: 106,9 kWh/(m²a)

Weather station (altitude): 284,1 m

Building location (altitude): 888 m

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Days	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
[ES] - Barcelona	Latitude:	41,3	Longitude °	1,9	Altitude m	284	Altitude of weather station		Daily temperature swing Summer (K)	7,6	Radiation data: kWh/(m²month)	
Ambient temp	5,8	6,5	8,9	10,9	14,7	18,8	21,5	21,3	18,5	15,0	9,9	6,9
North	17	20	28	35	45	49	47	39	30	24	17	15
East	39	55	79	89	100	107	112	98	78	58	40	34
South	103	126	135	111	96	90	100	111	121	117	100	94
West	40	55	80	90	100	107	112	99	79	58	40	35
Global	61	89	135	161	189	205	213	181	139	97	63	53
Dew point	3,2	5,0	4,9	7,7	10,2	13,8	16,8	17,1	16,1	12,1	7,9	4,9
Sky temp	-3,8	-2,7	-0,7	2,0	5,0	9,0	12,1	12,6	11,2	6,0	1,2	-3,2
Ground temp	13,1	12,0	11,7	12,3	13,7	16,2	17,9	19,0	19,3	17,9	16,5	14,7

Figura 5.01: Captura de pantalla de las temperaturas ambiente hoja Clima de PHPP Larixhaus (Fuente: PHPP)

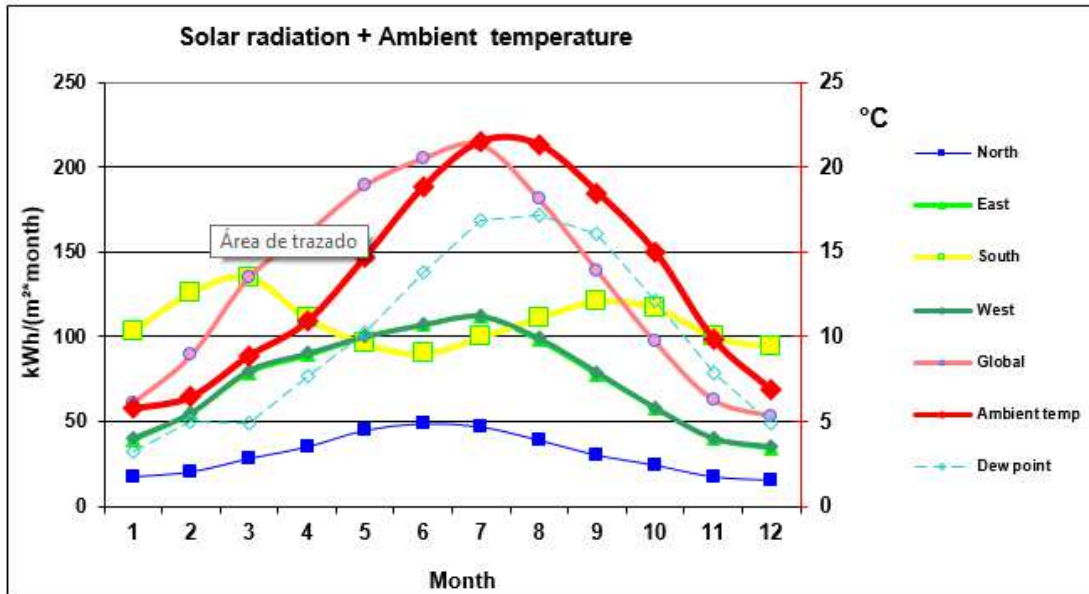


Figura 5.02 : Grafica radiación solar y temperatura ambiente para altitud 888m en Barcelona ( Fuente:PHPP)

A la hora de recalibrar nuestro PHPP utilizaremos las temperaturas exteriores obtenidas a través de los sensores colocados en el exterior de nuestro edificio.

A partir de estos sensores hemos obtenido unas temperaturas exteriores que reflejamos en la siguiente tabla:

	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
TEMP.EXT	5,7	5,9	6,2	9,5	12,5	17,6	21,8	21,1	18,1	12,3	10	8,1

Figura 5.03: Temperaturas exteriores medias mensuales a partir de los datos obtenidos por los sensores.

Para la radiación solar, la temperatura de rocío y la temperatura del cielo no se midieron, por lo tanto, se dejarán las que aparecen el fichero climático.

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Days	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
data - Colluspina + Measured +MN+	Latitude: 41,8	Longitude ° 2,2	Altitude m 888	Daily temperature swing Summer (K) 8,8						Radiation data: kWh/(m²month)		
Ambient temp	5,7	5,9	6,2	9,5	12,5	17,6	21,8	21,1	18,1	12,3	10,0	8,1
North	15	18	26	33	48	55	54	39	28	22	16	13
East	45	56	86	100	120	124	140	119	95	69	52	40
South	128	122	137	110	98	89	103	115	130	139	131	133
West	46	59	85	99	117	121	138	114	92	74	52	48
Global	67	83	135	163	199	212	235	196	150	109	73	61
Dew point	-0,7	-0,3	1,5	4,0	7,3	10,5	11,9	12,2	10,4	8,2	2,8	-0,2
Sky temp	-8,7	-9,5	-6,5	-3,7	0,0	4,3	4,8	6,5	3,7	1,4	-5,9	-9,0
Ground temp	12,6	11,3	10,9	11,4	12,7	15,2	17,0	18,2	18,7	17,4	16,1	14,4
Comment:	Measured + MN & Munt.											

Figura 5.04: Captura de pantalla de las temperaturas ambiente recalibradas ( Fuente:PHPP)

**VALORES U**

En esta hoja se definen todas las transmitancias térmicas de cada elemento constructivo de nuestra vivienda.

--- Auxiliary calculation to the main

Assembly no.	Building assembly description					Interior insulation?
1	Ground Slab					<input checked="" type="checkbox"/>
Heat transfer resistance [m <sup>2</sup> K/W]						
					interior R <sub>s</sub>	0,17
					exterior R <sub>s</sub>	0,00
Area section 1	1 [W/(mK)]	Area section 2 (optional)	1 [W/(mK)]	Area section 3 (optional)	1 [W/(mK)]	Thickness [mm]
1. XPS insulation	0,034					130
2. Reinforced Concrete	2,100					350
3. Pavaflex insulation	0,038	Timber	0,130			80
4. Timber flooring	0,180					22
5.						
6.						
7.						
8.						
Percentage of sec. 1		Percentage of sec. 2		Percentage of sec. 3		Total
90%		10,0%				58,2 cm
U-value supplement W/(m <sup>2</sup> K)						U-Value: 0,164 W/(m <sup>2</sup> K)

Figura 5.05: Introducción transmitancia térmica de la losa ( Fuente:PHPP)

Assembly no.	Building assembly description					Interior insulation?
2	Roof					<input type="checkbox"/>
Heat transfer resistance [m <sup>2</sup> K/W]						
					interior R <sub>s</sub>	0,10
					exterior R <sub>s</sub>	0,10
Area section 1	1 [W/(mK)]	Area section 2 (optional)	1 [W/(mK)]	Area section 3 (optional)	1 [W/(mK)]	Thickness [mm]
1. Timber breather board Kronolux DFP	0,090					15
2. Straw insulation	0,059	Timber	0,130			400
3. OSB 4 Kronolux Nature	0,120					22
4. Timberboard Fir	0,130					15
5.						
6.						
7.						
8.						
Percentage of sec. 1		Percentage of sec. 2		Percentage of sec. 3		Total
9%		9,0%				45,2 cm
U-value supplement W/(m <sup>2</sup> K)						U-Value: 0,147 W/(m <sup>2</sup> K)

Figura 5.06: Introducción transmitancia térmica del tejado (Fuente:PHPP)

Assembly no.	Building assembly description					Interior insulation?
3	Ext. Wall South					<input type="checkbox"/>
Heat transfer resistance [m <sup>2</sup> K/W]						
					interior R <sub>s</sub>	0,13
					exterior R <sub>s</sub>	0,13
Area section 1	1 [W/(mK)]	Area section 2 (optional)	1 [W/(mK)]	Area section 3 (optional)	1 [W/(mK)]	Thickness [mm]
1. Timber breather board Kronolux DFP	0,090					15
2. Straw insulation	0,059	Timber	0,130			400
3. OSB 4 Kronolux Nature	0,120					22
4. Service void - air gap	0,190			Glulam timber	0,130	35
5. Gypsum fibre board Fermacell	0,320					12
6.						
7.						
8.						
Percentage of sec. 1		Percentage of sec. 2		Percentage of sec. 3		Total
86%		8,4%		5,8%		48,4 cm
U-value supplement W/(m <sup>2</sup> K)						U-Value: 0,142 W/(m <sup>2</sup> K)

Figura 5.07: Introducción transmitancia térmica muro de fachada sur (Fuente:PHPP)

Assembly no.		Building assembly description		Interior insulation?		
4		Ext. Wall West		<input type="checkbox"/>		
Heat transfer resistance [m <sup>2</sup> K/W]		interior R <sub>s</sub> : 0,13		exterior R <sub>s</sub> : 0,13		
Area section 1	λ [W/(mK)]	Area section 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Area section 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Thickness [mm]
1	Timber breather board Kronolux DFP					15
2	Straw insulation	Timber	0,130			400
3	OSB 4 Kronolux Nature					22
4	Service void - air gap			Glulam timber	0,130	35
5	Gypsum fibre board Fermacell					13
6						
7						
8						
Percentage of sec. 1		Percentage of sec. 2		Percentage of sec. 3		Total
83%		10,9%		5,8%		48,5 cm
U-value supplement		W/(m <sup>2</sup> K)		U-Value: 0,148		W/(m <sup>2</sup> K)

Figura 5.08: Introducción transmitancia térmica muro de fachada este (Fuente:PHPP)

Assembly no.		Building assembly description		Interior insulation?		
5		Ext. Wall North		<input type="checkbox"/>		
Heat transfer resistance [m <sup>2</sup> K/W]		interior R <sub>s</sub> : 0,13		exterior R <sub>s</sub> : 0,13		
Area section 1	λ [W/(mK)]	Area section 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Area section 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Thickness [mm]
1	Timber breather board Kronolux DFP					15
2	Straw insulation	Timber	0,130			400
3	OSB 4 Kronolux Nature					22
4	Service void - air gap			Glulam timber	0,130	35
5	Gypsum fibre board Fermacell					12
6						
7						
8						
Percentage of sec. 1		Percentage of sec. 2		Percentage of sec. 3		Total
84%		9,9%		5,8%		48,4 cm
U-value supplement		W/(m <sup>2</sup> K)		U-Value: 0,144		W/(m <sup>2</sup> K)

Figura 5.09: Introducción transmitancia térmica muro de fachada norte (Fuente:PHPP)

Assembly no.		Building assembly description		Interior insulation?		
7		Ext. Wall East-FF		<input type="checkbox"/>		
Heat transfer resistance [m <sup>2</sup> K/W]		interior R <sub>s</sub> : 0,13		exterior R <sub>s</sub> : 0,13		
Area section 1	λ [W/(mK)]	Area section 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Area section 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Thickness [mm]
1	Timber breather board Kronolux DFP					15
2	Straw insulation	Timber	0,130			400
3	OSB 4 Kronolux Nature					22
4	Service void - air gap			Glulam timber	0,130	103
5	Gypsum fibre board Fermacell					13
6						
7						
8						
Percentage of sec. 1		Percentage of sec. 2		Percentage of sec. 3		Total
83%		11,6%		5,8%		55,3 cm
U-value supplement		W/(m <sup>2</sup> K)		U-Value: 0,146		W/(m <sup>2</sup> K)

Figura 5.11: Introducción transmitancia térmica muro de fachada este P1 (Fuente:PHPP)

## SUPERFICIES

En la hoja de cálculo de superficies deberemos de definir las superficies de los elementos constructivos.

En este apartado también se establece a que elemento de superficie le corresponde su valor U, así como sus orientaciones y su inclinación.

También se establece el factor de absorción de las superficies, que en nuestro caso será de 0,48, como el factor de emisividad que será de 0,72.

Por último, se introduce la información de los puentes térmicos del edificio.

Group Nr.	Area group	Temp.-zone	Area	Unit
1	Treated floor area		91,50	m <sup>2</sup>
2	North windows	A	6,43	m <sup>2</sup>
3	East windows	A	2,06	m <sup>2</sup>
4	South windows	A	13,85	m <sup>2</sup>
5	West windows	A	4,89	m <sup>2</sup>
6	Horizontal windows	A	0,00	m <sup>2</sup>
7	Exterior door	A	0,00	m <sup>2</sup>
8	Exterior wall - Ambient	A	185,35	m <sup>2</sup>
9	Exterior wall - Ground	B	0,00	m <sup>2</sup>
10	Roof/Ceiling - Ambient	A	68,19	m <sup>2</sup>
11	Floor slab / Basement ceiling	B	65,84	m <sup>2</sup>
12			0,00	m <sup>2</sup>
13			0,00	m <sup>2</sup>
14		X	0,00	m <sup>2</sup>
<hr/>				
15	Thermal bridges Ambient	A	136,19	m
16	Perimeter thermal bridges	P	32,74	m
17	Thermal bridges FS/BC	B	0,00	m
<hr/>				
18	Partition wall to neighbour	I	0,00	m <sup>2</sup>
<b>Total thermal envelope</b>			<b>346,62</b>	<b>m<sup>2</sup></b>

Figura 5.12: Superficies totales definidas en el programa (Fuente: PHPP)

## TERRENO

En esta hoja se calculan las pérdidas del edificio a través del terreno.

Lo primero que se debe de introducir son las características de conductividad térmica (W/mK) y capacidad térmica del terreno (MJ/m<sup>3</sup>K), que nos vienen predeterminados por una tabla de superficies del manual PHPP. Para nuestro terreno, ambos valores son igual a 2.

También se introducen los datos geométricos de la solera, tanto su superficie como la longitud perimetral de esta.

### Building section 1

<b>Ground characteristics</b>				<b>Climate data</b>			
Thermal conductivity	$\lambda$	2,0	W/(mK)	Avg indoor temp. winter	$T_i$	20,0	°C
Heat capacity	$\rho c$	2,0	MJ/(m <sup>3</sup> K)	Avg indoor temp. summer	$T_i$	25,0	°C
Periodic penetration depth	$\delta$	3,17	m	Avg ground surface temperature	$T_{g,ave}$	13,4	°C
				Amplitude of $T_{g,ave}$	$T_{g,a}$	8,1	°C
				Phase shifting of $T_{g,m}$	$\tau$	1,6	Months
				Length of the heating period	$n$	6,3	Months
				Heating degree hours - exterior	$G_e$	58,5	kKh/a
<b>Building data</b>				<b>U-value floor slab/basement ceiling</b>			
Area of ground floor slab / basement ceiling	A	65,8	m <sup>2</sup>	U-value floor slab / basement ceiling incl. TBs	$U_i'$	0,164	W/(m <sup>2</sup> K)
Perimeter length	P	32,7	m	Equivalent thickness floor	$d_f$	12,18	m
Charact. dimension of floor slab	$B'$	4,02	m				

Figura 5.13: Datos térmicos y geométricos de la losa (Fuente: PHPP)

**Monthly Average temperatures in the ground for monthly method (all building assemblies)**

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Average value
Winter	12,6	11,3	10,9	11,4	12,7	14,5	16,2	17,5	17,9	17,4	16,1	14,4	14,4
Summer	13,4	12,1	11,7	12,2	13,5	15,2	17,0	18,2	18,7	18,2	16,9	15,1	15,2

Design ground temperature for 'Heating load' worksheet: 10,9      For 'Cooling load' worksheet: 18,7

Reduction factor for 'Annual heating' worksheet: 0,56

Figura 5.14: Calculo de la temperatura mensual de la losa y factor de reducción para el cálculo de la demanda de calefacción anual (Fuente: PHPP)

**VENTANAS Y SOMBRAS**

En este apartado se debe de definir el modelo geométrico de las ventanas, su ubicación y su composición.

En el PHPP también se debe de hacer distinción entre las ventanas según su instalación, para que el programa pueda distinguir entre los diferentes puentes térmicos.

En el apartado de sombras, se definen los elementos sobre las aberturas que pueden causar sombra, ya sean elementos de protección como edificios colindantes.

En el cálculo de las ganancias solares por radiación y las pérdidas por transmitancia de las aberturas se puede apreciar el balance positivo de 902 kWh/a.

Climate:		User data - Collsuspina + Measured +MN+Munt.										
Window area orientation	Global radiation (cardinal points)	Shading	Dirt	Non-perpendicular incident radiation	Glazing fraction	g-Value	Solar irradiation reduction factor	Window area	Window U-Value	Glazing area	Average global radiation	
maximum:	kWh/(m²a)							m²	W/(m²K)	m²	kWh/(m²a)	
North	127	0,35	0,95	0,85	0,566	0,47	0,16	6,43	1,20	3,64	127	
East	390	0,61	0,95	0,85	0,553	0,47	0,27	2,06	1,21	1,14	390	
South	756	0,80	0,95	0,85	0,705	0,47	0,46	13,85	1,01	9,77	756	
West	401	0,49	0,95	0,85	0,628	0,47	0,25	4,89	1,12	3,07	401	
Horizontal	604	1,00	0,95	0,85	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	604	
Total or average value for all windows.						0,47	0,34	27,23	1,09	17,61		

Figura 5.15: Calculo balance energético de las ventanas (Fuente: PHPP)

58,5			
Transmission losses	Heat gains solar radiation	Orientation	Glazing area
kWh/a	kWh/a	m²	Reduction factor winter
452	62	North	Γ <sub>Sw</sub>
147	103	East	Reduction factor summer
817	2252	South	Γ <sub>Ss</sub>
320	228	West	
0	0	Horizontal	
1736	2644		

Figura 5.16: Calculo de pérdidas y ganancias a través de las aberturas y factores de reducción de sombras según orientación y estación del año (Fuente: PHPP)

Para el recalibrado del PHPP, se ha ajustado la utilización de las persianas del edificio al uso de los residentes en verano

	Persianas Venecianas [Sur]		Persianas Enrollables [Este]		Toldos Plegables [Oeste]	
	Planta Baja	Primera Planta	Planta Baja	Primera Planta	Planta Baja	Primera Planta
08:00 - 20:00	Cerradas (ángulo 45°)	Cerradas (ángulo 45°)	Cerradas	Cerradas	Ninguno	En posición
20:00 - 08:00	Abiertas	Abiertas	Abiertas	Abiertas	Ninguno	En posición

Figura 5.17: Utilización de las persianas en verano según horario y situación (Fuente: Progetic)

Quantity	Description	Orientation	Reduction factor z for temporary sun protection	Summer			
				Horizontal shading reduction factor	Reveal shading reduction factor	Overhang shading reduction factor	Total shading reduction factor
				%	%	%	%
			z	r <sub>H</sub>	r <sub>R</sub>	r <sub>O</sub>	r <sub>S</sub>
1	S.F02.GF.L	South	10%	95%	86%	84%	7%
1	S.F02.GF.C	South	10%	94%	86%	85%	7%
1	S.F01.GF.R	South	10%	93%	87%	86%	7%
1	S.F02.FF.L	South	10%	100%	86%	85%	7%
1	S.F02.FF.C	South	10%	100%	86%	85%	7%
1	S.F02.FF.R	South	10%	100%	86%	85%	7%
1	W.B01.GF	West	24%	100%	91%	46%	10%
1	W.B01.FF	West	24%	82%	91%	97%	17%
1	W.F04.FF	West	24%	100%	87%	89%	19%
1	N.F03.GF.L	North	60%	56%	76%	95%	24%
1	N.B02.GF	North	60%	56%	77%	92%	24%
1	N.F03.GF.R	North	60%	57%	76%	95%	25%
1	N.F03.FF.L	North	60%	61%	76%	95%	26%
1	N.F03.FF.R	North	60%	63%	76%	95%	27%
1	E.F03.GF	East	24%	94%	85%	90%	17%
1	E.F05.FF	East	24%	98%	93%	86%	19%

Figura 5.18: Hoja de sombras del PHPP recalibrada (Fuente: PHPP)

Al recalibrar las sombras, el coeficiente de sobrecalentamiento desciende significativamente.

## VENTILACION

En el apartado de ventilación, el programa calcula las pérdidas del edificio a través de ella, ya sea controlada o por las infiltraciones.

Lo primero que introduciremos es la altura media neta de las habitaciones interiores, el PHPP ya introduce como valor estándar los 2,50 metros de altura.

A partir de ese valor obtenemos el volumen neto de ventilación, para nuestra vivienda 229 m<sup>3</sup>.

En el siguiente cuadro asignamos el tipo de ventilación, en nuestro caso una ventilación de doble flujo.

**Building:** Larixhaus

Treated floor area  $A_{TFA}$  m<sup>2</sup> 92

Room height h m 2,50

Volume for ventilation ( $A_{TFA} \cdot h$ ) =  $V_V$  m<sup>3</sup> 229

**Type of ventilation system**

Balanced PH ventilation *Please check*

Pure extract air

**Figura 5.17: Introducción y tipo de ventilación en fase de diseño altura (Fuente: PHPP)**

En el siguiente apartado se debe de introducir los coeficientes de protección al viento según los lados que estén expuestos, en nuestro caso, la protección al viento es moderada en todos los lados. A partir de este cálculo, la tasa de renovación de aire por infiltración será de 0,025.

**Infiltration air change rate**

		Wind protection coefficients e and f			
Coefficient e for screening class		Several sides exposed	One side exposed		
No screening		0,10	0,03		
Moderate screening		0,07	0,02		
High screening		0,04	0,01		
Coefficient f		15	20		

Wind protection coefficient, e		For annual demand: 0,07	For heating load: 0,18	
Wind protection coefficient, f		15	15	
Air change rate at press. test $n_{50}$	1/h	0,31	0,31	Net air volume for press. test $V_{n50}$ m <sup>3</sup> 264
Excess extract air	1/h	0,00	0,00	
Infiltration air change rate $n_{V,Rest}$	1/h	0,025	0,063	

**Figura 5.19: Coeficientes de protección al viento introducidos en el programa y total de tasa de renovación de aire por infiltraciones (Fuente: PHPP)**

Lo siguiente será dimensionar el caudal máximo de aire para la ventilación del aparato de doble flujo.

Este valor se obtiene a partir de una serie de factores, uno de ellos es la demanda de aire de impulsión, que viene dado por las personas que viven en la residencia, en nuestro caso para la fase de diseño hemos asignado 2,6, multiplicado por el caudal de aire necesario por persona por cuestiones de higiene, en nuestro caso 30m<sup>3</sup>/ persona\*hora.

El otro valor es la demanda de aire de extracción, que viene dado por la cantidad de espacios húmedos con los que cuenta la vivienda, en nuestro caso la cocina, un wc y una ducha.

Después obtenemos el caudal de aire máximo de diseño de ventilación, que se calcula cogiendo el volumen neto de ventilación del edificio y multiplicándolo por el caudal de renovación de 0,31 renovaciones/h y mayorado en un 30%.



## STANDARD INPUT FOR BALANCED VENTILATION

Ventilation dimensioning for systems with one ventilation unit

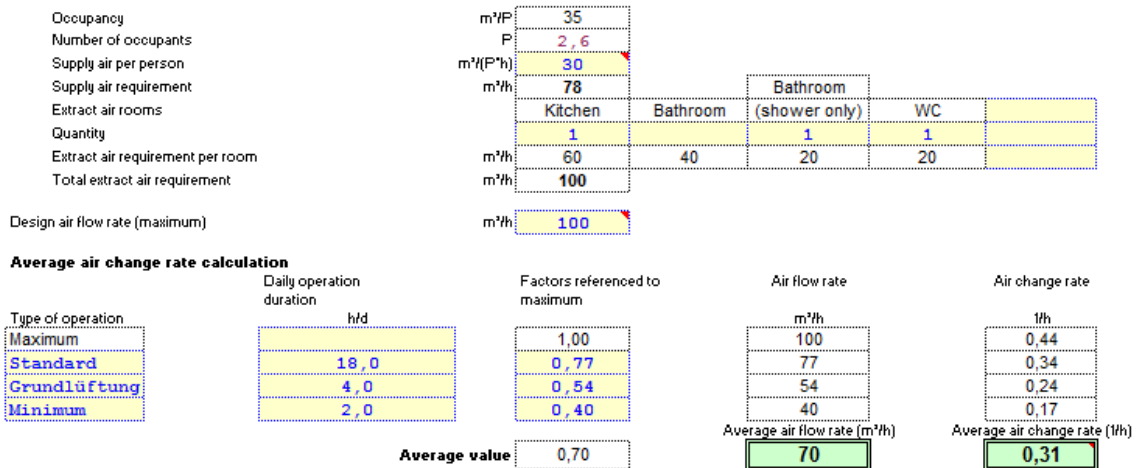


Figura 5.20: Caudales de ventilación y funcionamiento máquina de ventilación en fase diseño (Fuente: PHPP)

Una vez establecido el caudal de ventilación se establece el funcionamiento de la máquina de ventilación, estableciendo las horas que estarán encendido y a la potencia de extracción de aire que funcionara.

DISEÑO				
H/D	VELOCIDAD	CAUDAL (%)	CAUDAL(M3/H)	RENOVACIONES
18	1	77%	77	0,34
4	2	54%	54	0,24
2	3	40%	40	0,17
CAUDAL NOMINAL VENT. (m3/h)			100	-
VOLUMEN TOTAL VENT. (m3/h)			229	-
CAUDAL MEDIO (m3/h)			70	-
INDICE RENOVACIONES DE AIRE MEDIO (1/h)				0,31

Figura 5.21.: Funcionamiento máquina de ventilación en fase diseño.

Después se define el tipo de aparato de ventilación con recuperación de calor. Se establece que esta al interior de la envolvente. En el desplegable de tipo elegimos nuestra máquina, una Comforair350.

Una vez introducido el tipo de máquina, debemos de introducir la longitud de los conductos de expulsión y de admisión de aire para corregir el factor de eficiencia del aparato.

Selection of ventilation unit with heat recovery

Central Unit within the thermal envelope.  
 Central Unit outside of the thermal envelope.

Sortierung: WIE LISTE  
 0328vs03 ComfoAir350, ComfoD350, WHR93  
 Go to ventilation units list

Heat recovery efficiency Unit $\eta_{HR}$	Specific power input [Wh/m³]	Application range [m³/h]	Frost required	Unit noise level < 35dB(A)
0,84	0,29	71 - 293	yes	no

Ventilation unit selection

Conductance value of exterior air duct $\Psi$	W/(mK)	0,756	See calculation below
Length of exterior air duct	m	1,5	
Conductance value of exhaust air duct $\Psi$	W/(mK)	0,756	See calculation below
Length of exhaust air duct	m	0,5	
Temperature of mechanical services room (Enter only if the central unit is outside of the thermal envelope.)	°C		

Room temperature (°C)	20
Avg ambient temp. heat. period (°C)	8,7
Avg ground temp (°C)	14,2

Effective heat recovery efficiency  $\eta_{HR,eff}$  **78,8%** Energy recovery efficiency (humidity)  $\eta_{ERV}$

Figura 5.22.: Calculo rendimiento estacional del aparato de ventilación (Fuente: PHPP)

También debemos de establecer el diámetro de los conductos, el grosor del aislamiento y la conductividad térmica de este.

Con todo ello la herramienta PHPP nos calcula un rendimiento medio estacional de nuestra instalación de ventilación del 78,8%.

Secondary calculation  
 **$\Psi$ -value supply or ambient air duct**

Nominal width:	150 mm
Insul. thickness:	15 mm
Reflective? Please mark with an "x"!	
<input type="checkbox"/> Yes	
<input checked="" type="checkbox"/> No	
Thermal conductivity:	0,042 W/(mK)
Nominal air flow rate	70 m³/h
$\Delta\theta$	11 K
Exterior duct diameter	0,150 m
Exterior diameter	0,180 m
$\alpha$ -Interior	6,08 W/(m²K)
$\alpha$ -Surface	6,25 W/(m²K)
<b><math>\Psi</math>-value</b>	<b>0,756 W/(mK)</b>
Surface temperature difference	2,407 K

Figura 5.23.: Diámetro de los conductos (Fuente: PHPP)

Una vez establecida la ventilación y las perdidas por infiltraciones podemos obtener el balance mensual energético.

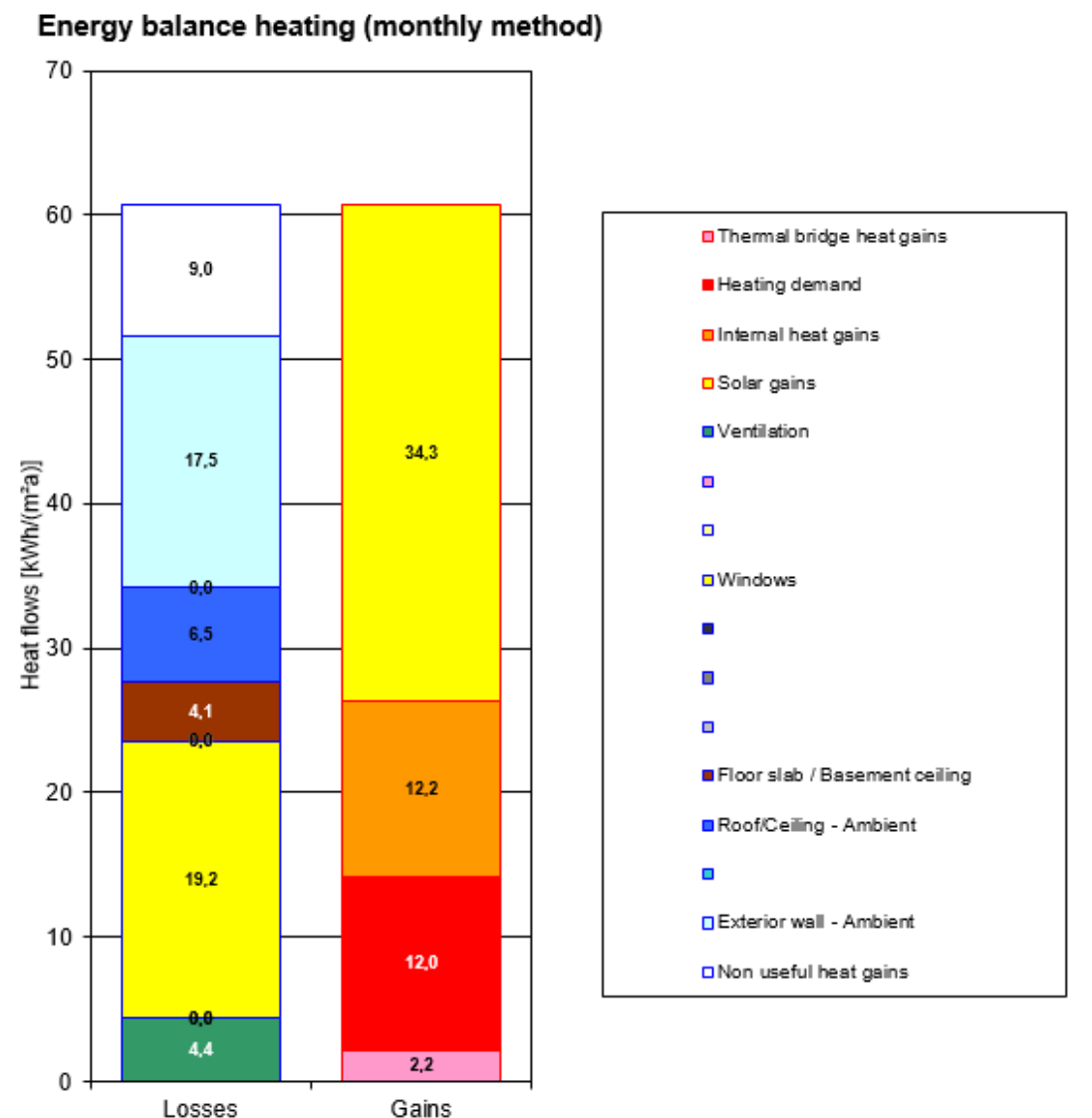


Figura 5.24: Balance energético mensual en fase de diseño (Fuente: PHPP)

	PERDIDAS	GANANCIAS	
VENTILACION	4,4	2,2	GAN.PUENTES TERMICOS
VENTANAS	19,2	12	DEMANDA CALEFACCION
SOLERA	4,1	12,2	GAN.CALOR INTERNAS
CUBIERTA	6,5	34,3	GANANCIAS SOLARES
MUROS EXT.	17,5		
GAN. DE CALOR NO UTILIZABLES	9		
<b>TOTAL (kWh/m2a)</b>	<b>60,7</b>	<b>60,7</b>	

Figura 5.25: Balance energético mensual en fase de diseño

Para el recalibrado hemos ajustado el funcionamiento de la máquina de ventilación a la realidad de funcionamiento.

Se han modificado las horas de funcionamiento, el caudal de ventilación en % y en m³/h de cada posición del ventilador.

También se ha reajustado el caudal nominal de ventilación.

CALIBRADO				
H/D	VELOCIDAD	CAUDAL (%)	CAUDAL(M3/H)	RENOVACIONES
14	1	49%	85	0,37
10	2	28%	48	0,21
0	3	0%	9	0,04
CAUDAL NOMINAL VENT. (m3/h)			175	-
VOLUMEN TOTAL VENT. (m3/h)			229	-
CAUDAL MEDIO (m3/h)			70	-
INDICE RENOVAIONES DE AIRE MEDIO (1/h)			0,3	

Figura 5.26.: Funcionamiento máquina de ventilación en fase diseño.

Occupancy

Number of occupants

Supply air per person

Supply air requirement

Extract air rooms

Quantity

Extract air requirement per room

Total extract air requirement

	m²/P	31				
	P	3,0				
	m³/(P*h)	30				
	m³/h	90				
		Kitchen	Bathroom	Bathroom (shower only)	WC	
		1		1	1	
	m³/h	60	40	20	20	
	m³/h	100				

Design air flow rate (maximum)

Average air change rate calculation

Type of operation	Daily operation duration h/d	Factors referenced to maximum	Air flow rate m³/h	Air change rate 1/h
Maximum		1,00	175	0,77
Standard	14,0	0,49	85	0,37
Grundlüftung	10,0	0,28	48	0,21
Minimum		0,05	9	0,04
Average value		0,40	Average air flow rate (m³/h)	Average air change rate (1/h)
			<b>70</b>	<b>0,30</b>

Figura 5.27: Caudales de ventilación y funcionamiento máquina de ventilación recalibrada (Fuente: PHPP)

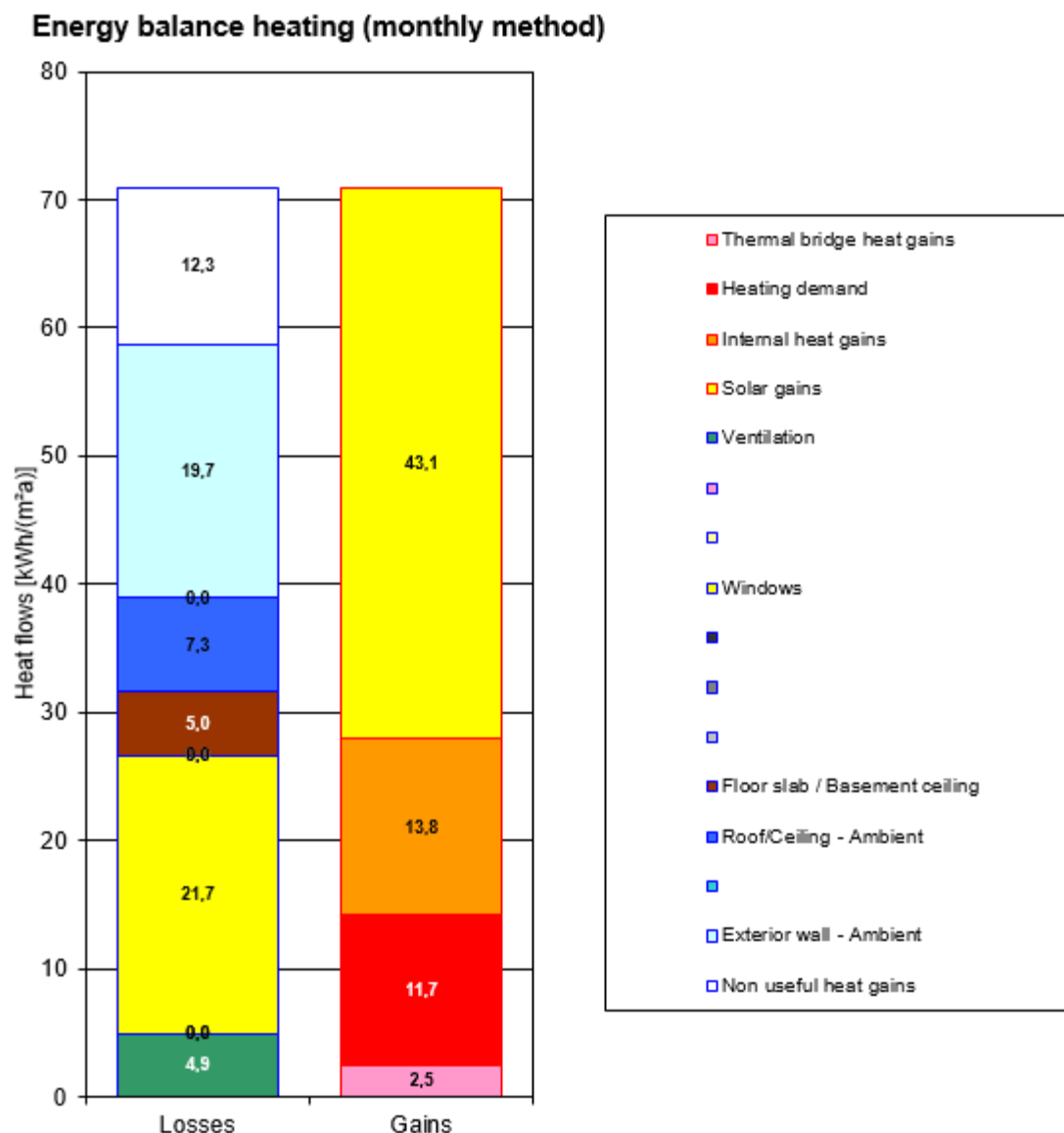


Figura 5.28: Balance energético mensual recalibrado (Fuente: PHPP)

	PERDIDAS	GANANCIAS	
VENTILACION	4,9	2,5	GAN.PUENTES TERMICOS
VENTANAS	21.7	11.7	DEMANDA CALEFACCION
SOLERA	5	13.8	GAN.CALOR INTERNAS
CUBIERTA	7.3	43.1	GANANCIAS SOLARES
MUROS EXT.	19.7		
GAN. DE CALOR NO UTILIZABLES	12.3		
<b>TOTAL (kWh/m2a)</b>	<b>71.1</b>	<b>71.1</b>	

Figura 5.29: Balance energético mensual recalibrado

## VENTILACION EN VERANO

En este apartado se calcula la demanda de refrigeración, o si, como es nuestro caso, no utilizaremos un aparato de refrigeración, el programa nos calculara la frecuencia de sobrecalentamiento de la vivienda.

Lo primero que debemos introducir es el caudal de ventilación para las 24 horas del día. El caudal de ventilación es más grande en verano que en invierno, en nuestro caso escogeremos un caudal de 0,5 veces mayor que el introducido en invierno.

Este caudal de ventilación lo proporcionamos a partir del sistema de ventilación de doble flujo.

### Summer background ventilation to ensure adequate air quality

Air exchange via vent. system with supply air:	<input type="text" value="0,46"/> 1/h	HRV/ERV in summer (check only one field)
		None: <input type="checkbox"/>
	automatic bypass, controlled by temperature difference: <input checked="" type="checkbox"/>	
	automatic bypass, controlled by enthalpy difference: <input type="checkbox"/>	
	always: <input type="checkbox"/>	

Figura 5.30: Caudal de ventilación en verano (Fuente: PHPP)

Después se define la estrategia de ventilación adicional para las noches de verano.

### Additional Summer Ventilation for Cooling

#### Additional ventilation regulation

Minimum acceptable indoor temp.

°C

#### Type of additional ventilation

Window night ventilation, manual	<input type="checkbox"/>	Night ventilation value: <input type="text" value="0,69"/> 1/h
Mechanical, automatically controlled ventilation	<input type="checkbox"/>	Corresponding air change rate during operation, in addition to base air change: <input type="text"/> 1/h
		Specific power consumption: <input type="text"/> Wh/m <sup>3</sup>

Figura 5.31: Caudal de ventilación nocturno en verano (Fuente: PHPP)

Para establecer este caudal de ventilación nocturna, el programa nos ofrece una hoja secundaria de cálculo para establecer el caudal de ventilación nocturna a través de la ventilación cruzada.

Durante el cálculo de diseño se estableció una estrategia de ventilación cruzada por planta.

**Secondary calculation: Additional night ventilation for cooling**

Air change value during additional window night ventilation

<b>Description</b>	GF Night vent. FF Night vent.					
Reduction factor						
<b>Climate boundary conditions</b>	Temperature diff interior - exterior					
Wind velocity	1	1	1	1	1	1
	0	0	0	0	0	0
<b>Window group 1</b>	Quantity					
	2	3				
Clear width	1,19	1,19				
Clear height	1,48	1,48				
Tilting window (check if appropriate)	x	x				
Opening width (for tilting windows)	0,070	0,070				
<b>Window group 2 (cross ventilation)</b>	Quantity					
	2	2				
Clear width	0,43	0,43				
Clear height	1,42	1,42				
Tilting window (check if appropriate)	x	x				
Opening width (for tilting windows)	0,070	0,070				
Difference in height to window 1						
<b>Result: Night ventilation values</b>	0,30	0,39	0,00	0,00	0,00	0,00
	<b>Total</b>					
	<b>0,69</b> 1/h					

Figura 5.32: Calcula caudal ventilación nocturna en fase diseño (Fuente: PHPP)

<b>Results passive cooling</b>			<b>Results active cooling</b>		
Frequency of overheating:	7,5%	at the overheating limit $\theta_{max} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	Useful cooling demand:	2,4	kWh/(m <sup>2</sup> a)
Frequency of exceeded humidity:	17,0%		Dehumidification demand:	3,1	kWh/(m <sup>2</sup> a)
max. humidity:	12,5	g/kg			

Figura 5.33: Calculo frecuencia de sobrecalentamiento en fase diseño (Fuente: PHPP)

Con estos cálculos de diseño, el programa nos establece una frecuencia de sobrecalentamiento de 7,5%.

Para el recalibrado estableceremos una ventilación cruzada entre plantas.

	PLANTA BAJA	PLANTA PRIMERA
8:00-20:00	Cerradas	Cerradas
20:00-08:00	Abiertas	Abiertas

Figura 5.34: Posición de las ventanas oscilo batientes en verano para recalibrado

**Secondary calculation: Additional night ventilation for cooling**

Air change value during additional window night ventilation

Description	1	2	3	4	5	6	Total
Reduction factor	PB Vg > P1 Vp    PB Vp > P1 Vg						
Climate boundary conditions							
Temperature diff interior - exterior	1	1	1	1	1	1	K
Wind velocity	0	0	0	0	0	0	m/s
Window group 1							
Quantity	2	3					
Clear width	1,19	0,43					m
Clear height	1,48	1,42					m
Tilting window (check if appropriate)	x	x					
Opening width (for tilting windows)	0,070	0,070					m
Window group 2 (cross ventilation)							
Quantity	3	3					
Clear width	0,43	1,19					m
Clear height	1,42	1,48					m
Tilting window (check if appropriate)	x	x					
Opening width (for tilting windows)	0,070	0,070					m
Difference in height to window 1	1,37	1,37					m
Result: Night ventilation values	0.62	0.73	0.00	0.00	0.00	0.00	1.35 1/h

Figura 5.35: Calcula caudal ventilación nocturna en recalibrado (Fuente: PHPP)

Results passive cooling		Results active cooling	
Frequency of overheating:	0,3%	Useful cooling demand:	0,2 kWh/(m²a)
Frequency of exceeded humidity:	0,0%	Dehumidification demand:	0,0 kWh/(m²a)
max. humidity:	9,0 g/kg	at the overheating limit $\vartheta_{max} = 25\text{ °C}$	

Figura 5.36: Calculo frecuencia de sobrecalentamiento recalibrado (Fuente: PHPP)

Con este recalibrado, la frecuencia de sobrecalentamiento se reduce a solo el 0,3%.

**VERIFICACION**

En los resultados obtenidos en el PHPP de diseño, la demanda de energía primaria para la Larixhaus debería ser de 107KWh/m²a, dedicándose a la calefacción, el ACS y la electricidad auxiliar 72KWh/m²a.

Para la demanda de calefacción la Larixhaus necesitará según el programa 12,00 KWh/m²a.

Según el programa, la frecuencia de sobrecalentamiento de la vivienda sería de 7,5%.

Specific building demands with reference to the treated floor area			
	Treated floor area	Requirements	Fulfilled?*
<b>Space heating</b>	Heating demand	12,00 kWh/(m²a)	15 kWh/(m²a) <b>yes</b>
	Heating load	11,3 W/m²	10 W/m² <b>-</b>
<b>Space cooling</b>	Overall specif. space cooling demand	kWh/(m²a)	-
	Cooling load	W/m²	-
	Frequency of overheating (> 25 °C)	7,5 %	-
<b>Primary energy</b>	Heating, cooling, dehumidification, DHW, auxiliary electricity, lighting, electrical appliances	107 kWh/(m²a)	120 kWh/(m²a) <b>yes</b>
	DHW, space heating and auxiliary electricity	72 kWh/(m²a)	-
	Specific primary energy reduction through solar electricity	kWh/(m²a)	-
<b>Airtightness</b>	Pressurization test result n50	0,3 1/h	0,6 1/h <b>yes</b>
<b>Passive House?</b>			<b>yes</b>

\* empty field: data missing; '-': no requirement

Figura 5.37: Verificación de resultados PHPP de diseño (Fuente: PHPP)



Specific building demands with reference to the treated floor area			
	Treated floor area	91,5 m <sup>2</sup>	
<b>Space heating</b>	Heating demand	11,65 kWh/(m <sup>2</sup> a)	15 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	Heating load	10,2 W/m <sup>2</sup>	10 W/m <sup>2</sup>
<b>Space cooling</b>	Overall specif. space cooling demand	kWh/(m <sup>2</sup> a)	-
	Cooling load	W/m <sup>2</sup>	-
	Frequency of overheating (> 25 °C)	0,3 %	-
<b>Primary energy</b>	Heating, cooling, dehumidification, DHW, auxiliary electricity, lighting, electrical appliances	117 kWh/(m <sup>2</sup> a)	120 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	DHW, space heating and auxiliary electricity	78 kWh/(m <sup>2</sup> a)	-
	Specific primary energy reduction through solar electricity	kWh/(m <sup>2</sup> a)	-
<b>Airtightness</b>	Pressurization test result n <sub>50</sub>	0,3 1/h	0,6 1/h
			* empty field: data missing; '-': no requirement
<b>Passive House?</b>			yes

Figura 5.38: Verificación de resultados PHPP recalibrado (Fuente: PHPP)

A partir de los resultados obtenidos en el PHPP una vez recalibrado, la demanda de energía primaria para nuestro edificio será de un total de 117KWh/m<sup>2</sup>a, dedicándose a la calefacción, el ACS y la electricidad auxiliar 78KWh/m<sup>2</sup>a.

Para la demanda de calefacción la Larixhaus necesitará según el programa 11,65KWh/m<sup>2</sup>a.

Según el programa, la frecuencia de sobrecalentamiento de la vivienda será de solo 0,3%.



## 6. ANALISIS DE LA MONITORIZACION DE LA LARIXHAUS

La Larixhaus cuenta con un sistema de monitorización que entro en funcionamiento el 6 de Julio de 2015 y que consiste en una serie de sensores que miden la temperatura del aire y la humedad relativa, tanto exterior como interior, y el CO<sub>2</sub> interior, en intervalos de 5 minutos.

Los sensores instalados son sensores de temperatura de aire y no miden temperatura radiante, por lo tanto, utilizaremos las temperaturas de aire interior en lugar de las temperaturas operativas para este análisis.

En las siguientes figuras se muestra la localización de estos sensores tanto en PB como en P1.

Para el estudio nos centraremos en los parámetros de temperatura y confort dejando para estudios posteriores los relacionados con la concentración de CO<sub>2</sub>.



Figura 6.01: Localización de los sensores en PB y P1 (Fuente: Progetic)



Figura 6.02: Fotografías de los sensores exteriores e interiores (Fuente: Progetic)



## 7. ANALISIS DE LAS TEMPERATURAS

### **PERIODO ANALIZADO**

El periodo analizado para el estudio es el comprendido entre el 01 de octubre de 2015 al 30 de septiembre de 2016 con el fin de contar con un año natural completo analizado.

No se utilizarán las medidas anteriores a la fecha debido a que ya existe un análisis del comportamiento de la casa durante la ola de calor que transcurrió en el verano de 2015. [14]

Para el estudio hemos separado el año natural en 3 periodos de 4 meses cada uno.

Estos periodos son los comprendidos entre:

1 octubre 2015 a 31 enero 2016.

1 febrero 2016 a 31 mayo 2016.

1 junio 2016 a 30 septiembre 2016

Dentro de estos periodos haremos referencia a los meses más representativos de cada uno de ellos (noviembre, enero, febrero, marzo, julio, agosto) y de algunas de sus semanas.

Para los periodos más fríos incorporaremos al análisis los consumos de los radiadores, con el fin de apreciar la relevancia de estos en el mantenimiento del confort en el interior de la vivienda.

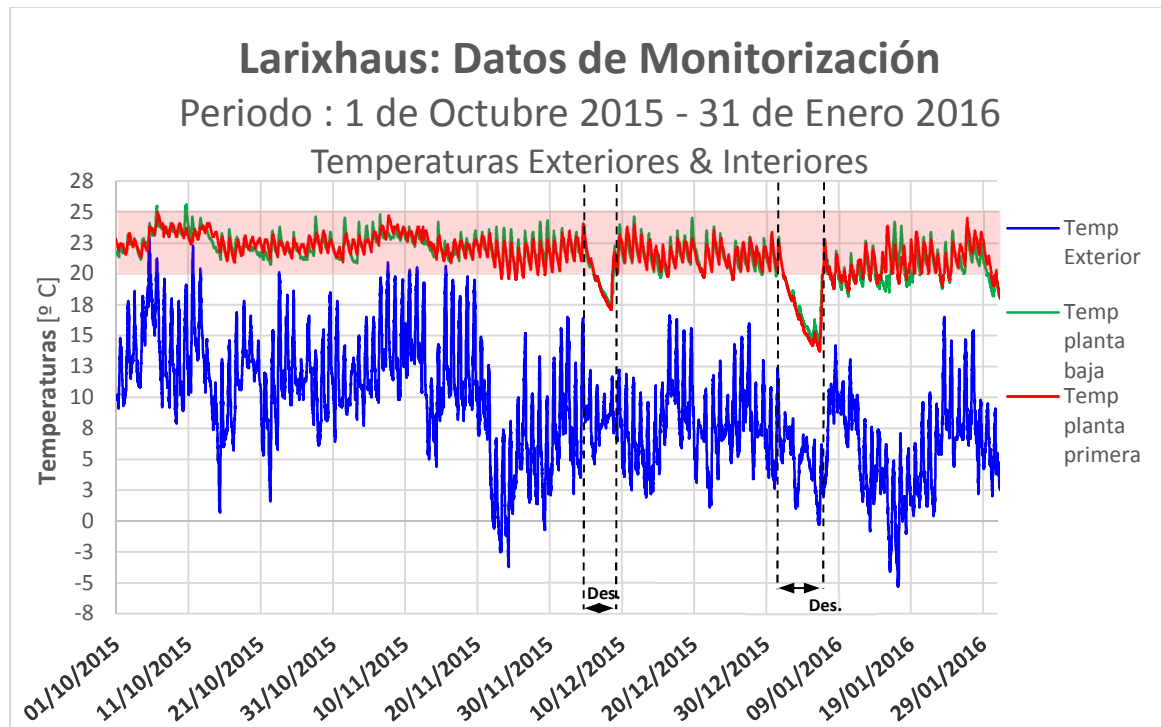
Después analizaremos los parámetros de confort de estos meses según el modelo de confort estático de Schnieders basado en la norma ISO 7730, y los modelos de confort adaptativo EN15251 y ASHRAE55 y la frecuencia de sobrecalentamiento basada en el programa PHPP.

### **RESULTADOS Y ANALISIS PERIODO OCTUBRE-ENERO 2015**

El resumen de los resultados de este periodo se puede ver en la siguiente tabla. Mientras que las temperaturas exteriores alcanzan mínimas de  $-5,30\text{ }^{\circ}\text{C}$  con unas medias de  $9\text{ }^{\circ}\text{C}$ , las temperaturas interiores medias están situadas en los  $21,7^{\circ}\text{C}$ . Las humedades relativas se mantienen entre el 30 y el 62 %, con unas medias de 45%.

	Min.	Med.	Max.
Temperatura aire ext. ( $^{\circ}\text{C}$ )	-5,3	9	23
Temperatura aire int.PB ( $^{\circ}\text{C}$ )	14,2	21,7	25,6
Temperatura aire int.P1 ( $^{\circ}\text{C}$ )	13,7	21,9	25
Humedad relativa int. PB (%)	30	44	62
Humedad relativa int. P1 (%)	36	45	58

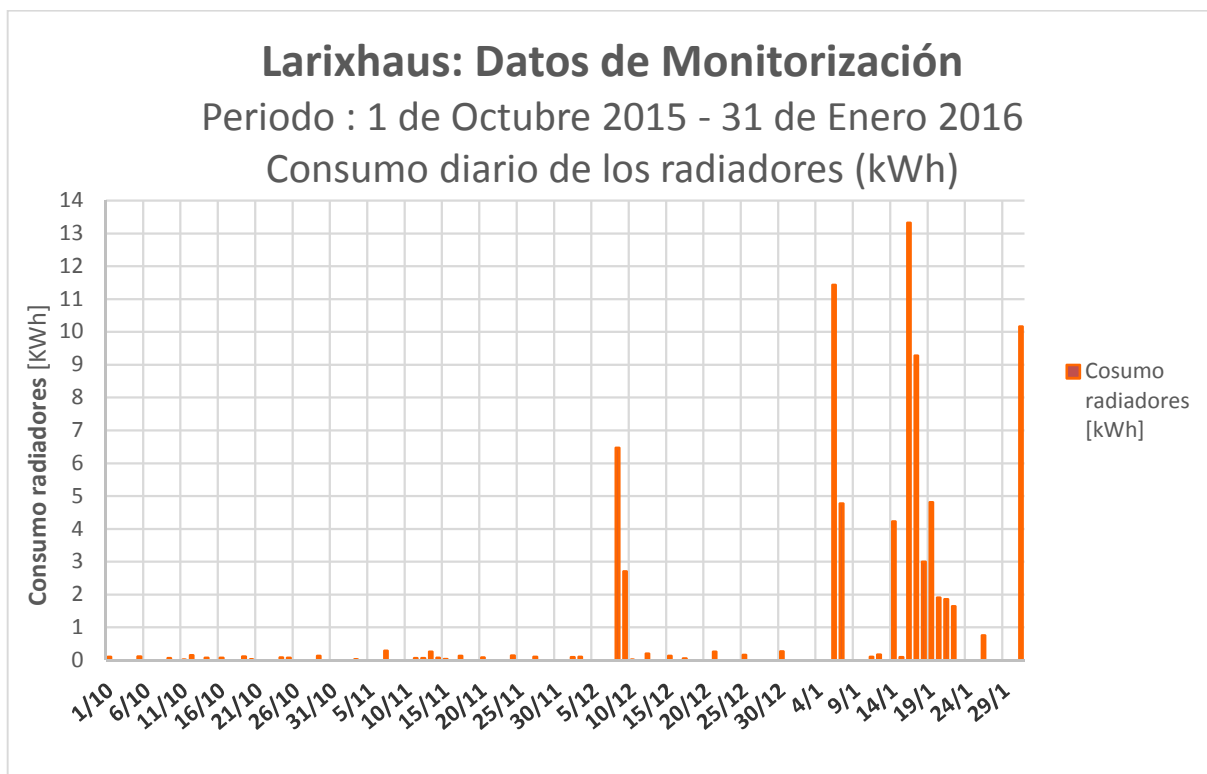
**Figura 7.01: Temperatura y humedades relativas durante el periodo de 01 de octubre 2015 al 31 de enero de 2016**



**Figura 7.02 : Temperaturas int. y ext. durante todas las horas en el periodo de 01 de octubre-31 de Enero de 2016**

La figura muestra las temperaturas interiores y exteriores durante todas las horas en el periodo comprendido entre 01 de octubre de 2015 al 31 de enero de 2016. En él se puede apreciar que las temperaturas solo descienden de manera significativa cuando la vivienda se mantiene desocupada durante un largo periodo (04-08/12 y del 01-07/01). Durante el resto del periodo las temperaturas se mantienen entre los 20º y los 25º.

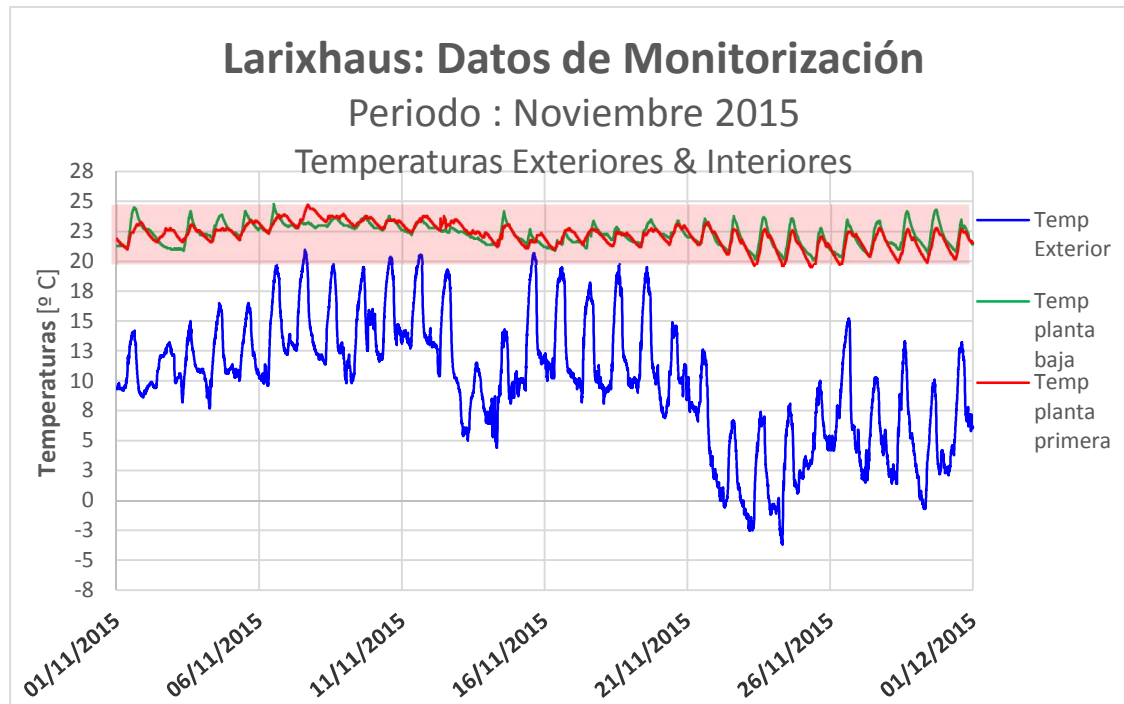
La figura 7.02.01 muestra el consumo diario de los radiadores durante el periodo de 01 de octubre a 31 de enero de 2016. Durante este periodo el consumo total de los radiadores fue de 80,01 kWh.



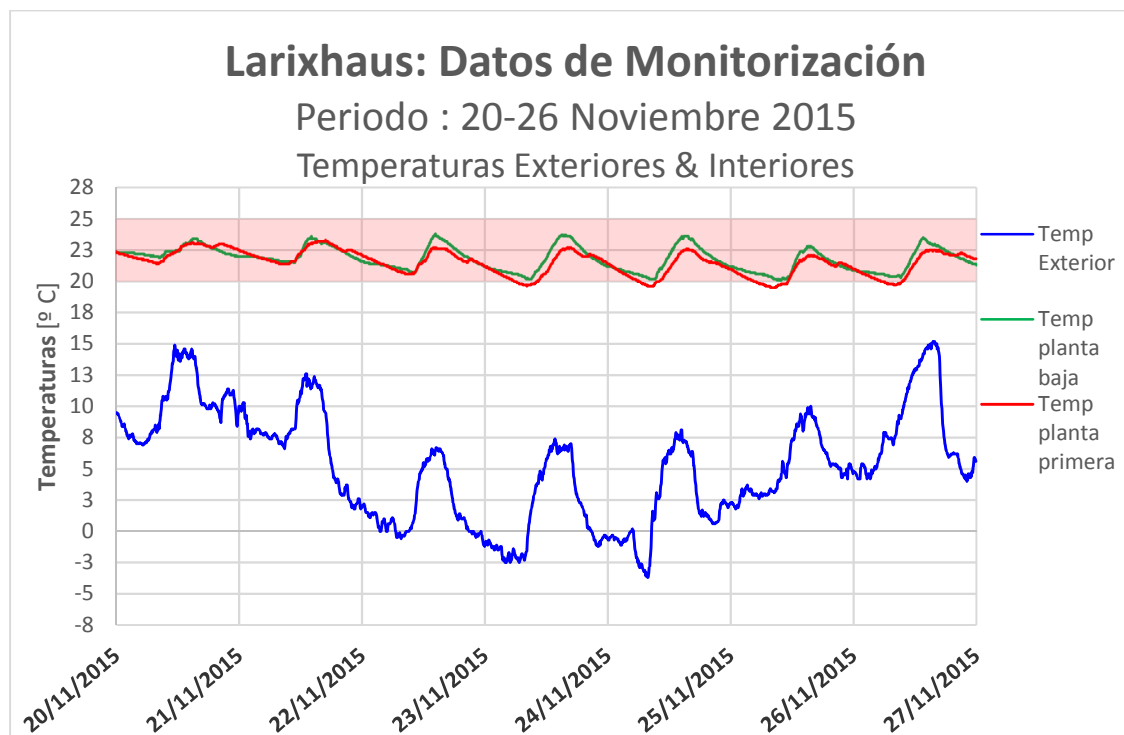
**Figura 7.02.01 : Consumo diario de los radiadores durante el periodo de 01 de octubre-31 de Enero de 2016**

OCTUBRE				NOVIEMBRE			
DIA CONSUMO	CONSUMO kWh DIA	DIA CONSUMO	CONSUMO kWh DIA	DIA CONSUMO	CONSUMO kWh DIA	DIA	CONSUMO kWh DIA
1	0,09	16	0,07	3	0,02	15	0,03
5	0,1	19	0,11	7	0,28	17	0,13
9	0,05	20	0,02	11	0,06	20	0,08
11	0,01	24	0,08	12	0,06	24	0,14
12	0,15	25	0,07	13	0,25	27	0,09
14	0,07	29	0,012	14	0,07	TOTAL kWh MES	1,2
		TOTAL kWh MES	0,96				

DICIEMBRE				ENERO			
DIA CONSUMO	CONSUMO kWh	DIA CONSUMO	CONSUMO kWh	DIA CONSUMO	CONSUMO kWh	DIA CONSUMO	CONSUMO kWh
2	0,09	15	0,13	6	11,42	18	2,99
3	0,09	17	0,05	7	4,77	19	4,81
8	6,47	21	0,25	11	0,1	20	1,9
9	2,7	25	0,15	12	0,16	21	1,885
10	0,01	30	0,26	14	4,22	22	1,64
12	0,19	TOTAL kWh MES	10,41	15	0,09	26	0,75
				16	13,31	31	10,16
				17	9,27	TOTAL kWh MES	67,44



**Figura 7.03 : Temperaturas interiores y exteriores durante el mes de Noviembre de 2015**



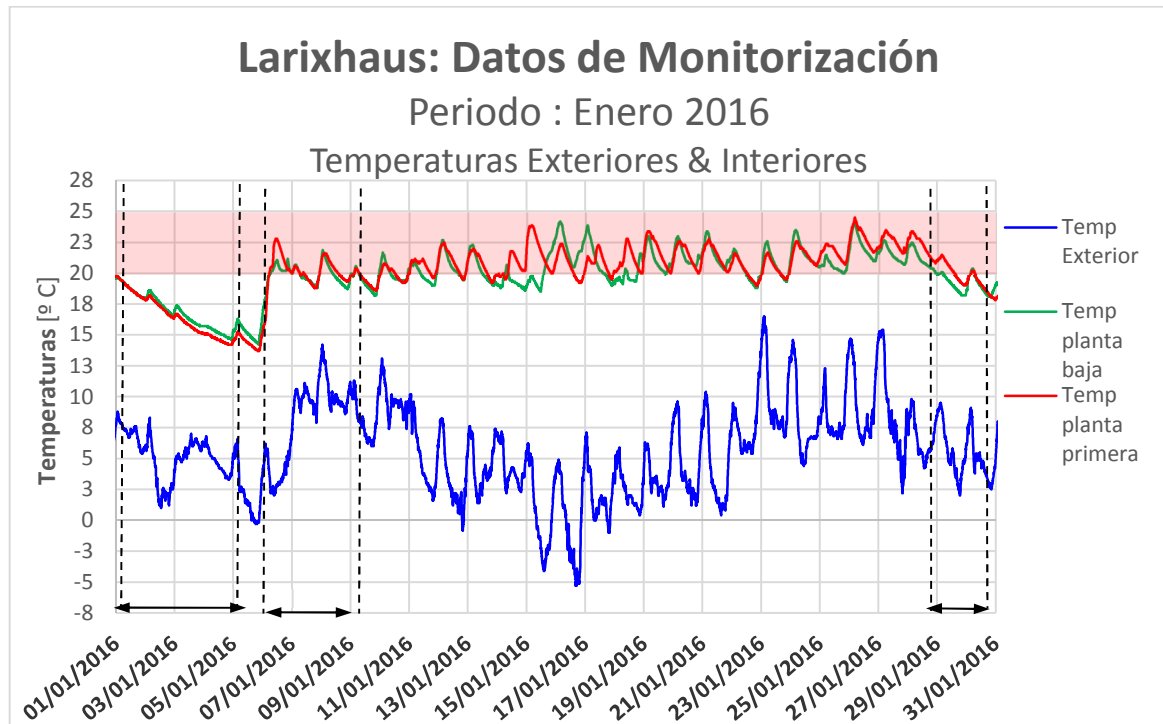
**Figura 7.04: Temperaturas interiores y exteriores semana 20-26 de noviembre de 2015**

Las figuras muestran las temperaturas durante el mes de noviembre de 2015 y la semana del 20-26 de noviembre. Durante el mes de noviembre la casa se mantiene ocupada todos los días. En ellas se puede ver como las temperaturas interiores se mantienen en unos parámetros estables entre 20º y los 25º y eso que, durante todo el mes, el consumo total de los radiadores fue de tan solo 1,20 kWh.



Pese a que se registran temperaturas exteriores de hasta  $-3,80^{\circ}$ , con medias diarias de solo  $1,50^{\circ}$  durante la semana del 20 al 26, las temperaturas interiores se mantienen constantes, gracias a las aportaciones de calor internas, las ganancias solares y la recuperación de calor a través del sistema de ventilación mecánica de doble flujo.

Durante la semana de la figura 7.04, los radiadores solo fueron encendidos el 20 de noviembre de 12:15 a 12:30 con un consumo total de  $0,08$  kWh y el día 24 de noviembre de 08:45 a 09:30 con un consumo total de  $0,14$  kWh. El resto de la semana se mantuvieron apagados, demostrando el buen comportamiento de la Larixhaus ya que la temperatura exterior media durante estos días fue de tan solo  $5,40^{\circ}\text{C}$ .



Las figuras 7.05 y 7.05.01 muestran las temperaturas y el consumo de los radiadores durante el mes de enero de 2016. En ellas se puede ver claramente el largo periodo donde la casa se ha mantenido desocupada, semana del 01-06, durante la cual no hubo ganancias internas por ocupación y la ventilación de doble flujo con el recuperador de calor se mantuvo en la posición de ausentes.

Durante este mes la casa también permaneció desocupada durante los fines de semana del 07 al 11 y del 29 al 31. Durante estos días se notan fluctuaciones y descensos en las temperaturas interiores. En el momento en el que los ocupantes vuelven a casa las temperaturas se restablecen.

Durante el mes, las temperaturas internas se mantienen mayoritariamente por encima de los  $20^{\circ}$ . Aunque hay momentos en los que se sitúan por debajo, estas nunca sobrepasan la frontera de los  $18^{\circ}$ , una buena temperatura teniendo en cuenta que la temperatura media exterior del mes es de solo  $5,66^{\circ}$ . La mayor parte de estos puntos por debajo del criterio de los  $20^{\circ}\text{C}$  se corresponden a los momentos en los que la casa se mantiene desocupada.

Los picos de consumo en los radiadores también se corresponden con los momentos en los que los habitantes regresan a casa después de un periodo de ausencia.

Durante los días 6 y 7 de enero se consumen un total de 16,17 kWh, entre los días 16 y 17 un total de 22,57 y en el día 31 se consumen 10,2 kWh

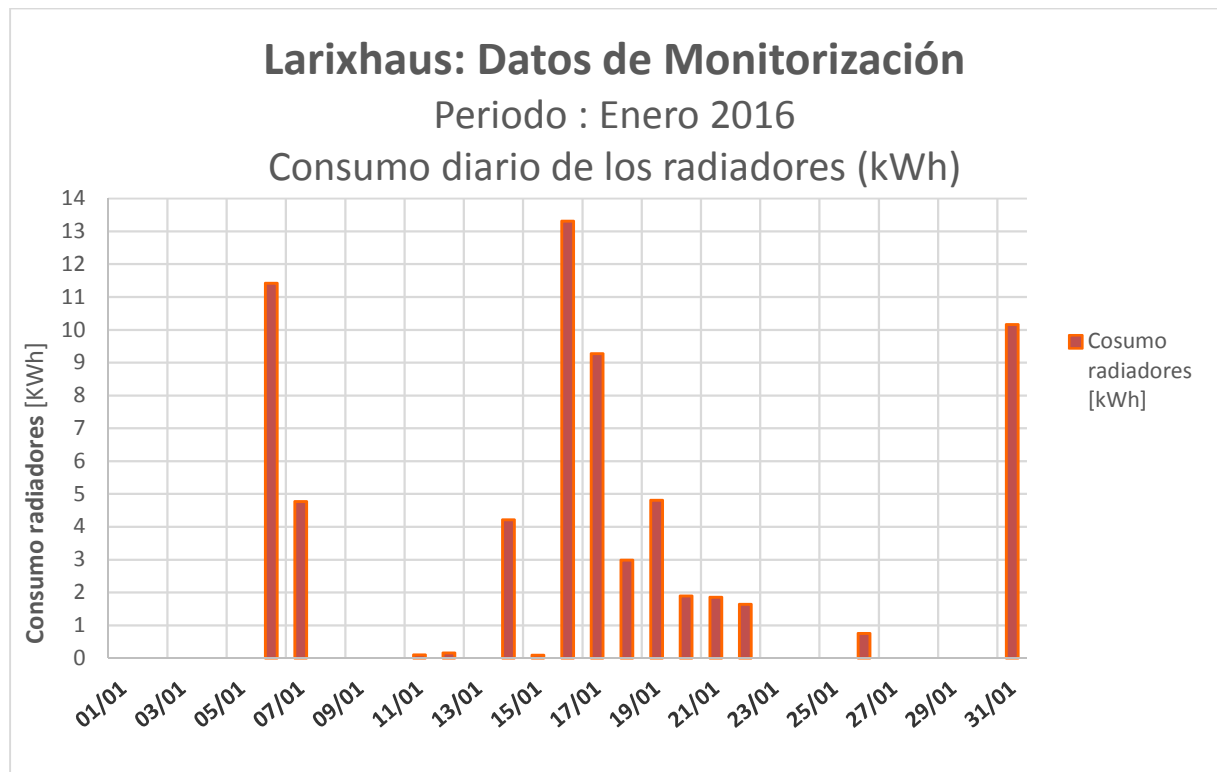


Figura 7.05.01: Consumo diario de los radiadores durante el mes de enero de 2016

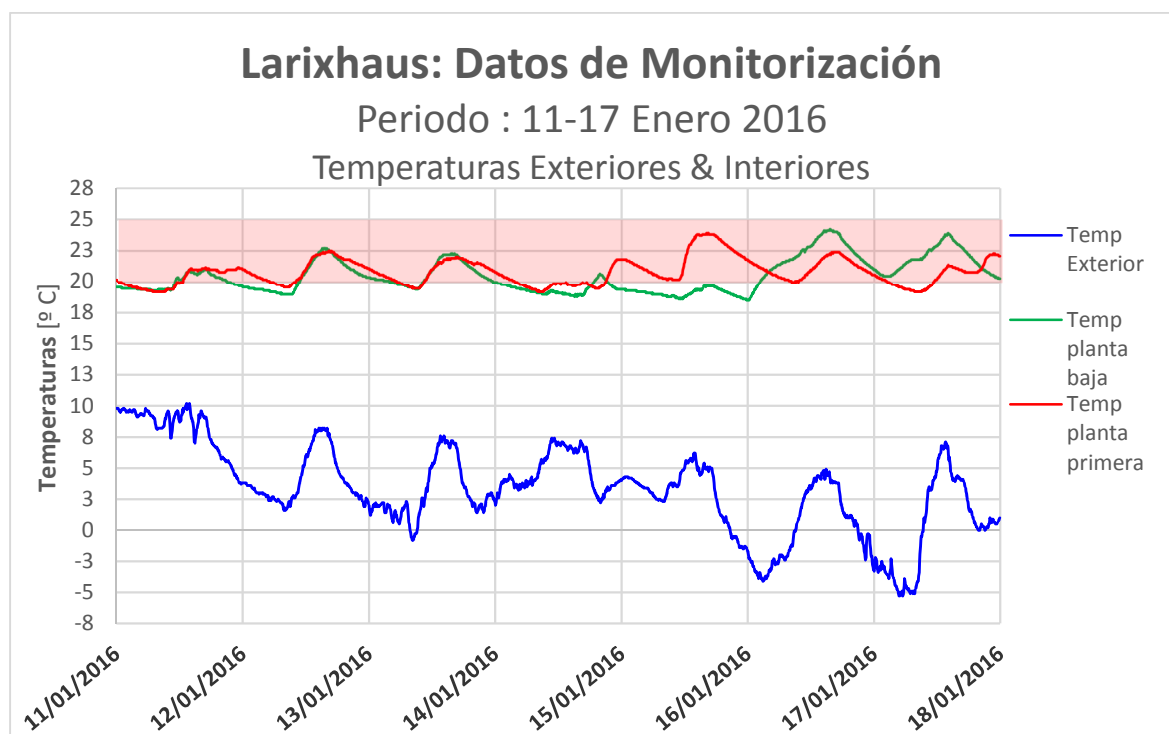


Figura 7.06 : Temperaturas interiores y exteriores semana del 11-17 de Enero de 2016

Las figuras 7.06 y 7.06.01 muestran con detalle la semana del 11 al 17 de enero de 2016. En ellas se puede ver como las temperaturas se mantienen constantes durante los primeros 3 días de la semana sin la necesidad de encender los radiadores. En la tarde del día 14 se puede apreciar un ligero aumento de la temperatura de la PB que corresponde con el encendido de los radiadores. Durante la madrugada del 15 al 16 y la madrugada del 16 al 17, en la que se alcanza la mínima temperatura del estudio,  $-5,3^{\circ}\text{C}$ , los radiadores se encendieron, haciendo evidente un aumento de la temperatura en la planta baja con respecto a la primera, que se encontraba vacía y no dispone de radiadores.

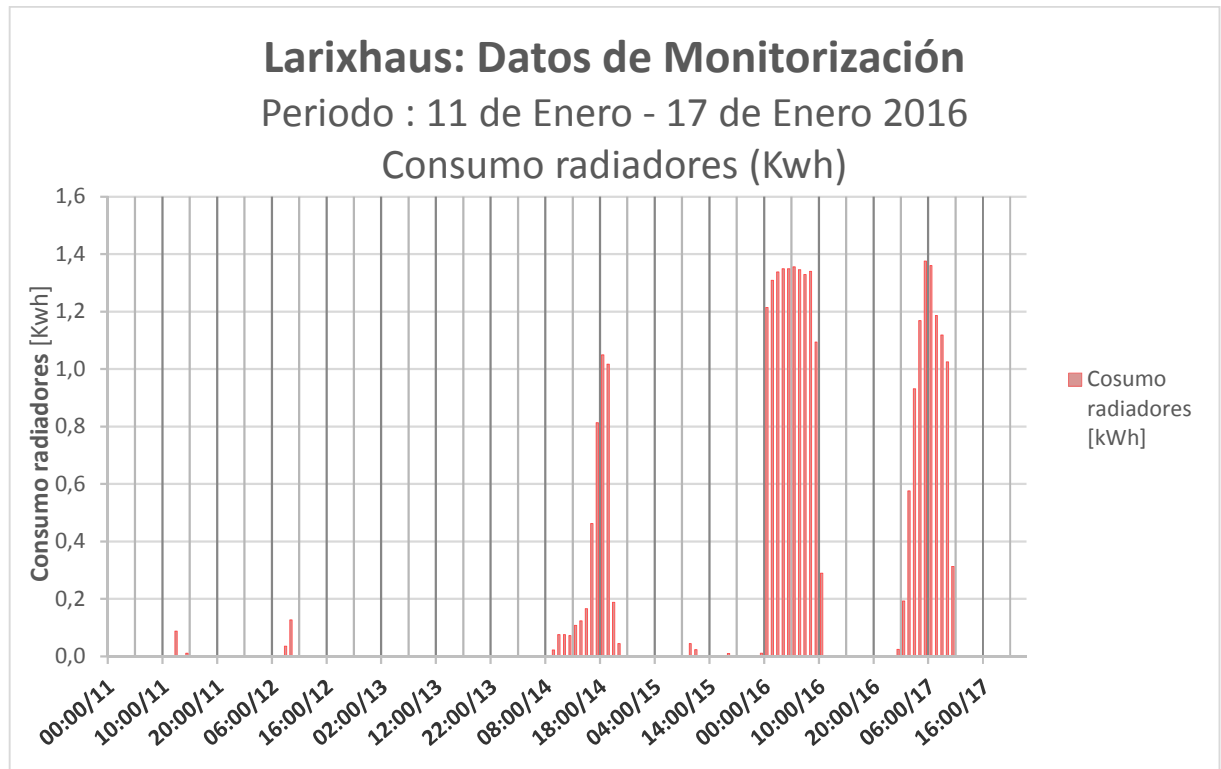


Figura 7.06.01: Consumo radiadores durante la semana del 11-17 de enero de 2016

### **RESULTADOS Y ANALISIS PERIODO FEBRERO-MAYO 2016**

El resumen de los resultados de este periodo se puede ver en la siguiente tabla. Mientras que las temperaturas exteriores alcanzan mínimas de  $-4,9^{\circ}\text{C}$  con unas medias diarias de  $8,4^{\circ}\text{C}$ , las temperaturas interiores medias están situadas en torno a los  $21^{\circ}\text{C}$ . Las humedades relativas se mantienen entre el 28 y el 61 %, con unas medias de 42%.

	Min.	Med.	Max.
Temperatura aire ext. ( $^{\circ}\text{C}$ )	-4,9	8,4	25,5
Temperatura aire int.PB ( $^{\circ}\text{C}$ )	16	20,7	24
Temperatura aire int.P1 ( $^{\circ}\text{C}$ )	15,8	21,4	24,3
Humedad relativa int. PB (%)	28	42	61
Humedad relativa int. P1 (%)	31	41	58

Figura 7.07: Temperatura y humedades relativas durante el periodo de 01 de febrero al 31 de mayo de 2016

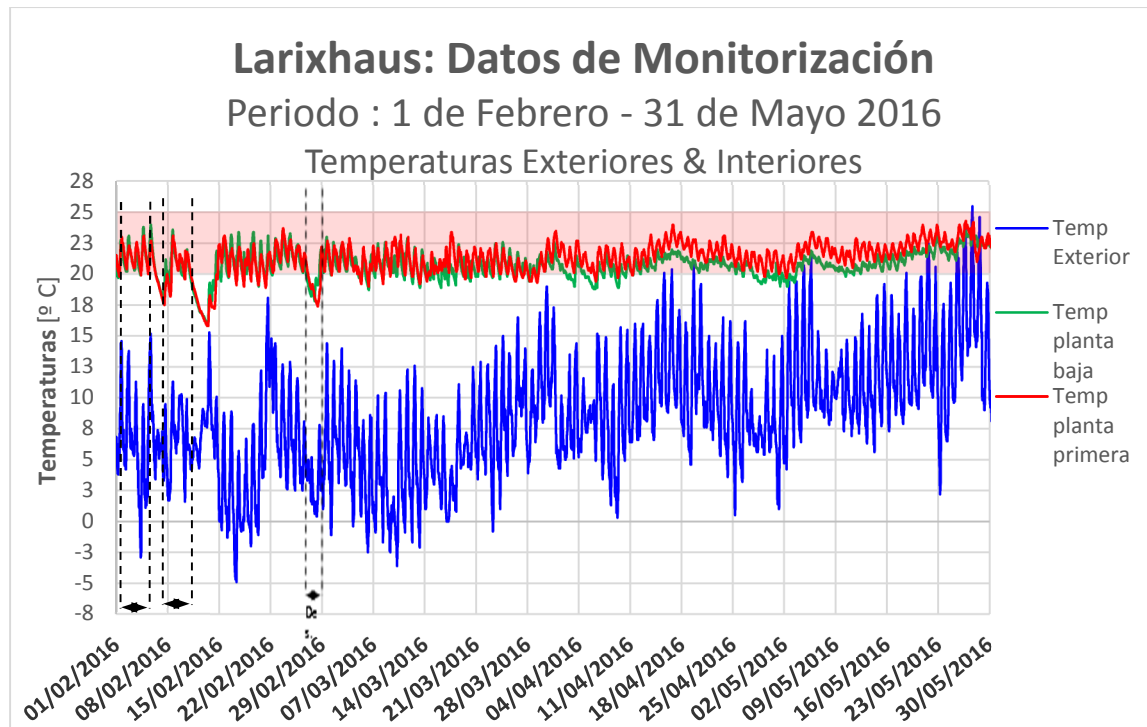


Figura 7.08: Temperaturas int. y ext. todas las horas de febrero a mayo de 2016

La figura muestra las temperaturas interiores y exteriores durante todas las horas en el periodo comprendido entre 01 de febrero de 2015 al 30 de mayo de 2016. En él se puede apreciar que las temperaturas interiores se mantienen mayoritariamente dentro del rango de los 20º-25º C, manteniéndose principalmente en la parte baja del rango, sin sobrepasar normalmente los 23ºC. Solo las temperaturas descienden significativamente durante los periodos donde la casa se mantiene desocupada.

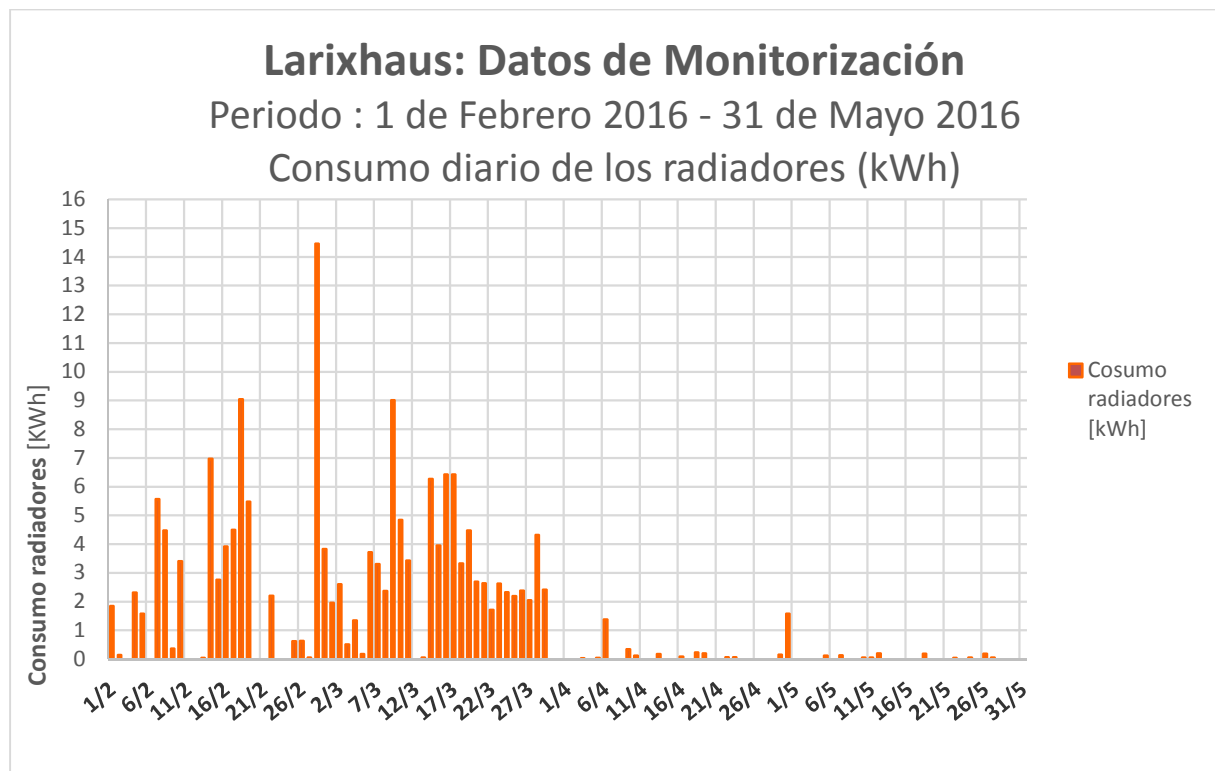


Figura 7.08.01: Consumo diario de los radiadores de febrero a mayo de 2016

FEBRERO				MARZO			
DIA CONSUMO	CONSUMO kWh	DIA CONSUMO	CONSUMO kWh	DIA CONSUMO	CONSUMO kWh	DIA CONSUMO	CONSUMO kWh
1	1,83	16	3,91	1	1,95	16	6,41
2	0,14	17	4,49	2	2,60	17	6,42
4	2,31	18	9,04	3	0,50	18	3,32
5	1,57	19	5,47	4	1,34	19	4,47
7	5,56	22	2,20	5	0,16	20	2,69
8	4,46	25	0,62	6	3,71	21	2,63
9	0,36	26	0,62	7	3,30	22	1,70
10	3,40	27	0,04	8	2,36	23	2,62
13	0,03	28	14,45	9	9,00	24	2,32
14	6,96	29	3,82	10	4,84	25	2,19
15	2,75	TOTAL kWh MES	74,03	11	3,42	26	2,37
				13	0,05	27	2,04
				14	6,27	28	4,31
				15	3,94	29	2,41
						TOTAL kWh MES	89,33

ABRIL				MAYO			
DIA CONSUMO	CONSUMO kWh	DIA CONSUMO	CONSUMO kWh	DIA CONSUMO	CONSUMO kWh	DIA CONSUMO	CONSUMO kWh
3	0,02	16	0,08	5	0,12	18	0,17
5	0,03	18	0,22	6	0,00	22	0,04
6	1,37	19	0,19	7	0,13	24	0,05
9	0,33	22	0,06	10	0,05	26	0,18
10	0,11	23	0,06	11	0,04	27	0,04
13	0,17	29	0,15	12	0,19	TOTAL kWh MES	1,01
		30	1,57				
		TOTAL kWh MES	4,36				

El grueso del consumo de los radiadores en el año se concentra en los meses de febrero y marzo. Durante estos meses que son los más fríos del año en Collsuspina se consumen un total de 163,36 KWh.

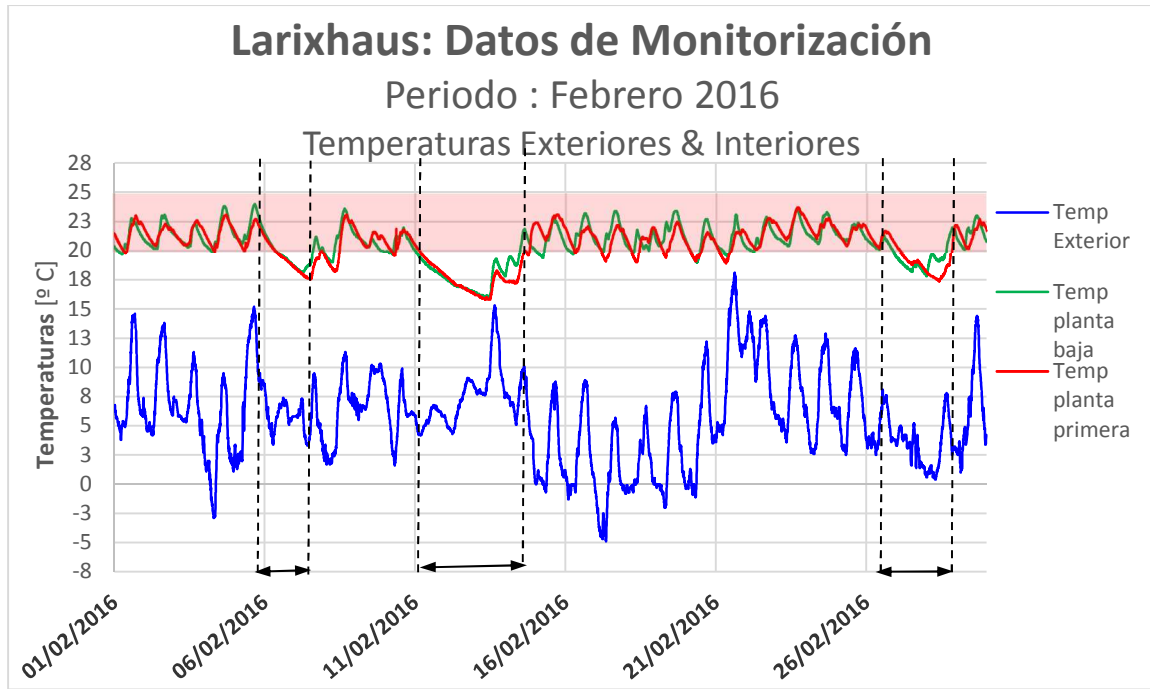


Figura 7.09: Temperaturas interiores y exteriores durante el mes de febrero de 2016

En la figura 7.09 se puede ver al detalle la monitorización del mes de febrero de 2016. El mes de febrero fue frío, con una media de temperatura de 5.80°C, con muchas noches cercanas a los 0°C. Durante todo el mes, la media de temperatura interior es de 20.75°C. La temperatura desciende bruscamente en los días donde la casa está desocupada. El día de más consumo del año es el día 28 de febrero con un consumo de 14,45 KWh y que se corresponde con el regreso a casa de los habitantes después de un periodo de desocupación en el que las temperaturas exteriores fueron realmente bajas.

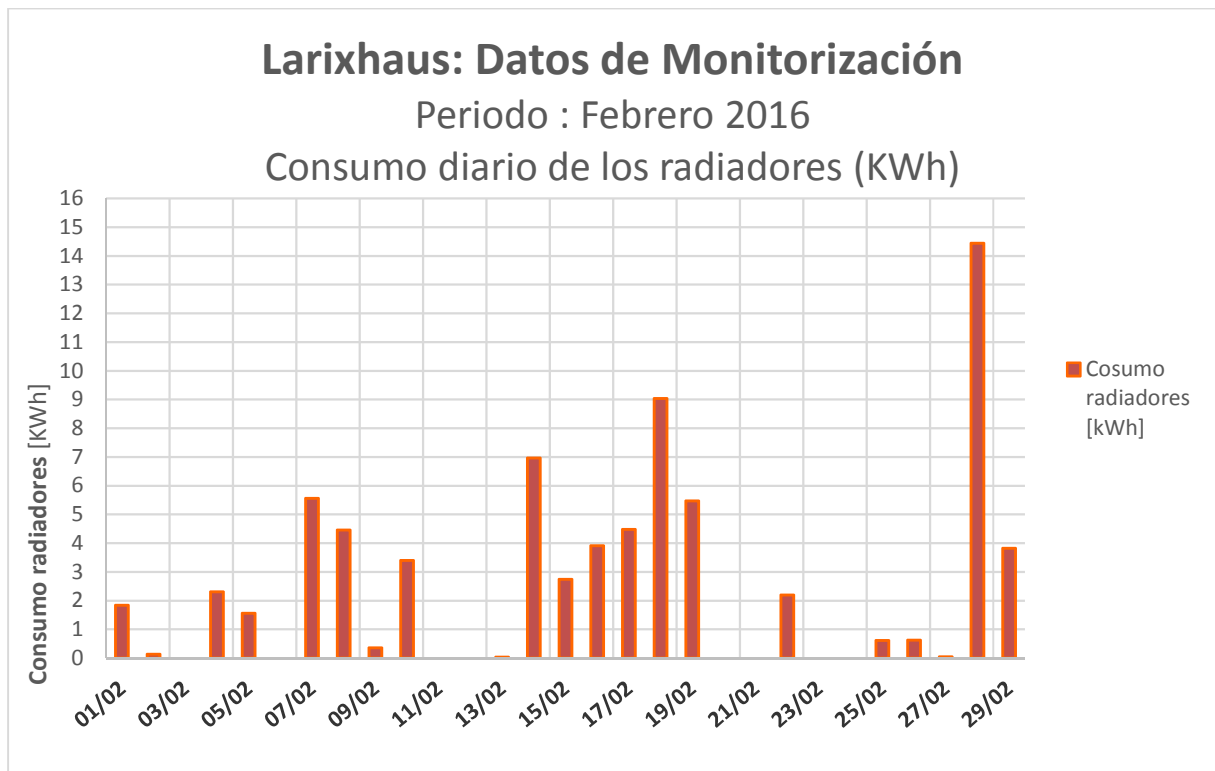


Figura 7.09.01: Consumo diario de los radiadores durante el mes de febrero de 2016

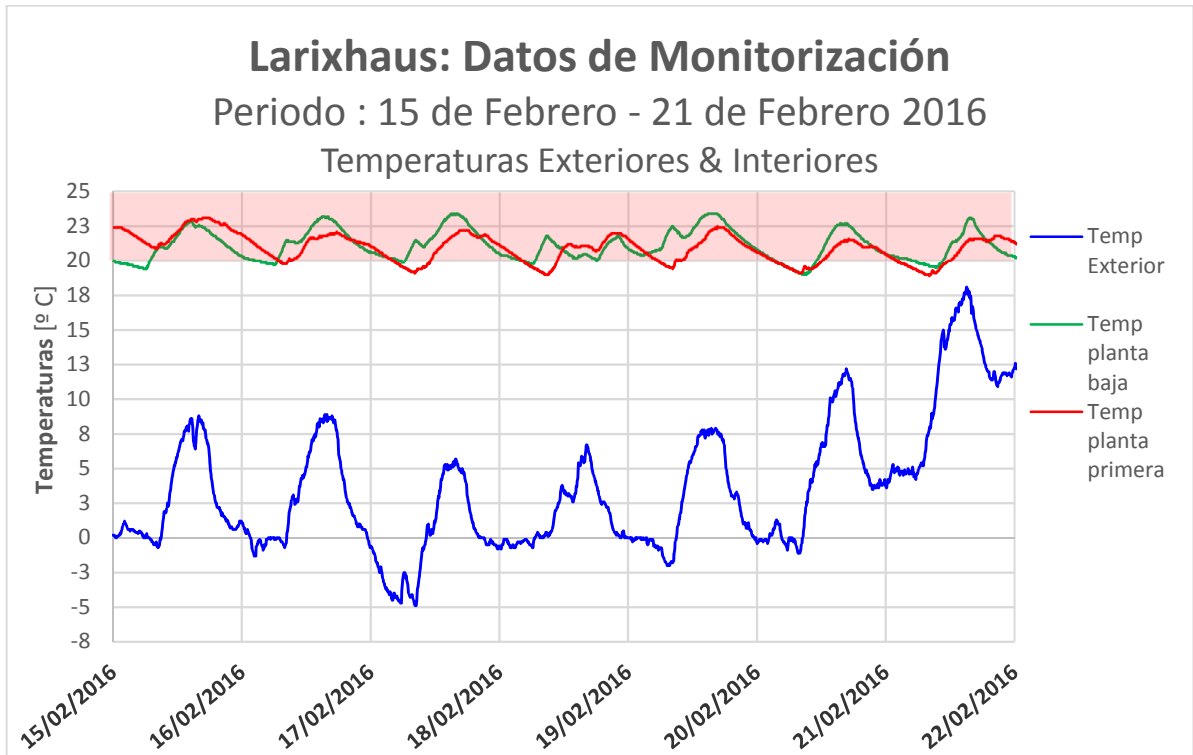


Figura 7.10: Temperaturas int. y ext. durante la semana del 15 al 21 de febrero de 2016

Las figuras 7.10 y 7.10.01 nos enseñan las temperaturas y los consumos durante la semana del 15 al 22 de febrero. Durante estos días, se alcanza una mínima de -4,90°C la madrugada del 16 al 17 los radiadores de las habitaciones de encienden de manera automática a las 05:30 y se apagan a las 09:30 del mismo día, apreciándose este aumento de temperatura en la gráfica de la PB respecto a la P1

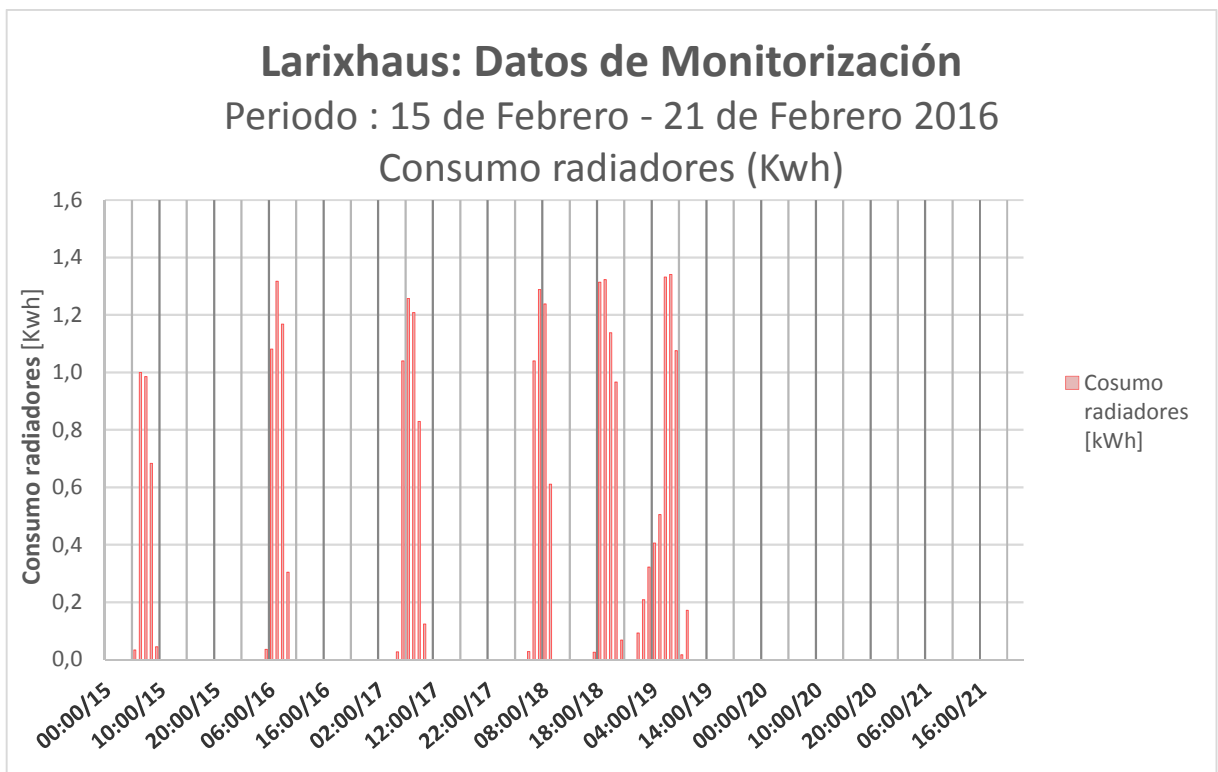


Figura 7.10.01: Consumo radiadores durante la semana del 15 al 21 de febrero de 2016

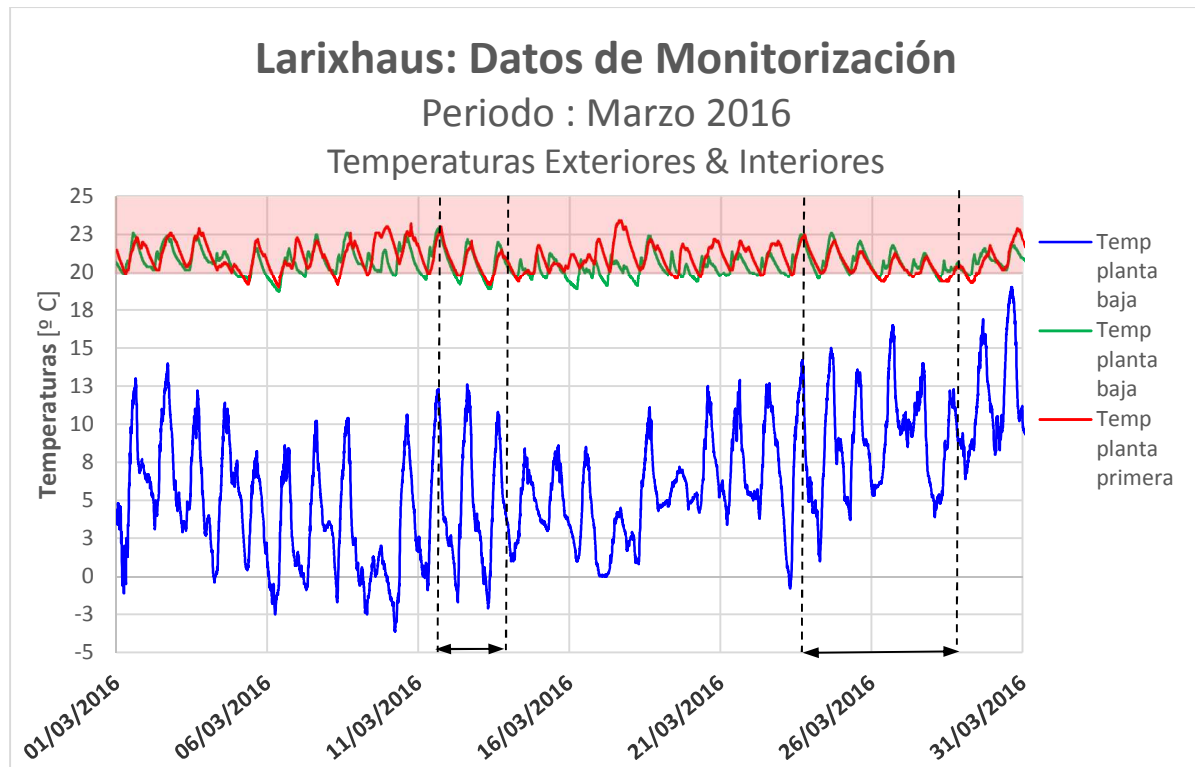


Figura 7.11: Temperaturas interiores y exteriores durante el mes de marzo de 2016

En las figuras 7.11 y 7.11.01 se pueden ver los detalles de monitorización de marzo de 2016 tanto con las temperaturas, como con el consumo de los radiadores.

El mes de marzo muy parecido a febrero, con las medias de temperaturas cercanas a los 5,90°C. Durante este mes, la temperatura interior también se mantiene en una media de los 20,70°C.

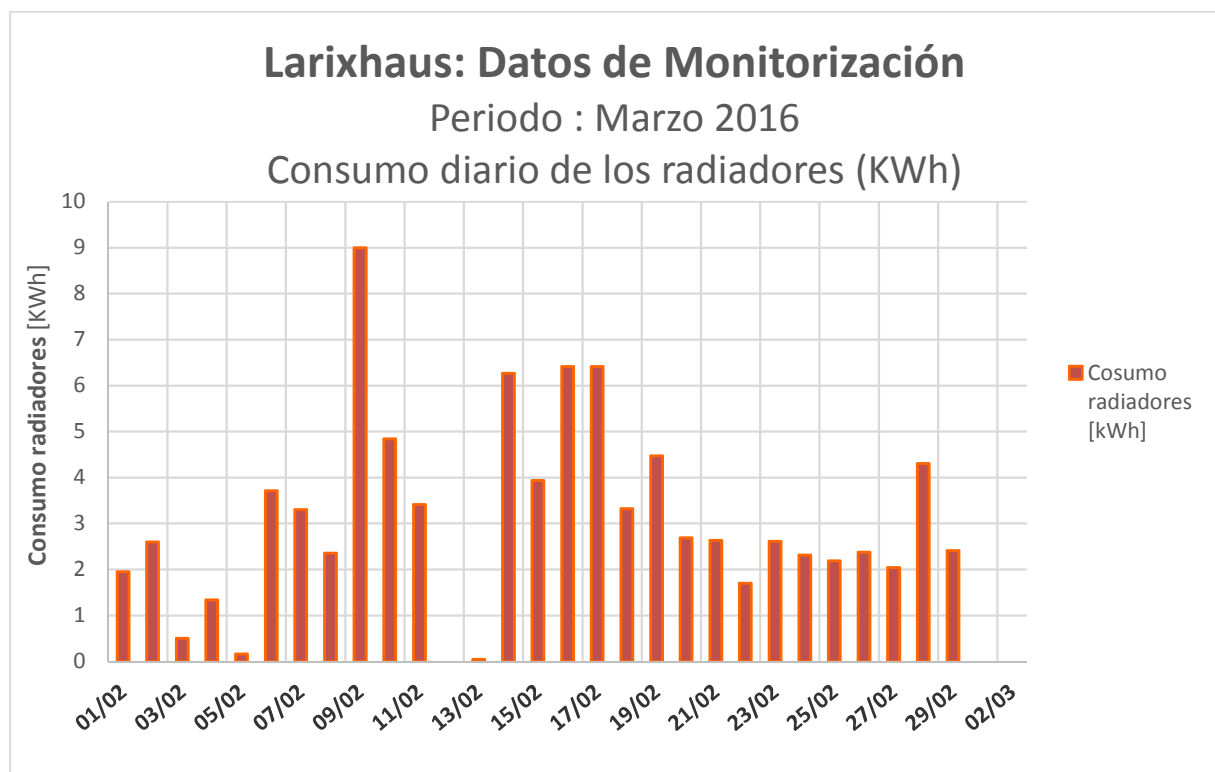


Figura 7.11.01 Consumo diario de los radiadores durante el mes de marzo de 2016



Este mes es el de más consumo de los radiadores en todo el año. Se consume un total de 89,33 kWh con una media de 2,88 kWh diarias.

Durante las vacaciones de semana santa, la casa permanece desocupada durante el periodo del 23 al 28 de marzo, pero los radiadores permanecen encendidos en modo automático, aumentando el consumo en unos 14 kWh.

El pico de consumo de los radiadores para el mes fue de 9,00 kWh, que se corresponde con el día más frío del año, el 9 de marzo, día en el que la temperatura media fue de tan solo 0,08°C, alcanzando temperaturas nocturnas de -3,60°C

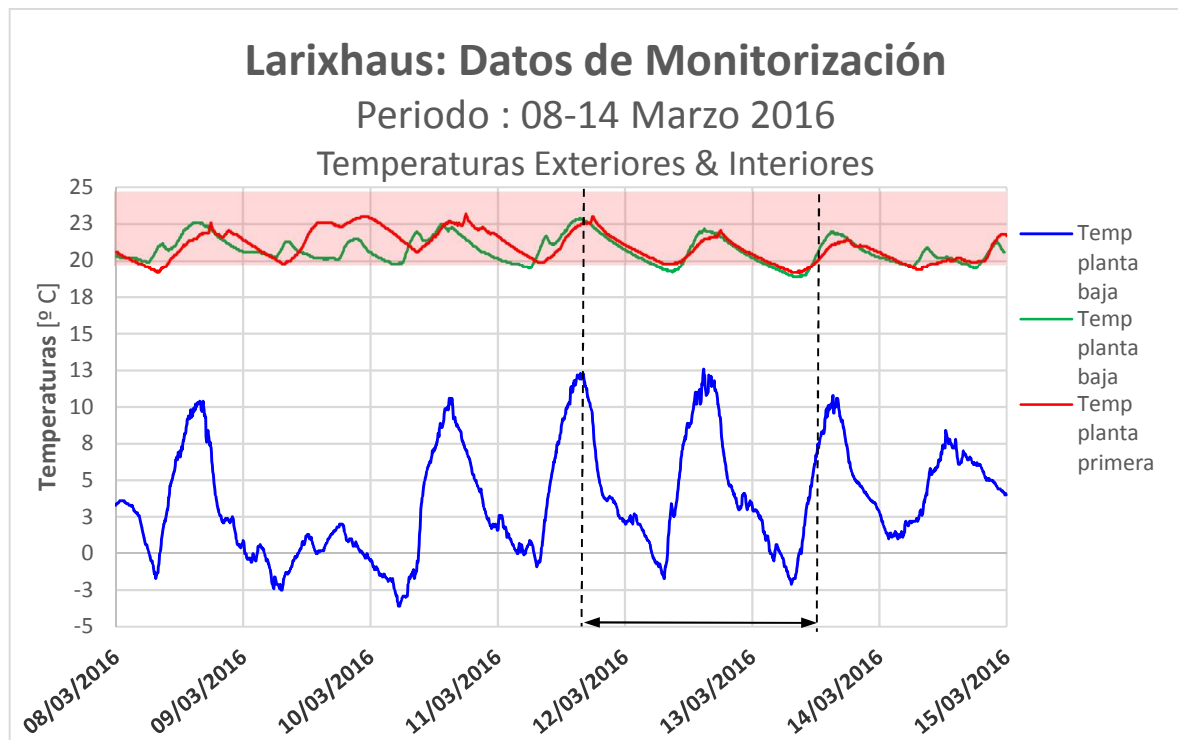


Figura 7.12: Temperaturas interiores y exteriores durante la semana del 08 al 14 de marzo de 2016

Las figuras 7.12 y 7.12.01 nos muestran las temperaturas y los consumos de los radiadores durante la semana del 08 al 15 de marzo de 2016.

Durante esta semana se consume un total de 29,86 kWh.

La casa permanece deshabitada entre los días 11 y 13. Pese a que no se encuentra nadie en la casa y los radiadores se mantienen apagados, las temperaturas se mantienen estables sin llegar a bajar en ningún momento de los 18°C, pese a que en el exterior se alcanzan los -3°C.

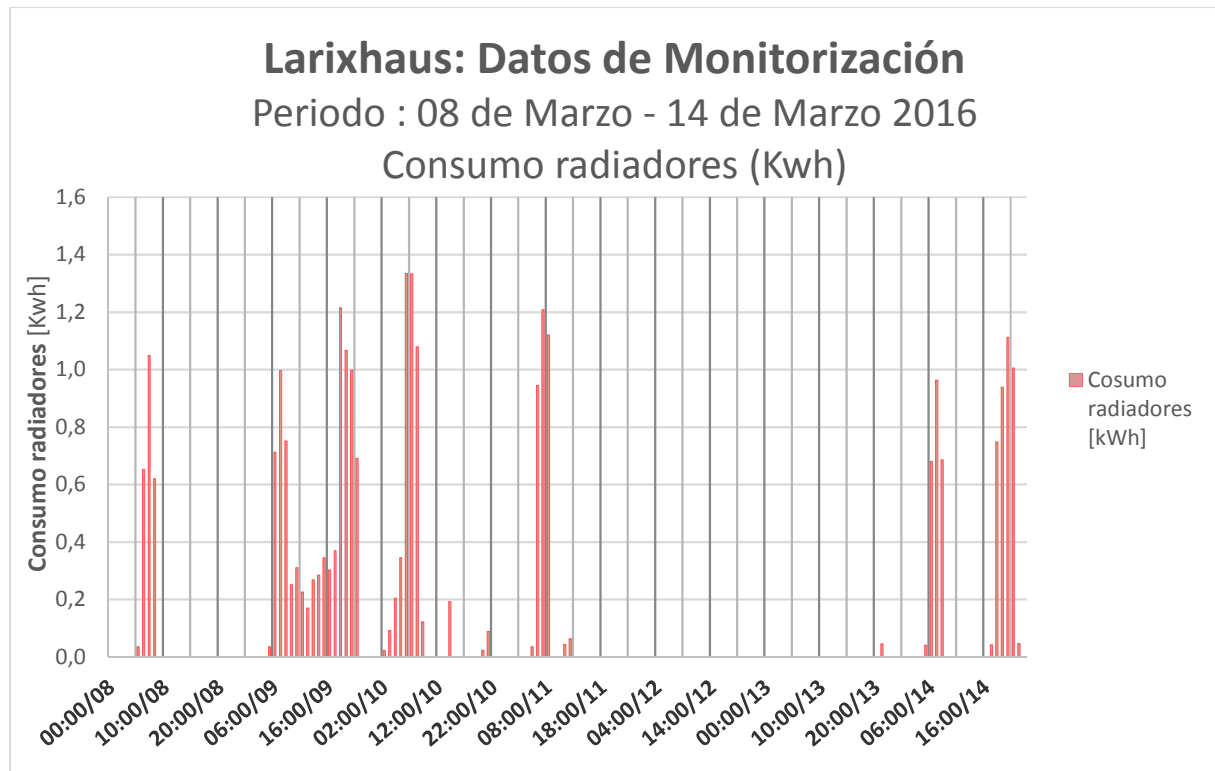


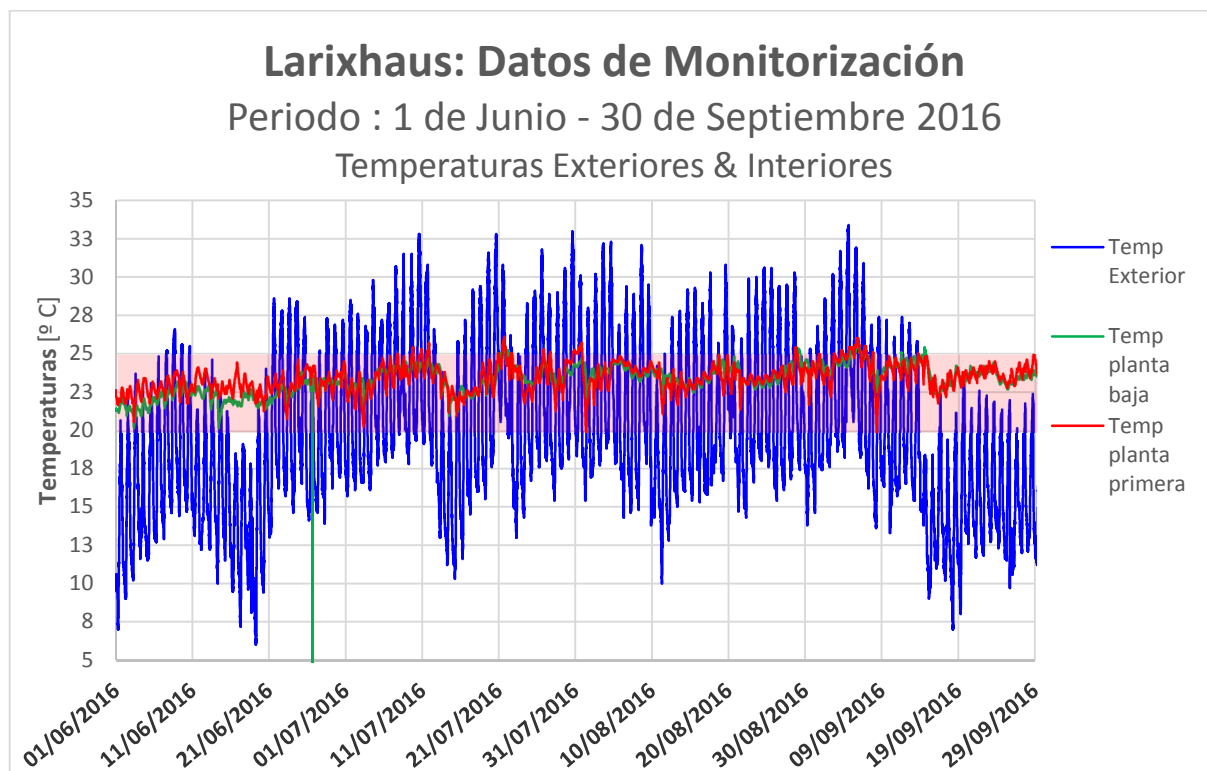
Figura 7.12.01 Consumo radiadores durante la semana del 08 al 14 de marzo de 2016

### **RESULTADOS Y ANALISIS PERIODO JULIO-SEPTIEMBRE 2016**

El resumen de los resultados de este periodo se puede ver en la siguiente tabla. Las temperaturas exteriores durante esta época alcanzan los 33.40 °C de temperatura máxima con unas medias de 19 °C, las temperaturas interiores medias están situadas en torno a los 23.40°C. Las humedades relativas se mantienen entre el 25 y el 71 %, con unas medias de 52%.

	Min.	Med.	Max.
Temperatura aire ext. (°C)	6	19	33,4
Temperatura aire int.PB (°C)	21,3	23,4	25,8
Temperatura aire int.P1 (°C)	19,9	23,4	26,1
Humedad relativa int. PB (%)	26	53	69
Humedad relativa int. P1 (%)	25	51	71

Figura 7.13: Temperatura y humedades relativas durante el periodo de 01 de junio al 30 de septiembre de 2016



**Figura 7.14 : Temperaturas interiores y exteriores durante el periodo del 1 de junio al 30 de septiembre de 2016**

La figura muestra las temperaturas interiores y exteriores durante el periodo del 01 de junio al 30 de septiembre de 2016. Pese a que el mes de junio se mantiene en unas temperaturas muy frescas, el verano de 2016 en Collsuspina se caracteriza por ser bastante cálido, con temperaturas exteriores cercanas a los 30°C la mayor parte del verano, durante el periodo del 21 de junio hasta el 9 de septiembre. Durante este periodo también se puede apreciar como las temperaturas nocturnas suelen ser muy frescas, manteniéndose mayoritariamente entre los 15°C y los 18°C, llegando algunas noches hasta los 10°C. Pese a estos cambios de temperatura tan grandes con diferencias de hasta 15°C entre la mínima nocturna y la máxima diurna, las temperaturas interiores durante este periodo se mantienen en su mayoría entre los 20 y los 25 °C, manteniéndose las temperaturas interiores muy estables.

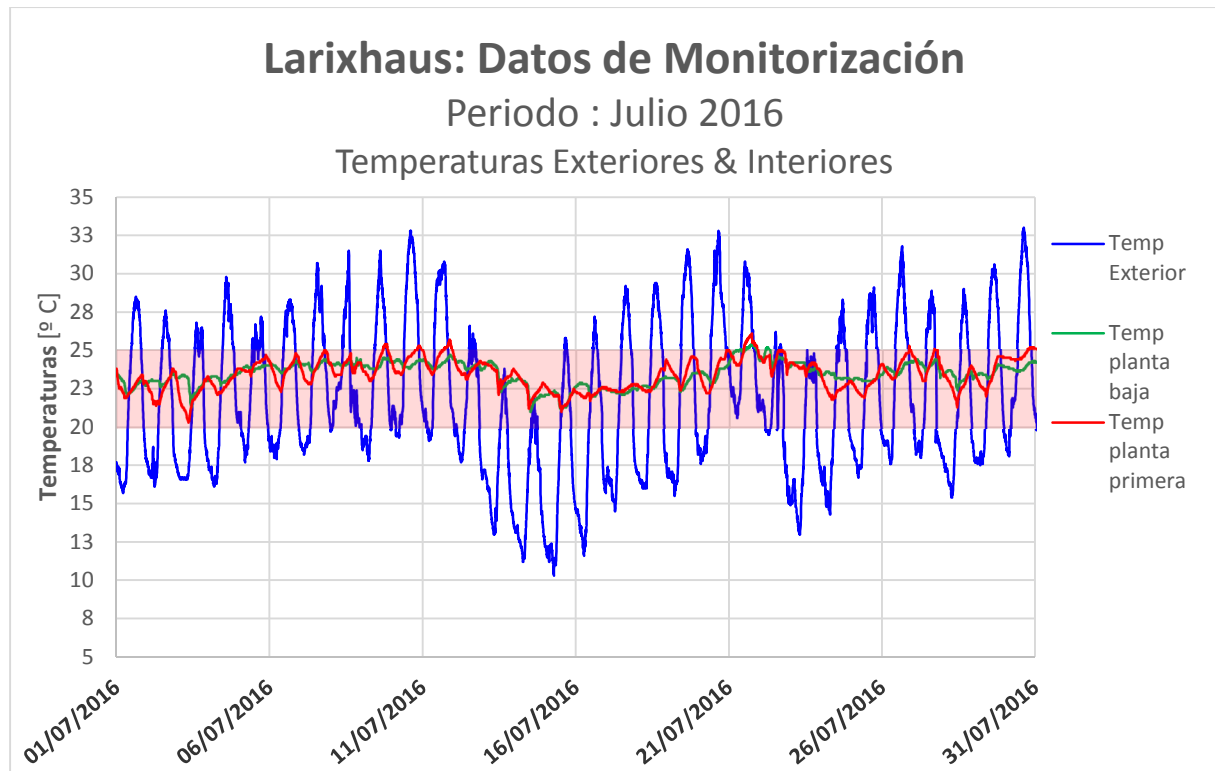


Figura 7.15: Temperaturas interiores y exteriores durante el periodo del 1 de junio al 30 de septiembre de 2016

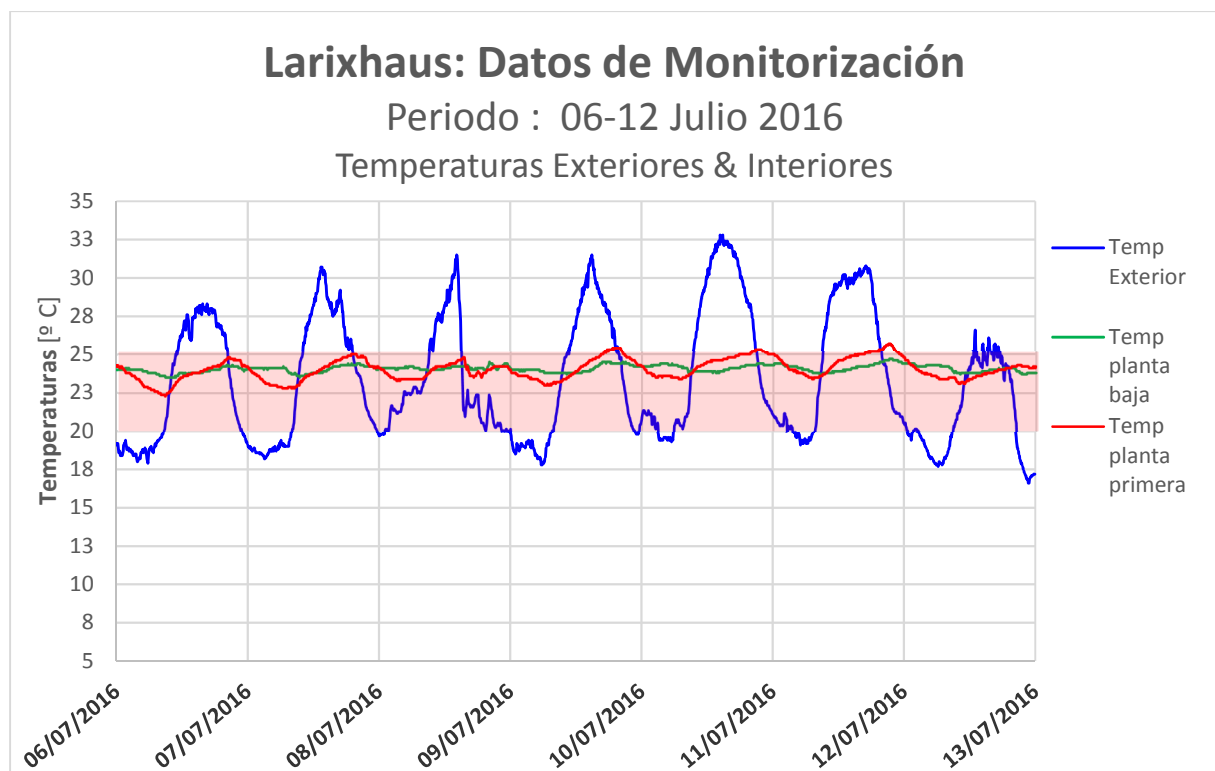


Figura 7.16: Temperaturas interiores y exteriores durante el periodo del 06 al 12 de julio de 2016

El mes de julio (figura 7.15) se caracteriza por ser un mes caluroso, con temperaturas diurnas rondando los 30°C y con noches frescas cercanas a los 18°C. Durante todo el mes las temperaturas interiores se mantienen en los parámetros de 20°C a 25°C, siendo la media interior durante todo el mes de 23.50°C.

La figura 7.16 nos enseña la monitorización de la casa durante la semana del 06 al 13 de julio. En la figura se puede apreciar como las temperaturas se mantienen entre los 23°C y los 25°C.

En la figura también se puede ver la escasa inercia térmica con la que cuenta el edificio. La temperatura más alta de la semana la encontramos el 10 de julio a las 14:50 con una temperatura exterior de 32.40°C, mientras que la temperatura máxima interior no llega hasta las 21:50 llegando a ser de 25,30°C.

Este desfase térmico es de solo 7 horas, bastante más pequeño que el aconsejado en la ISO 13786, que es de 10 horas.

Aunque este desfase es bastante pequeño, debido a la escasa inercia térmica del edificio, se compensa con la ventilación natural nocturna, como se puede apreciar en la gráfica. En el momento en el que los habitantes de la casa llevan a cabo la abertura de las ventanas, las temperaturas interiores descienden paulatinamente.

La poca inercia térmica hace que el edificio sea sensible a las aportaciones internas y externas, de manera que para mantener todo el verano la temperatura de confort interior hace falta prestar especial atención a prevenir que entre la radiación solar en el interior y tener una ventilación cruzada durante la noche. De esta forma se consigue una temperatura media interior inferior comparada con la temperatura media exterior

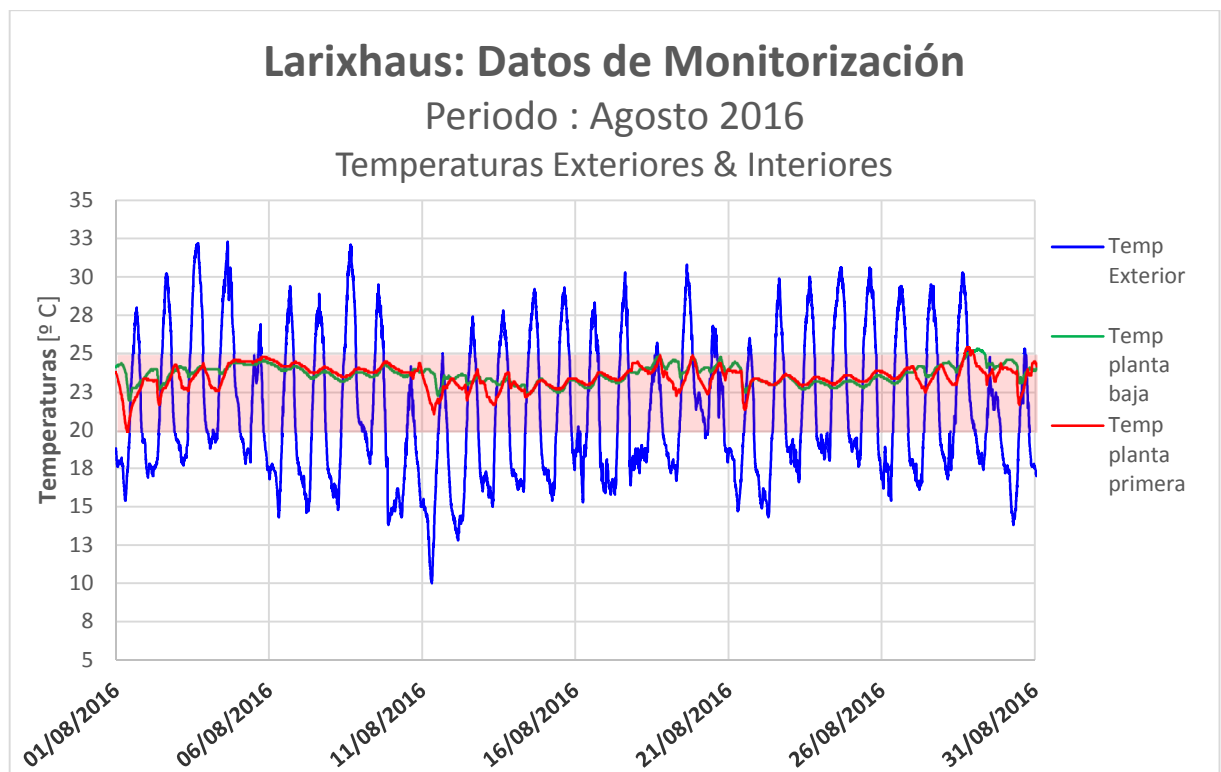
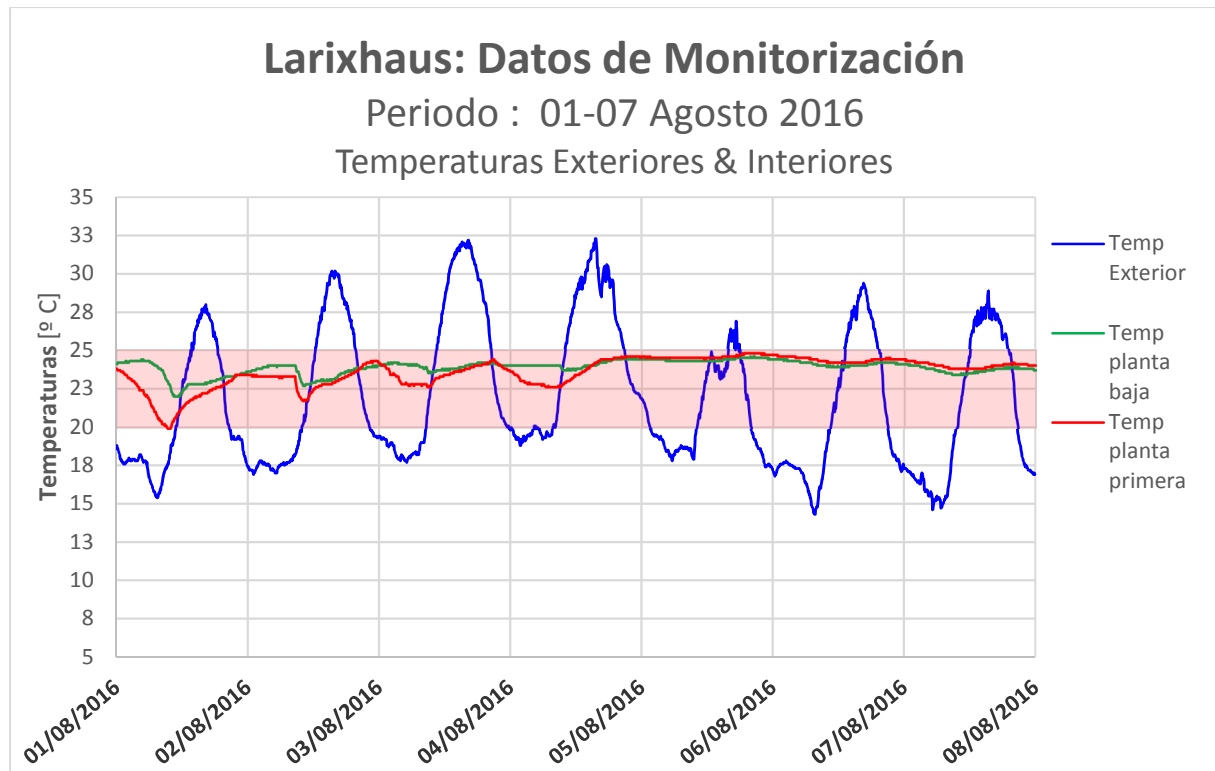


Figura 7.17: Temperaturas interiores y exteriores durante el mes de agosto de 2016

El mes de agosto está representado en las figuras 7.17 y 7.18 (semana 01-07). El mes de agosto de 2016 fue un mes caluroso, con la mayoría de días rondando los 28°C-30°C. Pero por la noche hay unos grandes saltos térmicos, de hasta 15°C. Pese a ello las temperaturas interiores se mantienen en los 20°C- 25°C



**Figura 7.18: Temperaturas interiores y exteriores durante el periodo del 01 al 07 de agosto de 2016**

La figura de la semana del 01-07 de agosto nos muestra como la Larixhaus mantiene una temperatura interior agradable, aunque la temperatura exterior sea muy alta. Durante los días 3 y 4 en los que la temperatura exterior alcanza los 33°C y la temperatura nocturna se mantiene en unos 20°C, la temperatura interior de la Larixhaus se mantiene en unos niveles excelentes sin sobrepasar en ningún momento los 25°C, y todo eso sin contar con un sistema de refrigeración activa.

Con el fin de apreciar con mayor detenimiento el desfase térmico de la Larixhaus y su nivel de inercia térmica hemos elegido para analizar los días comprendidos entre el 22 de agosto y el 26 del mismo mes.

Durante estos días, tanto las temperaturas exteriores como las temperaturas interiores se han mantenido muy estables, permitiéndonos visualizar con mayor claridad este fenómeno.

La siguiente figura 7.21 nos enseña las temperaturas interiores y exteriores durante los días del 22 al 26 de agosto.

### **ESTUDIO DEL DESFASE TEMPORAL**

Dentro del estudio de los parámetros de confort, hacemos un pequeño paréntesis para analizar el desfase térmico de nuestra vivienda.

Pese a que este análisis se suele realizar sobre una fachada, nosotros lo realizaremos sobre el comportamiento del conjunto del edificio.

Realizaremos este análisis para la semana del 22 al 26 de agosto, días en los que la casa se ha mantenido ocupada y las temperaturas exteriores se han mantenido muy estables, con el fin de obtener unos resultados más fiables.

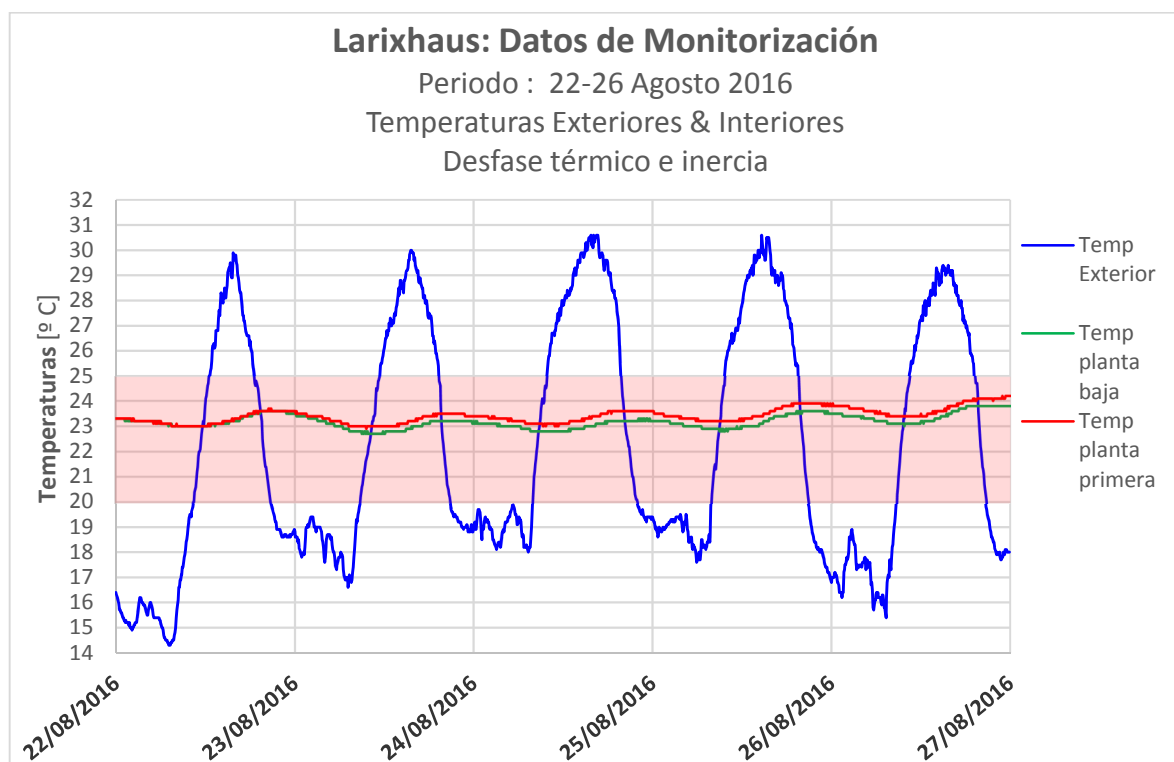


Figura 7.19: Temperaturas interiores y exteriores durante el periodo del 22 al 26 de agosto de 2016

	22-ago	23-ago	24-ago	25-ago	26-ago
TEMPERATURA MAXIMA EXTERIOR (°C)	29,3	30	30,6	30,5	29,4
TEMPERATURA MINIMA EXTERIOR (°C)	14,3	16,6	18,2	17,6	15,4
HORA TEMPERATURA EXT.MAX	16:00	15:40	15:45	15:35	15:40
HORA TEMPERATURA EXT.MIN	7:00	7:10	7:00	6:00	7:20
TEMPERATURA MAXIMA INTERIOR (°C)	23,7	23,5	23,6	23,9	24,1
TEMPERATURA MINIMA INTERIOR (°C)	23	22,7	22,8	22,8	23
HORA TEMPERATURA INT.MAX	20:50	21:00	21:00	21:00	21:00
HORA TEMPERATURA INT.MIN	9:30	11:00	10:15	9:45	9:40
DEFASE TEMPORAL MAXIMAS (HORAS)	4:50	5:20	5:15	5:25	5:20
DEFASE TEMPORAL MINIMAS (HORAS)	2:30	3:50	3:15	3:45	2:20
DIFERENCIA TEMP.MAX Y MIN EXT.(°C)	15	13,4	12,4	12,9	14
DIFERENCIA TEMP.MAX Y MIN INT. (°C)	0,7	0,8	0,8	1,1	1,1
AMORTIGUACION DE ONDA (%)	4,67	5,98	6,46	8,53	7,86

Figura 7.20 : Tabla temperaturas, desfases y amortiguación de onda en el periodo del 22-26 de agosto de 2016

El desfase temporal de onda entre las temperaturas máximas exteriores y las temperaturas máximas interiores es de un tiempo cercano a las 5 horas.

Mientras que las diferencias de temperaturas entre la mínima y máxima exterior es de 13,50°C de media, esta diferencia en el interior es de solo 0,9°C dando un factor de amortiguación de onda de hasta el 6,7%.





## 8. ANALISIS DEL CONFORT TERMICO

Para el cálculo de los parámetros de confort utilizaremos los tres estándares internacionales con mayor impacto ISO 7730, ASHRAE 55 y UNE-15251. También tendremos en cuenta la frecuencia de sobrecalentamiento del programa PHPP.

Los sensores instalados en la Larixhaus son sensores de temperatura de aire y no miden la temperatura radiante del suelo, por lo tanto, se han utilizado las temperaturas de aire interior en lugar de las temperaturas operativas para este análisis.

### ISO7730

Para el cálculo del modelo ISO 7730 nos basaremos en los criterios usados por el estudio efectuado para el Passivhaus Institut por Jurgen Schnieders en el libro "Passive Houses in South West Europe", en el que establece una serie de parámetros para las viviendas pasivas del sudoeste de Europa.

Este estudio sigue la norma ISO7730 para la categoría B donde se establece que  $PMV \pm 0.5$  (>10% PPD) 1.2 Met y 0.5 Clo en verano y 1.0 Clo en invierno. Esta categoría establece el rango de temperatura de la superficie del suelo entre los 19 y los 29°C. [15]

Category	Thermal state of the body as a whole		Local discomfort			
	PPD %	PMV	DR %	PD %		
				vertical air temperature difference	caused by warm or cool floor	radiant asymmetry
A	< 6	- 0,2 < PMV < + 0,2	< 10	< 3	< 10	< 5
B	< 10	- 0,5 < PMV < + 0,5	< 20	< 5	< 10	< 5
C	< 15	- 0,7 < PMV < + 0,7	< 30	< 10	< 15	< 10

Figura 8.01 : Tabla que relaciona las categorías de ambiente A, B, C con el PMV y el valor de PPD.

Por otra parte, el estudio establece los límites de la temperatura operativa en invierno en 20°C y la de verano en 26°C con una humedad máxima del 60%. Para otras ratios de humedad a mas temperatura se puede hacer se puede hacer la siguiente operación:

$T = 28,4 \text{ }^\circ\text{C} - 0.19 \text{ K}/(\text{g}/\text{kg}) * h$ , siendo T la temperatura operativa y h la ratio de humedad.

El estudio también dice que no se debe de superar el límite de humedad superior a 70% y que tampoco debería de bajar de 30%.

Categoría	Diferencia de temperatura vertical	Rango de temperatura de la superficie del suelo
A	< 2	19-29
B	< 3	19-29
C	< 4	17-31

Figura 8.02 : Tabla que con valores de diferencia de temperatura vertical y temperatura radiante de las superficie del suelo para cada una de las categorías, A, B, C.

El estudio de este parámetro de confort lo utilizaremos para los meses de noviembre, enero, febrero, marzo, julio, agosto y septiembre.

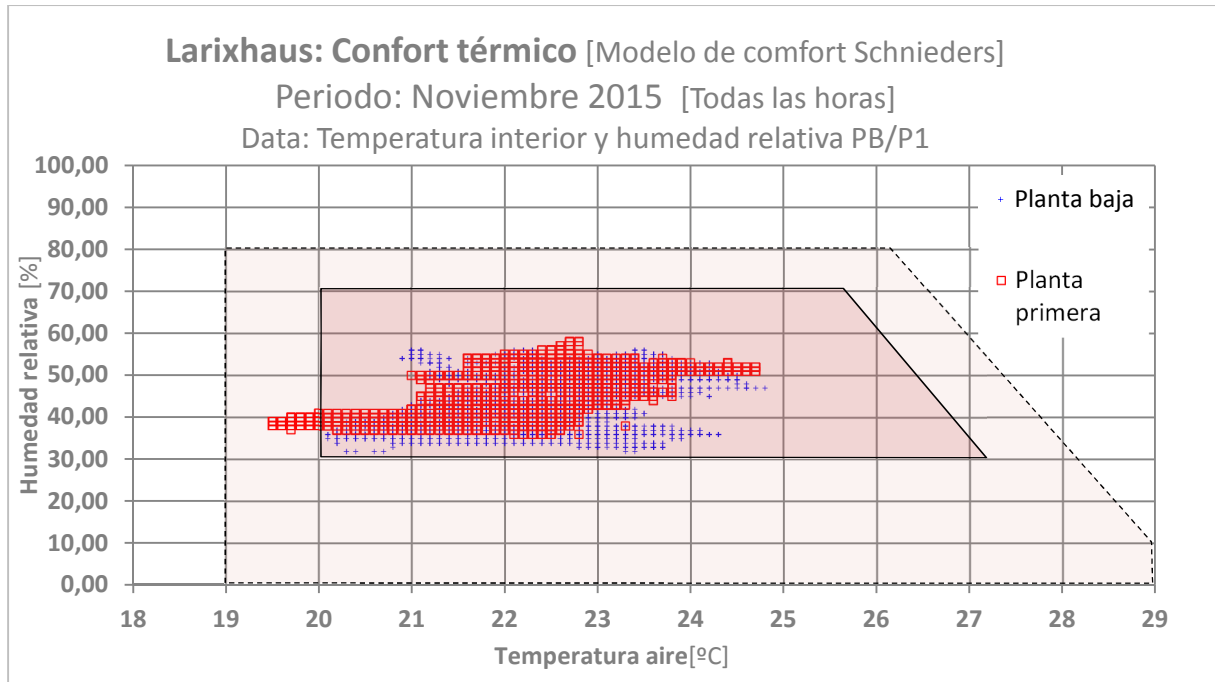


Figura 8.03: Temperatura y humedad relativa interior modelo de confort Schnieders noviembre 2015

La figura anterior nos muestra el modelo de confort en el mes de noviembre. Para el mes de noviembre se han tenido en cuenta todas las horas ya que la casa ha permanecido habitada todos los días. Durante este mes se puede ver como la mayoría de horas se mantienen dentro del rango de confort óptimo. Solo unas pocas horas del mes se mantienen fuera de las temperaturas optimas, pero dentro de los parámetros de temperatura de confort extendidos para la categoría B. Estas horas se corresponde con la semana analizada (20-26 noviembre), donde las temperaturas exteriores son realmente bajas. Los datos de humedad relativa se mantienen dentro de los parámetros óptimos (30%-70%).

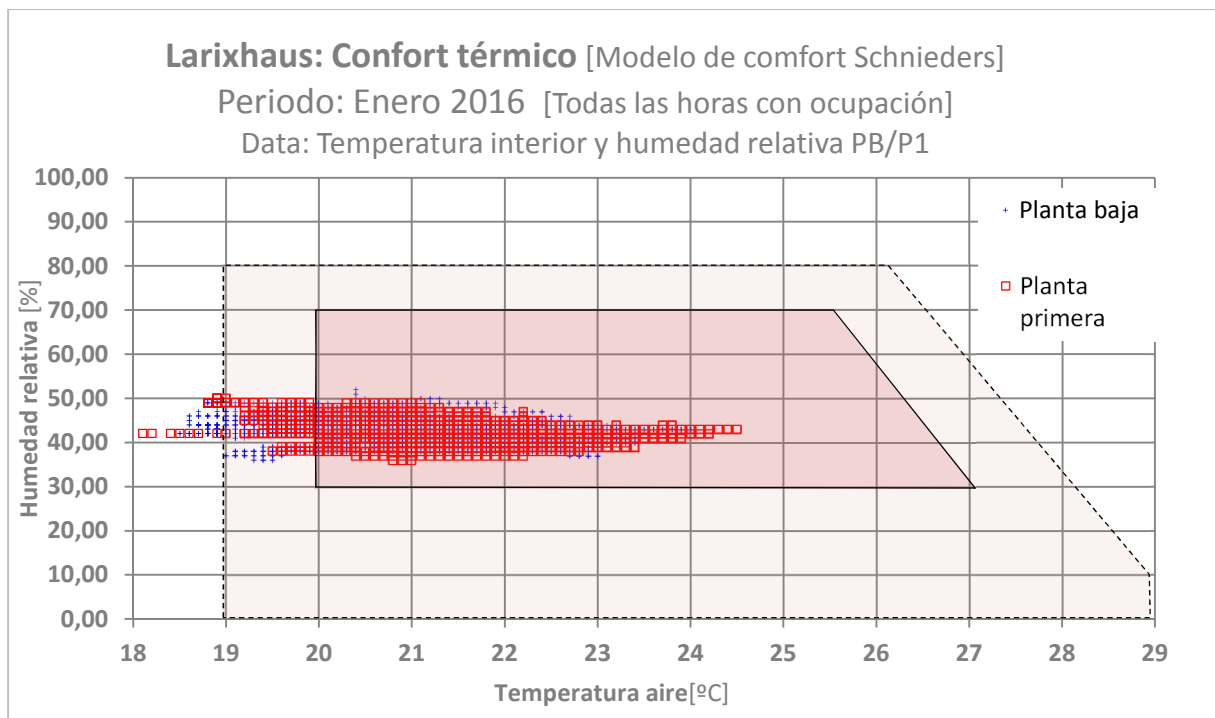
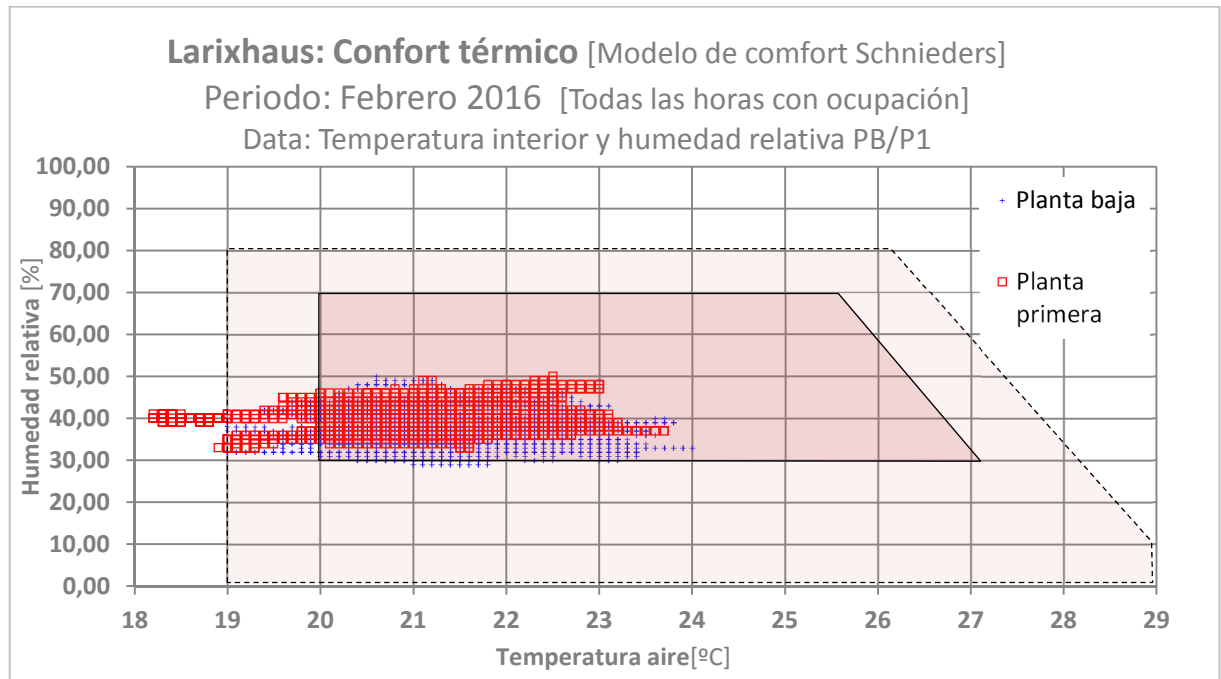


Figura 8.04 : Temperatura y humedad relativa interior modelo de confort Schnieders enero 2016

Para la figura del mes de enero, hemos tenido en cuenta solo las horas ocupadas, sin tener en cuenta los días donde la casa se ha mantenido desocupada durante las vacaciones de invierno (01 al 06 de enero) y los fines de semana del mes, donde la familia abandonaba la casa los viernes tarde y volvía el domingo a la tarde. En la figura se puede apreciar como una buena parte de las horas consultadas se mantienen dentro de los parámetros óptimos (70% de los puntos consultados) y un total del 95% de los puntos consultados se mantienen dentro de los parámetros de confort extendidos categoría B. Los puntos que sobresalen de la categoría se mantendrían dentro de los parámetros para la categoría C, con un porcentaje de PPD del 15%. La mayoría de estos puntos de disconfort corresponden al momento en el que los habitantes vuelven a su casa.



**Figura 8.05 : Temperatura y humedad relativa interior modelo de confort Schnieders febrero 2016**

Durante el mes de febrero, al igual que hemos hecho con el mes de enero, hemos utilizado solo las horas donde la casa se ha mantenido ocupada, no se han tenido en cuenta los días en las que la vivienda ha estado deshabitada. Para este mes, donde las temperaturas exteriores han sido muy bajas, los resultados obtenidos son muy correctos. Los resultados se asemejan a los obtenidos en la gráfica de enero, donde la mayoría de puntos están ubicados en los parámetros de confort óptimos y solo unos pocos puntos sobresalen del parámetro de confort extendido para la categoría B. Al igual que anteriormente, estos puntos se corresponden al momento en el que los habitantes vuelven a su casa. Por otro parte, la humedad relativa durante este mes sí que se acerca al límite de confort óptimo del 30%.

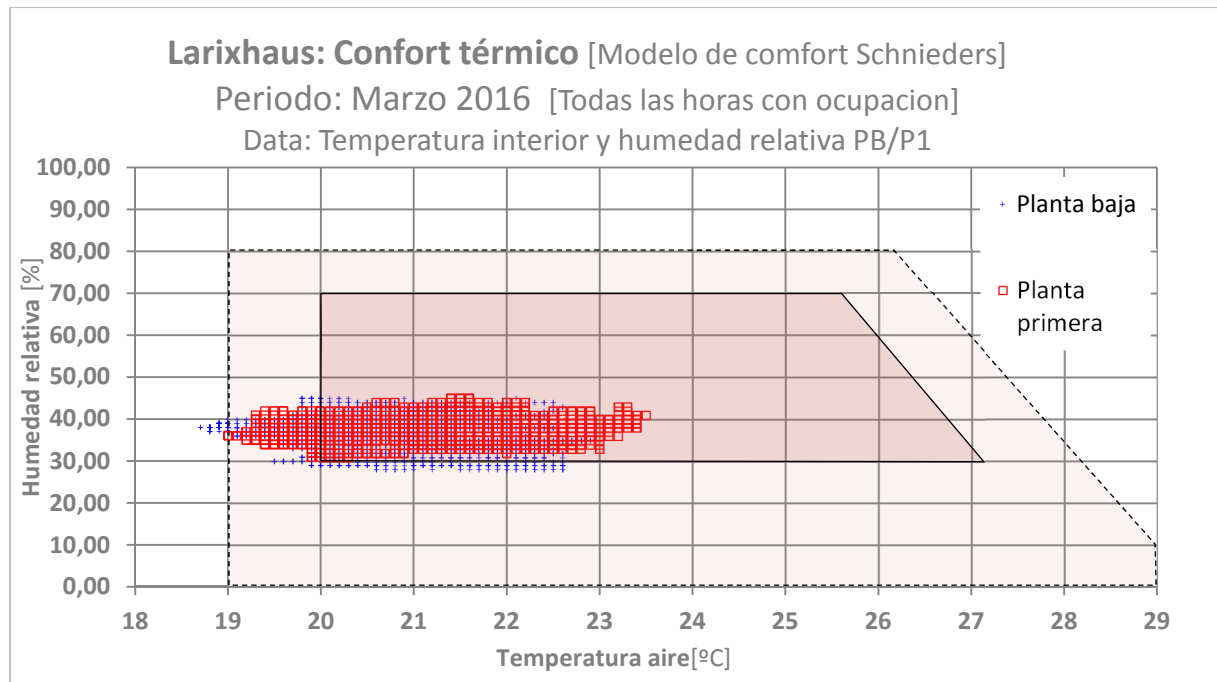


Figura 8.06 : Temperatura y humedad relativa interior modelo de confort Schnieders marzo 2016

Para la gráfica del mes de marzo también se han utilizado solo las horas en las que la vivienda está ocupada. La mayoría de horas durante este mes se mantienen también dentro del rango de confort óptimo, manteniéndose las humedades relativas por debajo del 50%. Algunos puntos de este mes sí que descienden de los valores óptimos de confort, tanto en temperatura, como sobrepasando el límite inferior de humedad relativa óptima del 30%. Los puntos que sobrepasan por debajo el límite de humedad no llegan a representar el 5% del total, por lo que no se hace necesaria la instalación de un aparato humidificador.

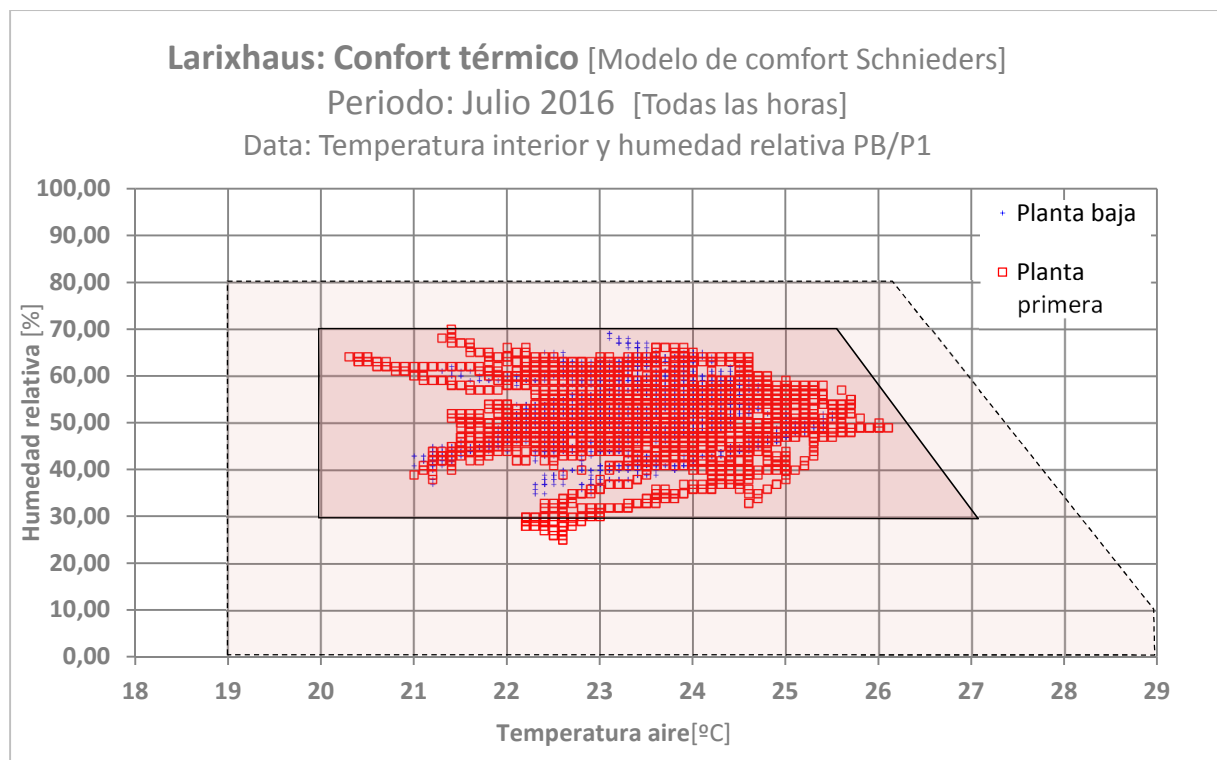
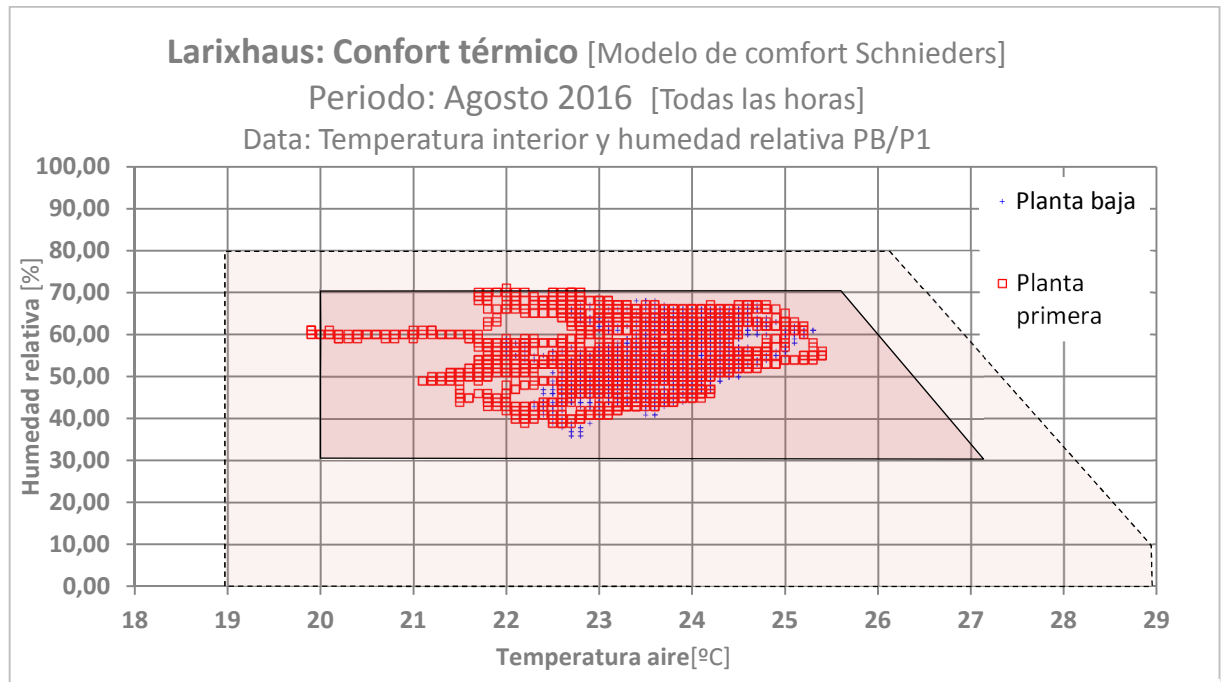


Figura 8.07 : Temperatura y humedad relativa interior modelo de confort Schnieders julio 2016

Durante el mes de julio sí que se han tenido en cuenta todas las horas del mes. Las horas en las que la familia no se encuentra en casa no distorsionan la gráfica.

Durante todo el mes tanto las temperaturas como los valores de humedad relativa se mantienen dentro de los valores óptimos establecidos por Schnieders. Esto es un dato muy importante, teniendo en cuenta que la mayoría de días del mes las medias de temperatura diarias son bastante altas. La baja inercia térmica del edificio y la ventilación nocturna del edificio ayudan en este aspecto. Por otro lado, las humedades relativas interiores también se mantienen dentro de los parámetros de 30% al 70%.



**Figura 8.08 : Temperatura y humedad relativa interior modelo de confort Schnieders agosto 2016**

Durante el mes de agosto también se tienen en cuenta todas las horas del mes. Este mes nos proporciona unos datos muy buenos, al igual que el mes de julio. Durante este mes, todos los puntos se mantienen el rango de confort óptimo, concentrándose las temperaturas interiores entre los 21°C y los 25°C. Esto es un dato muy bueno, teniendo en cuenta que la casa no cuenta con ningún sistema activo de refrigeración. Los rangos de humedades relativas se mantienen siempre entre los 30% y los 70%, no haciendo necesaria ningún tipo de aparato deshumidificador para garantizar la calidad del aire interior.

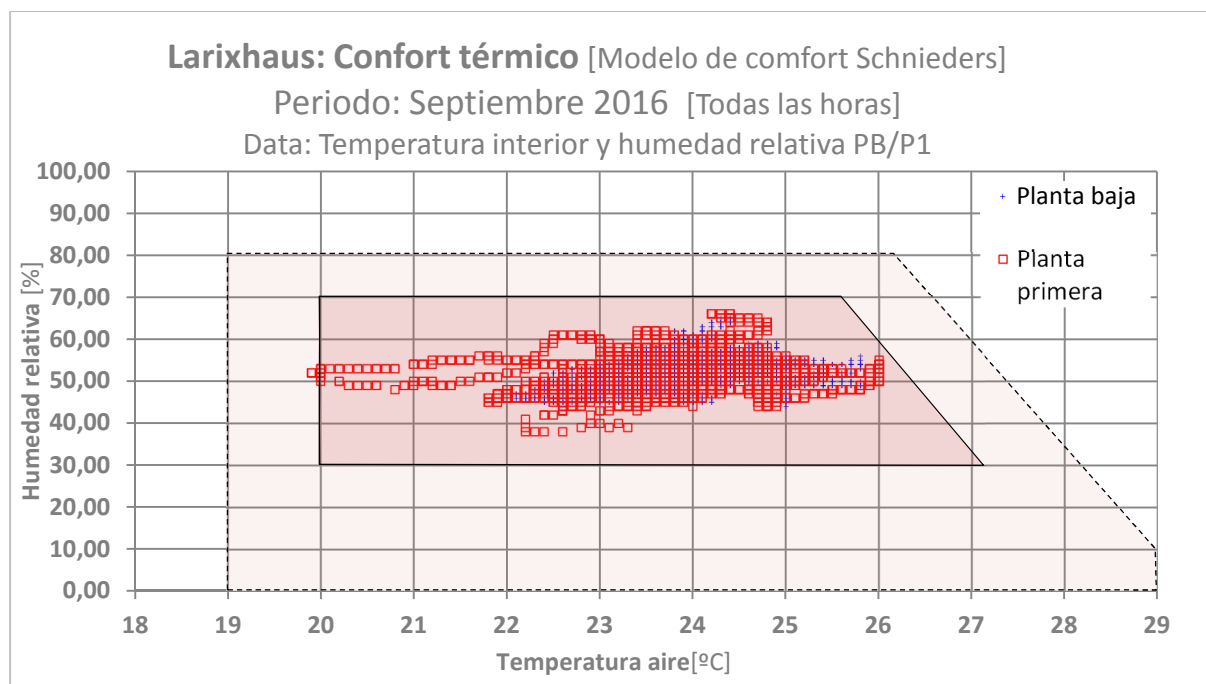


Figura 8.09 : Temperatura y humedad relativa interior modelo de confort Schnieders septiembre 2016

Para la gráfica de septiembre se han tenido en cuenta todas las horas del mes. La primera semana del mes de septiembre fue la más calurosa de todo el estudio, con medias diarias de 31,80°C (04/09 – 12:00 a 18:00) y con máximas de 34° C. Durante esa misma semana las temperaturas nocturnas no suelen bajar de los 20°C. Después de la primera semana, las temperaturas descienden bruscamente, llegando a mínimas de 7° (17/09) y bajando las temperaturas medias diarias a solo 13°C. A pesar de estas variaciones tan bruscas de temperatura, la gráfica nos demuestra como el comportamiento de la Larixhaus es excelente, ya que todos los puntos del mes se mantienen en los parámetros de confort óptimos.

**UNE 15251**

La norma UNE 15251 especifica los criterios ambientales interiores que tienen un impacto sobre la eficiencia energética. La norma no está desarrollada con el objetivo de conseguir el confort, sino que está desarrollada para el dimensionado y evaluación de sistemas de ventilación necesita asignar unos valores de temperatura operativa y rangos de confort. [16]

Categoría	Explicación
I	Alto nivel de expectativa, recomendado para espacios ocupados por personas débiles y sensibles con requisitos especiales, como disminuidos, enfermos, niños muy pequeños y ancianos
II	Nivel normal de expectativa; debería utilizarse para edificios nuevos y renovados
III	Aceptable y moderado nivel de expectativa; puede utilizarse en edificios ya existentes
IV	Valores fuera de los criterios de las categorías anteriores. Esta categoría sólo debería aceptarse durante una parte limitada del año.

Figura 8.10: Categorías y explicación del nivel de expectativa asociado. (UNE 15251)

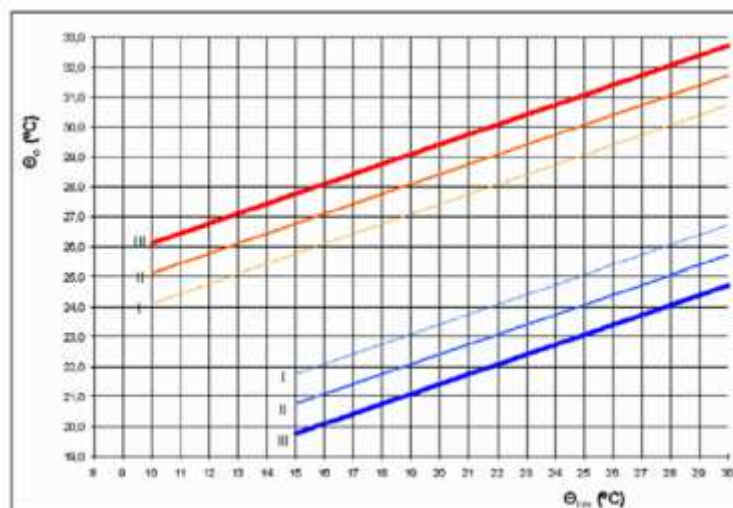
Categoría	Estado térmico del cuerpo como un todo	
	PPD%	Voto medio previsto
I	< 6	-0.2 < PMV < +0.2
II	< 10	-0.5 < PMV < +0.5
III	< 15	-0.7 < PMV < +0.7
IV	>15	PMV < -0.7; O +.7<PMV

**Figura 8.11: Nivel de PPD y PMV según la categoría (UNE 15251)**

Estas categorías son usadas en el caso de edificios sin refrigeración mecánica. Este método adaptativo cuenta las diferentes expectativas de los ocupantes del edificio y su adaptación a las condiciones de calor. Añade a posteriori que el nivel de adaptación y las expectativas están fuertemente relacionadas con las condiciones climáticas exteriores.

Esta norma está centrada en el dimensionado de sistemas, así que sobre tipo de edificios dice: —Las temperaturas de verano son principalmente utilizadas para diseñar las disposiciones de los controles térmicos pasivos (por ejemplo, protección solar, capacidad térmica del edificio, diseño, orientación y apertura de ventanas, etc.) para evitar el sobrecalentamiento del edificio.

Al ser utilizada principalmente para el diseño de los controles pasivos que eviten principalmente el sobrecalentamiento, este método de confort lo utilizaremos únicamente en los meses en los que la temperatura exterior es mayor, los meses de julio y agosto.



**Figura 8.12: Gráfica con las temperaturas operativas de confort límites según categorías. (UNE 15251)**

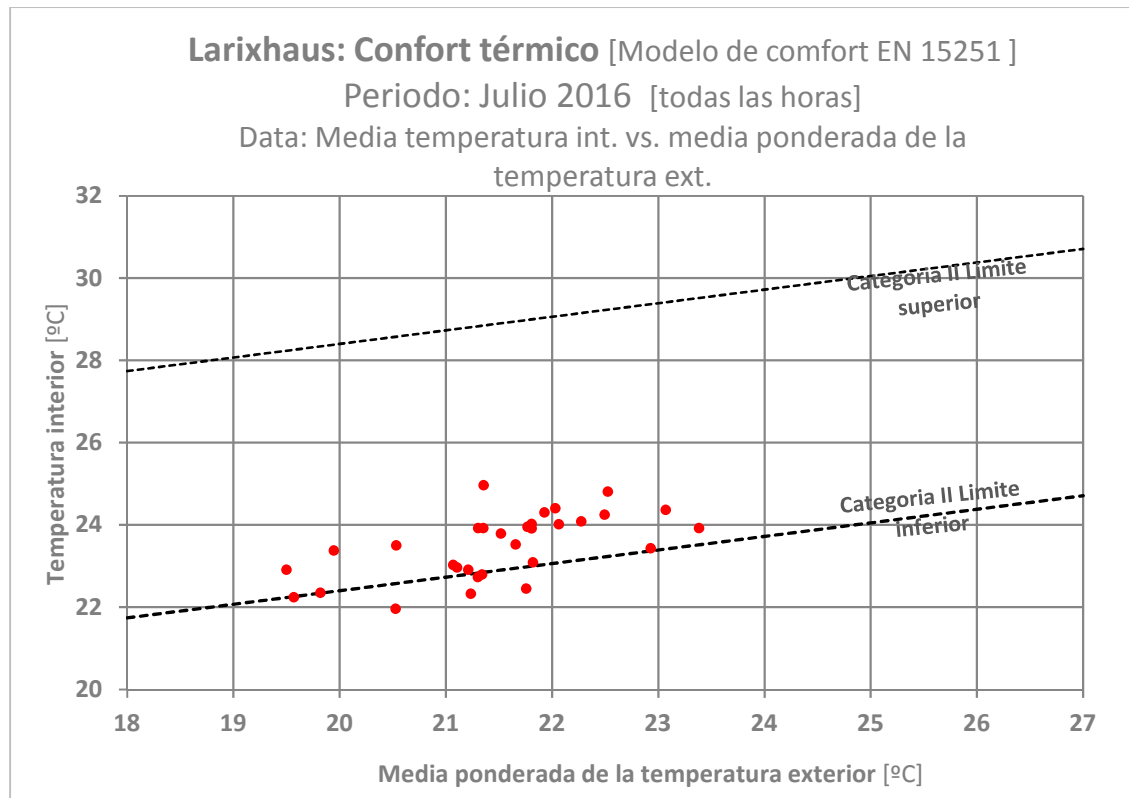
Para el cálculo de la media ponderada de la temperatura del aire exterior hemos utilizado la fórmula:

$$\Theta_{rm} = (1 - \alpha) * \Theta_{ed-1} + \alpha * \Theta_{m-1}$$

Donde la constante será de  $\alpha=0,8$ . [14]

Para el cálculo de los límites superior e inferior de la categoría utilizaremos los relativos a la categoría II donde los límites son iguales a:

$$\Theta_i = 0,33 * \Theta_{rm} + 18,8 \pm 3$$



**Figura 8.13: Temperatura del aire interior en función de la media ponderada de la temperatura del aire exterior, modelo de confort adaptativo EN15251 para julio 2016**

La figura anterior muestra las temperaturas medias diarias del interior, tanto de PB como de P1 durante el mes de julio y las correspondientes medias ponderadas de la temperatura del aire exterior. En la figura se puede apreciar como las temperaturas se mantienen muy cerca del límite inferior de la categoría II, traspasando algunos incluso este límite.

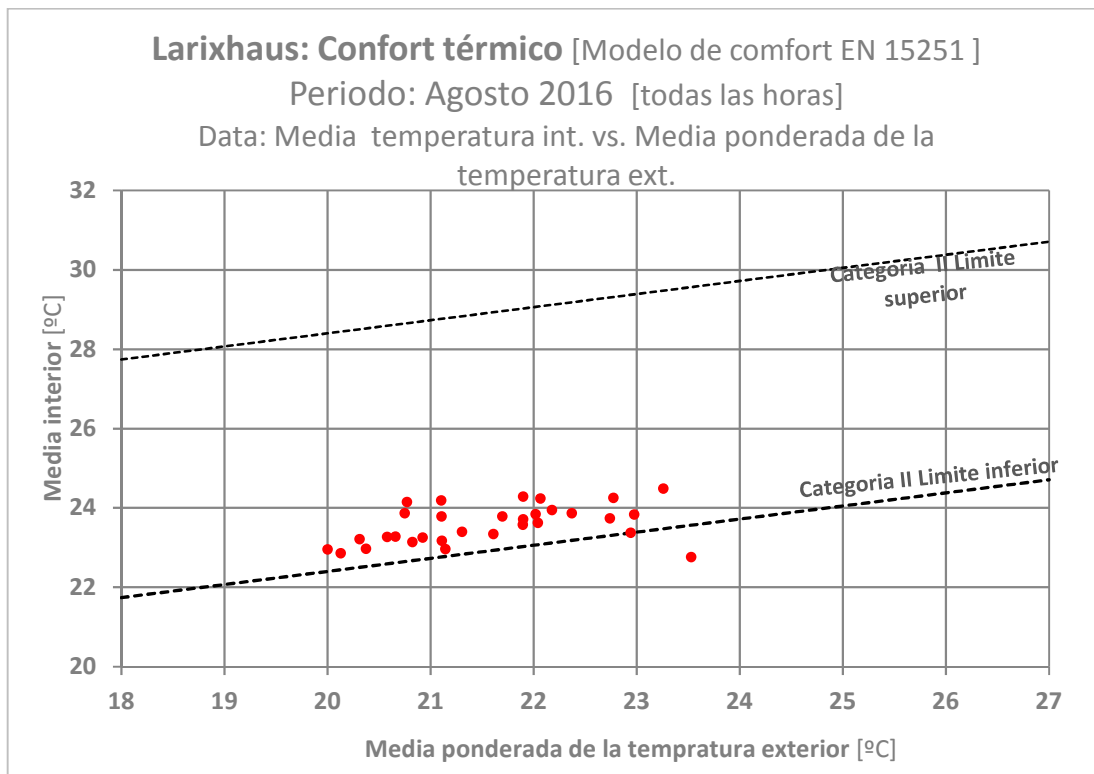
Esto implica que las temperaturas interiores durante este mes son relativamente frescas, podrían ser significativamente mayores sin causar malestar a los ocupantes, siempre y cuando estos ocupantes se adaptaran a temperaturas exteriores más elevadas.

Es un resultado bastante bueno, ya que representa que durante este mes la temperatura interior se ha mantenido muy fresca en el interior.

Lo mismo sucede en la figura posterior en la que está representado el mes de agosto de 2016, donde la mayoría de los puntos también se sitúan en el límite inferior de la categoría II.

Únicamente 5 puntos del total de 62 de los meses de julio y agosto se han mantenido por debajo del nivel de la categoría II, situándose en la categoría III.





**Figura 8.14:** Temperatura del aire interior en función de la media ponderada de la temperatura del aire exterior, modelo de confort adaptativo EN15251 para agosto 2016

### **ASHRAE 55**

El propósito de este estándar es especificar la combinación de factores térmicos ambientales y personales que producirán condiciones ambientales térmicas aceptables a la mayoría de los ocupantes en un espacio.

Para edificios ventilados naturalmente la norma propone el modelo adaptativo. Para poder utilizar este método el espacio debe cumplir los siguientes parámetros. Los ocupantes deben tener el control de los sistemas de acondicionamiento, y las condiciones térmicas del edificio deben ser reguladas principalmente a través del control de las ventanas. Por lo tanto, los espacios deben estar equipados con ventanas operables. Puede usarse ventilación mecánica sin enfriamiento del aire. Este método solo es aplicable cuando los ocupantes realizan una actividad sedentaria, con tasa metabólicas entre 1 y 1.3 met. Además, indica que los usuarios deben de tener libertad para adaptar su vestimenta en función del clima interior y exterior.

La temperatura operativa permitida para espacios que aplican este criterio debe ser determinada con el gráfico de la figura 8.15. Incluye dos límites de temperatura operativa superior y dos inferiores. Estos se corresponden con un índice de aceptabilidad de 80 y 90%.

El gráfico siguiente se basa en la investigación de De Dear . [17]

El estudio de De Dear, basado en ASHRAE 55 y reconocido en la ASHRAE RP-884 utilizó más de 22000 datos de confort en un total de 160 edificios situados en zonas climáticas alrededor del mundo, situándose la mayoría de ellos en climas cálidos.

Este estudio deriva una fórmula de temperatura de confort para edificios con aire acondicionado y edificios con ventilación natural.

La fórmula para los edificios con ventilación natural es:

$$T_{conf} = 18,9^{\circ}\text{C} + 0,255 \cdot ET \pm \Delta$$

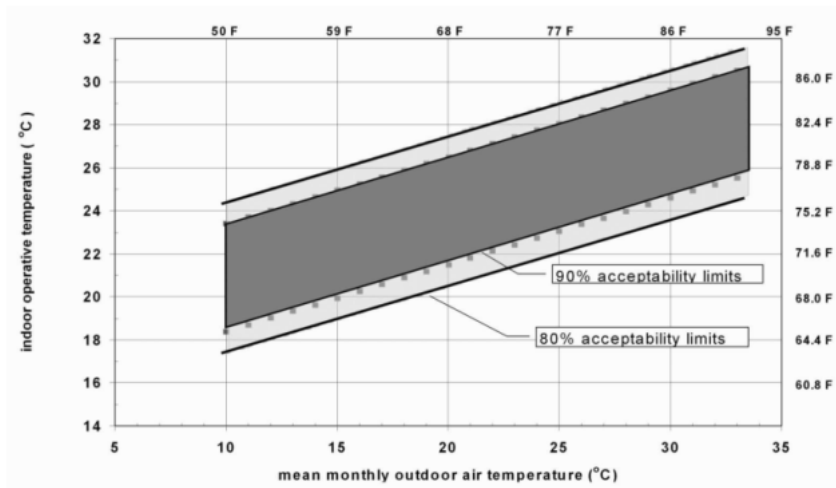


Figura 8.15: Gráfica con las temperaturas operativas permitidas según De Dear (Fuente:Google)

Siendo ET la temperatura exterior y  $\Lambda$  es igual a 2,5 para una aceptabilidad del 90% y 3,5 para una aceptabilidad del 80%.

El estándar resalta que la temperatura operativa no puede ser extrapolada más allá de los límites que se observan en el gráfico, 10°C y 33.5°C. Al no poder extrapolar las temperaturas más allá de los 10,5°C, este estándar lo utilizaremos únicamente en los meses de más calor, al igual que el anterior. Por lo tanto, lo utilizaremos únicamente en los meses de julio y agosto.

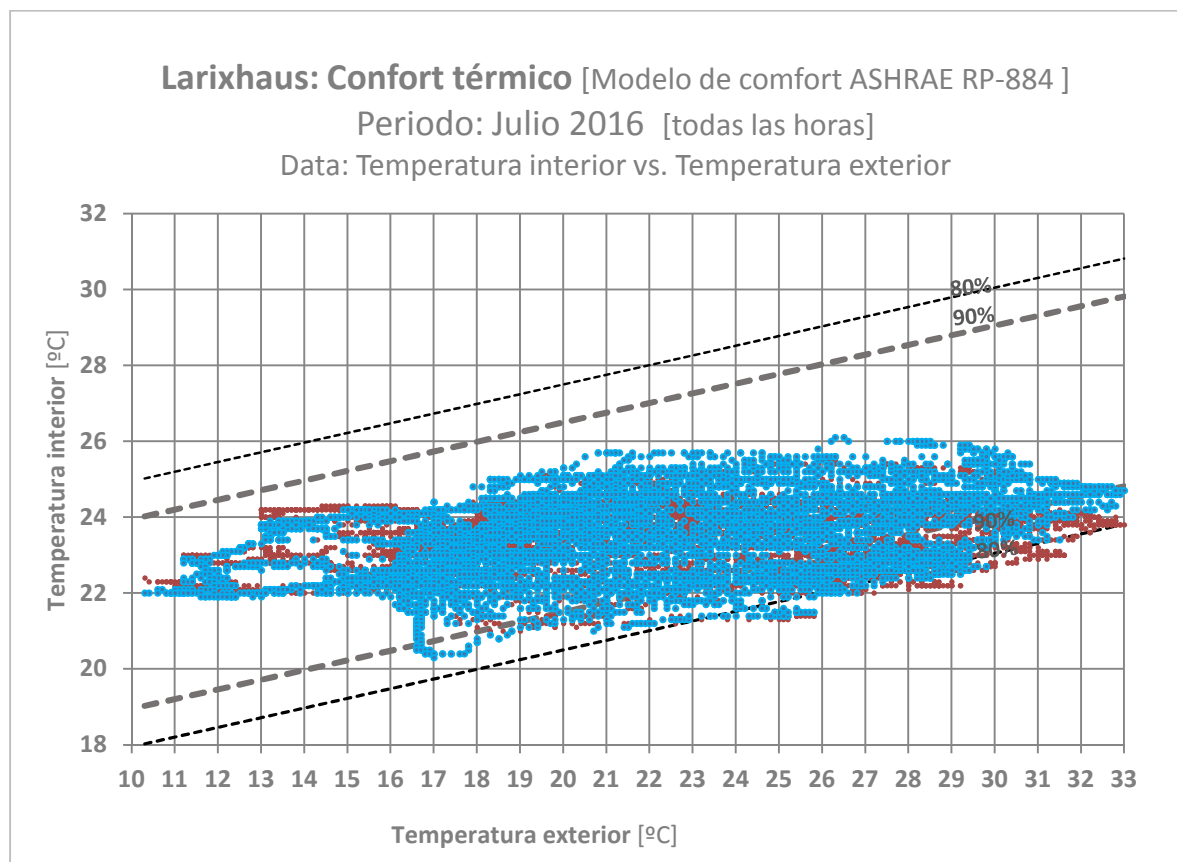


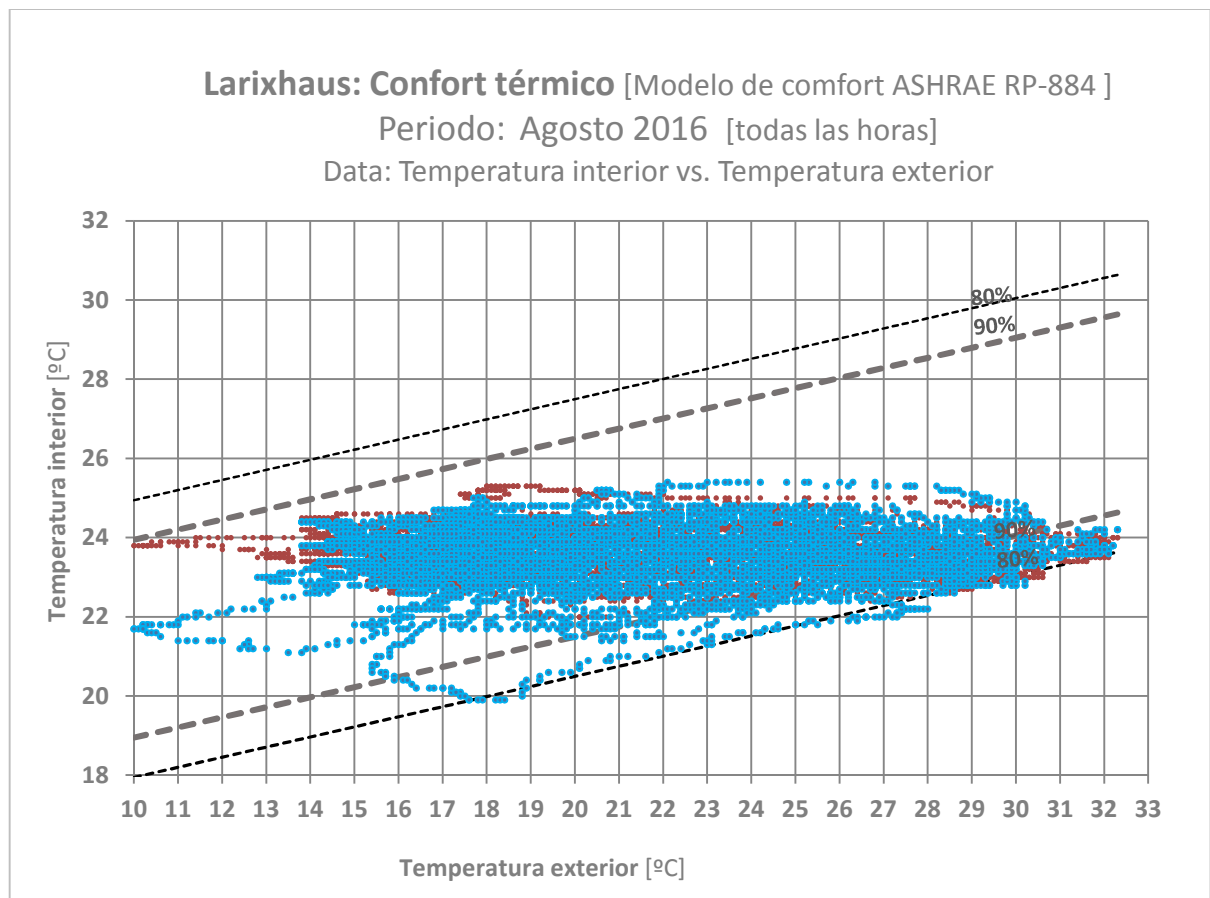
Figura 8.16 : Temperatura del aire interior vs. temperatura del aire exterior, modelo de confort adaptativo ASHRAE RP-884 para julio 2016

La figura anterior corresponde a las temperaturas interiores y exteriores del mes de julio de 2016, donde los puntos rojos corresponden a la PB y los puntos azules a la P1.

En el gráfico se puede apreciar como las temperaturas se mantienen dentro de los parámetros óptimos de confort establecidos del 90%, siempre rozando los límites inferiores mientras la temperatura exterior no supera los 24°C. En el momento en el que la temperatura es superior a los 24°C las temperaturas sobrepasan el nivel inferior del 90%, pero no llegan a superar en un porcentaje a tener en cuenta el nivel de los 80%.

Esto quiere decir que cuando las temperaturas exteriores son muy altas, en el interior del edificio las temperaturas llegan a ser muy frescas.

Con todo ello, las temperaturas interiores podrían ser mayores sin causar malestar a los ocupantes, siempre y cuando estos ocupantes se adaptaran a temperaturas exteriores más elevadas.



**Figura 8.17 : Temperatura del aire interior vs. temperatura del aire exterior, modelo de confort adaptativo ASHRAE RP-884 para agosto 2016**

La figura 8.17 corresponde a las temperaturas interiores y exteriores del mes de agosto de 2016, donde los puntos rojos corresponden a la PB y los puntos azules a la P1.

En el gráfico las temperaturas se mantienen mayoritariamente dentro de los parámetros óptimos de confort establecidos del 90%, cerca de los límites inferiores de confort.

En el momento en el que la temperatura exterior sobrepasa los 26°C las temperaturas empiezan a sobrepasar el límite del 90%, pero en ningún momento llegan a superar el límite de 80%.

Al igual que lo que sucede en el mes de julio, cuando las temperaturas exteriores son muy altas, en el interior del edificio las temperaturas llegan a ser muy frescas, pudiendo llegar a ser mayores sin causar malestar a los ocupantes.

### **FRECUENCIA DE SOBRECALENTAMIENTO MODELO PHPP (DIN 1946-2)**

Para el cálculo de la frecuencia de sobrecalentamiento el programa tiene en cuenta todas las horas del día, tanto en PB como en P1.

Pese a que el límite de sobrecalentamiento está marcado en un máximo de 25°C, el programa utiliza para el cálculo un máximo permitido de 25,49°C, que será el que utilizaremos para poder comparar los resultados obtenidos con el PHPP.

Limite sobrecalentamiento [°C]	25,49
Número total de puntos calculados	104996
Número de puntos sobrecalentamiento	166
<b>Frecuencia sobrecalentamiento [%]</b>	<b>0,2%</b>
<b>Frecuencia sobrecalentamiento PHPP [%]</b>	<b>0,3%</b>

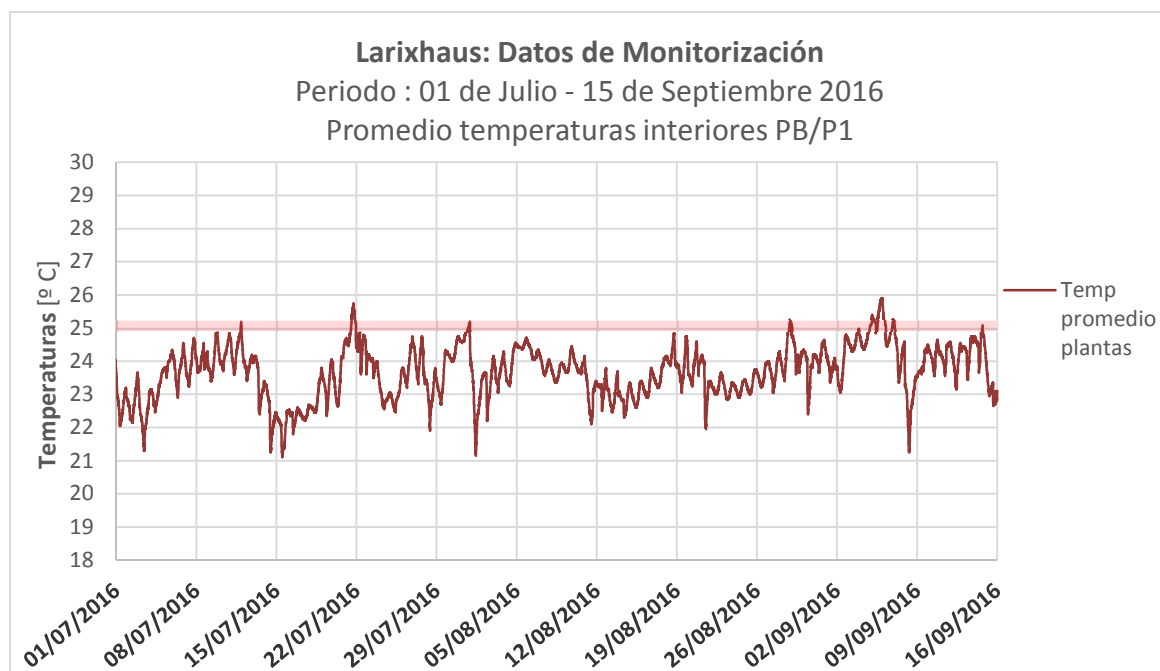
**Tabla 8.18 : Frecuencia de sobrecalentamiento vs. Resultados promedio medidos durante todas las horas PB y P1 (01/10/2015-30/09/2016)**

La frecuencia de sobrecalentamiento obtenida durante todas las horas del estudio es de 0,2%, muy cercana en comparación con la frecuencia estimada en el PHPP recalibrado de 0,3%. La totalidad de estas horas se concentran en unos días específicos en el periodo del 1 de julio al 15 de septiembre, concretamente se concentran en los días 11 , 21 y 31 de julio, el 31 de agosto, y los días 5,6 y 7 de septiembre

Durante este periodo se alcanzan temperaturas medias diurnas exteriores (08:00-18:00) de hasta 29,64 °C, con unas temperaturas máximas de 33,40°C (04 de septiembre de 2016).

La temperatura máxima en el interior de la casa se registra el 21 de julio a las 18:00 en la P1, y es de 26,10°C.

Si tuviéramos en cuenta la temperatura máxima de 25º como establece la norma, el número de puntos que la sobrepasarían sería de un total de 705, estableciendo el porcentaje de frecuencia de sobrecalentamiento en el 0,7%, aún muy por debajo del 10% que establece la norma.



**Figura 8.19: Temperatura interior de la planta primera del 01 julio-15 septiembre de 2016**

## 9. ANALISIS DEL CONSUMO

Para que una casa sea certificada como Passivhaus debe de cumplir los siguientes parámetros de consumo:

- Demanda de calefacción: < 15 KWh / (m<sup>2</sup>a)
- Demanda de refrigeración: < 15 KWh / (m<sup>2</sup>a)
- Demanda de energía primaria: < 120 KWh / (m<sup>2</sup>a) (calefacción, ACS y electricidad)

Estas demandas son calculadas primero con la herramienta PHPP, que nos dará en fase de proyecto una aproximación de estos consumos.

Para nuestra edificación la demanda en refrigeración será 0, ya que no se cuenta con ningún sistema activo de refrigeración.

Según el primer cálculo de la herramienta para la obtención de la certificación la demanda de consumo sería de:

- Demanda de calefacción: 12 KWh / (m<sup>2</sup>a)
- Demanda de refrigeración: 0 KWh / (m<sup>2</sup>a)
- Demanda de energía primaria: 107 KWh / (m<sup>2</sup>a) (calefacción, ACS y electricidad)

Una vez recalibrado nuestro PHPP con las temperaturas exteriores obtenidas en el estudio, los consumos aumentaron significativamente, siendo ahora de:

- Demanda de calefacción: 11,65 KWh / (m<sup>2</sup>a)
- Demanda de refrigeración: 0 KWh / (m<sup>2</sup>a)
- Demanda de energía primaria: 117 KWh / (m<sup>2</sup>a) (calefacción, ACS y electricidad)

**CONSUMO DE CALEFACCION**

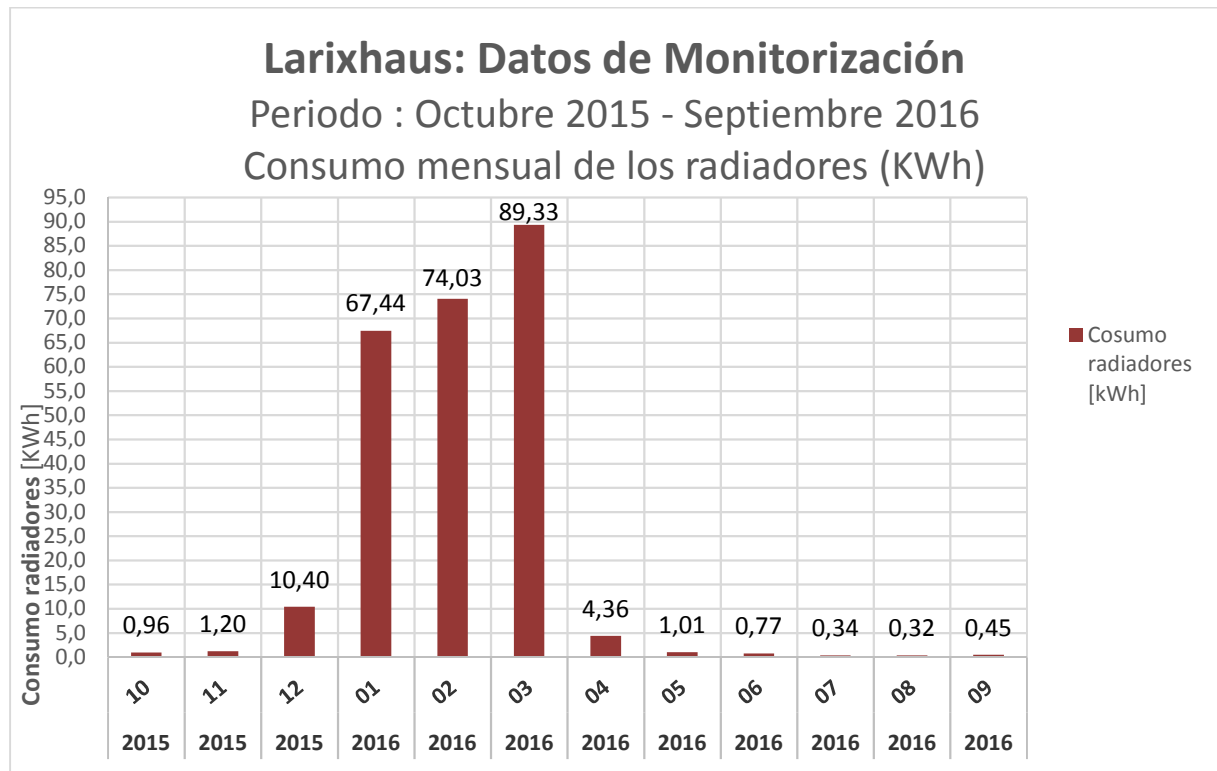


Figura 9.01: Consumos mensuales de los radiadores durante el periodo octubre 2015 a septiembre 2016

Durante el periodo estudiado de octubre de 2015 a septiembre de 2016, el consumo total de los radiadores fue de tan solo 250,61 KWh.

Este consumo se concentra principalmente en los meses de enero, febrero y marzo de 2016, siendo prácticamente nulo el resto del año.

Si repartimos el consumo total entre los metros de nuestro edificio, que son 91,50 m<sup>2</sup>, nos arroja un consumo anual de solo 2,73 KWh/m<sup>2</sup>a.

Este consumo es mucho más bajo, un 75% menor que el calculado por el programa de 11,65 KWh/m<sup>2</sup>a, demostrando el excelente comportamiento térmico de la Larixhaus.

Pese a que el consumo ha sido realmente bajo, el confort térmico dentro de nuestro edificio ha sido muy bueno durante estos meses, como ha quedado demostrado en los apartados anteriores.

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year	
Heating degree hours - External	10,6	9,5	10,3	7,6	5,6	1,7	-1,3	-0,8	1,4	5,7	7,2	8,8	66	kKh
Heating degree hours - Ground	5,5	5,8	6,8	6,2	5,4	3,4	2,2	1,3	0,9	1,9	2,8	4,2	47	kKh
Losses - Exterior	795	708	768	565	417	129	-100	-61	102	428	538	662	4952	kWh
Losses - Ground	51	54	63	57	50	32	21	12	9	18	26	39	431	kWh
Sum spec. losses	9,2	8,3	9,1	6,8	5,1	1,8	-0,9	-0,5	1,2	4,9	6,2	7,7	58,8	kWh/m <sup>2</sup>
Solar gains - North	7	9	13	16	23	27	26	19	14	11	8	6	177	kWh
Solar gains - East	12	15	23	27	32	33	37	32	25	18	14	11	278	kWh
Solar gains - South	381	364	408	328	292	265	307	343	387	414	390	396	4276	kWh
Solar gains - West	26	34	48	56	66	69	78	65	52	42	30	27	594	kWh
Solar gains - Horiz.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kWh
Solar gains - Opaque	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kWh
Internal heat gains	143	129	143	138	143	138	143	143	138	143	138	143	1683	kWh
Sum spec. gains solar + internal	6,2	6,0	6,9	6,2	6,1	5,8	6,5	6,6	6,7	6,9	6,3	6,4	76,6	kWh/m <sup>2</sup>
Utilisation factor	95%	94%	93%	87%	76%	30%	100%	100%	18%	67%	82%	90%	59%	
Annual heating demand	304	246	243	129	47	0	0	0	0	26	86	175	1256	kWh
Spec. heating demand	3,3	2,7	2,7	1,4	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,9	1,9	13,7	kWh/m <sup>2</sup>

Figura 9.02: Tabla de ganancias caloríficas y demanda energética en PHPP calibrado. (Fuente:PHPP)

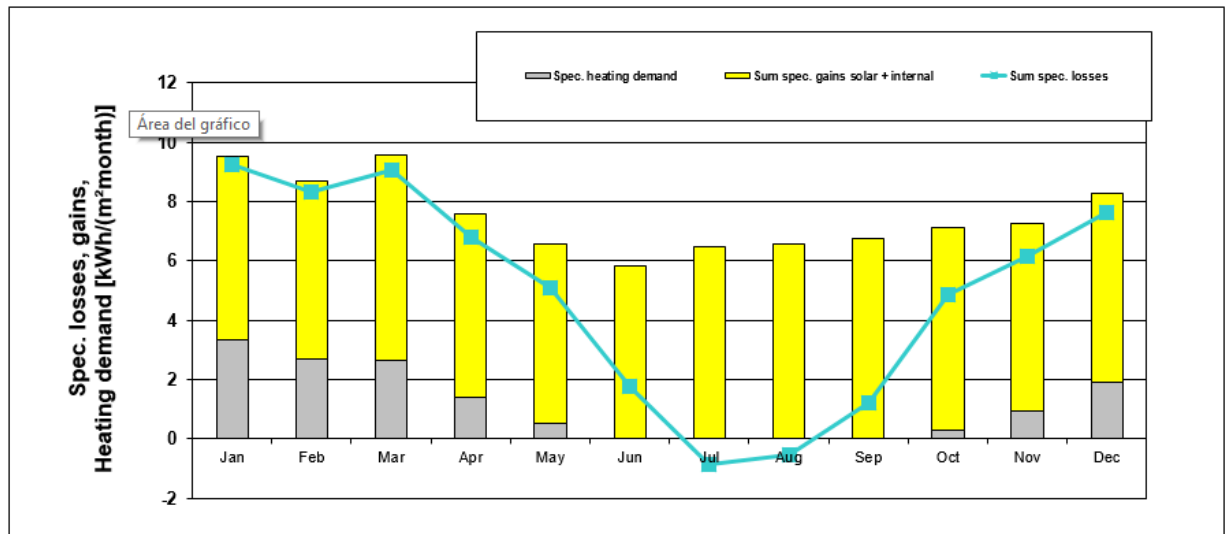


Figura 9.03: Demanda mensual calorífica del PHPP calibrado (Fuente:PHPP)

Según el documento básico CTE HE, para el ahorro energético, [10] la demanda energética en calefacción de un edificio de nueva construcción no debe superar el valor límite  $D_{cal,lim}$  obtenido mediante la siguiente expresión :

$$D_{cal,lim} = D_{cal,base} + F_{cal,sup} / S$$

Donde,

$D_{cal,lim}$  es el valor límite de la demanda energética de calefacción, expresada en  $KWh/m^2 \cdot año$ , considerada la superficie útil de los espacios habitables;

$D_{cal,base}$  es el valor base de la demanda energética de calefacción, para cada zona climática de invierno correspondiente al edificio, que toma los valores de la tabla 2.1;

$F_{cal,sup}$  es el factor corrector por superficie de la demanda energética de calefacción, que toma los valores de la tabla 2.1 ;

S es la superficie útil de los espacios habitables del edificio, en  $m^2$ .

Tabla 2.1 Valor base y factor corrector por superficie de la demanda energética de calefacción

	Zona climática de invierno					
	$\alpha$	A	B	C	D	E
$D_{cal,base}$ [ $kWh/m^2 \cdot año$ ]	15	15	15	20	27	40
$F_{cal,sup}$	0	0	0	1000	2000	3000

Figura 9.04: Tabla de valores climáticos y factores de corrección para el cálculo de la demanda energética (Fuente:CTE)

Para la zona climática de Barcelona a una altitud igual o superior a 750 metros, (nuestro edificio se encuentra a 888 metros de altitud), la zona climática de invierno se corresponde con la zona E. A partir de este dato, calculamos la demanda energética:

$$D_{cal,lim} = 40 \text{ kWh}/m^2a + 3000 / 91,50m^2 = 33,22 \text{ kWh}/m^2a.$$

Respecto al consumo de la Larixhaus, la demanda de calefacción límite para el CTE HE es de 30,49 KWh/m<sup>2</sup>a mayor.

Demanda de calefacción según CTE = 33,22 KWh/m<sup>2</sup>a \* 91,50 m<sup>2</sup>= 3039,63 KWh.a

Ahorro en calefacción respecto a edificio CTE = 3039,63 KWh – 250,61 KWh = 2789,02 KWh

Dentro de los datos obtenidos por el software PHPP, este nos calcula la demanda energética de calefacción prevista en nuestro edificio. En las siguientes figuras comparamos los datos obtenidos durante un año, con los consumos previstos, tanto en el PHPP de diseño como en el posteriormente calibrado.

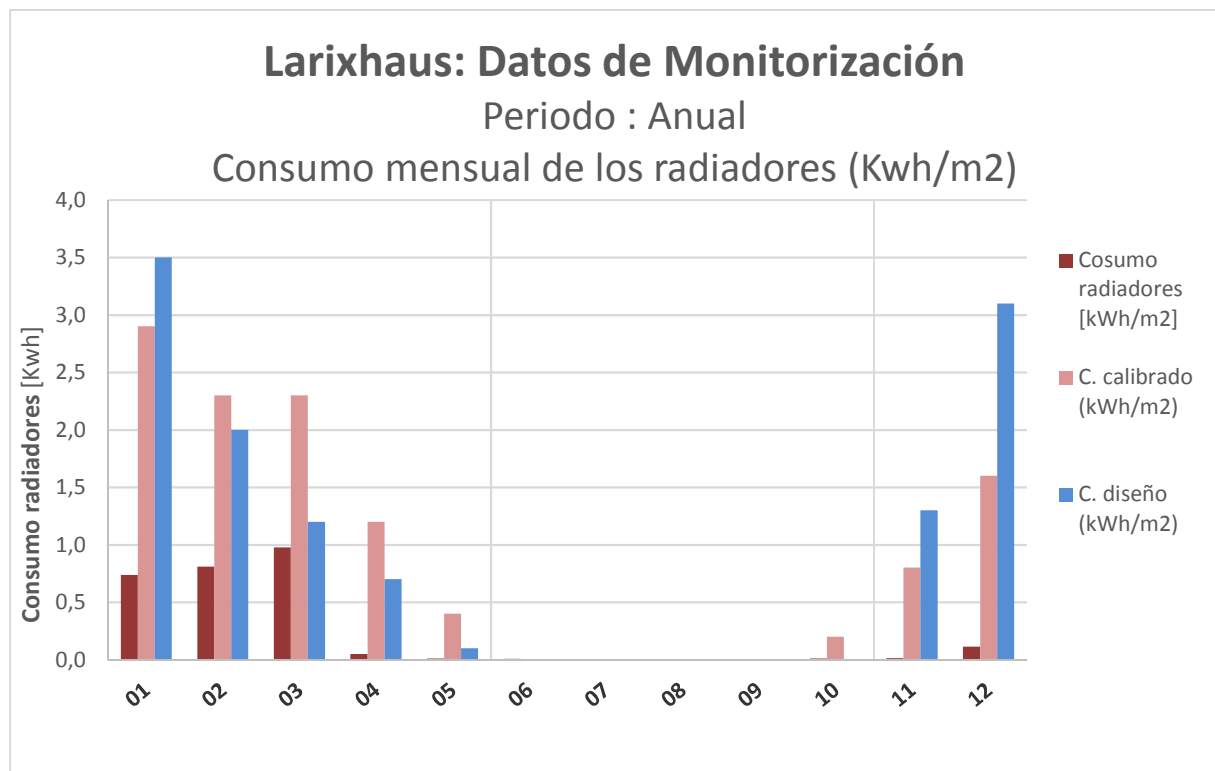


Figura 9.05: Consumos mensuales de los radiadores en kWh/m<sup>2</sup> y comparación con los resultados PHPP

Mes	C. diseño (kWh/m2)	C. calibrado (kWh/m2)	C.real (kWh/m2)
01	3,5	2,9	0,74
02	2	2,3	0,81
03	1,2	2,3	0,98
04	0,7	1,2	0,05
05	0,1	0,4	0,01
06	0	0	0,01
07	0	0	0,00
08	0	0	0,00
09	0	0	0,00
10	0	0,2	0,01
11	1,3	0,8	0,01
12	3,1	1,6	0,11

Figura 9.06: Tabla de consumos mensuales de los radiadores en kWh/m<sup>2</sup> y comparación con los resultados de PHPP



## **CONSUMO DE ENERGIA PRIMARIA**

La directiva europea 2010/31/EU [1], introduce por primera vez de forma explícita la exigencia de un indicador de energía primaria para analizar el consumo de los edificios.

La directiva hace una serie de indicaciones que detallamos a continuación:

El certificado de eficiencia energética debe también informar del impacto real de la calefacción refrigeración en las necesidades de energía del edificio, de su consumo de energía primaria y de sus emisiones de dióxido de carbono.

La eficiencia energética de un edificio se expresará de forma clara e incluirá un indicador de eficiencia energética y un indicador numérico del consumo de energía primaria, basado en los factores de energía primaria por el suministrador de energía, que podrá basarse en unas medidas anuales ponderadas, nacionales o regionales, o en un valor particular para la generación in situ.

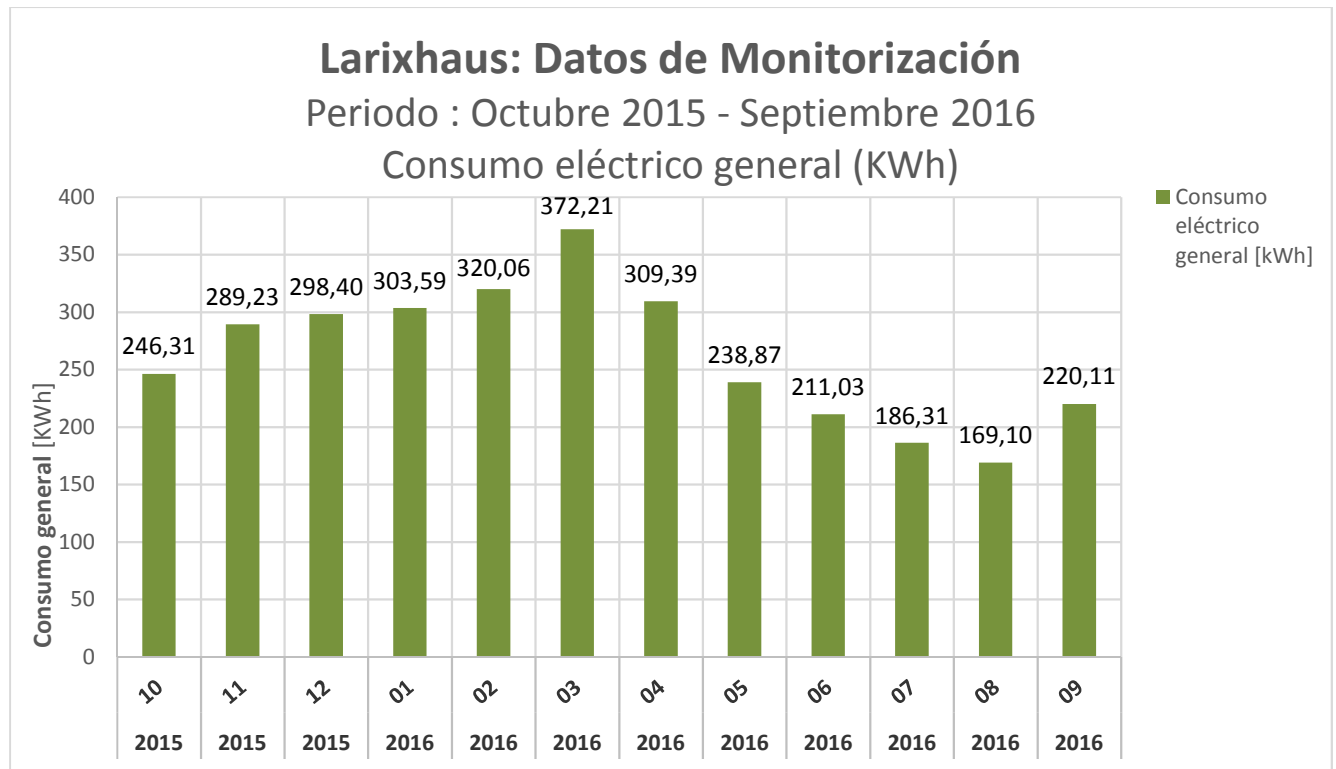
Los planes nacionales incluirán, entre otros, los siguientes elementos: la aplicación detallada en la práctica por el Estado miembro de la definición de edificios de consumo de energía casi nulo, que refleje sus condiciones nacionales, regionales o locales e incluya un indicador numérico de uso de energía primaria expresado en kWh/m<sup>2</sup> al año. Los factores de energía primaria empleados para las determinaciones del uso de energía primaria podrán basarse en valores medios anuales nacionales o regionales y tener en cuenta las normas europeas pertinentes.

Además, según la definición del artículo 2 de la Directiva 2010/31/UE, en los edificios de consumo de energía casi nulo, la cantidad casi nula o muy baja de energía requerida debería estar cubierta, en muy amplia medida, por energía procedente de fuentes renovables producida in situ o en el entorno, por lo que es necesario diferenciar entre la energía primaria procedente de fuentes renovables y no renovables. Comprendiendo la energía procedente de fuentes renovables no fósiles la siguiente: energía eólica, solar, aerotérmica, geotérmica, hidrotérmica y oceánica, hidráulica, biomasa, gases de vertedero, gases de plantas de depuración y biogás.

A partir de esta directriz, el ministerio de industria y energía estableció una serie de factores de conversión de energía final a primaria a través del documento RITE [18] de carácter nacional, válidos para el sector residencial.

<b>Factores de conversión de energía final a primaria</b>				
	Fuente	Valores aprobados		
		kWh E.primaria renovable /kWh E. final	kWh E.primaria no renovable /kWh E. final	kWh E.primaria total /kWh E. final
Electricidad convencional Nacional	(*)	0,396	2,007	2,403
Electricidad convencional peninsular	(**)	0,414	1,954	2,368

Figura 9.07: Factores de conversión de energía final a primaria y emisión de CO<sub>2</sub> (Fuente: IDAE)



**Figura 9.08: Consumos mensuales de energía eléctrica final en kWh durante el periodo oct.2015-sept.2016**

Según los datos obtenidos, el consumo total de energía eléctrica durante el periodo de octubre de 2015 a septiembre de 2016 ha sido de un total de 3164,61 kWh.

Si este consumo total lo repartimos entre los metros de superficie nos da un consumo de 34,59 kWh/m<sup>2</sup>a.

Tomaremos en cuenta el valor convencional peninsular de 2,368.

Energía primaria total:  $34.59 \text{ kWh/m}^2\text{a} \times 2.368 = 81.90 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ .

El consumo de energía primaria durante todo el año ha sido de 81.90 kWh/m<sup>2</sup>a, menor a los calculados por el programa PHPP de 107 kWh/m<sup>2</sup>a para el de diseño y de 117 kWh/m<sup>2</sup>a para el recalibrado.

## **CONCLUSIONES**

El comportamiento de la casa durante todo el año ha sido excelente, manteniendo las temperaturas interiores constantemente entre los 20°C y los 25°C sin prácticamente necesidad de un aporte energético complementario.

Durante la época estival, la gran mayoría de los puntos analizados se han mantenido en unos parámetros de confort excelentes, llegando incluso a estar las temperaturas interiores durante los meses más calurosos cerca del rango inferior de confort, lo que permitiría el aumento de las temperaturas interiores sin causar malestar.

Pese a ser una edificación de estructura ligera, súper aislada y hermética, no ha sido necesaria la instalación de un sistema de refrigeración activo gracias al buen diseño de la ventilación nocturna, el adecuado sistema de protecciones exteriores y el correcto manejo del edificio por parte de los ocupantes.

En los meses más fríos del año, el comportamiento de la casa ha sido muy bueno, permitiendo unas temperaturas interiores constantes por encima de los 20°C con un aporte mínimo de energía en calefacción, pese a que las temperaturas exteriores rondaban los 0°C.

El correcto diseño de la envolvente y sus aperturas, unidos al sistema de ventilación de doble flujo han permitido que el confort interior sea alto sin la necesidad de un gran aporte de energía. Por otra parte, ha quedado demostrado que los materiales de origen biológico ofrecen una protección térmica efectiva y son totalmente compatibles con construcciones altamente confortables y de bajo consumo energético.

Los consumos de la casa durante el año analizado han sido bajos. El consumo en calefacción proporcionado por los radiadores ha sido muy inferior al calculado, hasta de un 75% más bajo. Esto se debe a la utilización por parte de los usuarios y a los periodos de ausencia durante los fines de semana y las vacaciones durante los meses más fríos. Pese a ello el confort en el interior durante los periodos de ocupación ha sido bueno.

El programa de cálculo PHPP es una herramienta precisa y esencial para el diseño de las casas pasivas. El comportamiento de la Larixhaus obtenido en las mediciones ha sido mejor que el pronosticado por la herramienta. Sin embargo, teniendo en cuenta el margen de incertidumbre en el modelo junto con la concienciación y utilización de los ocupantes, los resultados previstos y los medidos pueden llegar a concordar. El modelo parece proporcionar los resultados del lado de la seguridad.

Los cálculos de la herramienta en materia de sobrecalentamiento han sido muy precisos.

La Larixhaus se trata de un caso de estudio aislado y debe ser situada en un marco más amplio de análisis, pero a partir de este análisis podemos confirmar que una edificación con certificación Passivhaus puede ser extremadamente eficiente para nuestro clima.



## **BIBLIOGRAFIA**

- [1] European Parliament (2010), DIRECTIVE 2010/31/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast), 18.6.2010 EN Official Journal of the European Union L 153/13.
- [2] UNE-EN ISO 7730:2006. Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local. España.2006
- [3] Wassouf, Michael. De la casa pasiva al estándar Passivhaus. Barcelona: Gustavo Gili.2014
- [4] Schneiders J. et al. Passive Houses for different climate zones. Passivhaus Institut, Darmstadt, Alemania.2013
- [5] Ford B., et al. The Passivhaus standard in European warm climates: design guidelines for comfortable low energy homes, Technical Guidelines Part 2, Passivhaus España, Passive On Project IEEA, School of the Built Environment, University of Nottingham, Reino Unido.2007.
- [6] Crespo, J. et al. Guía del estándar Passivhaus. Fundación de la energía de la comunidad de Madrid. Madrid.2011
- [7] UNE-EN ISO 13786:2011. Prestaciones térmicas de los productos y componentes para edificación. Características térmicas dinámicas. Métodos de cálculo. España.2011.
- [8] Style, Oliver. La inercia térmica en la refrigeración pasiva. III Congreso EECN. Madrid.2016
- [9] Reggianni, Davide. La transmitancia térmica periódica y su aplicación en la normativa italiana. Barcelona.2013
- [10] CTE- Documento Básico HE – Ahorro de energía. Limitación de la demanda energética. España.2013
- [11] Feist W. et al. Criteria for the Passive House, EnerPHit and PHI Low Energy Building Standard. Passivhaus Institut, Darmstadt. Alemania.2015
- [12] Feist W. et al. Passivhaus Institut. Criterios de certificación para rehabilitaciones energéticas con componentes Passivhaus. Passivhaus Institut, Darmstadt, Alemania.2014
- [13] Style, Oliver. Larixhaus: una casa pasiva prefabricada de madera y paja. Arquitectura & Madera. 2015. Num.8, pg.12-17
- [14] Style, Oliver. Comportamiento real de una casa pasiva de escasa inercia en una ola de calor mediterránea. Barcelona.2015
- [15] Schneiders J. Passive Houses in South West Europe, A quantitative investigation of some passive and active space conditioning techniques for highly energy efficiency dwellings in the South West European Region, 2nd corrected edition, Jürgen Schneiders 2009, Passivhaus Institut, Darmstadt, Alemania.2009

[16] UNE-EN 15251:2008. Parámetros del ambiente interior a considerar para el diseño y la evaluación de la eficiencia energética de edificios incluyendo la calidad del aire interior, condiciones térmicas, iluminación y ruido. España.2008

[17] De Dear, R. et al., 1998. Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference. ASHRAE Transactions, 104(March), pp.145-167. London.1998

[18] RITE. Factores de emisión de CO<sub>2</sub> y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumida en el sector residencial en España. IDEA. Madrid.2014.

## **COMPLEMENTARIA**

Berge B. The Ecology of Building Materials, Second Edition, Architectural Press, Elsevier, Oxford, Reino Unido.2009

Chiras D.The Solar House, Passive Heating and Cooling, Chelsea Green Publishing Company. E.E.U.U.2002

Consumos del sector residencial en España. Instituto para la diversificación y el ahorro de energía. Madrid.2015

Godoy,Alfonso. El confort térmico adaptativo: Aplicación en la edificación en España. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña,2012. Proyecto final de master UPC

Gonzalo R., Vallentin R.Passive House Design. Walter de Gruyter, Detail Green Books, Alemania.2014

Grove-Smith J. Passive Houses in the Mediterranean Climate, Passivhaus Institut, Darmstadt, Alemania.2006

Harris C., Borer P. The Whole House Book, Ecological Building Design and Materials, Centre for Alternative Technology. Reino Unido.2005

Jankovic L.Designing Zero Carbon Buildings Using Dynamic Simulation Methods. Earthscan from Routledge, Reino Unido.2012

Kwok A. G., Grondzik W. T. The Green Studio Handbook, Environmental Strategies for Schematic Design.Architectural Press Elsevier, Oxford, Reino Unido.2007

Maldonado E. (ed.), Wouters P. Implementing the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) Featuring Country Reports 2010, European Union 2011, Brussels, Bélgica. 2011

Nucete Álvarez E., Romero Rincón M. Potencial de ahorro energético y de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> del parque residencial existente en España en 2020. INFORME. Diciembre 2010, WWF/Adena and ETRES Consultores, Madrid, España.2010

Pokorny et al, Details for Passive Houses, A Catalogue of Ecologically Rated Constructions, SpringerWien.NewYork, E.E.U.U. 2009

Style, Oliver Els tres porquets i el llop ferotge. ONGC. 2015.Num.55.

Velasco, M<sup>o</sup> Teresa.et al. Balance energético 2015 y perspectivas para 2016. Madrid.2015.

Voss K., Musall E. (2011) Net Zero Energy Buildings,International Projects of Carbon Neutrality in Buildings. DETAIL Green Books, Alemania.

Wassouf, Michael. Comportamiento real de Passivhaus en el Mediterráneo. Barcelona.2015.

Woolley T., Kimmins S. Green Building Handbook Volume 2, A guide to building products and their impact on the environment, Taylor and Francis e- Library 2005, Reino Unido.2005





**AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a Oliver Style y a todo el equipo de Progetic por la ayuda que me han brindado para poder realizar este trabajo.

